KTA KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS

Sachstandsbericht Verwendung von Dübelverbindungen in Kernkraftwerken

KTA-GS-80

März 2013

KTA KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS

Sachstandsbericht Verwendung von Dübelverbindungen in Kernkraftwerken

KTA-GS-80

März 2013

GESCHÄFTSSTELLE DES KERNTECHNISCHEN AUSSCHUSSES (KTA)
beim BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Telefon: 03018/333-1621
Telefax: 03018/333-1625
Email: rgersinska@bfs.de

Vorwort

Der KTA-Unterausschuss Anlagen- und Bautechnik (UA-AB) hat auf seiner 103. Sitzung am 1. September 2010 über die Notwendigkeit eines Sachstandsberichtes zu Dübelverbindungen beraten, die Notwendigkeit festgestellt und zur Erstellung dieses Sachstandsberichtes ein Arbeitsgremium, bestehend aus allen Gruppen des KTA und weiteren Fachleuten (Institutionen), einberufen. Der KTA–Unterausschuss Programm und Grundsatzfragen (UA-PG) hat in der 34. Sitzung die Erstellung des Sachstandsberichtes befürwortet. Der KTA hat in der 65. Sitzung die Erstellung des Sachstandsberichtes zustimmend zur Kenntnis genommen.

Der vorliegende Sachstandsbericht Verwendung von Dübelverbindungen in Kernkraftwerken KTA-GS-80 wurde von folgenden Fachleuten erarbeitet und gibt deren Kenntnisse und fachliche Meinung wieder:

Dr. Alvermann	RWE Power AG, Essen
Dr.-Ing. W. Baumgärtel	UM Baden-Württemberg, Stuttgart
Dipl.-Ing. M. Borgerhoff	Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH, Bochum
Dipl.-Ing. K. Borowski	RWE Power AG, Essen
Dipl.-Ing. C. Busse	E.ON Kernkraft GmbH
Dipl.-Ing. M. Falkenhagen	TÜV NORD SysTec, Hamburg
Dipl.-Ing. W. Fuchs	HOCHTIEF SOLUTIONS IKS Energy, Frankfurt
Dipl.-Ing. G. Gerding	TÜV NORD EnSys, Hannover
Dipl.-Ing. S. Kirchner	TÜV SÜD IS, München
Dipl.-Ing. F.-J. Küpers	AREVA NP, Erlangen
Dr.-Ing. R. Meiswinkel	E.ON Kernkraft GmbH, Hannover
Dr.-Ing. S. Mörschardt (Obmann)	VENE, Hamburg
Dipl.-Ing. D. Pfaff	AREVA NP, Offenbach
Dr.-Ing. F.-H. Schlüter	SMP Ingenieure im Bauwesen GmbH, Karlsruhe
Dr. rer. nat. Seidenkranz	TÜV SÜD Energietechnik, Mannheim
Dipl.-Ing. H. Schramm	GKN, Neckarwestheim
Dipl.-Phys. Voswinkel	GRS, Köln

Darüber hinaus haben als fachliche Berater mitgewirkt:

Dipl.-Ing. J. Hälbig	RWE Power AG, Essen
Dipl.-Ing. Hüttner	TÜV SÜD IS, München
Dipl.-Ing. Milleder	TÜV SÜD IS, München

Zuständiger Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle:

Dr.-Ing. R. Gersinska	KTA-GS, Salzgitter

Der Sachstandsbericht beschreibt die Verwendung von Dübelverbindungen in Kernkraftwerken ausschließlich auf der Basis der derzeit geltenden Anforderungen. Ggf. darüber hinaus gehende zusätzliche Fragestellungen sind nicht Gegenstand dieses Sachstandsberichts. Zielsetzung, Hintergründe sowie Vorgehen werden im Abschnitt 1 weiter beschrieben.

Der UA-AB hat auf seiner 107. Sitzung am 4. und 5. September 2012 über diesen Sachstandsbericht beraten und beschlossen, diesen Bericht dem UA-PG zur Kenntnisnahme vorzulegen.

Der UA-PG stellte auf seiner 38. Sitzung am 18. September 2012 fest, dass der vorgelegte Entwurf die gestellten Fragestellungen beantworte, insbesondere werde klar und einstimmig festgestellt, dass derzeit kein zusätzlicher Regelungsbedarf im KTA besteht. Der UA-PG nahm den Entwurf zustimmend zur Kenntnis und beschloss, ihn dem KTA auf seiner 67. Sitzung am 13. November 2012 vorzulegen. Da aber im Nachgang der letzten Sitzung des Arbeitsgremiums des UA-AB noch Kommentare eingereicht wurden, beschloss der UA-PG außerdem, das Arbeitsgremium zu beauftragen, diese Kommentare auf einer weiteren Sitzung zu diskutieren, eventuelle Korrekturen vorzunehmen und den endgültigen Bericht dem UA-PG auf seiner 40. Sitzung am 12. März 2013 zur Verabschiedung vorzulegen.

Der KTA stimmte diesem Vorgehen auf seiner 67. Sitzung am 13. November 2012 einstimmig zu.

Die abschließende Beratung des Berichts im Arbeitsgremium erfolgte am 22. und 23. Januar 2013.

Dem UA-PG wurde die Endfassung des Berichts auf seiner 40. Sitzung am 12. März 2013 vorgestellt und er gab diese einstimmig zur Veröffentlichung frei.

Salzgitter, März 2013

KTA-Sachstandsbericht

Verwendung von Dübelverbindungen in Kernkraftwerken

Inhalt

Seite

1 Einleitung 3
1.1 Zielsetzung 3
1.2 Hintergründe 3
1.3 Inhalt und Vorgehen 3
2 Begriffe und Formelzeichen 5
2.1 Begriffe 5
2.2 Formelzeichen 9
3 Sicherheitstechnische Bedeutung und allgemeine Anforderungen 10
4 Dübelverbindungen 10
4.1 Dübeltypen 10
4.2 Dübelqualifikation 11
4.3 Dübelplatten 13
5 Einwirkungen 14
5.1 Anforderungskategorien 14
5.2 Sicherheitstechnische Anforderungen 15
5.3 Einwirkungscharakteristik 15
6 Schnittstelle Bautechnik-Anlagentechnik, Nachweiskette 16
6.1 Allgemeines 16
6.2 Nachweiskette 17
6.3 Nachweise 18
6.4 Bauanschlusslasten 21
7 Dübelverschiebungen 21
7.1 Allgemeines 21
7.2 Dübelverschiebungen im Versuch nach DIBt Leitfaden 2010 21
7.3 Einflussgrößen auf Dübelverschiebungen 24
7.4 Wirklichkeitsnahe Verschiebungen 28
7.5 Rückwirkungen auf die Anlagenteile 30
7.6 Zusammenfassende Erkenntnisse 31
8 Bemessungs- und Sicherheitskonzept 32
8.1 Allgemeines 32
8.2 Teilsicherheitskonzept 32
8.3 Einwirkungen auf den Dübel 33
8.4 Bemessung Grenzzustand der Tragfähigkeit 36
8.5 Bemessung Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 39
8.6 Weitere Nachweise 40
9 Ermüdung 40
10 Korrosion 41
11 Qualitätssicherung 42
11.1 Allgemeines 42
11.2 Montage, Kontrolle, QS-Schulung 42
11.3 Wiederkehrende Prüfungen (WKP) 43
12 Brandschutz 43
13 Fazit 44
14 Literatur 45

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Die Feststellung nicht spezifikationsgemäß gesetzter Dübel und die folgenden Weiterleitungsnachrichten WLN 2006/06 und WLN 2006/06a der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit GRS haben zu einer intensiven Befassung durch Betreiber, Hersteller, Behörden und Gutachter mit Dübelverbindungen in kerntechnischen Anlagen geführt. Ziel dieses Berichtes ist es, die dabei gewonnenen Erkenntnisse zu sammeln, systematisch aufzuarbeiten und so einen aktualisierten Sachstand darzustellen. Wesentlich ist dabei die Abgrenzung sicherheitstechnisch wichtiger Dübelverbindungen nach Abschnitt 3 von sicherheitstechnisch nicht wichtigen Dübelverbindungen, an die keine über den allgemeinen Hochbau hinausgehenden Anforderungen gestellt werden.

1.2 Hintergründe

In der Folge der Weiterleitungsnachrichten WLN 2006/06 und WLN 2006/06a der GRS wurden Dübelverbindungen in Kernkraftwerken Gegenstand zahlreicher Untersuchungen zu diversen Fragestellungen. Dabei wurden bekannte Sachverhalte hinsichtlich des Stands von Wissenschaft und Technik überprüft und zahlreiche ergänzende Erkenntnisse gewonnen. In den meisten Fällen geschah dies zwar standortbezogen, die gewonnenen Erkenntnisse waren jedoch vielfach allgemeingültig. Darüber hinaus wurden Grundsatzpapiere neu geschaffen (wie die Stellungnahmen der Reaktorsicherheitskommission (RSK Sitzungen 426 und 427)) oder überarbeitet (wie der DIBt Leitfaden 2010 zu Dübelverbindungen in Kernkraftwerken oder die DIN 25449), die unter anderem diesem Bericht zu Grunde liegen.

Die erarbeiteten Informationen beleuchteten die Dübelverbindungen aus unterschiedlichen Blickwinkeln: Aus der Sicht des Bauprodukts, aus der Sicht der befestigten Komponente, aus sicherheitstechnischer Sicht, usw. Die Dübelverbindung stellt die Schnittstelle zwischen Anlagentechnik und Bautechnik dar. Diese Schnittstelle ist nicht nur ein mechanisch idealisierter Berührungspunkt von baustatischen und systemtechnischen Tragsystemen, sie stellt auch die jeweilige Nachweisgrenze der Anlagentechnik und der Bautechnik dar.

Es wurde deshalb vom KTA-Unterausschuss Anlagen- und Bautechnik die Notwendigkeit gesehen, die vorliegenden Informationen zu sammeln, systematisch aufzuarbeiten und den Sachstand zu Dübelverbindungen ganzheitlich darzustellen.

1.3 Inhalt und Vorgehen

Auch für den allgemeinen Hochbau werden an Dübelverbindungen nach ETAG 001 und den darauf beruhenden Produktzulassungen hohe Anforderungen an Produktauswahl und -qualifikation, Planung, Montage, Überwachung und Dokumentation gestellt. Dieser Bericht beschränkt sich auf diejenigen Dübelverbindungen in Kernkraftwerken, an die aus sicherheitstechnischer Sicht höhere Anforderungen gestellt werden. Diese werden im Folgenden als „sicherheitstechnisch wichtig“ bezeichnet (siehe Abschnitt 3).

Nach der Abgrenzung der sicherheitstechnisch wichtigen Dübelverbindungen von den nicht sicherheitstechnisch wichtigen Dübelverbindungen und einer allgemeinen Beschreibung von Dübelverbindungen wird die Schnittstelle Bautechnik-Anlagentechnik betrachtet, die unmittelbar zur Behandlung von Dübelverschiebungen führt. Der Darstellung des Bemessungskonzepts folgen Informationen zur Ermüdungsrelevanz der Einwirkungen auf die Dübel. Mit den Abschnitten zur Korrosion, zur Qualitätssicherung und zum Brandschutz schließt der Bericht ab.

Der vorliegende Bericht entstand in einem Zeitraum, der durch einen Übergang von den bisher bauaufsichtlich eingeführten technischen Baubestimmungen zu den entsprechenden europäischen Normen gekennzeichnet ist. Technisch wird dadurch der dargestellte Sachstand nicht wesentlich verändert, weil die Sicherheits- und Nachweiskonzepte der bisherigen nationalen Normen bereits den erwarteten europäischen Normen angepasst wurden.

Die grundsätzlichen Aussagen in diesem Sachstandsbericht sind allgemeingültig. Die Aussagen zum Trag- und Verformungsverhalten orientieren sich aber an Dübeln, die – gemessen am jetzigen Kenntnisstand – spezifikationsgemäß gesetzt wurden. Die in Abschnitt 1.1 genannten und in den Weiterleitungsnachrichten WLN 2006/06 und WLN 2006/06a der GRS behandelten, nicht spezifikationsgemäß gesetzten Dübel sowie noch nicht abgeschlossene Forschungs- und Normungsvorhaben (z. B. EN 1992-4 (E)) zum Dübelverhalten bei seismischer Anregung sind nicht Gegenstand dieses Berichts.

2 Begriffe und Formelzeichen

2.1 Begriffe

Anlagenteile

Anlagenteile sind elektro- und maschinentechnische Einrichtungen, die die Nutzung der kerntechnischen Anlage ermöglichen.

Hinweise:

(1) Unter maschinentechnischen Anlagenteilen werden Komponenten, wie z. B. Behälter, Wärmetauscher, Pumpen, Armaturen, Hebezeuge und Rohrleitungen sowie deren Stützkonstruktionen verstanden, soweit sie nicht nach KTA 2201.3 als bauliche Anlagen behandelt werden. Nicht zu den Anlagenteilen zählen z. B. Liner, Kranbahnen, Bühnen und Gerüste.

(2) Unter elektrotechnischen Anlagenteilen werden zusammenfassend elektrotechnische Geräte einschließlich aller elektrischer Verbindungen und deren Tragkonstruktionen (z. B. Schränke, Gestelle, Kabeltragkonstruktionen, Konsolen, Auflagerungen, Aufhängungen) verstanden.

Bauliche Anlagen (Bauwerke)

Bauliche Anlagen (Bauwerke) sind mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten (Baustoffe, Bauteile) hergestellte Anlagen.

Hinweis:

Unter baulichen Anlagen einschließlich der dazugehörigen Gründungen werden Bauwerke und Bauteile aus Stahlbeton, Spannbeton, Stahl, Stahlverbundbauweise und Mauerwerk verstanden. Hierzu gehören unter anderem auch Reaktorsicherheitsbehälter, Kranbahnen, Bühnen, Befestigungskonstruktionen und Kanalbauwerke.

Bauteil

Der Begriff „Bauteil“ ist in der Bautechnik wie folgt definiert: Ein Bauteil ist in der Bautechnik ein Teil einer baulichen Anlage (eines Bauwerks).

Der Begriff „Bauteil“ ist für die Anlagentechnik wie folgt definiert: Ein Bauteil ist in der Anlagentechnik der aus Erzeugnisformen hergestellte kleinste Teil einer Baugruppe.

Beanspruchung

Folge der gleichzeitig zu betrachtenden Einwirkungen bzw. einer Einwirkungskombination auf das Tragwerk oder seine Teile oder an einem betrachteten Ort (Querschnitt) des Tragwerks.

Dauerhaftigkeit

Fähigkeit von baulichen Anlagen, die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit während der gesamten Nutzungsdauer sicherzustellen.

Dübel, Dübelverbindungen

Dübel im Sinne dieses Berichtes sind mittels Bohrmontage in bestehende Betonkonstruktionen eingebaute Befestigungselemente. Dübelverbindungen bestehen aus Anbauteilen (z. B. Dübelplatte) und Dübeln.

Einwirkungen

Einwirkungen im Sinne dieses Berichtes sind mechanische Einwirkungen auf bauliche Anlagen und Anlagenteile. Diese sind Kraft- und Verformungsgrößen und können ständig vorhanden (z. B. Eigenlasten), veränderlich (z. B. Nutzlasten, Verkehrslasten, Wind) oder außergewöhnlich (z. B. infolge Hochwasser, Erdbeben, Brandfall, Leck oder Bruch) sein.

Hinweis:

Unter veränderlich ist sowohl die zeitliche als auch örtliche Veränderung zu verstehen.

Einwirkungen von außen (EVA)

EVA sind außergewöhnliche naturbedingte (z. B. Hochwasser, Erdbeben) oder zivilisationsbedingte (z. B. Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwelle) Einwirkungen von außen der Sicherheitsebenen 3 und 4a.

Einwirkungen von innen (EVI)

EVI sind außergewöhnliche Einwirkungen (z. B. Differenzdrücke, Strahl- und Reaktionskräfte) resultierend aus anlageninternen Ereignissen (z. B. anlageninterne Überflutung infolge Bruch/Leck druckführender Komponenten, Lastabsturz) der Sicherheitsebene 3.

Einwirkungen, außergewöhnliche

Außergewöhnliche Einwirkungen im Sinne dieses Sachstandsberichtes sind die EVA-Lastfälle Bemessungserdbeben, Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwellen und EVI-Lastfälle (z. B. Differenzdruck, Strahl- und Reaktionskräfte, Anpralllasten, erhöhte Temperatur).

Funktionsfähigkeit

Die Definition ist auf Anlagenteile bezogen. Für bauliche Anlagen ist der adäquate Begriff „Gebrauchstauglichkeit".

Die Funktionsfähigkeit ist die Fähigkeit eines Systems oder einer Komponente, über die Tragfähigkeit und Integrität hinaus die vorgesehenen Aufgaben durch entsprechende mechanische oder elektrische Funktion zu erfüllen.

Es ist zu unterscheiden zwischen aktiver und passiver Funktionsfähigkeit.

Die aktive Funktionsfähigkeit der Komponente stellt sicher, dass die spezifizierten Bewegungen (relative Bewegungen zwischen Teilen) ausgeführt werden können (Schließen von Spielen, Entstehung oder Änderungen von Reibkräften) sowie die elektrischen Funktionen gewährleistet sind.

Die passive Funktionsfähigkeit der Komponente bedeutet, dass zulässige Verformungen und Bewegungen nicht überschritten werden.

Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist die Fähigkeit von baulichen Anlagen, unter den zugrunde gelegten Einwirkungen die planmäßige Nutzung zu ermöglichen.

Hinweis:

Die Definition ist auf bauliche Anlagen bezogen. Für Anlagenteile ist der adäquate Begriff „Integrität" oder „Funktionsfähigkeit".

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG):

Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind.

Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT):

Die Definition ist auf bauliche Anlagen bezogen. Zustand des Tragwerkes, dessen Überschreitung zu einem rechnerischen Versagen führt (Verlust des Gleichgewichts, Bruchversagen, Stabilitätsversagen, Materialermüdung).

Integrität

Integrität ist die Fähigkeit eines Anlagenteils, über die Tragfähigkeit hinaus den Anforderungen nach Dichtheit oder Verformungsbeschränkungen zu genügen.

Hinweis:

Die Definition ist auf Anlagenteile bezogen. Für bauliche Anlagen ist der adäquate Begriff „Gebrauchstauglichkeit".

Klassifizierung nach KTA 2201.1

Klasse I

Anlagenteile und bauliche Anlagen, die zur Erreichung der Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente, Einschluss der radioaktiven Stoffe) und zur Begrenzung der Strahlenexposition erforderlich sind.

Klasse IIa

Anlagenteile und bauliche Anlagen, die nicht zur Klasse I gehören, die aber durch bei einem Erdbeben an ihnen möglicherweise entstehenden Schäden und deren Folgewirkungen Anlagenteile oder bauliche Anlagen der Klasse I in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beeinträchtigen können.

Klasse IIb

Alle sonstigen Anlagenteile und baulichen Anlagen.

Primärspannung (primäre Spannung)

Eine Primärspannung ist eine Normal- oder Schubspannung, welche durch eine aufgeprägte Belastung erzeugt wird und zur Erfüllung der Gleichgewichtsbedingungen für Kräfte und Momente benötigt wird. Hinsichtlich des Festigkeitsverhaltens ist ihr wesentliches Merkmal, dass nach Beginn der Plastifizierung des Querschnitts bei einer Steigerung der äußeren Lasten die Verformungen zunächst überproportional zunehmen. Nach einer weiteren unzulässigen großen Steigerung der äußeren Lasten treten Verformungen auf, die sich nicht mehr selbst begrenzen.

Sekundärspannung (sekundäre Spannung)

Eine Sekundärspannung (Q) ist eine Spannung, die bei mechanischer oder thermischer Belastung infolge

a) geometrischer Unstetigkeiten,

b) unterschiedlicher elastischer Konstanten (z. B. Elastizitätsmodulen) sowie

c) unterschiedlicher Wärmedehnungen

entsteht. Die grundlegende Eigenschaft einer Sekundärspannung ist, dass sie sich selbst begrenzt. Örtliches Plastifizieren und geringe Formänderungen können die Folge eines Auftretens dieser Spannung sein. Ein Versagen infolge einer einmaligen Lastaufbringung ist nicht zu erwarten. Für die linearelastische Analyse werden nur Spannungen aus dem linearisierten Verlauf der Spannungsverteilung zu den Sekundärspannungen gezählt.

H i n w e i s :

Beispiele: Allgemeine Temperaturspannungen; Biegespannung an einer allgemeinen Struktur-Diskontinuität.

Sicherheitsebenen (nach Anlage 2 der 386. RSK Sitzung vom 08.09.2005)

Sicherheitsebenen sind Bestandteil des gestaffelten Sicherheitskonzeptes und gewährleisten zusammen mit dem Barrierenkonzept die Erfüllung der Schutzziele. Die Sicherheitsebenen umfassen gestaffelte Maßnahmen und Einrichtungen, die im Falle einer Anlagenstörung oder menschlicher Fehler wirksam werden. Sollten die einer Sicherheitsebene zugeordneten Maßnahmen oder Einrichtungen versagen, so werden die der nächsten Sicherheitsebenen zugeordneten Maßnahmen wirksam.

Die Sicherheitsebene 1 umfasst den Normalbetrieb. Ziel der dieser Sicherheitsebene zugeordneten Maßnahmen und Einrichtungen ist es, Störungen und Störfälle zu vermeiden und den ungestörten Betrieb der Anlage sicherzustellen.

Die Sicherheitsebene 2 umfasst den anomalen Betrieb. Zweck der dieser Ebene zugeordneten Maßnahmen und Einrichtungen ist es, das Eintreten von Störfällen zu verhindern und die Anlage bei aufgetretenen Störungen in den ungestörten Betrieb zurückzuführen.

Die Sicherheitsebene 3 umfasst die Störfälle. Die Maßnahmen und Einrichtungen dieser Sicherheitsebene dienen der Störfallbeherrschung.

Die Sicherheitsebene 4 unterteilt sich in die Sicherheitsebenen 4a, 4b und 4c. Der Sicherheitsebene 4a sind die sehr seltenen Ereignisse und die Maßnahmen und Einrichtungen zu deren Beherrschung zugeordnet. Bei Ereignissen der Sicherheitsebene 4b handelt es sich um Mehrfachversagen von Si-

cherheitseinrichtungen. Hier gilt es mittels präventiver Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes schwere Brennelementschäden zu vermeiden. Auf der Sicherheitsebene 4c sollen mitigative Notfallschutzmaßnahmen bei Unfällen mit schweren Brennelementschäden die Integrität des Sicherheitsbehälters so lange wie möglich erhalten.

Die den einzelnen Sicherheitsebenen zugeordneten Ereignisse sind in Regelwerken beschrieben.

Spannungsindexverfahren

Im Rahmen der Analyse des mechanischen Verhaltens erfolgt die Spannungsanalyse von Rohrleitungsbauteilen im Allgemeinen nach dem Spannungs-Index-Verfahren. Hierbei wird die am ungestörten Rohr ermittelte Spannung aus Innendruck- und Momentenbelastung mit den für die jeweiligen Bauteile in den Regelwerken (KTA, ASME, RCCM) ausgewiesenen Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen, T- Stücke, Reduzierungen oder sonstige Störstellen multipliziert.

Tragfähigkeit (Standsicherheit)

Tragfähigkeit ist die Fähigkeit von baulichen Anlagen und Anlagenteilen, den zugrunde gelegten Einwirkungen durch Festigkeit, Stabilität und Lagesicherheit standzuhalten.

Verschiebungen

Bei Verschiebungen ist zwischen Verschiebungen des Einzeldübels und den Verschiebungen der gesamten Dübelverbindung zu unterscheiden (siehe Abschnitt 7).

Verwendbarkeitsnachweis

Die Anforderungen an Bauprodukte für die Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen sind allgemein in § 17 der Musterbauordnung (MBO) bzw. den entsprechenden Paragraphen der jeweils konkret anzuwendenden Landesbauordnung formuliert. Die Bauprodukte dürfen nur verwendet werden, wenn sie für den Verwendungszweck den dort formulierten nationalen und/oder europäischen Regelungen entsprechen und sie entsprechend gekennzeichnet sind (Ü- und/oder CE-Zeichen).

Bei wesentlichen Abweichungen von den Regeln oder bei Bauprodukten, für die es keine Regeln gibt (nicht geregelte Bauprodukte), sieht das Baurecht bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise in Form von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ), allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen (abP) oder die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) vor. AbZ werden vom DIBt, abP von hierfür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstellen und die ZiE von der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslandes erteilt. Bauprodukte, die anstelle einer abZ nur eines abP bedürfen, sind in der Bauregelliste A benannt.

Nicht geregelte Bauprodukte mit bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen erfüllen die bauordnungsrechtlichen Anforderungen in gleicher Weise wie geregelte Bauprodukte und können somit aus bauaufsichtlicher Sicht in gleicher Weise wie geregelte Produkte verwendet werden.

Die Verwendbarkeit von Dübeln für außergewöhnliche Einwirkungen in Kernkraftwerken wird bisher ausschließlich über abZ oder ZiE einschließlich der dort in Bezug genommenen Dokumente nachgewiesen.

Widerstand oder Beanspruchbarkeit

Widerstand oder Beanspruchbarkeit ist die mechanische Eigenschaft der Tragkonstruktionen, des Bauteils oder des Bauteilquerschnitts, bestimmten Beanspruchungen zu widerstehen

2.2 Formelzeichen

Die in den Bemessungsverfahren häufig verwendeten Formelzeichen sind nachfolgend erläutert. Weitere Begriffe sind im Text erklärt.

2.2.1 Indizes

c	=	Beton
cp	=	Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite
d	=	Bemessungswert
k	=	charakteristischer Wert
M	=	Werkstoff
p	=	Herausziehen
R	=	Widerstand
s	=	Stahl
S	=	Einwirkung
sp	=	Spalten
u	=	Höchstwert
y	=	Streckgrenze

2.2.2 Einwirkungen und Widerstände

F	=	Kraft Im Allgemeinen (resultierende Kraft)
F_{Rd} (N_{Rd}; V_{Rd})	=	Bemessungswert des Widerstandes
F_{Rk} (N_{Rk};V_{Rk})	=	charakteristischer Wert des Widerstandes eines Einzeldübels bzw. einer Dübelgruppe (Normalkraft, Querkraft)
F_{Sd} (N_{Sd}; V_{Sd}; M_{Sd}; $M_{T,Sd}$)	=	Bemessungswert der einwirkenden Kraft
F_{Sk} (N_{Sk}; V_{Sk}; M_{Sk}; $M_{T,Sk}$)	=	charakteristischer Wert der auf einen Einzeldübel bzw. auf die Dübelplatte einer Dübelgruppe einwirkenden Kraft (Normalkraft, Querkraft, Biegemoment, Torsionsmoment)
M	=	Biegemoment
N	=	Normalkraft (positiv: Zugkraft; negativ: Druckkraft)
N^g_{Sd} (V^g_{Sd})	=	Bemessungswert der Summe (resultierenden) der einwirkenden Zug(Quer-)Lasten auf die zugbeanspruchten (querbeanspruchten) Dübel einer Gruppe, berechnet nach 8.4
N^h_{Sd} (V^h_{Sd})	=	Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft (Querkraft) für den höchstbeanspruchten Dübel einer Dübelgruppe, berechnet nach 8.4
V	=	Querkraft

3 Sicherheitstechnische Bedeutung und allgemeine Anforderungen

Die sicherheitstechnische Bedeutung von Dübelverbindungen ergibt sich aus der sicherheitstechnischen Bedeutung der anzuschließenden Bau- und Anlagenteile.

Sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile von Kernkraftwerken im Sinne dieser Stellungnahme sind jene, 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.

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen sind solche, die der Befestigung sicherheitstechnisch wichtiger Bau- (z. B. Bühnen) und Anlagenteile (elektro- und maschinentechnische Komponenten) dienen. Hierzu zählen auch jene Dübelverbindungen, mit denen sicherheitstechnisch nicht wichtige Bau- und Anlagenteile befestigt sind, deren Versagen sicherheitstechnisch wichtige Bau- und Anlagenteile unzulässig beeinträchtigt.

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen in Kernkraftwerken sind hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit so auszulegen, dass sie in der Lage sind, die System- und Komponentenlasten aus dem bestimmungsgemäßen Betrieb sowie aus Einwirkungen von außen (EVA) und/oder innen (EVI) in die lastabtragende Baustruktur sicher einzuleiten. Im Rahmen der Auslegung ist zu prüfen, ob weitere Anforderungen an sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen (z. B. Feuerwiderstandsdauer, Berücksichtigung von Korrosionseinflüssen, Verschiebungsbegrenzungen) zu stellen sind.

An sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen werden im Hinblick auf den erforderlichen Lastabtrag bei EVA und EVI über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus gemäß ETAG 001 hinaus zusätzliche Anforderungen gestellt. Im DIBt Leitfaden 2010 sind hierfür ergänzende Kriterien u. a. zur Beurteilung der Verwendbarkeit der Dübel, zur Bemessung von Dübelverbindungen und zu Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Dübelmontage genannt. Grundsätzlich dürfen nur Dübel verwendet werden, deren Eignung für die Verankerung im ungerissenen und gerissenen Beton nachgewiesen ist. Dabei sind u. U. Rissbreiten zu berücksichtigen, bei denen Dübelprodukte einer besonderen Eignungsprüfung bedürfen. In der Regel ist dies bei EVA-Lastfällen, wie Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle der Fall. In den nach dem DIBt Leitfaden 2010 durchzuführenden Versuchen zur Eignungsprüfung für Dübel sind neben breiteren Rissen eine bestimmte Anzahl von Last- bzw. Rissöffnungswechseln zu berücksichtigen.

4 Dübelverbindungen

4.1 Dübeltypen

Der Dübel stellt ein nachträglich zu installierendes Verbindungsmittel dar, um Bau- und Anlagenteile an Betonstrukturen zu befestigen. Einzelne Dübelprodukte werden unabhängig von der allgemeinen Definition auch als Anker bezeichnet. Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen kommen Metall-Spreizdübel (**Bild 4-1**), Verbunddübel und Verbundspreizdübel (**Bild 4-2**) sowie Hinterschnitt-Dübel (**Bild 4-3**) in Betracht, sofern die Verwendbarkeit für kerntechnische Anlagen nachgewiesen ist.

Die Einleitung von Querkräften erfolgt bei allen Typen über Betonpressung. Druckkräfte auf eine Dübelverbindung werden direkt durch Druckkontakt der Dübelplatte auf den Beton übertragen.

Bei Metall-Spreizdübeln wird ein Teil des Dübels, die Spreizhülse, bzw. die Spreizsegmente durch Aufbringen des vorgeschriebenen Anzugsdrehmomentes gegen die Bohrlochwand gepresst, wodurch die Zugkräfte über Reibschluss aufgenommen werden.

Bei Verbunddübeln erfolgt die Lasteinleitung in den Beton über Stoffschluss. Hierbei werden Gewindestangen oder Innengewindehülsen mit Verbundmasse nachträglich in ein Bohrloch montiert. Äußere Zuglasten werden zwischen der Verbundmasse (Zwei-Komponenten-Mörtel) und der Bohrlochwand in das Beton-Bauteil eingeleitet. Beim Verbundspreizdübel erfolgt die Lasteinleitung über Stoffschluss und zusätzlich durch Reibung infolge Spreizwirkung. Man unterscheidet dabei Patronensysteme und Injektionssysteme. Beim Einsatz im Bereich ionisierender Strahlung muss die Eignung des Materials beachtet werden.

Bei Hinterschnittdübeln erfolgt die Verankerung durch Formschluss, der durch eine Hinterschneidung (Aufweitung des Bohrloches im Verankerungsgrund) im Beton erfolgt.

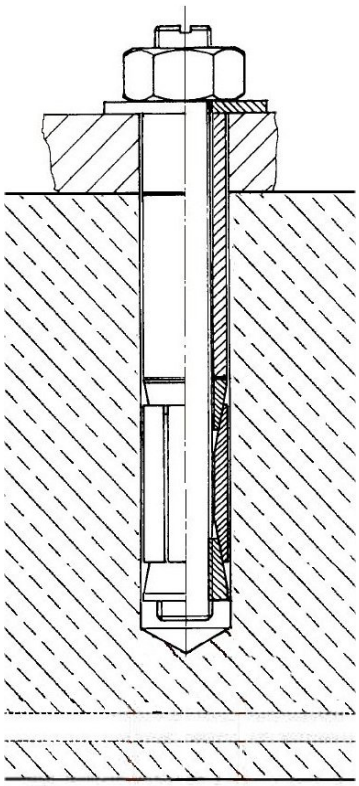

Bild 4-1: Beispiel Metall-Spreizdübel

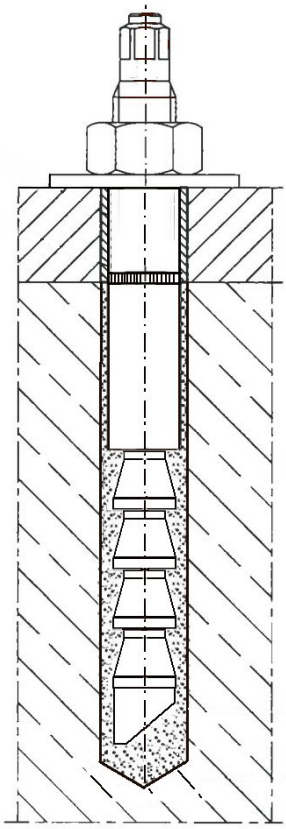

Bild 4-2: Beispiel Verbund-spreizdübel

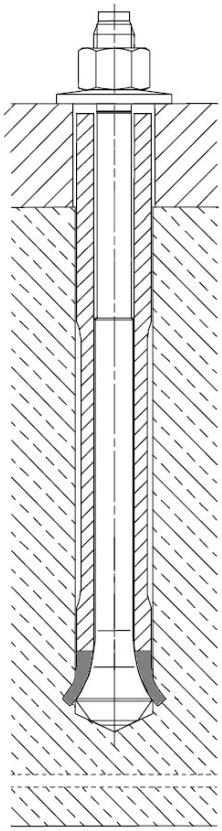

Bild 4-3: Beispiel Hinter-schnittdübel

4.2 Dübelqualifikation

4.2.1 Allgemeines

Dübel sind baurechtlich „nicht geregelte Bauprodukte“ und erfordern daher einen besonderen Verwendbarkeitsnachweis. Für Dübelverbindungen sicherheitstechnisch wichtiger Bau- und Anlagenteile werden nur Dübeltypen verwendet, welche auch für außergewöhnliche Einwirkungen im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) der obersten Bauaufsichtsbehörde qualifiziert sind. Verfahrensabhängig sind auch Nachbewertungen im atomrechtlichen Verfahren möglich.

Zulassungen oder ZiE enthalten Angaben hinsichtlich der Herstellung und der Montage der Dübel sowie charakteristische Kennwerte für die Bemessung. Sie basieren aktuell auf den in der ETAG 001 genannten Kriterien und decken die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus mit den dort zu berücksichtigenden ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen ab.

In Kernkraftwerken werden an sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen über den allgemeinen Hochbau hinausgehende Anforderungen gestellt, deren Erfüllung auf Grundlage der Kriterien gemäß ETAG 001 nicht gewährleistet wird. Diese Anforderungen betreffen insbesondere die nachzuweisenden außergewöhnlichen Bemessungssituationen und die Bemessungssituationen mit dem nach KTA 2201.1 anzusetzenden Bemessungserdbeben.

4.2.2 Anforderungen und Anwendungsgrenzen

Die Anforderungen an Dübelverbindungen in Kernkraftwerken sind in Abschnitt 2 des DIBt Leitfadens 2010 zusammengestellt. Der Anwendungsbereich von Dübelverbindungen mit abZ auf Grundlage des DIBt Leitfadens wird in der jeweiligen abZ direkt oder durch Verweis auf den zu Grunde liegenden Leitfaden (ggf. im Zusammenwirken mit einer ETA) definiert. Verbindliche Angaben zum Dübelprodukt

sind der abZ und den darin bezogenen Dokumenten zu entnehmen. Die Verwendbarkeitsnachweise für die Dübel müssen zum Zeitpunkt der Verwendung gültig sein.

Im Abschnitt 2.2 des DIBt Leitfadens 2010 werden den Anforderungskategorien A1 bis A3 nach DIN 25449 die jeweils zu erfüllenden Anforderungen des Leitfadens zugeordnet. Darüber hinaus werden Obergrenzen für die Anzahl der Schwingspiele (vollständige Lastzyklen) vorwiegend ruhender Beanspruchungen bei Zugbeanspruchung ($< 10^4$) und bei Querbeanspruchung ($< 10^2$) definiert. In diesem Sachstandsbericht werden nur sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen für vorwiegend ruhende Beanspruchungen behandelt. Abgesehen von wenigen Ausnahmen (z. B. Kranbahnen) können die Einwirkungen aus den Anlagenteilen für Dübelverbindungen als vorwiegend ruhend betrachtet werden (siehe auch Abschnitt 9 dieses Sachstandsberichts).

Die Abschnitte 2.3 bis 2.9 des DIBt Leitfadens 2010 enthalten Hinweise zu den Themen Rissbreiten, Verformungen/Verschiebungsverhalten, Mindestverankerungstiefe, Korrosionsschutz, Brandschutz, Strahlenschutz und zur Montagekontrolle. Für die Einzelheiten wird auf den DIBt Leitfaden verwiesen. In den entsprechenden Abschnitten dieses Sachstandsberichtes werden die Themen weiter vertieft.

Die Regelungen in abZ oder ZiE auf Grundlage des DIBt Leitfadens 2010 gelten für abdeckende oder konkret nachgewiesene Werte der charakteristischen Rissbreite. Sie gelten selbstverständlich nicht für Befestigungen in kritischen Bauwerksbereichen, in denen unter außergewöhnlichen Einwirkungen Abplatzungen des Betons oder sehr breite Risse entstehen können, z. B. im Bereich von plastischen Gelenken von Betonbauwerken und im unmittelbaren Aufprallbereich bei einem Flugzeugabsturz. Dübelverbindungen in solchen Bauwerksbereichen sind als nicht tragfähig anzusehen. Im Leitfaden wird darauf explizit hingewiesen.

Der DIBt Leitfaden 2010 gilt für neue Dübelverbindungen in Normalbeton der Festigkeitsklasse B 25 bis B 55 nach DIN 1045:1988-07 bzw. C20/25 bis C50/60 nach DIN 1045-1:2008-08 und Temperaturen im Verankerungsgrund, die längerfristig 100°C nicht überschreiten.

Im DIBt Leitfaden in der Fassung von 1998 wurden ausdrücklich „Dübelsysteme mit ausreichender mechanischer Verzahnung (z.B. Hinterschnittdübel)“ gefordert. In der Fassung 2010 des Leitfadens wurde diese Einschränkung durch folgenden Hinweis ersetzt: „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.“

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

4.2.3 Nachweisverfahren und Beurteilung der Brauchbarkeit

Abschnitt 3 des DIBt Leitfadens 2010 enthält grundlegende Anforderungen an die Prüfkonzepte im Rahmen von Zulassungsverfahren.

Ein wesentlicher Parameter ist die in den Versuchen einzustellende Rissbreite. Dabei ist eine Rissbreite w_1 als abdeckende charakteristische Rissbreite w_k für die Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten und für die Ermittlung der Verschiebungen sowie eine Rissbreite w_2 ($w_2 = 1{,}5 \cdot w_1$) für die Überprüfung der Eignung der Dübel festzulegen. Es gibt die Möglichkeit, mit $w_1 = 1{,}0$ mm und $w_2 = 1{,}5$ mm Werte zu wählen, die die zu erfassenden Extremfälle berücksichtigen, 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 entsprechend Nachweiskonzept nach DIN EN 1992 mit nationalem Anhang für die Bemessungswerte der auftretenden Beanspruchungen geführt wird, können auch diese bei den Prüfungen zugrunde gelegt werden. Die gegenwärtig vorliegenden abZ auf der Basis des DIBt Leitfadens 2010 gelten für $w_1 = 1{,}0$ mm und $w_2 = 1{,}5$ mm.

Im Abschnitt 3.3 des DIBt Leitfadens 2010 werden nach grundlegenden Festlegungen zur Versuchsdurchführung die Eignungsprüfungen sowie die Prüfungen zur Ableitung der charakteristischen Tragfähigkeiten beschrieben. Hier haben sich gegenüber den Festlegungen im Leitfaden 1998 nur geringfügige Anpassungen ergeben. Für die Regelungen im Detail sei auf den aktuellen Leitfaden verwiesen.

Neu hingegen sind die Prüfungen zur Ermittlung der Verschiebungen im Abschnitt 3.4 des DIBt Leitfadens 2010. Nach Abschnitt 5.3.3.7 der Ausgabe 1998 galt: „Die bei den Versuchen nach den Abschnitten 5.3.2.1 b) und 5.3.2.1 c) nach Lastwechseln bzw. nach Rissöffnungen unter der Last $N_{Rk,c} / \gamma_{M,c}$ auftretenden Verschiebungen sind bei der Auslegung der zu befestigenden Anlagenteile zu be-

rücksichtigen. Es ist nachzuweisen, dass die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der sicherheitstechnisch relevanten Anlagenteile auch bei ungünstigster Dübelverschiebung gewährleistet ist.“ In den Zulassungen wurden somit die ungünstigsten Werte angegeben, die sich bei den Eignungsversuchen mit 15 Lastwechseln und mit 10 Rissöffnungswechseln bei einer Rissbreite $w_2 = 1{,}5 \cdot w_1$ (s. o.) ergaben. Diese unter ungünstigen Randbedingungen ermittelten Werte führten in produktspezifischen Zulassungen zur Angabe unrealistisch großer Dübelverschiebungen.

Bei der Überarbeitung des DIBt Leitfadens 1998 herrschte unter den beteiligten Fachleuten Konsens, dass – ohne Abstriche an der Sicherheit - Randbedingungen für Versuche definiert werden können, die die Angabe realistischerer Verschiebungen gestatten. Die Anpassungen betreffen insbesondere die im Versuch einzustellenden Rissbreiten und die Anzahl der Last- bzw. Rissöffnungswechsel. Darüber hinaus darf auch mit höheren Betonfestigkeiten geprüft werden, wenn diese für den jeweiligen Standort nachgewiesen sind.

Die zusätzlichen Prüfungen zur Bestimmung realitätsnäherer Dübelverschiebungen sind mit der charakteristischen Rissbreite w_k (oder mit dem abdeckenden Wert $w_1 = 1{,}0$ mm) durchzuführen. Die in den Eignungsprüfungen zum Nachweis der Robustheit vorgenommene Erhöhung der Rissbreiten um 50 % ($w_2 = 1{,}5 \cdot w_1$) ist bei den Prüfungen zur Bestimmung der Dübelverschiebungen nicht notwendig. Die Prüfungen sind mit 10 Lastwechseln oder 5 Rissöffnungswechseln durchzuführen. Diese Werte werden für die Beanspruchungen der Anforderungskategorie A3 einheitlich für alle Standorte als „einhüllend“ angenommen.

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 Einzeldübels für die Prüflast N_p bzw. N_{max} anzunehmen. Die Anzahl der Prüfungen und die einzuhaltenden Streuungen sind im Leitfaden festgeschrieben.

Die in der Realität zu erwartenden Verschiebungen werden von einer Reihe weiterer Faktoren beeinflusst, die im gesamten Nachweis zutreffend oder auf der sicheren Seite liegend berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 7 dieses Berichts). In der Formulierung des DIBt Leitfadens 2010 geben die Versuchsergebnisse „konservativ eine Größenordnung für das Verformungsverhalten von Einzeldübeln unter vereinfachten Randbedingungen wieder“.

Die Verschiebungen der Bauanschlüsse sind so zu begrenzen, dass die Auswirkungen auf das Tragverhalten und die Integrität der angeschlossenen Komponenten vernachlässigt werden und bei den Nachweisen der Komponenten und ihrer Halterungskonstruktionen deshalb unberücksichtigt bleiben können (im Berechnungsmodell Annahme eines starren Bauanschlusses). Im Ergebnis der Diskussion um einen geeigneten Grenzwert zur Begrenzung der Verschiebungen am Einzeldübel wird im Abschnitt „Erläuterungen zu Dübelverschiebungen“ der Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 426. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 20.05.2010 ein Wert von etwa 3 mm genannt (sofern nicht im Einzelfall höhere Forderungen zu stellen sind). Der DIBt Leitfaden 2010 formuliert hierzu in Abschnitt 2.4: „Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen sollte für die Annahme einer starren Verankerung die Verformung in allen Richtungen am Einzeldübel 3 mm nicht überschreiten.“ Das Thema Dübelverschiebungen wird in Abschnitt 7 dieses Sachstandsberichtes weiter vertieft.

4.3 Dübelplatten

Metalldübel können als Befestigungselement einzeln oder in Gruppen angeordnet werden. Bei der üblichen Verwendung in Gruppen werden Anlagenteile an Stahlplatten, den Dübelplatten, angeschlossen (geschraubt oder verschweißt). Die Dübelplatten werden üblicherweise mit 2 oder 4 Dübeln an der Betonstruktur befestigt.

Die Abmessungen der Dübelplatten resultieren aus Anforderungen an die erforderlichen Dübelachsabstände (in den Zulassungen der Dübel geregelt), unter Berücksichtigung von Toleranzfeldern zur Vermeidung von Bewehrungszerstörung beim Bohren und aus der Anschlussgeometrie des anzuschließenden Anlagenteils. Die Abstände von Durchgangsbohrungen zu den Plattenrändern folgen aus den Konstruktionsregeln des Stahlbaus. Die Dicke der Dübelplatte resultiert aus Anforderungen, die für verschiedene Dübelgrößen und Dübelprodukte in den Zulassungen der Dübel geregelt sind und aus dem statischen Nachweis für die Platte.

Dübelplatten bestehen aus rostfreiem oder nicht rostfreiem Stahl. Korrosionseinflüsse in Zusammenhang mit den verwendeten Dübeln sind zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 10). Der Werkstoff der Dübelplatten muss für einen geschweißten Anschluss der Anlagenteile schweißgeeignet sein. Im Hin-

blick auf Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißeignungsverfahren muss der Werkstoff der Dübelplatte und der ggf. erforderlichen Aussteifungskonstruktionen neben den baurechtlichen Anforderungen auch den Anforderungen der Anlagentechnik genügen. Die Anforderungen der Anlagentechnik sind in den gültigen Spezifikationen des jeweiligen Kernkraftwerks geregelt.

Außer mit Dübelplatten können Anlagenteile auch direkt mit Dübeln befestigt werden, wie z. B. Schaltschränke, Messumformer, Kabeltragkonstruktionen oder auch Profile einer Stahlkonstruktion. Hierbei sind die Randbedingungen der Dübeltypen und Dübelgrößen gemäß den Zulassungen zu berücksichtigen.

5 Einwirkungen

5.1 Anforderungskategorien

Entsprechend Sachstandsbericht KTA-GS-78 und DIN 25449 werden drei Anforderungskategorien unterschieden, denen Kombinationen von Einwirkungen mit unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden.

Die Anforderungskategorie A1 umfasst Kombinationen von Einwirkungen, die im Sinne von DIN EN 1990 zu den ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen gehören. 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 betreffenden Vorgaben des DIBt Leitfadens zu berücksichtigen.

EVA-/EVI-Ereignisse		Daraus sich ergebende Einwirkungen
Einwirkungen von innen	Lecks und Brüche druckführender Komponenten	Strahlkräfte, Differenzdrücke, Auflager- und Festhaltekräfte, schlagende Rohrleitungen, Trümmerlasten, Temperatur, Wassersäule (statisch)
	Störungen bei der Handhabung von Lasten	Aufpralllast
	Anlageninterne Brände und Explosionen	Temperatur, Druckaufbau
	Anlageninterne Überflutung	Wassersäule (statisch)
naturbedingte Einwirkungen von außen	Erdbeben	Massenkräfte durch Eigengewicht der Bauwerke und der Einrichtungen (Komponenten), Trümmerlasten, Verschiebungen, Berstdruckwelle infolge Berstens von Behältern mit großem Energiegehalt, die nicht gegen Erdbeben ausgelegt sind
	Hochwasser	Wassersäule (statisch)
zivilisatorisch bedingte Einwirkungen von außen	Flugzeugabsturz	Direkte Einwirkungen auf die getroffene Fläche und induzierte Erschütterungen, sekundäre Einwirkungen aus Trümmerteilen, Temperatur aus Kerosinbrand
	Chemische Explosionen	Das gesamte Bauwerk betreffende Druckbelastung mit vorgegebenem zeitlichen Verlauf und induzierte Erschütterungen

Tabelle 5-1: Außergewöhnliche Einwirkungen (EVI/EVA)

Der Anforderungskategorie A2 zugeordnet sind Kombinationen mit außergewöhnlichen Einwirkungen in Anlehnung an DIN EN 1990, deren mehrfaches Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstel-

len ist. Bei diesen Kombinationen ist sicherzustellen, dass nach ihrem Auftreten die weitere Nutzungsfähigkeit der Dübelverbindung gegeben ist. 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 betreffenden Vorgaben des DIBt Leitfadens zu berücksichtigen.

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen müssen über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus gemäß ETAG 001 hinaus den sicherheitstechnisch erforderlichen Lastabtrag bei außergewöhnlichen Bemessungssituationen (EVI, EVA) und Bemessungssituationen mit Bemessungserdbeben nach KTA 2201.1 erfüllen. Kombinationen mit außergewöhnlichen Einwirkungen geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ($\leq 10^{-4}$ pro Jahr), deren einmaliges Auftreten während der Nutzungsdauer zu unterstellen ist, gehören zur Anforderungskategorie A3. In dieser Anforderungskategorie sind große Rissbildungen und bleibende Verformungen zugelassen, sofern sicherheitstechnische Belange dem nicht entgegenstehen.

Ergeben sich für Dübelverbindungen 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 Dübelverbindungen zusätzlich die betreffenden Anforderungen des DIBt Leitfadens erfüllen. Diese zusätzlichen Anforderungen bestehen im Regelfall nur für Einwirkungen von außen, nämlich Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle.

Zu den außergewöhnlichen Einwirkungen zählen die in der Kernkraftwerksauslegung zu berücksichtigenden Einwirkungen von innen (EVI) und Einwirkungen von außen (EVA), die in **Tabelle 5-1** zusammengestellt sind.

5.2 Sicherheitstechnische Anforderungen

Dübelverbindungen haben entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung den zu unterstellenden Einwirkungen mit ausreichender Zuverlässigkeit zu widerstehen. Sie haben entsprechend den an sie gestellten sicherheitstechnischen Anforderungen in einem tragfähigen und sofern notwendig gebrauchstauglichen Zustand zu verbleiben. Zur Erfüllung von sicherheitstechnischen Funktionen sind zusätzlich zum Erhalt der Tragfähigkeit ggf. erforderliche Verformungsbegrenzungen und Rissbreitenbeschränkungen einzuhalten. Weiterhin sind die zu berücksichtigenden Kombinationen von Einwirkungen mit den zugehörigen Bemessungswerten differenziert nach Anlagenbereichen, baulichen Anlagen und zugeordnet zu Anforderungskategorien festzulegen.

Nachfolgend werden die in Abschnitt 5.1 definierten Anforderungskategorien mit den Maßnahmen nach den einzelnen Sicherheitsebenen (siehe Grundlagen zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung für Kernkraftwerke vom Dezember 1996, Bekanntmachung am 18. August 1997, BAnz. 1997, Nr. 232a) verglichen.

Die Anforderungen gemäß Anforderungskategorie A1 (Sicherstellung voller Funktionsfähigkeit, wiederholter Belastungsfähigkeit und fortdauernder Wiederverwendbarkeit) entsprechen den Anforderungen an die Maßnahmen und Einrichtungen des Sicherheitskonzepts in Sicherheitsebene 1 (Normalbetrieb; Störungen vermeiden). Die Anforderungen gemäß Anforderungskategorie A2 (Erhalt der Standsicherheit und weiteren Funktionsfähigkeit) entsprechen Anforderungen an die Maßnahmen und Einrichtungen des Sicherheitskonzepts in Sicherheitsebene 2 (Anomaler Betrieb; Störungen beherrschen und Störfälle vermeiden). Die Anforderungen gemäß Anforderungskategorie A3 (Erhalt der Standsicherheit bei Zulässigkeit großer plastischer Verformungen) sind dazu geeignet, dass Anforderungen an die Maßnahmen und Einrichtungen des Sicherheitskonzepts in den Sicherheitsebenen 3 (Störfälle) und 4a (Sehr seltene Ereignisse) erfüllt werden.

Die Definition der Anforderungskategorien steht somit im Einklang mit der Definition der Sicherheitsebenen.

5.3 Einwirkungscharakteristik

Die charakteristischen Merkmale der Beanspruchungen von Dübelverbindungen unterscheiden sich hinsichtlich des die Einwirkung auslösenden Ereignisses. Einwirkungen infolge eines Erdbebens sind durch Beschleunigungszeitverläufe mit mehreren Zyklen gekennzeichnet. Diese können in den Stahlbetonbauteilen zu Rissbildung mit sich im Zeitverlauf öffnenden und schließenden Rissen sowie zu auf die Dübelverbindungen einwirkenden Lastzeitverläufen führen. Einwirkungen infolge Explosions-

druckwelle und Flugzeugabsturz bewirken im Vergleich dazu aufgrund der deutlich geringeren Einwirkungsdauern Zeitverläufe der Beschleunigungen, Rissbreiten und Dübellasten mit einem ausgeprägten Maximum zu Beginn und mit wachsender Zyklenzahl stetig sinkenden Amplituden.

Die Einwirkung eines Flugzeugabsturzes führt im unmittelbaren Aufprallbereich zu großen Stahldehnungen im plastischen Werkstoffbereich. Da in einer solchen Zone keine kontrollierte Rissbreitenbegrenzung möglich ist und damit keine definierte Tragfähigkeit von Dübelverbindungen sichergestellt werden kann, werden Dübel in hiervon möglicherweise betroffenen Bauteilbereichen als ausgefallen betrachtet.

6 Schnittstelle Bautechnik-Anlagentechnik, Nachweiskette

6.1 Allgemeines

Die Existenz eines atomrechtlichen und baurechtlichen Verfahrens und deren gegenseitige Abhängigkeit erfordern eine besondere Beachtung der Schnittstelle zwischen der Anlagentechnik und der Bautechnik. Die physikalische Schnittstelle zwischen den baulichen Anlagen und den Anlagenteilen - Komponenten, Rohrleitungshalterungen, Tragstrukturen der Elektro- und Leittechnik sowie Lüftungstechnik - bildet in der Regel die Dübelplatte, ansonsten die Bauteiloberfläche. Diese Thematik wird ausführlich in der RSK-Stellungnahme „Sicherheitstechnische Anforderungen an der Schnittstelle zwischen Anlagentechnik und Bautechnik in Kernkraftwerken (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 427. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 17.06.2010) behandelt. Der Nachweis der Anlagenteile einschließlich Schweißnaht hinsichtlich der Tragfähigkeit, Integrität und Funktionsfähigkeit endet an dieser Schnittstelle.

Die atomrechtliche Prüfung wirkt über die physikalische Schnittstelle hinaus in die Baustruktur hinein, da die erforderliche Schadensvorsorge auch unter Einbeziehung der baulichen Anlagen nachgewiesen sein muss. Die Anlagentechnik gibt zum Nachweis der Dübelverbindung die Bauanschlusslasten entsprechend der in **Tabelle 6-1** angegebenen Zuordnung an die Bautechnik weiter. Die Bauanschlusslasten treten einzeln oder in Kombination als Zug und/oder Querkräfte und Biege- sowie Torsionsmomente an der Dübelplatte auf. Üblicherweise werden diese Lasten als charakteristische Lasten (1,0-fache Lasten) angegeben. Sofern weitere sicherheitstechnische Anforderungen an die Verankerungskonstruktionen bestehen (z. B. an die erforderliche Feuerwiderstandsdauer) werden diese ebenfalls weitergegeben.

Benennung / Quelle	Einteilung			
Beanspruchungsstufen Anlagenbau / KTA 3201.2 KTA 3211.2	A	B	C	D
Lastfallkategorien / KTA 3205.1 KTA 3205.2	H	HZ	HS1	HS2/3
Bemessungssituationen / DIN EN 1990 DIN EN 1993	ständig und vorübergehend		außergewöhnlich	
Anforderungskategorien / DIN 25449	A1		A2	A3

Tabelle 6-1: Zuordnung der Anforderungskategorien

Der Nachweis der Lasteinleitung mittels der aus Dübeln und Dübelplatte bestehenden Verbindung sowie des Lastabtrages im Bauwerk wird von der Bautechnik auf Basis der bestätigten Bauanschlusslasten sowie der weiteren bestätigten sicherheitstechnischen Anforderungen geführt. Falls aus baustatischen Gründen zusätzliche Aussteifungskonstruktionen für die Dübelplatte erforderlich sind, fallen diese auch in den Bereich der Bautechnik. Sollten die Aussteifungskonstruktionen auch an der Halterungskonstruktion anschließen, wird dieser Sachverhalt der Anlagentechnik mitgeteilt und hinsichtlich Rückwirkung von der Anlagentechnik bewertet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Randbedingungen und die Einflussgrößen innerhalb der Nachweiskette zur Ermittlung der Beanspruchungen in den Anlagenteilen sowie der Einwirkungen an den Dübelplatten dargestellt.

6.2 Nachweiskette

Bei einer Einwirkung von außen wird eine ganze Kette von Strukturen zu gedämpften Schwingungen angeregt. Diese schwingungsfähigen Strukturen beeinflussen sich gegenseitig mehr oder weniger stark in ihrem Schwingungsverhalten (Wechselwirkung oder Rückkopplung). Eine realitätsnahe Berechnung eines Bauteils oder eines Anlagenteils ergibt sich, wenn das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems berechnet wird und dabei auch nichtlineare Effekte wie z. B. plastische Verformungen berücksichtigt werden. Da derartige Berechnungen auf Grund der Komplexität nicht in einem Gesamtsystem vom Baugrund über das Bauwerk, die Verankerungen, die nichtintegralen und integralen Tragstrukturen und beispielsweise das Rohrleitungssystem bis zu dessen Einbauten geführt werden können oder dies nicht praktikabel ist, wird im Allgemeinen das Gesamtsystem in handhabbare und den Nachweisverfahren zugängliche Teilsysteme oder Strukturen unterteilt. Die Nachweiskette ist beispielhaft in **Tabelle 6-2** dargestellt und bezieht sich auf Bild 3-1 der KTA 2201.4.

Teilstruktur	Anregung	Antwort
Baugrund + Bauwerk	Freifeldspektren (Primärspektrum), Freifeldzeitverläufe	Bauwerkantwortspektren (Sekundärspektren); Bauwerkantwortzeitverläufe Verschiebungen und Schnittlasten
Anlagenteil Hauptstruktur (z. B. Primärkreis, abgelöste Bauwerkstrukturen)	Bauwerk -Antwortspektren (Sekundärspektren), -Antwortzeitverläufe	Tertiär -Antwortspektren (Tertiärspektren) -Antwortzeitverläufe Verschiebungen und Schnittlasten
Anlagenteil Unterstruktur (z. B. Rohrleitung)	Anlagenteil Hauptstruktur -Antwortspektren (Tertiärspektren) -Antwortzeitverläufe	Einbauteil -Antwortspektren -Antwortzeitverläufe Verschiebungen und Schnittlasten
Für Einbauteile kann die Vorgehensweise wie bei „Anlagenteil Unterstruktur“ zur Anwendung kommen.		

Tabelle 6-2: Nachweiskette

Die Unterteilung erfolgt so, dass die Schwingungen der größeren Struktur (Spektren, Zeitverläufe) als Einwirkung auf die kleinere Struktur angesetzt und die Rückwirkung der kleineren auf die größere Struktur vernachlässigt wird. Bei dieser Vorgehensweise treten in zweifacher Hinsicht Konservativitäten auf:

- Die Entkoppelungsbedingungen werden so gewählt, dass die jeweilige Unterstruktur mit einhüllenden Randbedingungen an der Schnittstelle nachgewiesen wird. D. h. von den möglichen Varianten werden die jeweils abdeckenden Anforderungen kombiniert, auch wenn diese tatsächlich nicht gleichzeitig auftreten können.
- Durch die Vernachlässigung der unmittelbaren Rückwirkung für die Unterstrukturen wird die Dämpfung der Schwingungen der größeren Struktur nicht berücksichtigt und damit die Anregung der Unterstruktur überschätzt.

Als Grundlage für die rechnerischen Nachweise der Anlagenteile werden aus den Zeitverläufen der dynamischen Einwirkungen (z. B bei Erdbeben aus dem Freifeldspektrum generierten Zeitverläufen) die Bauwerkantwortspektren ermittelt. Für Großkomponenten, wie z. B. jene des Primärkreises, werden darüber hinaus gegebenenfalls Antwortspektren ebenfalls als Anregung für die angeschlossenen Rohrleitungssysteme erstellt. Die Bauwerkantwortspektren werden in der Regel unter Berücksichtigung von Boden-Bauwerk-Wechselwirkung und linear-elastischen Materialgesetzen ermittelt. Diese Spektren werden über einen Bereich der Baugrundsteifigkeit (G_{min} bis G_{max}) eingehüllt und zur Berücksichtigung von Streuungen verbreitert.

Über die verschiedenen Schritte der Lastermittlung im Nachweisverfahren ergeben sich durch Glättung und Verbreiterung abdeckende Spektren, die die Erregungsgrößen der Hauptstrukturen in weiten Frequenzbereichen überhöht wiedergeben. Eine weitere Vereinfachung besteht darin, dass in der Nachweiskette von der Ermittlung der Freifeld- bzw. Bauwerkantwortspektren bis zum Nachweis etwa einer Komponente/Armatur am Einbauort im Rohrleitungssystem im Allgemeinen linear-elastische Berechnungsverfahren angewendet werden, die einen „Energieverzehr“ und damit eine entsprechende Dämpfung der Schwingungen durch plastische Verformungen, Reibung etc. nur beschränkt in Form eines pauschalen Wertes berücksichtigen.

Die o. g. modelltechnischen Vereinfachungen führen zu abdeckenden Nachweisen. Dies zeigt sich auch durch Vergleichsrechnungen von Strukturen, die in Einzelfällen über eine Schnittstelle hinweg gekoppelt und nicht-linear modelliert werden, z. B. Berücksichtigung einer detaillierten Boden-Bauwerk-Wechselwirkung oder Reaktorgebäude-Primärkreis-Wechselwirkung.

Neben der Einwirkungsseite sind auch Reserven in den Nachweisen zur Beanspruchbarkeit („Widerstandsseite“) bei Anlagenteilen und Verankerungen gegeben. Diese Reserven ergeben sich z. B. aus den Beanspruchungsgrenzwerten, den angesetzten Sicherheitsbeiwerten und Nachweisverfahren, die komponentenspezifisch berücksichtigt werden.

Weiterhin bestätigen Erfahrungen aus Auswertungen von Erdbebenschäden in Kraftwerken oder sonstigen Industrieanlagen im Vergleich mit den hierfür auf der Basis des kerntechnischen Regelwerks durchgeführten rechnerischen Nachweisen, dass diese zu einer Überschätzung der real auftretenden Beanspruchungen und der daraus resultierenden Auswirkungen führen und damit die beschriebene Nachweiskette insgesamt konservativ ist.

Im Folgenden wird auf die verschiedenen Schritte des Nachweisverfahrens eingegangen, um die Vorgehensweise anschaulicher zu machen.

6.3 Nachweise

6.3.1 Rohrleitungen und andere Anlagenteile

Die Analyse des mechanischen Verhaltens von Rohrleitungssystemen und anderen Anlagenteilen erfolgt üblicherweise mit linear-elastischen Berechnungsverfahren. Die Detaillierung der Modellabbildung hängt dabei von der Struktur selbst und den Nachweiszielen ab.

Die Beanspruchungen infolge Einwirkungen von außen (EVA), z. B. Erdbeben, werden im Allgemeinen mit der Antwortspektrenmethode ermittelt, bei der linear-elastisches Schwingungsverhalten unter Berücksichtigung einer globalen, geschwindigkeitsproportionalen Dämpfung vorausgesetzt wird. Die Beschleunigungen können dabei mit unterschiedlichen Anregungen der Bauwerksanschlusspunkte berücksichtigt werden (Mehrfach-Etagenanregung). Die Verschiebungen und Beanspruchungen aus den einzelnen Eigenformen werden wegen der unbekannten Phasenlage statistisch überlagert.

Zum Nachweis der Integrität der Rohrleitungssysteme werden die Spannungen nach dem Spannungsindexverfahren ermittelt, bei dem es selbst mit konservativen Spannungserhöhungsfaktoren für Störstellen wie Abzweige, Bögen, Reduzierungen und Wanddickenübergängen bei rechnerisch zu hohen Spannungsausnutzungen tatsächlich in der Regel nur zu Dehnungen, die bei Werten deutlich < 1% liegen, kommt.

An Stelle der Antwortspektrenmethode kann die Berechnung der Erdbebenbeanspruchungen auch mit dem Zeitverlaufverfahren durchgeführt werden. Bei diesen Verfahren bleibt die Phasenlage erhalten. Die Berechnungen werden jedoch zur statistischen Absicherung mit mehreren zu den Antwortspektren kompatiblen Zeitverläufen durchgeführt.

Die Ermittlung der Beanspruchungen anderer anlagen- und lüftungstechnischer Komponenten erfolgt im Rahmen von Standsicherheits-, Integritäts- und Funktionsnachweisen unter Berücksichtigung der angeschlossenen Rohrleitungen und/oder Kanäle. Bei diesen Nachweisen werden die relevanten Steifigkeitseinflüsse, z. B. der Behälterschale oder auch der schwingungsisolierten Aufstellung, berücksichtigt.

Die Berücksichtigung des Einflusses der an Komponenten angeschlossenen Systeme auf die Verankerungskräfte (Bauanschlusslasten) erfolgt im Allgemeinen durch Schnittgrößen der entkoppelten Systeme. In Einzelfällen erfolgt die Ermittlung der Bauanschlusslasten auch durch eine gekoppelte Berechnung (siehe Abschnitt 6.2).

Die vorstehend beschriebene Vorgehensweise mit der Modellierung von entkoppelten Teilsystemen oder Strukturen wird in KTA 2201.4 sowie in KTA 3211.2, Abschnitt 7.6.2, explizit empfohlen. Die Festlegungen in KTA 3201.2 (und KTA 3211.2) gelten unter der Randbedingung, dass hinreichend duktile Werkstoffe eingesetzt und die beschriebenen konstruktiven Randbedingungen eingehalten werden. Entsprechend werden Beanspruchungen aus Rohrleitungsschwingungen infolge induzierter Erschütterungen aus Erdbeben bei Fußpunktanregung als primäre Spannungen charakterisiert und im Rahmen der Analyse des mechanischen Verhaltens nachgewiesen, während Beanspruchungen aus dynamischen Differenzverschiebungen infolge Erdbeben, z. B. an Gebäudeübergängen, den Charakter sekundärer Beanspruchungen haben und daher gemäß KTA 3201.2 (und KTA 3211.2) bei dieser Bewertung nicht berücksichtigt werden.

Komponenten wie z. B. Rohrleitungen und Pumpen werden im Allgemeinen nicht unmittelbar mit Dübeln am Bauwerk verankert. Die Lastweiterleitung erfolgt über Rohrleitungshalterungen und Komponentenstützkonstruktionen. Diese werden im folgenden Abschnitt behandelt.

Rohrleitungen der Nennweiten DN ≤ 50 in Kernkraftwerken werden in den meisten Fällen nach den restriktiven Kriterien der Verlegerichtlinien (VR) verlegt. VR regeln die Planung und Abnahme (Bewertung) von Halterungskonzepten in Rohrleitungssystemen für ein vorgegebenes Lastkollektiv. Im Rahmen der Abnahme und Bewertung der Halterungskonzepte wird der Nachweis der Erfüllung der sicherheitstechnischen Anforderungen für dieses Lastkollektiv im Allgemeinen durch Anlagenbegehungen erbracht und bestätigt.

Bei der Planung von Halterungskonzepten nach VR werden die Stützweiten (Halterungsabstände) und Stützbedingungen (Halterungsfunktionen) den Erfordernissen des Lastkollektivs entsprechend berücksichtigt. Neben den Stützweitenanforderungen, die in erster Linie zur Begrenzung primärer Lasten und Beanspruchungen dienen, sind die Flexibilitätsanforderungen von herausragender Bedeutung, da diese die sekundären Beanspruchungen maßgeblich beeinflussen und steuern. Beide Kriterien – horizontale und vertikale Stützweiten sowie die Flexibilitätsanforderungen - werden in-nerhalb der VR vorgegeben.

Die Einhaltung der Kriterien der VR stellt sicher, dass die in den jeweils zutreffenden Regelwerken und Spezifikationen gestellten Forderungen an die Beanspruchbarkeit sowie die sicherheitstechnischen Anforderungen bei Betriebs- und Störfällen, einschließlich Einwirkungen von Außen (EVA), wie zum Beispiel Erdbeben, eingehalten werden. Die VR weist darüber hinaus abdeckende Schnittlasten an Komponenten und Einbauteilen aus und macht, abhängig von der jeweiligen Behinderungsrichtung, Vorgaben für die Halterungslasten.

Im „Sachstandsbericht zur Darstellung des Verlege- und Bewertungskonzeptes von Kleinleitungen sicherheitstechnisch relevanter Systeme in kerntechnischen Anlagen“ erfolgt die zusammenfassende Darstellung des Verlege- und Bewertungskonzeptes von Rohrleitungen kleiner Nennweiten DN ≤ 50 in deutschen Kernkraftwerken. Der Bericht zeigt, dass die nach den Kriterien der VR ausgelegten Rohrleitungssysteme

- ein hohes Maß an Betriebssicherheit/Betriebsbewährung haben und
- große Konservativitäten bzgl. der Auslegung für Störfalllasten (Bemessungserdbeben, etc.) aufweisen.

Durch rechnerische Nachweise über eine Analyse des mechanischen Verhaltens (AdmV) an einer repräsentativen Anzahl exemplarischer Kleinleitungstrassierungen - die in Vor-Konvoi-Anlagen im Vergleich zur VR maximale Stützweiten des 1,2 bis 2,8 fachen aufweisen – konnte gezeigt werden, dass die zulässigen Spannungen in den Rohrleitungen mit großer Reserve eingehalten werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Stützweitenvorgaben der VR für die Rohrleitungen kleiner Nennweiten äußerst konservativ sind und große Last- und Beanspruchungsreserven enthalten.

6.3.2 Rohrleitungshalterungen, Komponentenstützkonstruktionen, Tragstrukturen der Elektro-, Leit- und Lüftungstechnik

Rohrleitungshalterungen werden mit ihrer Steifigkeit in der Rohrleitungsberechnung abgebildet. Die von der Rohrleitung bei dynamischen Belastungen mitbewegten Teile der Halterungen gehen mit ihrer Masse in die Berechnung ein. In Einzelfällen werden die Halterungen bzw. der Halterungsstahlbau in der Rohrleitungsberechnung mit abgebildet. Die an den Halterungen vorhandenen konstruktiven Spiele werden in der Rohrleitungsberechnung nicht berücksichtigt. Diese konstruktiven Spiele – Lagerspiele, Spiele im Bereich von Rohrnocken, Spiele an Schrauben, Bolzen und Stiften – erreichen, abhängig

von der Halterungskonstruktion, Werte im Bereich von nahezu spielfrei (< 1 mm) z. B. bei Gelenkstreben-Halterungen und bis zu 3 mm bei Gleit- und Führungslagern sowie bei komplexen Stahlbaukonstruktionen. Diese konstruktiven Spiele können im linear-elastischen Berechnungsmodell vernachlässigt werden. Bei dem infolge Spiel entstehenden Schlupf gegenüber dem Bauwerk können bei noch vorhandener Reibung die induzierten Erschütterungen nicht mehr „vollkommen“ auf die Komponente oder Rohrleitung übertragen werden, so dass die Anregebeschleunigung oder die Auslenkung reduziert wird. Darüber hinaus führen mögliche Rohrleitungsverschiebungen im Bereich der Spiele zu Reibung und damit zu erhöhter Dämpfung. Die in diesem Zusammenhang auftretenden Lastumlagerungen haben keine relevanten Auswirkungen auf das Tragverhalten der Tragstrukturen und bleiben unberücksichtigt.

Komponentenstützkonstruktionen werden wie die Rohrleitungshalterungen mit ihrer Steifigkeit und Masse sowie ggf. mit der Steifigkeit im Bereich des integralen Anschlusses an die Komponente (siehe auch 6.3.1) berücksichtigt. Die auf Grund des elastischen Verhaltens der Stützkonstruktionen auftretenden Verschiebungen infolge Einwirkungen von außen (EVA) an den entkoppelten Systemen werden wie die betrieblichen Vorverschiebungen bei der Auslegung und beim Nachweis dieser Systeme aufgeprägt. Die Rückwirkungen auf die Komponenten aus dem Nachweis der angeschlossenen Systeme werden bei den Beanspruchungen berücksichtigt.

Im Gegensatz zu Rohrleitungshalterungen werden Komponentenstützkonstruktionen im Allgemeinen spielfrei ausgelegt.

Bei den Tragstrukturen der Elektro- und Leittechnik ist zwischen Kabeltragkonstruktionen und Konstruktionen mit Bauteilen, für die Funktionsanforderungen bestehen, zu unterscheiden (z. B. Messumformergestelle, Schränke etc.). Für Kabeltragkonstruktionen besteht lediglich die Anforderung der Tragfähigkeit, während für die übrigen Tragstrukturen entsprechend der sicherheitstechnischen Anforderung an die elektro- und leittechnischen Bauteile im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit auch Verformungsbegrenzungen und ggf. Tertiärbeschleunigungen zu berücksichtigen sind.

Bei den Tragstrukturen im Bereich der Lüftungstechnik gelten vergleichbare Anforderungen wie bei der Elektro- und Leittechnik, bei den Tragstrukturen der Lüftungskanäle besteht lediglich die Anforderung der Tragfähigkeit.

6.3.3 Stahlbühnen

Stahlbühnen in Kernkraftwerken übernehmen in den meisten Fällen die Funktion einer Decke und tragen neben Verkehrslasten häufig auch Lasten aus Anlagenteilen ab. Sie sind bauliche Anlagen im Sinne der jeweiligen Landesbauordnung sowie des kerntechnischen Regelwerkes (siehe KTA 2201.3). Für die Ermittlung der Bauanschlusslasten sowie der Nachweisführung der Bühnen werden die gegenseitigen Einflüsse an der Schnittstelle Bautechnik und Anlagentechnik erfasst.

Die Befestigung von Stahlbühnen an die lastweiterleitenden Betonkonstruktionen erfolgt in vielen Fällen mittels Dübelverbindungen. Die Analyse des mechanischen Verhaltens der Stahlbühnen sowie der Bauanschlusslasten erfolgt ähnlich wie bei Rohrleitungen mit linearelastischen Verfahren unter Berücksichtigung ebensolcher Werkstoffgesetze. Hierbei werden die Dübelverbindungen in der Regel als starr angenommen. Einflüsse aus Nachgiebigkeiten der Dübelverbindungen selbst werden nur in Sonderfällen betrachtet.

In den meisten Fällen wird die Analyse an entkoppelten Systemen vorgenommen. Die Berücksichtigung des Einflusses der auf Stahlbühnen angeordneten Anlagenteile und Komponenten auf die Beanspruchung der Stahlbühnen und Bauanschlusslasten erfolgt im Allgemeinen durch konservativ ermittelte Reaktionen der entkoppelten Systeme. Bei den dynamischen EVA-Einwirkungen werden üblicherweise die zugehörigen Bauwerkantwortspektren zur Ermittlung der Reaktionen herangezogen. Dies setzt jedoch voraus, dass die Steifigkeit der Bühnen sehr groß ist und diese nicht über das Bauwerk zu nennenswerten Eigenschwingungen angeregt werden können. Andernfalls sind die gegenseitigen Beeinflussungen der dynamischen Reaktionen von Anlagenteilen, Komponenten und Stahlbühne zu berücksichtigen wie z. B. mittels Tertiärspektren oder auch durch eine gekoppelte Berechnung der Stahlbühne mit Bauwerk und Anlagenteilen (siehe auch KTA 2201.4).

Einer besonderen Betrachtung bedürfen die Beanspruchungen aus Temperatureinwirkungen als indirekte Einwirkung (Zwang). Hier ist es ggf. zweckmäßig, eine elastische Nachgiebigkeit der Dübelverbindung mit zu berücksichtigen, um die Zwangbeanspruchungen aufnehmen zu können. Eventuell sind besondere konstruktive Maßnahmen wie z. B. Langlöcher bei Dübelverbindungen sinnvoll.

6.4 Bauanschlusslasten

In den Analysen des mechanischen Verhaltens für Anlagenteile werden Dübelverbindungen grundsätzlich als starr und unverschieblich angenommen. In Sonderfällen kann die elastische Nachgiebigkeit der Dübelverbindung berücksichtigt werden. Der Einfluss aus möglichen Dübelverschiebungen infolge Rissbildungen wird nicht angesetzt. Die Schnittgrößen an der Oberkante der Dübelplatte werden in einem separaten Nachweis im Rahmen der "Halterungsstatik" ermittelt. Diese Schnittgrößen werden zum einen für den Nachweis der Lasteinleitung durch den Dübel selbst und zum anderen auch für die Lastweiterleitung innerhalb der Baustruktur verwendet.

Die Randbedingung eines starren Bauanschlusses führt dazu, dass die durch das Erdbeben verursachten Beschleunigungen ohne Energiedissipation auf das gehalterte System übertragen und so abdeckende Systemantworten berechnet werden. Darüber hinaus ergeben sich für die Dübelverbindungen ebenfalls abdeckende Beanspruchungen (Bauanschlusslasten), so dass damit ein Bauanschluss gewählt wird, der Lastreserven aufweist.

In der ingenieurmäßigen Praxis können kleine Verschiebungen einzelner Dübel (bis ca. 3 mm) bei den Systemberechnungen unberücksichtigt bleiben (Annahme eines starren Bauanschlusses). In Einzelfällen können zur Sicherstellung der Funktionalität weitergehende Anforderungen an die Begrenzung der Verschiebung des Bauanschlusses gestellt werden.

7 Dübelverschiebungen

7.1 Allgemeines

Dübelverbindungen unterliegen, wie alle anderen Arten von Befestigungen im Beton, Verschiebungen infolge von Krafteinwirkungen (vgl. Abschnitt 4.2.3 und 6.4). Neben der reinen Kraftwirkung werden die Verschiebungen einerseits durch Effekte auf der Einwirkungsseite und andererseits durch die Effekte, welche die Widerstandsseite beeinflussen (z. B. Rissbildung in Beton), bestimmt.

Sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen in Kernkraftwerken sind sowohl für die Einwirkungen im Normalbetrieb als auch für außergewöhnliche Einwirkungen zu bemessen. Insbesondere bei Erdbebeneinwirkungen können Dübel in einzelnen Fällen Bedingungen ausgesetzt sein, die sich relevant auf die Verschiebung auswirken können. Dübel in KKW werden gem. DIBt Leitfaden 2010 Prüfverfahren unterzogen, die diese Effekte in einhüllender Weise für einen Einzeldübel berücksichtigen. Die aus den Versuchen abgeleiteten Verschiebungen treten auch nur dann auf, wenn alle unterstellten Annahmen ungünstigst an einem Einzeldübel zusammentreffen.

Das Verschiebungsverhalten der Dübel wird aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse in Versuchen nur näherungsweise und abdeckend nachgebildet. Bei dem Prüfprogramm nach DIBt Leitfaden 2010 ist nicht berücksichtigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit die in den Versuchen abgebildeten Randbedingungen in der Realität gleichzeitig auftreten (vgl. Abschnitt 7.4.1).

Einen Hinweis zum tatsächlichen Verschiebungsverhalten liefern die Erfahrungen, welche im japanischen Kernkraftwerk Kashiwazaki nach dem Auftreten auslegungsüberschreitender Erdbeben gesammelt wurden. Trotz eines auslegungsüberschreitenden Erdbebens wurden dort in den Betonstrukturen sicherheitstechnisch wichtiger Gebäude keine größeren Rissbildungen beobachtet. Auch das Auftreten von Rissen wurde nur vereinzelt mit überwiegend kleinen Rissbreiten beobachtet. Des Weiteren wurden nach dem Erdbeben keine relevanten Verschiebungen an sicherheitstechnisch wichtigen Halterungen festgestellt.

7.2 Dübelverschiebungen im Versuch nach DIBt Leitfaden 2010

7.2.1 Versuchsbedingungen

Die Dübelverschiebungen bei Gebrauchslasten (Normalbetrieb) werden in den bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen angegeben. Diese basieren auf Prüfbedingungen, die in ETAG 001 beschrieben sind.

Zur Ermittlung der Verschiebungen von Dübeln bei außergewöhnlichen Einwirkungen, bei denen größere Rissbildungen im Beton nicht ausgeschlossen werden können, sind die Prüfbedingungen im Kap. 3.4 des DIBt Leitfadens 2010 festgelegt. Die Prüfungen werden in speziellen Riss-Prüfkörpern mit steuerbarem einachsigen Parallelriss durchgeführt. Sofern keine standortspezifischen geringeren

Rissbreiten zugrunde gelegt werden, sind die Prüfungen einhüllend für deutsche KKW-Standorte mit der Rissbreite $w_k = w_{max} = 1{,}0$ mm durchzuführen.

Die Testverfahren sind so gewählt, dass sie auf der sicheren Seite liegend das Verschiebungsverhalten der Dübel unter außergewöhnlicher Einwirkung für den Einzeldübel beschreiben.

Für die Verschiebungen unter Zugbeanspruchungen sind zwei Versuchsreihen (Prüfbedingung 1 und 2) durchzuführen.

Prüfbedingung 1 beschreibt Versuche und deren Auswertung, die im sich öffnenden und schließenden Riss durchzuführen sind. Prüfbedingung 2 beschreibt Versuche und deren Auswertung, die im konstant geöffneten Riss mit Zugschwelllast durchzuführen sind. Die axiale Verschiebung (Zugrichtung) ergibt sich aus dem größeren Mittelwert der Prüfbedingung 1 oder 2.

Für die Verschiebungen unter Querbeanspruchung sind Versuche durchzuführen, bei denen der Dübel bei konstant geöffnetem Riss mit Wechsellasten von $+V_{max}$ bis $-V_{max}$ in Rissrichtung zu belasten ist. Als Verschiebungswert in Querrichtung ist ebenfalls der Mittelwert aus der Versuchsreihe auszuweisen.

Bei der Ermittlung der Verschiebungswerte am Einzeldübel dürfen diese entsprechend den maßgebenden Bemessungskräften linear interpoliert werden.

7.2.2 Typisches Verhalten unter axialem Zug

7.2.2.1 Allgemeines

Das Verschiebungsverhalten von Dübeln unter axialem Zug bei außergewöhnlichen Einwirkungen wird geprägt durch das spezifische Herausziehverhalten des Dübels im Riss. Die Kriterien hinsichtlich Stahlversagen und Betonausbruch sind nicht verschiebungsrelevant.

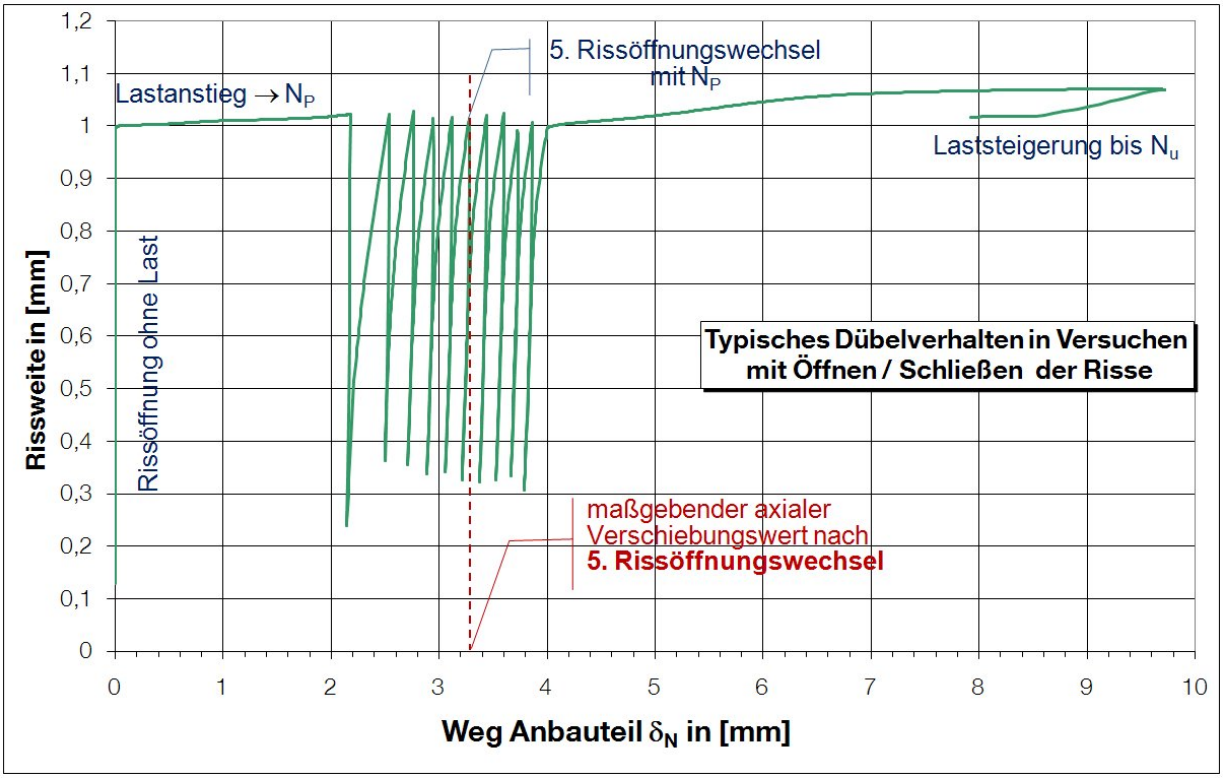

Bild 7-1: Typisches Verhalten von Hinterschnittdübeln (Einzeldübel) bei den Tests nach DIBt Leitfaden 2010 unter axialem Zug

7.2.2.2 Prüfbedingung 1 - Verhalten im zyklisch sich öffnenden und schließenden Riss

Bild 7-1 zeigt das typische Verhalten von formschlüssigen Hinterschnittdübeln bei den Tests nach DIBt Leitfaden 2010, welche für die Ermittlung der Verschiebungswerte im zyklisch sich öffnenden und schließenden Riss durchzuführen sind. Beim Aufbringen der Prüflast nach der Rissöffnung tritt der überwiegende Verschiebungsanteil auf. Er setzt sich aus dem Eigenverhalten der Dübelkonstruktion (Bolzenlängung, U-Scheibe, Einsenken des Spreizkonus usw.), dem Nachsteuern der reduzierten Vorspannung, und dem Nachsetzen in den durch die Rissöffnung entstandenen Freiraum im Hinterschnitt zusammen.

In der Folge der weiteren Rissschließungen erfolgen durch die Querquetschungen der Spreizkörper Verformungen am Dübel und im Beton, die zu weiteren Verschiebungszuwächsen mit abnehmender Tendenz führen.

Der maßgebende axiale Verschiebungswert für Prüfbedingung 1 ist der Verschiebungsweg nach 5 weiteren Rissöffnungen.

7.2.2.3 Prüfbedingung 2 - Verhalten unter Zugschwelllast bei konstant geöffnetem Riss

Die Ergebnisse von Versuchen an Hinterschnittdübeln zeigen, dass die Anfangsverschiebungen denjenigen der Prüfbedingung 1 entsprechen. Die Verschiebungszunahme bei Versuchen mit Schwelllasten bis zum 10. Lastanstieg fällt deutlich geringer aus als bei den Versuchen mit 5 Rissöffungswechseln. Die Verschiebungswerte aus den vorliegenden Lastwechselversuchen sind deshalb für das charakteristische Verschiebungsverhalten nicht relevant.

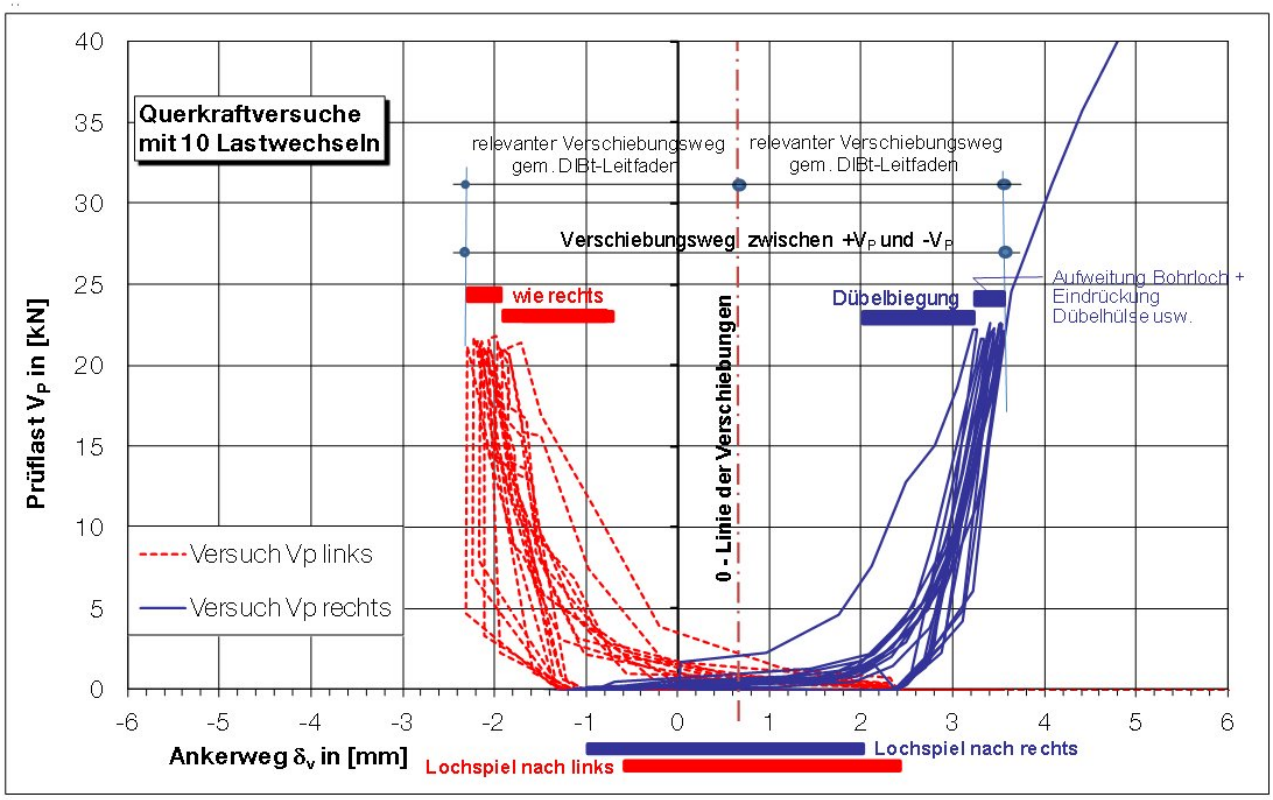

Bild 7-2: Verschiebungswege an einem Einzeldübel bei 10-fachem Lastwechsel für $-V_p$ und $+V_p$ (nach links und rechts wechselnder Querkraft)

7.2.3 Typisches Verhalten unter wechselnder Querbeanspruchung

Bild 7-2 zeigt exemplarisch die Verschiebungswege, die bei 10-fach wechselnder Querkraft für $+V_p$ und $-V_p$ (nach links und rechts) an einem Einzeldübel auftreten. Der Bereich mit geringer Lastaufnahme kann als Leerweg interpretiert werden, der sich aus den Lochspielen zwischen Anbauteil – Dübel, Dübelhülse - Bohrloch im Beton sowie aus kleinen Eindrückungen an der Dübelhülse und im Beton

ergibt. Im weiteren Verlauf mit ansteigender Querkraft biegt sich dann der Dübel mit plastischem und elastischem Anteil. Die kleinen Schrittweiten, mit denen die Verschiebung je Lastwechsel zunimmt, ergeben sich aus der Aufweitung am Bohrloch im Beton und Eindrückungen an Hülse und Anbauteil. Bei jedem Versuch ergibt sich die für das Anbauteil relevante Verschiebung als Mittelwert der maximalen Auslenkungen für $+V_p$ und $-V_p$ nach 10 Lastwechseln. Entsprechend DIBt Leitfaden 2010 wird als Verschiebungswert des Einzeldübels der Mittelwert aus der Versuchsserie angegeben. Die Prüflast V_p ist in **Bild 7-2** zu $0{,}5 \cdot V_{max}$ (V_{max} entsprechend DIBt Leitfaden 2010) gewählt worden.

Bei Querkraftbeanspruchung ist festzustellen, dass ein großer Teil des Verschiebungsweges aus der Überwindung der Lochspiele mit minimaler Kraftwirkung besteht (vgl. **Bild 7-2**). Die eigentliche Dübelverschiebung (Dübelbiegung, sukzessive Aufweitung des Bohrlochs) dagegen erfolgt mit sehr steilem Lastanstieg und ist je Richtung vergleichsweise gering.

7.3 Einflussgrößen auf Dübelverschiebungen

7.3.1 Einflüsse auf der Einwirkungsseite

7.3.1.1 Allgemeines

Auf der Einwirkungsseite sind alle Einflussfaktoren relevant, die von außen auf einen Dübel einwirken und dessen Verschiebungsverhalten bestimmen. Das sind:

- Kräfte
- Rissbreiten und Rissbreitenänderungen
- Rissöffnungszyklen - Lastzyklen
- Zusammentreffen von maximaler Last und maximaler Rissöffnung
- Nachgiebigkeit von Dübelverbindungen

7.3.1.2 Kräfte

Die in der Praxis der Dübelbemessung zugrunde zu legenden Beanspruchungen bestehen aus Zug- und Querkräften sowie Biege- und Torsionsmomenten, welche auf eine Dübelplatte mit zwei oder mehr Dübeln einwirken.

Sowohl aus der Zugkraft als auch aus den Biegemomenten in zwei Richtungen entstehen Zugbeanspruchungen, die im Allgemeinen einen Dübel innerhalb der Dübelplatte maximal beanspruchen und diesen zum bemessungsbestimmenden Element hinsichtlich des verschiebungsrelevanten Herausziehens machen. Die übrigen Dübel sind dabei weniger beansprucht bzw. erfahren im überdrückten Bereich keine Zugbeanspruchung.

Beanspruchungen aus Querkräften in zwei Richtungen und einem Torsionsmoment werden, von Ausnahmen abgesehen (z.B. sehr randnahe Dübel), auf alle Dübel einer Anordnung gleichmäßig angesetzt (vgl. Abschnitt 8.3.4).

Beim gleichzeitigen Wirken von Quer- und Zugbeanspruchungen verlangen die Bemessungsregeln die Einhaltung einer Interaktionsbeziehung (siehe **Bild 7-3**). Daraus ergibt sich, dass bei 100-prozentiger Zugausnutzung (β_N =1,0) des höchstbeanspruchten Dübels die Querbeanspruchung höchstens bis zu 20% (βv = 0,2) der Quertragfähigkeit betragen darf. Analog ergibt sich bei maximaler Querausnutzung eine nur noch bis 20% zulässige Zugausnutzung. Entsprechend gering werden damit auch die Verschiebungen. Die anderen, weniger ausgenutzten Dübel verfügen somit über ein erhebliches Potenzial, das die kraftabhängigen Verschiebungswege einer Dübelgruppe in einer Platte insgesamt reduziert. Bei typischen Halterungskonstruktionen werden Dübel bei vorhandener Zugbeanspruchung und notwendiger Querkraftinteraktion selten zu mehr als 50% ihrer Quertragfähigkeit mit entsprechend geringen kraftabhängigen Verschiebungen ausgenutzt.

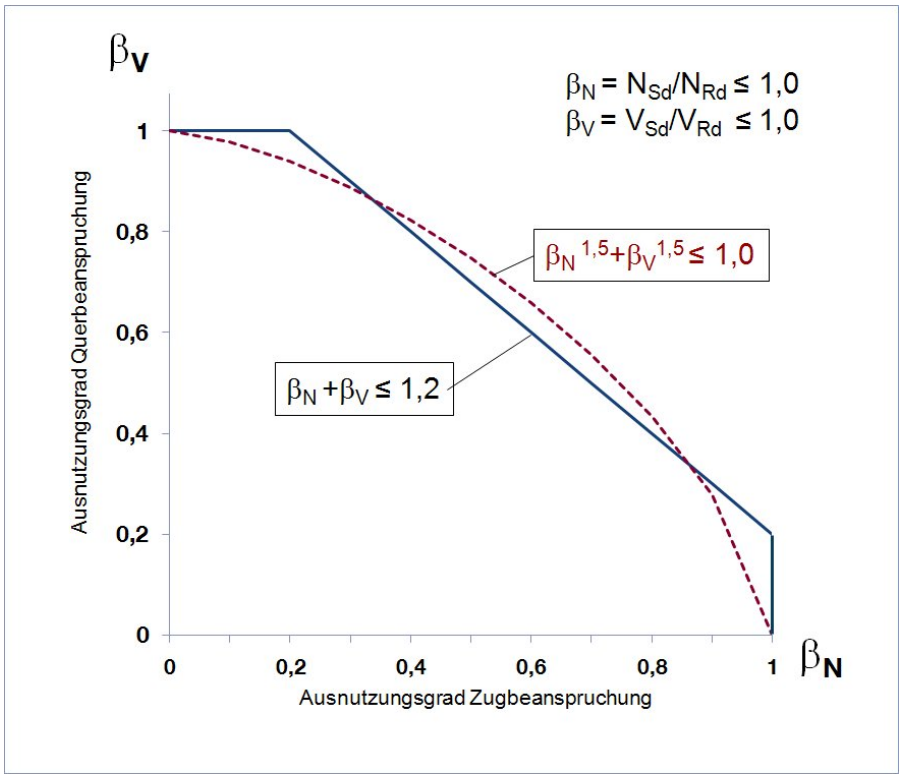

Bild 7-3: Interaktionsdiagramm für kombinierte Zug- und Querbeanspruchung analog ETAG 001, Anhang C

7.3.1.3 Rissbreiten und Rissbreitenänderungen

Für die Gebrauchslastfälle werden die Dübel nach ETAG 001 in Rissbreiten w_k = 0,3 mm geprüft. Für außergewöhnliche Lastfälle sind die Verschiebungen nach DIBt Leitfaden 2010 in Rissbreiten w_k = 1,0 mm zu prüfen. Alternativ können Prüfungen mit standortspezifischen Rissbreiten durchgeführt werden.

Je nach der spezifischen Ausbildung eines Dübels reagiert dieser erst ab einer gewissen Rissbreite mit einer Verschiebungszunahme; zunächst moderat und ab einer weiteren Schwelle der Rissbreite dann mit deutlich verstärkter Verschiebungszunahme. Die Schwellen sind für jeden Dübeltyp und jede Größe unterschiedlich. Eine lineare Beziehung zwischen Rissbreiten und Dübelverschiebungen ist nicht ableitbar. Bei bekannten Verschiebungswerten für große Rissbreiten ist eine lineare Interpolation konservativ.

7.3.1.4 Rissöffnungszyklen - Lastzyklen

Der DIBt Leitfaden 2010 legt für die Versuchsdurchführung 5 volle Rissöffnungen fest.

In den so durchzuführenden Tests resultiert ein sehr großer Anteil des Gesamtverschiebungsweges bis zur maßgebenden 5. Rissöffnung nach dem Aufbringen der Prüflast im geöffneten Riss (vgl. **Bild 7-1**). Bei weiteren Rissöffnungszyklen ist bei Dübeln mit DIBt-Zulassung für außergewöhnliche Einwirkungen eine abnehmende Tendenz der Verschiebungszuwächse zu beobachten. Dabei führt jedes Schließen des Risses zu einer unvermeidbaren örtlichen Schädigung des umgebenden Betons im Verankerungsbereich sowie zu einer Stauchung der Spreizsegmente des Dübels, so dass jedes Mal ein Verschiebungszuwachs entsteht.

Neben den Rissöffnungen führen auch Lastzyklen (Schwelllasten) bei Dübeln, welche in einem geöffneten Riss verankert sind, zu einer schrittweisen Zunahme der Verschiebungen. Bei analoger Vorgehensweise bis zur ersten und einmaligen Rissöffnung (Riss öffnen, 1. Lastanstieg, entlasten und anschließend 9 weitere Lastanstiege) ergeben sich durch die weiteren Lastanstiege in der Regel geringere Verformungswege, weil ein Querstauchen des Dübels und Betons unterbleibt.

7.3.1.5 Zusammentreffen von maximaler Last und maximaler Rissöffnung

Gebäude und Anlagenteile weisen in den meisten Fällen ein deutlich unterschiedliches Schwingungsverhalten auf. Das bedeutet, dass sie bei einer Anregung durch Erdbeben u. ä. nicht im Gleichtakt miteinander schwingen. Die Gleichzeitigkeit von maximalem Riss, welcher primär durch das Gebäudeverhalten bestimmt wird, und maximaler Last, die vom Anlagenteil und der Halterung induziert wird, unterliegt somit einem rein zufälligen Zusammentreffen (siehe auch Abschnitt 7.4.3).

7.3.1.6 Nachgiebigkeit von Dübelverbindungen

Die elastische Nachgiebigkeit von Dübelverbindungen führt dazu, dass die rechnerische Annahme des starren Bauanschlusses aufgehoben wird. Damit ändert sich das Systemverhalten, wodurch sich z. B. bei Zwangbeanspruchung die Dübelkräfte reduzieren. Im Regelfall wird dies nicht berücksichtigt, in Sonderfällen können diese Effekte in der Nachweisführung jedoch ausgenutzt werden (siehe auch Abschnitt 6.4).

7.3.2 Einflüsse auf der Widerstandsseite

7.3.2.1 Allgemeines

Auf der Widerstandsseite sind alle bauartbedingten Einflüsse zu sehen, die sich aus der Konstruktion des Dübels, dem Verankerungsgrund und der Verankerungskonstruktion ergeben und nicht durch äußere Einwirkungen bestimmt werden.

Das Verschiebungsverhalten auf der Widerstandsseite wird durch nachfolgende Einflüsse und Effekte beeinflusst:

- Axiale Zugbeanspuchung:
  1. Betondruckfestigkeit
  2. Vorspannung der Dübel
  3. Produktspezifische, konstruktionsbedingte Eigenschaften
     a) Formschlüssige Dübel (Hinterschnittausbildung)
     b) Spreizdübel (Nachspreizfähigkeit, Gleitfähigkeit des Konus)
     c) Verbundspreizdübel (Eigenschaften des Mörtels, Konenausbildung)
     d) Dübelteile (U-Scheiben, Durchmesser Mutter/Durchgangsbohrung usw.)
  4. Gruppeneffekte bei Befestigungsgruppen – Lastumlagerungen
- Querbeanspruchung:
  1. Betondruckfestigkeit
  2. Lochspiele
     a) Spiel in der Durchgangsbohrung
     b) Spiel zum Bohrloch
     c) Zusammenwirken mehrerer Dübel
  3. Dübelkonstruktion (Steifigkeit, Hülse, Bolzen)
  4. Reibungseffekte zwischen Anbauteil und Beton
  5. Verguss (z.B. am Bohrlochmund, Mörtelausgleichschicht)

Wesentliche Einflussgrößen werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

7.3.2.2 Betondruckfestigkeit

Bei gleichen Prüflasten führen höhere Betondruckfestigkeiten zu reduzierten Verschiebungen.

Die Bauwerke deutscher Kernkraftwerke sind älter als 20 Jahre. Der Beton hat inzwischen aufgrund der langjährigen Nacherhärtung tatsächlich eine wesentlich höhere Festigkeit als planmäßig vorgesehen war.

7.3.2.3 Vorspannung der Dübel

Alle Dübel werden bei der Montage durch die in den Zulassungen vorgeschriebenen Drehmomente beim Verankern (Montageanzugsmoment) vorgespannt. Verschiebungen in axialer Richtung treten erst auf, wenn die auf den Dübel einwirkende axiale Zugkraft die Vorspannung übersteigt.

Relaxation, Rissbreiten und Risswechsel sowie die dübelspezifische Ausprägung im Verankerungsbereich führen je nach Höhe des Montageanzugsmomentes zu einem Verlust der Vorspannung. Dies wird in den vorgeschriebenen Dübelprüfungen (ETAG 001) berücksichtigt. Im Rahmen der nach DIBt Leitfaden 2010 durchzuführenden Verschiebungsversuche wird die Vorspannung auf der sicheren Seite liegend auf 50% des Montageanzugsmomentes reduziert. Bei Hinterschnittdübeln, welche relativ niedrig vorgespannt sind und wenig relaxieren, ergeben sich in der Realität höhere Restvorspannungen. Bei Querlastversuchen mit vollem Montageanzugsmoment bei Versuchsbeginn konnte eine Reduzierung der Verschiebungen gegenüber den Versuchen mit auf 50% reduzierten Montageanzugsmoment festgestellt werden (Gutachten Prof. Schnell - BoRaPa 11/905 vom Dez. 2011).

7.3.2.4 Produktspezifische konstruktionsbedingte Eigenschaften

Bei formschlüssigen Dübeln hat bereits die Herstellung des Hinterschnitts einen maßgebenden Einfluss auf das Verformungsverhalten. Insbesondere sollten das Bohrloch und der Hinterschnitt nicht zu viel Spiel gegenüber der aufgespreizten Dübelkontur aufweisen. Dieser Umstand führt zu einer montagebedingten Streuung des Verschiebungsverhaltens, das je nach Dübeltyp und Dübelgröße unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Der vorgeschriebene Umfang der Tests gemäß DIBt Leitfaden 2010 in Verbindung mit den statistischen Auswertebedingungen berücksichtigt dies.

Bei kraftschlüssigen Dübeln hängen die Verschiebungen bzw. das Nachspreizverhalten stark von den Reibungsverhältnissen zwischen Spreizkonus und Spreizelementen einerseits und Spreizelementen und Bohrlochwand andererseits ab. Mechanisch gut ausgebildete Spreizdübel können unter Berücksichtigung von Lastniveau und Rissbreiten ein vergleichbares Verschiebungsverhalten wie formschlüssige Dübel aufzeigen.

Bei Verbundspreizdübeln erfolgt die Kraftübertragung über Stoffschluss und zusätzlich über Reibung infolge Spreizwirkung. Die Eigenschaften des Verbundmörtels sowie die Konenausbildung beeinflussen das Verschiebungsverhalten, welches mit den vorgenannten Dübeln vergleichbar ist.

7.3.2.5 Lochspiele

Konstruktions- und montagebedingt sind bei den üblichen Dübelverbindungen Lochspiele erforderlich. Bei Dübeldurchmessern M10 bis M16 sind für die Durchgangsbohrung im Anbauteil Bohrlochspiele zwischen 2 und 3 mm zulässig. Hinzu kommen noch Spiele zwischen Dübelhülse und Bohrlochwand zwischen etwa 0,5 bis 1 mm. Diese Lochspiele beziehen sich auf einen Einzeldübel und sind in den Versuchsergebnissen zur Dübelverschiebung enthalten (siehe Abschnitt 7.2.3). Für die Bewertung der Verschiebung einer Dübelplatte wird der verschiebungsmindernde Einfluss der Gruppenwirkung berücksichtigt.

7.3.2.6 Dübelkonstruktion

Axiale Verschiebungsanteile entstehen auch durch Dübelteile selbst, z. B. durch Bolzenlängung, Verformungen der Muttern und Unterlegscheiben, der Spreizlamellen, Plastifizieren in der Lochleibung usw. Diese Verformungsanteile sind ausschließlich lastabhängig und nicht durch Rissöffnungszyklen beeinflusst. Sie treten bereits beim ersten Lastanstieg auf, siehe Abschnitt 7.2.

Die konstruktionsbedingte Querverschiebung ergibt sich in erster Linie aus der Steifigkeit der Dübelhülse. Es gibt Dübel mit durchgehenden Hülsen und solche mit mehr oder weniger langen separaten Distanzhülsen bis zum Spreizkörper sowie Bolzendübel. Kurze Distanzhülsen führen bei den gemäß Prüfbedingungen durchzuführenden Wechsellastversuchen durch kurze Hebeleffekte zu einer verstärkten Aufweitung des Betons am Bohrlochmund.

7.3.2.7 Reibungseffekte zwischen Anbauteil und Beton

Verschiebungsmindernde Reibungseffekte zwischen Anbauteil und Beton sind bei Querbeanspruchung nicht zuverlässig zu quantifizieren. Die vorgeschriebenen Prüfungen nach DIBt Leitfaden 2010 fordern deshalb zur Eliminierung des Reibungseinflusses die Anordnung einer Teflonschicht zwischen Beton und Prüfadapter.

7.3.2.8 Verguss

Sofern das Vergießen eines möglichen Spaltes zwischen Dübelplatte und Beton gemäß ETAG 001 erforderlich ist, kann dabei das Material im Bereich des Bohrlochmundes eindringen und dort die Dübelhülse spielfrei umschließen (hierbei ist auf den Schutz des Gewindes zu achten). Der Verguss stützt den Dübel im oberen Bereich günstiger ab und reduziert damit die Bohrlochspiele bei Querbeanspruchungen. Das Verschiebungsverhalten in Querrichtung wird so verbessert. Dies wird aber in den Verschiebungswerten der Zulassungen nicht berücksichtigt, da das Vergießen nur im Ausnahmefall ausgeführt wird und die Wirkung auch nicht zuverlässig hergestellt werden kann.

7.4 Wirklichkeitsnahe Verschiebungen

7.4.1 Wirklichkeitsnahe Randbedingungen

Ein realistisches Verschiebungsverhalten der Dübel kann aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse in Versuchen nicht nachgebildet werden. Die Versuchsdurchführungen, die der DIBt Leitfaden 2010 zur Bestimmung des Verschiebungsverhaltens dazu vorgibt, sind konservativ einhüllend. Geht man von diesen Prüfbedingungen aus, ist mit einzubeziehen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die in den Versuchen abgebildeten Randbedingungen und deren Gleichzeitigkeit in der Realität auftreten können. Üblicherweise werden die Randbedingungen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (GZT) zur Ermittlung der Verschiebungen berücksichtigt. Für wirklichkeitsnahe Verschiebungen sind allerdings die Randbedingungen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) zutreffender.

7.4.2 Wirklichkeitsnaher Lastansatz

7.4.2.1 Zugkräfte

In der Regel sind die Dübelkräfte, die im Rahmen des Nachweises des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (GZT) ermittelt werden, durch eingrenzende auf der sicheren Seite getroffene Annahmen (z. B. Hebelarme, Druckpunktlagen, Toleranzvorhaltungen) deutlich höher als sie in der Realität auftreten. Detailliertere Nachrechnungen ausgeführter Dübelplatten mit exakter Lage der Dübel und Profile zeigen hohe Reserven in Bezug auf die Dübelbeanspruchung. Demzufolge ergeben sich für geringere Dübelkräfte auch geringere Verschiebungen.

Im GZG können die hierfür zulässigen Axialverschiebungen bei der Bestimmung der maximalen Dübelzugkraft berücksichtigt werden. Die günstigeren inneren Hebelarme die sich damit an einer Dübelplatte einstellen, führen zu geringeren Zugkräften an den Dübeln. mit den diesem Zustand entsprechenden Dübelverschiebungen.

7.4.2.2 Querkräfte

Dübelquerkräfte aus einem Torsionsmoment werden im Rahmen des Nachweises des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (GZT) durch eingrenzende konservativ getroffene Annahmen ermittelt. Durch Berücksichtigung der Dübellage innerhalb der Toleranzfelder können bei ausgeführten Dübelplatten geringere Dübelquerkräfte aus der Torsionsmomentbeanspruchung abgeleitet werden. Demzufolge ergeben sich auch geringere Dübelverschiebungen.

Beim Nachweis des GZT erfahren Dübelverbindungen typischer Lastabtragungskonstruktionen mit konsolartigem Halterungsanschluss durch die auf die Dübelplatte wirkende Zugkraft und die einwirkenden Biegemomente bereits einen dominierenden Anteil zur Dübelzugkraft. Somit kann wegen Einhaltung einer Interaktionsbeziehung aus den Bemessungsregeln die Dübelquerkraft bei gleichzeitiger Einwirkung von Zug- und Querbeanspruchungen nur einen geringeren Wert gegenüber der Quertragfähigkeit erfahren. Bei einer relativ hohen Zugausnutzung im Bereich von 100% ergibt sich eine deut-

lich geringere Querkraftausnutzung im Bereich von 20%. Demzufolge ergeben sich bei derartigen typischen Lastabtragungskonstruktionen geringere lastabhängige Dübelquerverschiebungen.

Bei randnahen Dübelplatten wird für den GZT beim Nachweis Betonkantenbruch die gesamte Querkraft nur auf die randnahen Dübel angesetzt. Beim GZG können für die Verschiebungen unter Querlast hingegen alle Dübel einer Platte als mitwirkend angesetzt werden. Der dadurch sich ergebende geringere Wert für Querlast im Dübel bewirkt eine geringere Verschiebung des Dübels in Querrichtung.

7.4.3 Wahrscheinlichkeit des Zustandekommens der Verschiebungen

Zur Ermittlung realistischer Verschiebungswerte wäre eine differenzierte Betrachtung aller möglichen Situationen auf der Einwirkungsseite und Widerstandsseite notwendig. Die Annahmen zur Rissbreite, zur Anzahl der Lastzyklen, zur Betonfestigkeit, zur Höhe des Ausnutzungsgrads der Dübeltragfähigkeit und zur Gleichzeitigkeit ihres Auftretens müssten den tatsächlichen Verhältnissen entsprechend gewählt werden. Dies ist aufgrund der hohen Komplexität in der Praxis nicht umsetzbar.

Ansätze probabilistischer Untersuchungen zum Lastfall Erdbeben zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens solcher ungünstiger Bedingungen sehr gering ist.

Häufig werden Anlagenteile mit mehreren Dübelplatten, teilweise auch an unterschiedlichen Gebäudeteilen (Wände, Böden, Decken), befestigt. Die unterschiedliche Ausnutzung der Stahlbetonkonstruktion (z. B. überdrückte Bauteile) lässt ein flächendeckendes Auftreten von relevanten Rissen durch jeden Dübel dieser Dübelplatten nicht erwarten.

7.4.4 Wirklichkeitsnahe Versuche

Von mehreren Institutionen wurden in diesem Zusammenhang Versuchsreihen durchgeführt. Z. B. wurden 2007-2008 im Auftrag der Fa. AREVA NP GmbH von der Fa. HOCHTIEF Construction AG Versuche an Dübeln Hilti HDA-T in der Größe M12 unter verschiedenen Randbedingungen durchgeführt – siehe hierzu auch die gutachterliche Stellungnahme (Nr. 197.1.07 vom 30.01.2009) der TU Darmstadt.

Die Versuche umfassten folgende Variationen:

- Lasthöhe (0,3 N_P; 0,5 N_P; 0,7 N_P und 1,0 N_P mit $N_P = N_{Rk} / \gamma_M$)
- Rissbreiten (1,5 mm, 0,9 mm und 0,5 mm)
- Zugversuche (Schwelllasten, sich öffnende und schließende Risse und dynamische schnelle Risswechsel, Frequenz 2 Hz/Risswechsel)
- wechselnde Querbeanspruchung
- Querzugversuche mit gleichzeitiger Zug- und Querbeanspruchung
- Gruppenverankerung mit 2 und 4 Dübeln (davon 2 im Riss)

Hierzu wurde gutachterlich von der TU Darmstadt festgestellt, dass beispielsweise bei einer Rissbreite von 0,9 mm und einer Betonfestigkeit von rd. 40 N/mm² beim Dübel HDA-T die mittleren Verschiebungen auf Zug (bei 10 Rissöffnungswechseln) mit rd. 4,6 mm deutlich geringer ausfallen als in der Zulassung vom 05.02.2001 bis aktuell mit 13 mm genannt. Bei 5 Rissöffnungswechseln betragen die mittleren Verschiebungen rd. 3,3 mm.

Um wirklichkeitsnahe Verschiebungswege infolge Querkraftbeanspruchung zu ermitteln, wurden Querlastwechselversuche an Einzeldübeln des Typs Hilti HDA- T M12 durchgeführt. Die Ermittlung der Verschiebungen erfolgte bei einer Betongüte C20/25 und einer Rissbreite w_k von 0,9 mm. Auf die Verwendung einer Folie z.B. aus PTFE wurde verzichtet. (BoRaPa, Gutachterliche Stellungnahme Projektnummer 11/905)

Die Versuche umfassten folgende Variationen:

- Lasthöhe (0,5 V_P und 1,0 V_P mit $V_P = V_{Rk} / \gamma_M$)
- vorh. Anzugsdrehmoment (1,0 T_{inst} und 0,5 T_{inst})

Die Auswertung der Verschiebungsversuche der TU Kaiserslautern zeigte, dass die Verschiebung ausgehend von der Anfangsverschiebung mit der Zahl der Lastwechselzyklen nicht wesentlich ansteigt. Die Anfangsverschiebung einschließlich des vorhandenen Lochspiels (in der Regel 2,0 mm) hat den größten Anteil an der Gesamtverschiebung. Der Einfluss von Rissbreiten auf die Querverschie-

bung von Dübeln ist gering. Den größten Anteil an der Gesamtverschiebung von ca. 5,5 mm resultiert aus dem ersten Lastwechselzyklus. Eine deutliche Reduzierung der Verschiebung konnte bei einer Reduktion der Höhe der Querlast auf 50 % festgestellt werden. Bei einer Reduktion der Querlast auf 50 % beträgt die Anfangsverschiebung ca. 3,4 mm. Die Verschiebungszunahme bis zum 10. Lastwechsel beträgt je nach Versuchsparametern zwischen 1,57 mm und 2,75 mm. Bei den Versuchen mit halber Höhe der Querlast beträgt die Verschiebungszunahme 0,5 mm. Die auftretenden Querverschiebungen (Differenzverschiebungen) aus Lastwechselzyklen liegen somit in einer Größenordnung von ca. 3 mm (vgl. **Bild 7-2**).

7.5 Rückwirkungen auf die Anlagenteile

7.5.1 Allgemeines

In dem vorliegenden Sachstandsbericht wird in verschiedenen Abschnitten dargelegt, dass die in Versuchen unter Randbedingungen nach DIBt Leitfaden 2010 ermittelten Verschiebungen an Einzeldübeln auf der sicheren Seite liegen und damit das reale Verschiebungsverhalten innerhalb einer Dübelverbindung mit 2er- oder 4er- Platte lediglich abdeckend beschreiben können. In der realen Einbausituation werden unter Berücksichtigung der in Abschnitt 7.4 dargelegten Randbedingungen für anforderungsgerecht geplante und montierte Dübel keine relevanten Verschiebungen am Anbauteil erwartet.

Nachfolgend wird eine qualitative Bewertung des Einflusses von Verschiebungen auf sicherheitstechnisch wichtige Anlagenteile in Kernkraftwerken durchgeführt.

7.5.2 Verschiebungsunempfindliche Anlagenteile

Als verschiebungsunempfindlich werden nachfolgend solche Anlagenteile bezeichnet, bei denen ein Verschieben der Halterungen und/oder Verankerungen sicherheitstechnisch nicht relevant ist. Der Einfluss von Lastumlagerungen wird erforderlichenfalls berücksichtigt.

a) Anlagenteile der Klasse I gemäß KTA 2201.1 mit der Anforderung Tragfähigkeit (Standsicherheit)

Diese Anlagenteile und deren Tragstrukturen können dann als verschiebungsunempfindlich angesehen werden, wenn auf Grund der hohen Duktilität der entsprechenden Bauteile auch große Verschiebungen (>> 3 mm am Einzeldübel) ohne Einschränkung der Tragfähigkeit zugelassen werden können. Zu diesen Tragstrukturen gehören z. B. die Kabeltragkonstruktionen, Unterverteilergestelle, etc.

b) Anlagenteile der Klasse IIa gemäß KTA 2201.1 mit der Anforderung Tragfähigkeit (Standsicherheit)

Für diese Anlagenteile ist grundsätzlich zu zeigen, dass bei den außergewöhnlichen Einwirkungen z. B. eines Bemessungserdbebens keine sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteile und baulichen Anlagen unzulässig beeinflusst werden. Im Allgemeinen haben auch große Verschiebungen (>> 3 mm am Einzeldübel), keine Relevanz für die Tragfähigkeit dieser Anlagenteile.

7.5.3 Verschiebungsempfindliche Anlagenteile

Als verschiebungsempfindlich werden nachfolgend solche Anlagenteile bezeichnet, bei denen ein Verschieben der Halterungen und/oder Verankerungen sicherheitstechnisch relevant ist.

a) Rohrleitungen DN ≤ 50, einschl. Rohrhalterungen

Für Rohrleitungen kleiner Nennweiten, DN ≤ 50, die nach den Kriterien der Verlegerichtlinien verlegt sind, gilt, dass sie auf Grund der flexiblen Verlegung (Flexibilitätskriterien) ebenfalls unempfindlich für die hier maximal zu erwartenden Dübelverschiebungen sind. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass die auf die Dübelverbindungen wirkenden Lasten im Allgemeinen so gering sind, dass keine für die Rohrleitung relevanten Dübelverschiebungen zu erwarten sind. Rohrleitungen kleiner Nennweiten, DN ≤ 50, die nicht nach den Kriterien der Verlegerichtlinien verlegt sind, werden gesondert betrachtet (z. B. Bewertungsrichtlinie).

b) Rohrleitungen DN > 50, einschl. Rohrhalterungen

Für Rohrleitungen DN > 50 gilt, dass sie auf Grund ihrer Duktilität auch größere Verschiebungen ertragen können. Wegen der geringen zu unterstellenden Häufigkeit der Verschiebungen infolge Be-

messungserdbeben und der Einstufung dieses Lastfalles ist ein Ermüdungseinfluss für das Rohrleitungssystem nicht zu berücksichtigen. Wie bereits oben festgestellt, können Verschiebungen in der maximal zu erwartenden Größe von ca. 3 mm innerhalb des Nachweises vernachlässigt werden. Die eignungsgeprüften Bauteile serienmäßiger Halterungskonstruktionen haben Lastreserven gegenüber den Nennlasten in der Bemessungsklasse H von > 4,0, siehe hierzu auch KTA 3205.3. Der Stahlbau von Halterungskonstruktionen hat im Allgemeinen eine geringere Auslastung als die Serienteile, so dass auch hierfür ausreichende Beanspruchungsreserven vorliegen.

Die Tatsache, dass die postulierten Verschiebungswerte an Dübelverbindungen auch bei hohen Beanspruchungen infolge anomaler Betriebszustände (z. B. RESA, TUSA) nicht beobachtet werden, lässt sich neben den immer noch vorhandenen Konservativitäten bei den durchgeführten Versuchen auch damit erklären, dass innerhalb des Rohrleitungssystems Lastumlagerungen auf benachbarte Halterungen und Verankerungen auftreten. Diese Umlagerung der Lasten findet statistisch gesehen nicht zu dem Zeitpunkt statt, zu dem die benachbarte Halterung ebenfalls die maximale Last erfährt. Daher wurde in diesem Zusammenhang auch kein Versagen der Dübelverbindungen beobachtet.

c) Komponenten mit Rohrleitungsanschlüssen (Pumpen, Behälter, Wärmetauscher, Armaturen, etc.)

Diese Komponenten sind im Allgemeinen nicht mittels Dübelverbindungen am Bauteil verankert und erfahren daher keine unmittelbaren Beanspruchungen infolge von Dübelverschiebungen. Zusätzliche Beanspruchungen können ggf. auftreten, wenn Verschiebungen der ersten Halterung/Verankerung der angeschlossenen Rohrleitungen nicht berücksichtigte Lastumlagerungen auf die Komponentenstutzen ausüben. Diese Lastumlagerungen sind jedoch nicht an allen Stutzen und nicht gleichzeitig mit den Trägheitslasten und Beanspruchungen der Komponenten selbst zu unterstellen.

Daher sind auch hier bei den in den Kernkraftwerken eingesetzten duktilen Werkstoffen ausreichende Beanspruchungsreserven in den Komponenten vorhanden, so dass ein Folgeversagen nicht zu unterstellen ist und in der Vergangenheit bei Anlagenbegehungen nach schweren Erdbeben nicht festgestellt wurde, z. B. nach dem Erdbeben am 16.07.2007 in Kashiwazaki.

Komponenten, deren Stützkonstruktion mittels Dübelplatten am Bauteil verankert werden, werden gesondert betrachtet.

d) Lüftungskanäle

Lüftungskanäle sind großvolumige Bauteile mit geringer Masse und relativ hoher Steifigkeit. Für die Kanäle bestehen keine Anforderungen an die Maßhaltigkeit, so dass auch hierfür größere Verformungen toleriert werden können. Bei postulierten Verschiebungen einzelner Dübelverbindungen kommt es auch bei den Kanalhalterungen zu Umlagerungen, wobei ähnlich wie bei den Rohrleitungen die Umlagerung der Lasten statistisch gesehen nicht zu dem Zeitpunkt stattfindet, zu dem die benachbarte Halterung ebenfalls die maximale Last erfährt. Ein Tragfähigkeitsverlust ist daher auch bei diesen Halterungen nicht zu unterstellen und in der Vergangenheit nicht aufgetreten. Für Lüftungskanäle mit Brandschutzverkleidung wird eine separate Bewertung durchgeführt. Lüftungskanäle ohne Integritätsanforderung gehören zu den verschiebungsunempfindlichen Anlagenteilen.

e) E- und L-Technikschränke

Für diese Tragstrukturen und die von Ihnen gehalterten Einbauteile mit mechanisch oder elektromagnetisch bewegten Bauelementen sind Verschiebungen (Spiele) im Verankerungsbereich in ihrer Größe zu begrenzen.

E- und L-Technikschränke sind im Allgemeinen im Bereich von Decken aufgestellt, bei denen in der Druckzone keine Risse und damit keine Dübelverschiebungen zu unterstellen sind.

f) Sonstige Tragstrukturen der E- und L-Technik (z. B. Messumformergestelle)

Für diese Tragstrukturen und die von Ihnen gehalterten Unterstrukturen (Kabel, Wirkdruckleitungen, etc.) gilt, dass auf Grund der Flexibilität der entsprechenden Bauteile auch große Verformungen ohne Einschränkung von Integritäts- oder Funktionsanforderungen ertragen werden können.

7.6 Zusammenfassende Erkenntnisse

Die in Zulassungen nach dem alten DIBt Leitfaden 1998 angegebenen Verschiebungen sind deutlich zu groß und geben nicht das zu erwartende Verschiebungsverhalten am Einzeldübel wieder. Es ist davon auszugehen, dass ordnungsgemäß gesetzte und richtig bemessene Dübel wesentlich geringe-

re Verschiebungen aufweisen. Bei Zulassungen auf Basis des neuen DIBt Leitfadens 2010 werden im Hinblick auf eine Verschiebungsbegrenzung die Verschiebungen in Abhängigkeit von der Zugtragfähigkeit explizit ausgewiesen.

Hinweis:

In Zulassungen von Dübeln (z. B. Verbund-Spreizdübel) können auch Verschiebungen in Abhängigkeit von der Quertragfähigkeit ausgewiesen sein.

Bei Verschiebungen am Einzeldübel bis ca. 3 mm gilt die Annahme eines starren Bauanschlusses für die anschließenden Stützkonstruktionen. In Abschnitt 7.5 wird die folgende Aussage der RSK in der Anlage 1 zur 426. Sitzung durch zusätzliche Erläuterungen qualitativ hinterlegt: *„Verschiebungen dieser Größe haben in der Regel keine Auswirkungen auf das Tragverhalten und die Integrität der angeschlossenen Komponenten und können bei den Nachweisen der Komponenten und ihrer Halterungskonstruktionen deshalb unberücksichtigt bleiben (Annahme im Berechnungsmodell starrer Bauanschluss)“*.

Auch gemäß DIBt Leitfaden 2010 sollte für die Annahme eines starren Bauanschlusses bei sicherheitstechnisch wichtigen Dübelverbindungen die Verformung in allen Richtungen (Zug- und Querrichtung) am Einzeldübel ca. 3 mm nicht überschreiten.

8 Bemessungs- und Sicherheitskonzept

8.1 Allgemeines

In der Befestigungstechnik für den allgemeinen Hochbau stehen für die Nachweisführung mehrere Verfahren zur Verfügung. In den anzuwendenden Zulassungen (abZ oder ETA) wird auf die jeweils anzuwendenden Bemessungsverfahren verwiesen, die beispielsweise in den Leitlinien für europäische technische Zulassungen (z. B. ETAG 001), in Technical Reports (z. B. TR 020) oder auch in einigen Teilen von CEN/TS 1992-4:2009 (DIN SPEC 1021-4 Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4:2009) enthalten sind. Darüber hinaus gibt es Zulassungen, die alle notwendigen Vorgaben für die Nachweisführung ohne Bezug auf übergreifende Dokumente enthalten und solche, in denen die Vorgaben der genannten Dokumente für den speziellen Anwendungsfall ergänzt oder modifiziert werden. Ebenso gibt es Zulassungen mit einer angepassten Bemessung nach DIN 1045-1 oder DIN EN 1992-1-1. Es ist zwingend erforderlich, das in der jeweiligen Zulassung vorgeschriebene Verfahren anzuwenden. Die Mischung mehrerer Verfahren ist nicht zulässig.

In Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen werden an sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen über die Anforderungen des allgemeinen Hochbaus hinausgehende Anforderungen gestellt. Ergänzende Kriterien für diese Dübelverbindungen sind in einem DIBt Leitfaden enthalten. Dieser Leitfaden wurde erstmals 1998 veröffentlicht und diente als Basis für die Erteilung von Zustimmungen im Einzelfall sowie allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Im Jahr 2010 erschien eine neue aktualisierte Ausgabe dieses Leitfadens.

8.2 Teilsicherheitskonzept

8.2.1 Allgemeines

Bei der Bemessung von Dübelverbindungen ist das Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten für maßgebende Bemessungssituationen anzuwenden, wie in DIN EN 1990 angegeben. Es ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Einwirkungen S_d den Bemessungswert der Widerstände R_d nicht überschreitet.

$$S_d \leq R_d \qquad (8\text{-}1)$$

mit

S_d Bemessungswert der Einwirkungen

R_d Bemessungswert der Widerstände

Die Ermittlung der Bemessungswerte der Einwirkungen für den Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erfolgt entsprechend DIN 25449.

Für den einfachsten Fall einer ständigen Einwirkung G_k und einer in gleicher Richtung wirkenden veränderlichen Einwirkung Q_k gilt:

$$S_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k \qquad (8\text{-}2)$$

mit

G_k (Q_k) charakteristischer Wert einer ständigen (veränderlichen) Einwirkung

γ_G (γ_Q) Teilsicherheitsbeiwert für ständige (veränderliche) Einwirkungen

Der Bemessungswert des Widerstandes wird wie folgt berechnet:

$$R_d = R_k / \gamma_M \qquad (8\text{-}3)$$

mit

R_k charakteristischer Widerstand eines Einzeldübels oder einer Dübelgruppe

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände beziehen sich auf den jeweiligen Stand des DIBt Leitfadens. Sie dürfen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden und führen jeweils zum gleichen Sicherheitsniveau.

8.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Im Leitfaden des DIBt 2010 wird hinsichtlich der Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen auf die DIN 25449:2008-02 verwiesen. Hiernach ist eine Trennung nach ständigen und veränderlichen Einwirkungen erforderlich. Nach Erteilung von bauaufsichtlichen Zulassungen auf der Basis des neuen Leitfadens werden alle anlagenseitigen Lastangaben getrennt nach ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu ermitteln sein.

8.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände

In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ oder ETA) oder ZiE werden für die einzelnen Dübeltypen unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte angegeben, die im Zusammenhang mit den jeweiligen charakteristischen Widerständen von denen aus dem Anhang C der Leitlinie und denen des alten Leitfadens des DIBt 1998 abweichen. Der neue Leitfaden des DIBt 2010 gibt auf der Grundlage einer gleichbleibenden Gesamtsicherheit modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für das Betonversagen vor. Diese bilden die Grundlage für die neuen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und können dementsprechend ggf. angepasste charakteristische Widerstände zur Folge haben. Für die Anforderungskategorien A1 bis A3 wird sicherheitsorientiert ein einheitliches Teilsicherheitsniveau von $\gamma_A \cdot \gamma_C$ = 1,5 festgelegt.

Bei der Anwendung müssen die Vorgaben der Zulassung mit der darin vorgegebenen Kombination von Leitfaden und ETAG 001 zwingend eingehalten werden.

8.3 Einwirkungen auf den Dübel

8.3.1 Allgemeines

Anlagenseitig werden die auf die Dübelplatten angreifenden Kräfte und Momente angegeben. Die Größe des Anschlussprofiles (Lasteinleitungsfläche) sowie die Lage des Anschlussprofiles (Lastangriffspunkt - i. d. R. Schwerpunkt des Anschlussprofiles) müssen bekannt sein und gehen aus den zugehörigen Halterungszeichnungen oder Berechnungsunterlagen hervor.

Die auf die Dübelplatte einwirkenden Kräfte, Biege- und Torsionsmomente werden als Zug- und Querkräfte auf die einzelnen Dübel verteilt. Diese Verteilung erfolgt nach der Elastizitätstheorie.

8.3.2 Toleranzfelder

8.3.2.1 Toleranzfelder für die Lage der Dübel

Aufgrund der Tatsache, dass die Bauteilbewehrung beim Setzen von Dübeln nicht beschädigt werden darf, ist es zweckmäßig, wenn die Bohrungen für die Dübel innerhalb eines begrenzten Bereiches ggf. verschoben werden können. Dazu sind bei der Planung und Bemessung Toleranzfelder zu berücksichtigen (siehe **Bild 8-1**). Erfahrungsgemäß sind folgende Toleranzfelder bezogen auf die Dübelachse ausreichend:

Plattenabmessungen bis 500 mm → Toleranzfeld s_T = 50 x 50 mm

Plattenabmessungen größer 500 mm → Toleranzfeld s_T = 70 x 70 mm

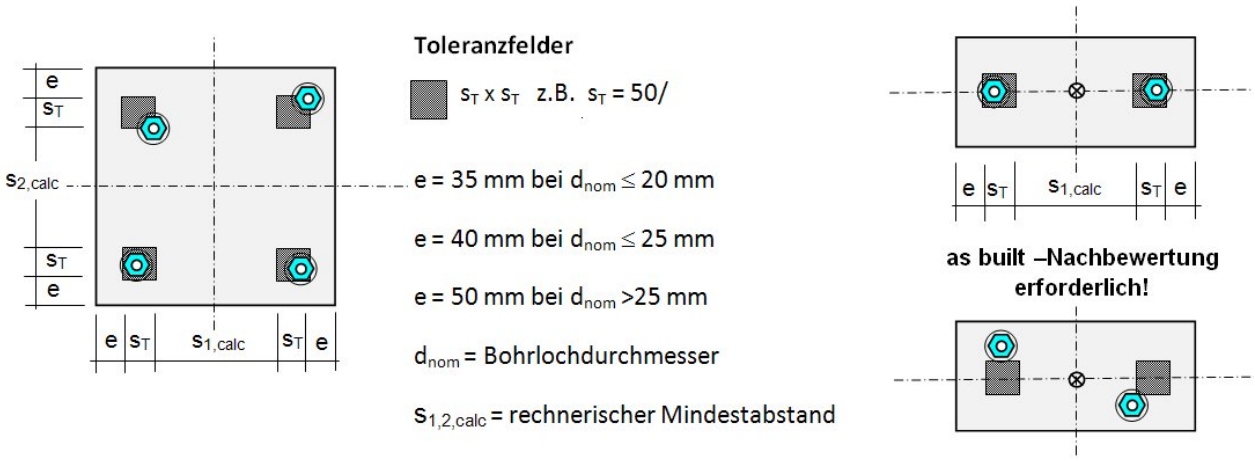

Bild 8-1: Exemplarische Toleranzfelder bei Platten mit 4 Dübeln und bei Platten mit 2 Dübeln

Für die Nachweise ist die jeweils ungünstigste Dübelanordnung innerhalb der Toleranzfelder zugrunde zulegen. Die einhüllende Nachweisführung mit Toleranzfeldern führt bezüglich der Lage der Dübel zu einer konservativen Auslegung der Dübelbefestigung, wenn die Dübel, wie üblich innerhalb der Toleranzfelder angeordnet sind. Bei vor Ort notwendigen Abweichungen über die Toleranzfelder hinaus ist eine statische Nachbewertung auf der Grundlage der ausgeführten (as built-) Abmessungen erforderlich.

8.3.2.2 Toleranzen für Anschlussprofile auf Dübelplatten

Anschlussprofile werden in der Regel an der planmäßigen Stelle auf der Platte befestigt (siehe **Bild 8-2**). Die Nachweisführung erfolgt für diese Solllage. Ergeben sich bei der Ausführung Abweichungen Δ, welche bei der Nachweisführung nicht berücksichtigt wurden, werden diese bewertet. Abweichungen $\Delta \leq 15$ mm, die nicht offensichtlich durch die Reserven der Tragfähigkeit abgedeckt sind und Abweichungen $\Delta > 15$ mm werden einschließlich der Bewertung dokumentiert.

Bei Platten mit 2 Dübeln ist eine Abweichung Δ nur in Richtung der Achse zwischen den beiden Dübeln zulässig, sofern in der Nachweisführung keine Abweichungen berücksichtigt werden.

Sollen größere Toleranzen für die Ausführung ermöglicht werden, sind diese bereits bei der Planung in den Dübelnachweisen rechnerisch, durch Annahme ungünstigster Stellungen, zu berücksichtigen.

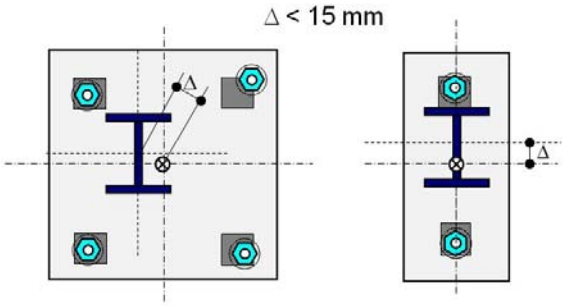

Bild 8-2: Ausführungstoleranz für Anschlussprofil

8.3.3 Zugkräfte

Die infolge der an der Dübelplatte angreifenden Lasten und Biegemomente auf jeden Dübel einwirkenden Zugkräfte werden in Anlehnung an Anhang C der Leitlinie (ETAG 001) entsprechend folgenden Annahmen berechnet:

a) Die Dübelplatte darf sich unter den einwirkenden Schnittkräften nicht verformen. Hiermit ist gemeint, dass die Verformungen der Dübelplatte klein gegenüber den Dübelverformungen sein sollen und damit in der Folge vernachlässigbar sind. Um diese Voraussetzung zu gewährleisten, muss die Dübelplatte ausreichend steif (oder ausgesteift) sein und die Bemessung der Platte sollte nach Stahlbauregeln unter Beachtung des elastischen Verhaltens durchgeführt werden.

b) Die Steifigkeit aller Dübel wird gleich angenommen. Die Dübelsteifigkeit wird auf Basis der elastischen Stahldehnung mit dem Spannungsquerschnitt des Dübels ermittelt. Bei der Ermittlung der Bettung der Dübelplatte ist der Elastizitätsmodul des Betons entsprechend DIN EN 1992-1-1 zu verwenden. Vereinfachend darf E_c = 30 000 N/mm^2 angesetzt werden.

c) In der druckbeanspruchten Zone unter der Dübelplatte tragen die Dübel nicht zur Aufnahme der Normalkräfte bei.

d) In bestimmten Fällen, bei denen die Dübelplatte nicht ausreichend steif ist, sollte die Elastizität der Dübelplatte bei der Berechnung der einwirkenden Lasten auf den Dübel berücksichtigt werden (siehe unten).

Für die Ermittlung der Dübelzugkräfte ist die Kenntnis der Lage der resultierenden Druckkraft erforderlich. Für die Berechnung der Dübelkräfte kommen hauptsächlich folgende Vorgehensweisen zur Anwendung:

a) Iterative Berechnung der Dübelkräfte unter Berücksichtigung der o. g. Voraussetzungen a) bis c) (in der Regel EDV gestützt).

b) Auf der sicheren Seite liegend wird der Druckpunkt unter Berücksichtigung der Lage und Größe des Anschlussprofiles am Rande des Anschlussprofiles angenommen. Die Dübelzugkräfte werden unter Berücksichtigung des so angenommen Hebelarms ermittelt.

c) Bei offensichtlich sehr steifen Dübelplatten wird getrennt nach der Richtung der Momente der Abstand der Dübel als Hebelarm angenommen (z. B. bei standardisierten Kombinationen von Dübeln und Dübelplatte oder bei Dübelplatten mit Steifen). Der tatsächliche Druckpunkt liegt dabei näher am Rand der Platte und damit auf der sicheren Seite. Bei Zweier-Dübelplatten wird in der schwachen Achse der Hebelarm der inneren Kräfte zu 0,9 · b/2 (b = Breite der Dübelplatte) angenommen.

   Hinweis:

   Diese Annahme liegt bei den o. g. Platten auf der sicheren Seite. Lediglich bei dünnen Dübelplatten, bei großen Dübelplatten sowie bei kleinen Anschlussprofilen führt diese Annahme ggf. zu einer Überschätzung der Plattensteifigkeit.

d) Die Ermittlung der Dübelkräfte erfolgt durch eine genauere Berechnung, z. B. Methode der Finiten Elemente, mit den o. g. Steifigkeitswerten für Dübel und Beton sowie den vorliegenden Steifigkeiten der Dübelplatte und ggf. des Anschlussprofiles. Diese Berechnung führt bei bekannter Lage der Dübel zu realistischen Dübelkräften.

8.3.4 Querkräfte

Bei der Verteilung der auf die Dübelplatte einwirkenden Querlasten und Torsionsmomente auf die Dübel einer Gruppe werden folgende Fälle unterschieden:

a) Alle Dübel nehmen Querlasten auf, wenn der Lochdurchmesser nicht größer ist als die in Tabelle 4.1 des Anhang C der Leitlinie angegebenen Werte und der Randabstand größer als 10 h_{ef} ist.

   Hinweis:
   Der Wert 10 h_{ef} ist mechanisch konservativ (aus der ETAG 001 entnommen).

b) Nur die ungünstigsten (randnahen) Dübel nehmen Querlasten auf, wenn der Randabstand kleiner als 10 h_{ef} ist (unabhängig vom Lochdurchmesser) oder der Lochdurchmesser größer ist als die in Tabelle 4.1 des Anhang C der Leitlinie angegebenen Werte (unabhängig vom Randabstand).

c) Langlöcher in Richtung Querlast verhindern, dass diese Dübel Querlasten aufnehmen. Dies kann bei Verankerungen nahe am Bauteilrand günstig sein.

d) Der DIBt Leitfaden 2010 eröffnet die Möglichkeit der Berücksichtigung einer Oberflächenbewehrung, so dass auch randnahe und randferne Dübel gleichzeitig zum Lastabtrag herangezogen werden können.

e) Querkräfte aus Torsionsmomenten werden nach ETAG 001, Anhang C (3. Änderung August 2010), Bilder 4.2b und 4.6d ermittelt.

Querlasten werden als ohne Hebelarm auf die Dübel einwirkend angenommen, 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 ≥ 30 N/mm^2) und einer Dicke ≤ 3 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_{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 ≤ 3 mm.

Ist eine der Bedingungen nicht erfüllt, so wird der Nachweis der Querlasten mit Hebelarm nach ETAG 001, Anhang C mit der dort angegebenen Definition geführt.

Hinweis:
Diese Regelung führt in der Praxis dazu, dass bei einer nur geringfügigen Vergrößerung des Hebelarms, z. B. der Mörtelschichtdicke, ein sprunghafter Abfall in der rechnerischen Tragfähigkeit entsteht. Hier wäre ein stetiger Übergang wünschenswert.

8.4 Bemessung Grenzzustand der Tragfähigkeit

8.4.1 Allgemeines

Für die Bemessung von Dübelverbindungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit stehen nach ETAG 001 die drei Bemessungsverfahren A, B und C zur Verfügung. In der Regel wird das genauere Bemessungsverfahren A und nur in Ausnahmefällen die vereinfachten Verfahren B und C angewendet.

Es muss nachgewiesen werden, dass der Bemessungswert der Einwirkung gleich oder kleiner ist als der Bemessungswert des Widerstandes. Die charakteristischen Dübelkennwerte für die Berechnung des Widerstandes im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind in der jeweiligen abZ, ETA oder ZiE angegeben. Der minimale Achs- und Randabstand sowie die Mindestbauteildicke dürfen nicht unterschritten werden. Ohne Berücksichtigung des gegenseitigen Einflusses muss der Achsabstand a zwischen den äußeren Dübeln benachbarter Dübelgruppen oder der Abstand zu Einzeldübeln a > s_{crN} (Bemessungsverfahren A) oder a > s_{cr} (Bemessungsverfahren B und C) betragen.

Die Nachweise erfolgen auf Basis der jeweiligen abZ bzw. ZiE mit Bezug auf ETAG 001, Anhang C unter Beachtung der zulässigen Anwendungsbedingungen entsprechend DIBt Leitfaden. Auf die wesentlichen Eingangswerte wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

8.4.2 Nachweise bei Zugbeanspruchung

8.4.2.1 Erforderliche Nachweise

Für Zugbeanspruchung sind die Nachweise nach **Tabelle 8-1** in Abhängigkeit von den Anforderungskategorien A1, A2 und/oder A3 zu führen. In der Regel wird die Berechnung nur für die maßgebende Anforderungskategorie geführt. In den folgenden Abschnitten werden die entsprechenden charakteristischen Werte der Widerstände beschrieben.

	Einzeldübel	Dübelgruppe	
		Höchstbeanspruchter Dübel	Gruppe
Stahlversagen	$N_{Sd} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N_{Sd}^{h} \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Herausziehen	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	$N_{Sd}^{h} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	
Betonausbruch	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N_{Sd}^{g} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
Spalten	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$		$N_{Sd}^{g} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

Tabelle 8-1: Übersicht der erforderlichen Nachweise bei Zugbeanspruchung

8.4.2.2 Stahlversagen

Die charakteristische Zugtragfähigkeit $N_{Rk,s}$ ist der jeweiligen Zulassung zu entnehmen und unterscheidet i. A. nicht zwischen den Anforderungskategorien.

8.4.2.3 Betonausbruch

Der Ausgangswert des charakteristischen Widerstandes in der Versagensart Betonausbruch $N_{Rk,c}^{0}$ ist produktspezifisch und unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen anzunehmenden Rissbreiten in den Anforderungskategorien A1 und A2/A3. Die Ermittlung ist in der Zulassung geregelt.

8.4.2.4 Herausziehen

Die charakteristische Zugtragfähigkeit für die Versagensart Herausziehen $N_{Rk,p}$ unterscheidet sich je nach Anforderungskategorie A1, A2 und A3 und ist der jeweiligen Zulassung zu entnehmen. Hierbei berücksichtigt der angegebene Widerstand die Abhängigkeit von der möglichen Rissbreite.

8.4.2.5 Spalten

Es ist zu unterscheiden zwischen Versagen durch Spalten bei der Montage und Versagen durch Spalten bei Belastung.

Ein Spalten während der Montage wird vermieden, wenn die in der jeweiligen Zulassung angegebenen Mindestwerte für Randabstände, Achsabstände, Bauteildicke und Anforderung an die Bewehrung eingehalten sind.

Der Widerstand für die Versagensart „Spalten" bei Belastung ist nach ETAG 001, Anhang C unter Berücksichtigung der jeweiligen abZ oder ZiE nachzuweisen. Sofern die Bedingungen des Anhang C, Kapitel 7.3 erfüllt sind, kann auf einen Nachweis verzichtet werden.

8.4.3 Nachweise bei Querbeanspruchung

8.4.3.1 Erforderliche Nachweise

Für Querbeanspruchung sind die Nachweise nach **Tabelle 8-2** in Abhängigkeit von den Anforderungskategorien A1, A2 und/oder A3 zu führen. In der Regel wird die Berechnung nur für die maßgebende Anforderungskategorie geführt. In den folgenden Abschnitten werden die entsprechenden charakteristischen Werte der Widerstände beschrieben.

	Einzeldübel	Dübelgruppe	
		höchstbeanspruchter Dübel	Gruppe
Stahlversagen, Querlast ohne Hebelarm	$V_{Sd} \le V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^{h} \le V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Stahlversagen, Querlast mit Hebelarm	$V_{Sd} \le V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$V_{Sd}^{h} \le V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	
Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite	$V_{Sd} \le V_{Rk,p} / \gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^{g} \le V_{Rk,p} / \gamma_{Mc}$
Betonkantenbruch	$V_{Sd} \le V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$V_{Sd}^{g} \le V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$

Tabelle 8-2: Übersicht der erforderlichen Nachweise bei Querbeanspruchung

8.4.3.2 Stahlversagen

a) Querlast ohne Hebelarm

Die charakteristische Quertragfähigkeit $V_{Rk,s}$ eines Dübels bei Stahlversagen ist in Abhängigkeit der Anforderungskategorie A1, A2 und/oder A3 der jeweiligen Zulassung zu entnehmen.

Bei Dübelgruppen wird der in der Zulassung angegebene charakteristische Querwiderstand mit einem Faktor von 0,8 multipliziert, wenn der Dübel aus Stahl von relativ niedriger Duktilität besteht (Gleichmaßdehnung $A_g \le 8$ %). Hierdurch wird das unterschiedliche Ansprechverhalten in einer Gruppe infolge Lochspiel berücksichtigt.

b) Querlast mit Hebelarm

Die charakteristische Quertragfähigkeit $V_{Rk,s}$ eines Dübels bei Stahlversagen ergibt sich nach abZ oder ZiE mit Bezug auf ETAG 001, Anhang C.

Dabei wird die Beanspruchung aus Zugkräften und Biegemomenten auf den Dübel sowie die Einspannung des Dübels im Anbauteil und im Beton berücksichtigt. In der gegenwärtigen Fassung der ETAG 001, Anhang C sind vereinfachte Regelungen enthalten, die im Hinblick auf das Zusammenwirken der einzelnen Beanspruchungsrichtungen physikalisch sehr konservativ sind (vgl. auch 8.4.4).

8.4.3.3 Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite (Pryout-Versagen)

Bei Dübelverbindungen mit kurzen steifen Dübeln kann es zu einem Betonausbruch auf der lastabgewandten Seite kommen. Der entsprechende charakteristische Widerstand $V_{Rk,cp}$ berechnet sich nach altem und neuem Leitfaden auf unterschiedliche Weise. Gleichzeitig sind die zugehörigen Sicherheitsbeiwerte zu beachten.

8.4.3.4 Betonkantenbruch

Bei Dübelverbindungen mit einem Randabstand von $c > 10\ h_{ef}$ und $c > 60\ d_{nom}$ darf ein Nachweis des charakteristischen Widerstandes bei Betonkantenbruch entfallen. Der charakteristische Widerstand eines Dübels oder einer Dübelgruppe bei Betonkantenbruch ist nach ETAG 001, Anhang C zu berechnen. $V^0_{Rk,c}$ wird mit dem Vorfaktor 0,45 bestimmt. Zur Erfassung des günstigen Einflusses einer geraden Randbewehrung parallel zum Rand im gerissenen Beton wird i. A. der widerstandserhöhende Faktor $\Psi_{ucr,V} = 1{,}2$ bei Kernkraftwerken angesetzt.

Des Weiteren kann der Nachweis gegen Betonkantenbruch nunmehr auch unter Ansatz einer Oberflächenbewehrung nach DIN SPEC 1021-4-2 (08/2009) 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 (08/2009) angegebenen Interaktionsgleichung erfolgen.

8.4.4 Kombinierte Zug- und Querbeanspruchung (Schrägzug)

Bei kombinierten Zug- und Querlasten müssen entsprechend ETAG 001, Anhang C folgende Gleichungen erfüllt sein:

$$ß_N \le 1{,}0 \qquad (8\text{-}4)$$

$$ß_V \le 1{,}0 \qquad (8\text{-}5)$$

$$ß_N + ß_V \le 1{,}2 \qquad (8\text{-}6)$$

Siehe hierzu auch **Bild 7-3**.

Dabei sind $ß_N$ ($ß_V$) das Verhältnis zwischen Einwirkung und Widerstand bei Zug-(Quer-)beanspruchung. In den Gleichungen ist jeweils der größte Wert von $ß_N$ und $ß_V$ für die einzelnen Versagensarten einzusetzen.

Im Allgemeinen ergeben die Gleichungen konservative Ergebnisse. Genauere Ergebnisse werden durch die folgende Gleichung erhalten:

$$(ß_N)^\alpha + (ß_V)^\alpha \le 1 \qquad (8\text{-}7)$$

mit:

$\alpha = 2{,}0$ wenn für N_{Rd} und V_{Rd} Stahlversagen maßgebend ist

$\alpha = 1{,}5$ bei allen anderen Versagensarten

H i n w e i s :
Mit der hier genannten Regelung zur Interaktion werden Versagensarten kombiniert, die keinen direkten Einfluss aufeinander haben, wie z. B. Stahlversagen auf Zug und Betonkantenbruch. Diese Regelung liegt auf der sicheren Seite, bereitet in der Praxis jedoch oft Probleme, da bei geringfügigen Änderungen der Randbedingungen große Sprünge in den Widerständen zu verzeichnen sind. Diese Problematik wird derzeit unter den Fachleuten diskutiert mit dem Ziel, zutreffendere Nachweisformate zu finden. Hier ist insbesondere der Nachweis Querkraft mit Hebelarm näher zu beleuchten (Abschnitt 8.4.3.2), auch bei der Berücksichtigung von Rückhängebewehrung.

8.5 Bemessung Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Abhängig von den sicherheitstechnischen Anforderungen muss die Standsicherheit, Integrität und/oder Funktionsfähigkeit der mit Dübelverbindungen angeschlossenen sicherheitstechnisch wichtigen Bau- und Anlagenteile gewährleistet werden. Hieraus ergeben sich Anforderungen an Dübelverbindungen hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit. Eine wichtige Anforderung ist die Begrenzung von Dübelverschiebungen derart, dass die Auswirkungen auf das Tragverhalten und die Integrität der angeschlossenen Systeme sowie mögliche verformungsabhängige Rückwirkungen auf die Dübelverbindung vernachlässigt werden und bei den Nachweisen deshalb unberücksichtigt bleiben können (im Berechnungsmodell Annahme eines starren Bauanschlusses). Der DIBt Leitfaden 2010 formuliert hierzu in Abschnitt 2.4: *„Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen sollte für die Annahme*

einer starren Verankerung die Verformung in allen Richtungen am Einzeldübel 3 mm nicht überschreiten." In Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 426. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 20.05.2010 wird auch ein Wert von etwa 3 mm genannt.

Für Dübel nach dem DIBt Leitfaden 2010 wird diese Anforderung bei den ausgewiesenen Tragfähigkeiten der Dübel berücksichtigt. Somit ist die Anforderung der Verschiebungsbegrenzung (starrer Bauanschluss) ohne speziellen Nachweis grundsätzlich erfüllt, wenn die für verschiebungsempfindliche Systeme genannten Tragfähigkeiten eingehalten werden. Für Dübel, die nach dem DIBt Leitfaden 1998 zugelassen wurden, kann dieser Effekt durch Reduktion der Tragfähigkeiten berücksichtigt werden.

Für weitere Erläuterungen zu diesem Thema wird auf die Abschnitte 4.2.3 und 7 dieses Sachstandberichtes verwiesen.

8.6 Weitere Nachweise

Benachbarte Dübelverbindungen haben einen ausreichenden Abstand voneinander, damit deren Widerstände sich nicht gegenseitig beeinflussen. Andernfalls wird der widerstandsmindernde Einfluss benachbarter Dübelverbindungen in den Nachweisen berücksichtigt, z. B. durch Annahme eines fiktiven Bauteilrandes zwischen den betrachteten Befestigungspunkten.

Neben den Nachweisen der Dübelverbindung selbst wird nachgewiesen, dass die anzuschließenden Kräfte durch das betroffene Bauteil bis hin in den Baugrund weitergeleitet werden können.

Bei der Lastein- und Weiterleitung werden sowohl Biegetragfähigkeit als auch Quertragfähigkeit der betroffenen Bauteile betrachtet. Ggf. wird bewertet, ob die möglicherweise bei der Bohrlochherstellung durchtrennten Bewehrungsstäbe (Bewehrungstreffer) Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Bauteile haben. Bei Anordnung von Dübelplatten in der Zugzone von Stahlbetonplatten wird berücksichtigt, dass die Quertragfähigkeit des Bauteils hierdurch reduziert sein kann.

9 Ermüdung

Der DIBt Leitfaden 2010 und die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin (DIBt) und die europäischen technischen Zulassungen (ETA) regeln die Dübelverbindungen von Bau- und Anlagenteilen unter vorwiegend ruhenden Einwirkungen. Nach dem DIBt Leitfaden 2010 können Einwirkungen als vorwiegend ruhend betrachtet werden, wenn die Anzahl der Schwingspiele (vollständige Lastzyklen) bei Zugbeanspruchung unter 10^4 und bei Querbeanspruchung unter 10^2 liegt. Untersuchungen auf ausreichende Ermüdungsfestigkeit werden bei Beanspruchungsverhältnissen durchgeführt, die in der Normung als „nicht vorwiegend ruhend beansprucht" benannt werden (z. B. Kranbahnen).

Neben den statischen Lasten aus Druck, Temperatur und Eigengewicht können über die maschinen- und elektrotechnischen Anlagenteile dynamische Lasten auf Dübelverbindungen im normalen und anomalen Betrieb einwirken, z. B. durch Rohrströmung, Drucktransienten, rotierende Anlagenteile oder Kranbetrieb sowie bei außergewöhnlichen Einwirkungen von innen und von außen wie z. B. Erdbeben oder Rohrleitungsbruch.

Grundsätzlich werden die anlagentechnischen Systeme und Komponenten so ausgelegt, dass im Normalbetrieb keine ermüdungsrelevanten Schwingungen auftreten. Die Einhaltung dieser Anforderung wird im Rahmen der Inbetriebsetzung und der späteren Betriebsüberwachung überprüft und sichergestellt.

Beim Auftreten von Schwingungen im stationären Betrieb, bei denen von ihrer Amplitude her ermüdungsrelevante Beanspruchungen nicht auszuschließen sind, werden die betreffenden Systeme und Komponenten wie Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen durch Veränderungen des Halterungskonzeptes oder der Komponenten ertüchtigt. So wird sichergestellt, dass dynamische Lasten infolge betrieblicher Schwingungen im Vergleich zu den abzutragenden statischen Lasten aus Eigengewicht, Druck und Temperatur gering sind. Eine rechnerische Betrachtung von Betriebsschwingungen erfolgt daher im Rahmen der Vorprüfung in der Regel nicht. Diese Vorgehensweise wird auch dadurch gestützt, dass die Berücksichtigung von Sonderlastfällen wie EVA und von konservativen Lastannahmen für die betrieblichen Lasten im Zuge der gesamten Nachweiskette zu Bauanschlusslasten und zu einer Dimensionierung der Dübelverbindungen führt, die gegenüber den potentiell ermüdungsrelevanten Beanspruchungen im Betrieb deutliche Reserven aufweist. Die bisherige Betriebserfahrung und die

Ergebnisse von Dübelüberprüfungen in den Anlagen bestätigen die Berechtigung dieser Vorgehensweise.

Gesonderte Betrachtungen zur Ermüdungsfestigkeit sind generell für Dübelverbindungen erforderlich, die z. B. zum Lastabtrag von Krananlagen dienen.

Einwirkungen infolge von Druckstößen aus anomalen Betriebsfällen, wie z. B. Turbinenschnellabschaltung (TUSA) oder Pumpenschaltvorgängen mit anschließendem Schließen von Rückschlagklappen oder –ventilen können relevante dynamische Lasten für die Halterungen und deren Verankerungen hervorrufen. Wegen der geringen Lastspielzahlen können diese jedoch auch als vorwiegend ruhend charakterisiert und mit den zulässigen Lasten der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nachgewiesen werden.

Diese Feststellung gilt im gleichen Maße für Einwirkungen infolge von außergewöhnlichen Einwirkungen von innen und von außen wie z. B. Erdbeben und Druckstöße aus Rohrleitungsbruch. Diese sind wegen der geringen Lastspielzahlen ebenfalls als vorwiegend ruhend zu betrachten. Hieraus sind keine ermüdungsrelevanten Beanspruchungen für Dübelverbindungen abzuleiten. Daher ist für diese Lastfälle der Ansatz der Bauanschlusslasten als quasistatische Lasten zum Nachweis der Verankerungskonstruktionen gerechtfertigt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass kein Erfordernis besteht, das Ermüdungsverhalten von Dübelverbindungen bei Lasten aus

a) Betriebsschwingungen (z. B. von Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen)
b) Drückstößen infolge anomaler Betriebsvorgänge
c) außergewöhnlichen Einwirkungen von innen und von außen

beim Nachweis zu berücksichtigen, da bei den oben genannten Einwirkungen die Anzahl der ermüdungsrelevanten Schwingspiele sowohl bei Zug- als auch bei Querbeanspruchung die Grenzwerte nicht überschreitet. In allen Fällen können zum Nachweis der Tragfähigkeit der Dübelverbindungen die zulässigen Beanspruchbarkeiten der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen in Verbindung mit dem gültigen Dübelleitfaden zur Anwendung kommen. Gesonderte Betrachtungen zur Ermüdungsfestigkeit sind generell für Dübelverbindungen erforderlich, die zum Lastabtrag z. B. von Krananlagen dienen.

10 Korrosion

Zusätzlich zu den Anforderungen der KTA 1403 Alterungsmanagement in Kernkraftwerken empfiehlt die Reaktor-Sicherheitskommission in ihrer Stellungnahme „Anforderungen an Dübelverbindungen in Kernkraftwerken“, dass auch das Thema Korrosion im Rahmen des Alterungsmanagements zu betrachten ist.

In den aktuellen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) und in der Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton ETAG 001 im Abschnitt „Beurteilung der Dauerhaftigkeit“ ist hinsichtlich des Korrosionsschutzes vorgegeben, dass Dübel aus galvanisch verzinktem Stahl nur in Bauteilen unter den Bedingungen trockener Innenräume verwendet werden dürfen. Dübel aus nichtrostendem Stahl dürfen auch in Feuchträumen und im Freien (einschließlich Industrieatmosphäre und Meeresnähe) eingesetzt werden, sofern nicht noch weitere Korrosionsbelastungen auftreten. Die Angaben beruhen hierbei auf der Annahme einer vorgesehenen Nutzungsdauer des Dübels von 50 Jahren.

Anhand der richtigen Werkstoffwahl der Dübel sollen entsprechend dem DIBt Leitfaden 2010 die Anforderungen an den Korrosionsschutz der Dübel berücksichtigt werden. Hinweise zu den erforderlichen Werkstoffen in Abhängigkeit der Korrosionsbeanspruchung sind in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3.6 (Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen) und in DIN EN ISO 12944 zu finden. In der ETAG 001 ist hierzu formuliert:

„Die in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit erforderliche Beurteilung/Prüfung hängt von der Spezifikation des Dübels in Abhängigkeit von seiner Verwendung ab“.

Die galvanisch verzinkten Dübel besitzen entsprechend der abZ eine Schichtdicke von mindestens 5 µm. Verzinkungen dieser Art werden üblicherweise für eine allgemein übliche Lagerhaltung mit sehr milder bzw. ohne Beanspruchung gewählt, womit in trockenen Innenräumen ein ausreichender Korrosionsschutz erzielt wird. Bei Einwirkung von Feuchtigkeit, z. B. durch Kondensation aus der Umgebungsluft, ist der Korrosionsschutz (Lebensdauer) dieser Art von Verzinkungen begrenzt.

Die sicherheitstechnische Regel KTA 3601 „Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken“ fordert hinsichtlich der Raumluftzustände in der Anlage, dass in den einzelnen Gebäuden oder Bereichen die von der Systemtechnik geforderten Raumluftzustände einzuhalten sind. Hierzu gibt die Regel Orientierungswerte für die mittlere Raumlufttemperatur und die mittlere Luftfeuchte im Normalbetrieb der Anlage an. Räume in einer kerntechnischen Anlage erfüllen im Normalbetrieb bis auf wenige Ausnahmen die Bedingungen trockener Innenräume.

In der Stellungnahme „Anforderungen an Dübelverbindungen in Kernkraftwerken“ zum Ergebnisprotokoll der 426. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 20.05.2010 ist zur Korrosion formuliert:

„In Feuchträumen, in Außenluftbereichen und in Raumbereichen, in denen die dort vorliegenden spezifischen Umgebungsbedingungen eine Korrosion der Dübel begünstigen können, sind nur korrosionsbeständige Dübel zuzulassen. Ereignisbezogen, z.B. nach aufgetretenen Leckagen, Dekontaminationsarbeiten, Feuchtigkeitseinträgen oder anderen Hinweisen auf Dübelkorrosion ist zu prüfen, ob die bei der Auslegung unterstellten Umgebungsbedingungen noch zutreffen bzw. unzulässige Dübelkorrosionen auftreten. Der Nachweis der Korrosionsfreiheit ist nicht durch Sichtprüfungen möglich, hierfür ist die stichprobenweise Demontage von Dübeln erforderlich.“

11 Qualitätssicherung

11.1 Allgemeines

In den Anlagen liegen in den betrieblichen Dokumentationen spezifische mit Behörden abgestimmte Verfahrensanweisungen für Dübelverbindungen (Dübelrichtlinien, Spezifikationen) vor, die regelmäßig aktualisiert werden. Diese regeln u. a. die Zuständigkeiten und Arbeitsabläufe zur Planung, Ausführung und Überwachung der Dübelverbindungen.

11.2 Montage, Kontrolle, QS-Schulung

Die Tragfähigkeit und die Zuverlässigkeit von Verankerungsmitteln werden in hohem Maße von der Art beeinflusst, wie die Verankerungen geplant und montiert werden.

Grundlage für die Planung und Bemessung von Dübelverbindungen 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. Die Daten des Ist-Zustandes (as-built) werden vor Ort auf ihre Übereinstimmung mit der Planung geprüft und bei Abweichungen wird deren Einfluss auf die Tragfähigkeit bewertet.

Die Montage von sicherheitstechnisch wichtigen Dübelverbindungen darf nur durch produktspezifisch geschultes Personal unter Zugrundelegung der entsprechenden Regelungen in den jeweiligen Zulassungen (abZ, ETA oder ZiE), den Montageanweisungen der Dübelhersteller und den Konstruktionszeichnungen auf der Baustelle erfolgen. In der Praxis wird die Schulung durch die Dübelhersteller durchgeführt. Der erfolgreiche Abschluss der Schulung wird nachgewiesen, und die Schulung darf nicht länger als 2 Jahre zurück liegen (siehe z. B. DIBt Leitfaden 2010).

Die allgemeinen Anforderungen an die Qualitätssicherung und Dokumentation gemäß den Regeln KTA 1401 „Allgemeine Forderungen an die Qualitätssicherung“ und KTA 1404 „Dokumentation beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken“ sind auch für Dübelverbindungen einzuhalten. Zusätzlich hierzu können weitere Anforderungen durch betriebliche Regelungen (QM System) und behördliche Festlegungen bestehen.

Die Regel KTA 1401 „Allgemeine Forderungen an die Qualitätssicherung“ bezieht sich auf die für Kernkraftwerke geltenden Sicherheitskriterien 1.1 „Grundsätze der Sicherheitsvorsorge“ und 2.1 „Qualitätsgewährleistung“. Gemäß dem Kriterium 2.1 muss die Qualität aller Anlagenteile eines Kernkraftwerks – zu den Anlagenteilen gehören auch Bauteile wie Dübelverbindungen – ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung entsprechen. In allen Montageschritten, in denen die Qualitätsmerkmale beeinflusst werden können, ist die Qualitätssicherung vom Betreiber (Genehmigungsinhaber) durchzuführen (KTA 1401 Abschnitt 7.2 (2): „An spezifizierten Haltepunkten während und nach Abschluss der Fertigung, Montage und Errichtung sind Qualitätsprüfungen durchzuführen. Die Fertigungsschritte und Prüfungen sind (z. B. mittels Prüffolgeplan) so aufeinander abzustimmen, dass jede Prüfung zu dem

Zeitpunkt vorgenommen wird, zu dem die geforderten Qualitätsmerkmale uneingeschränkt geprüft werden können.“).

In Anlehnung an den DIBt Leitfaden 2010 sind Umfang und Prüftiefe der Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Montage der Dübelverbindungen entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung der anzuschließenden Komponenten zwischen der Anlagentechnik und der Bautechnik abzustimmen. Die ordnungsgemäße Ausführung von Dübelverbindungen ist auf der Basis produktspezifischer Prüfungen vom Betreiber zu überwachen und zu dokumentieren. Für Dübelverbindungen sind produktspezifisch angepasste Montageprotokolle in Anlehnung an die Prüffolgepläne in der Anlagentechnik vorzusehen. Aus der bautechnischen Dokumentation muss hervorgehen, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen an die baulichen Anlagen erfüllt werden. Die Montageprotokolle sind von der ausführenden Firma auszufüllen und vom Genehmigungsinhaber sowie vom bautechnischen Sachverständigen und ggf. in Abstimmung mit dem anlagentechnischen Sachverständigen zu überprüfen. Die Durchführung der Überprüfung ist mit den Unterschriften der Beteiligten zu dokumentieren. Detaillierte Angaben zu Montageprotokollen sind z. B. im DIBt Leitfaden 2010 enthalten.

11.3 Wiederkehrende Prüfungen (WKP)

Gemäß den Zulassungen der Dübel sind wiederkehrende Prüfungen (WKP) nicht vorgesehen. In Anlehnung an die RSK Stellungnahme 426 sind über Sichtprüfungen (z. B. nach KTA 3205.1) hinausgehende wiederkehrende Prüfungen bei nachgewiesenem ordnungsgemäßem Einbau nicht erforderlich. Ereignisbezogen (z. B. nach Ereignisabläufen mit potenziell nicht spezifizierten Lasten) sind hierauf abgestimmte Prüfungen im Rahmen von Anlagenbegehungen durchzuführen. Das wiederkehrende Aufbringen des Montagedrehmoments ist zu vermeiden, da hierdurch die Tragfähigkeit des Dübels reduziert werden kann.

12 Brandschutz

Gemäß dem gestaffelten Sicherheitskonzept für Kernkraftwerke sind anlageninterne Brände der Sicherheitsebene 3 und somit den Störfällen zugeordnet. Das brandbedingte Versagen von sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen ist im erforderlichen Umfang (z. B. unter Berücksichtigung von Redundanzen) zu verhindern, um die Störfallbeherrschung und somit die Einhaltung der Schutzziele sicherstellen zu können.

Ein brandbedingtes Versagen von Anlagenteilen kann ausgeschlossen werden, wenn deren Funktions- oder Standsicherheit durch Temperatureinwirkung nicht unzulässig vermindert wird. Bei einer solchen Versagensbetrachtung sind neben dem eigentlichen Anlagenteil auch die vorhandenen Befestigungen am Bauwerk zu berücksichtigen. Ergibt die Versagensbetrachtung unter Berücksichtigung von vorhandenen Brandlasten und Zündquellen im betroffenen Raumbereich, dass Dübelverbindungen einen bestimmten Feuerwiderstand aufweisen müssen, so kann dies entweder durch die Verwendung geeigneter Dübeltypen mit entsprechender Feuerwiderstandsdauer oder durch kompensierende brandschutztechnische Maßnahmen erreicht werden.

Die Feuerwiderstandsdauer von Dübelverbindungen ist im Anwendungsbereich der zugehörigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ), europäisch technischen Zulassung (ETA) oder Zustimmung im Einzelfall (ZiE) angegeben.

Die Beurteilung des Feuerwiderstandes von Dübelverbindungen kann nach dem EOTA Technical Report TR 020 vorgenommen werden, sofern in den jeweiligen Zulassungen (abZ, ETA oder ZiE) charakteristische Werte für die Bemessung der Dübelverbindung in Bezug auf die Feuerwiderstandsfähigkeit angegeben werden. Dies beinhaltet nicht den eventuell vorhandenen Einfluss von breiten Rissen, wie sie aus Einwirkungen der Sicherheitsebene 3 (z. B. Erdbeben) entstehen können.

Für die Einwirkungskombinationen nach Anforderungskategorie A2 und A3 sind zusätzliche Nachweise erforderlich, wenn ein Brand als Folgeereignis (z. B. Folgebrand nach Abklingen des Erdbebens) anzunehmen ist.

Für sicherheitstechnisch wichtige Dübelverbindungen ist auch der unabhängige Brand nach einem Erdbeben mit zu berücksichtigen. Dies gilt gemäß KTA 2101.1 insbesondere für Kernkraftwerksstandorte, deren Intensität des Bemessungserdbebens mit I (MSK/EMS) > VI ermittelt wurde, da nach einem solchen Ereignis von Beschädigungen von Brandschutzmaßnahmen auszugehen ist. Eine Auslegung der Brandschutzmaßnahmen bis zur Höhe des Bemessungserdbebens ist nicht erforderlich, sofern sichergestellt ist, dass nach Auftreten eines Bemessungserdbebens gegebenenfalls ausgefal-

lene bauliche oder betriebliche Brandschutzmaßnahmen unmittelbar nach dem Ereignis (d. h. innerhalb eines Zeitraums von einer Woche) verfügbar gemacht werden oder durch geeignete Maßnahmen ersetzt werden.

Bei Bemessungsintensitäten von I (MSK/EMS) ≤ VI darf gemäß KTA 2101.1 generell auch ohne die Einhaltung besonderer konstruktiver Maßnahmen von der Verfügbarkeit der baulichen und betrieblichen Brandschutzmaßnahmen ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass die ggf. für die Bewertung der Tragfähigkeit von Dübeln im Brandfall herangezogenen kompensierenden brandschutztechnischen Maßnahmen auch nach einem Bemessungserdbeben weiterhin verfügbar sind. Für diesen Fall sind für die Bewertung der Tragfähigkeit von sicherheitstechnisch wichtigen Dübelverbindungen im Brandfall nach einem Erdbeben keine weitergehenden Bewertungen notwendig.

13 Fazit

Hinsichtlich der kerntechnischen Anforderungen ergibt sich aus der Bearbeitung dieses Sachstandsberichtes zum derzeitigen Zeitpunkt kein Regelungsbedarf.

H i n w e i s :

Empfehlenswert wäre es jedoch, wenn für Dübelprodukte, die eine Zulassung nach DIBt Leitfaden 2010 benötigen, Regelungen nicht nur für die Anforderungskategorien A2 und A3 sondern auch für die Anforderungskategorie A1 in dieser Zulassung enthalten wären.

14 Literatur

AREVA-HOCHTIEF-Arbeitsbericht NRA1	2007	AREVA Arbeitsbericht NRA1-G/2007/de/0020 A: „Vorgehen bei Auslegung und Analyse von sicherheitstechnisch relevanten Systemen mit Befestigung an Dübelplatten (Erdbebeneinwirkungen)“ Projekt: Übergeordnete neutrale Unterlagen, Handhabung
BoRaPa	2011	BoRaPa, Gutachterliche Stellungnahme zur realitätsnahen Verschiebungsermittlung des Dübels Hilti HDA-T M12 unter Querlastbeanspruchung - Projektnummer 11/905
DIBt Leitfaden 1998	1998	Deutsches Institut für Bautechnik DIBt Leitfaden für Dübelverbindungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen
DIBt Leitfaden 2010	2010-06	Deutsches Institut für Bautechnik DIBt Leitfaden für Dübelverbindungen in Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen
DIN 1045	1988-07	DIN 1045:1988-07: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
DIN 1045-1	2008-08	DIN 1045-1:2008-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
DIN 25449	2008-02	DIN 25449:2008-02: Bauteile aus Stahl- und Spannbeton in kerntechnischen Anlagen – Sicherheitskonzept, Einwirkungen, Bemessung und Konstruktion
DIN 4108-3	2001-07	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
DIN 4149	2005-04	Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, zurückgezogen 2010-12, Nachfolgedokument ist die DIN EN 1998-1
DIN EN 10160	1999-09	Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren); Deutsche Fassung EN 10160:1999
DIN EN 10164	2005-03	Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche - Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10164:2004
DIN EN 10204	2005-01	Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen; Deutsche Fassung EN 10204:2004
DIN EN 1990	2010-12	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 in Verbindung mit
DIN EN 1990/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
DIN EN 1992-1-1	2011-01	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 in Verbindung mit
DIN EN 1992-1-1/NA	2011-01	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

DIN EN 1993-1-1	2010-12	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1: 2005 + AC:2009 in Verbindung mit
DIN EN 1993-1-1/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
DIN EN 1998-1	2010-12	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009 in Verbindung mit
DIN EN 1998-1/NA	2011-01	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau
EOTA TR 020	2004-05	EOTA Technical Report Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Verankerungen in Beton
ETAG 001	2006-11	ETAG 001 "Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel 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)
Gutachterliche Stellungnahme TU Darmstadt vom Jan. 2009	2009-01	Gutachterliche Stellungnahme Nr. 197.1.07 „Ermittlung von Dübelverschiebungen für den Hilit HDA –T, M12, galv. Vz. Unter verschiedenen Einflussgrößen wie Rissbreite, Lasthöhe und Versuchsart
Gutachterliche Stellungnahme TU Kaiserslautern vom Dez. 2011	2011-12	Gutachterlichen Stellungnahme zur realitätsnahen Verschiebungsermittlung des Dübels Hilti HDA-T M12 unter Querlastwechselbeanspruchung, Prof. Jürgen Schnell, 20.12.2011
KTA 1401	1996-06	Allgemeine Forderungen an die Qualitätssicherung (inhaltlich überprüft und unverändert gültig: 2006-01)
KTA 1403	2010-11	Alterungsmanagement in Kernkraftwerken
KTA 1404	2001-06	Dokumentation bei Bau und Betrieb von Kernkraftwerken
KTA 2101.1	2000-12	Brandschutz in Kernkraftwerken Teil 1: Grundsätze des Brandschutzes
KTA 2201.1	2011-11	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil: Grundsätze
KTA 2201.4	2011-11	Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 4: Anlagenteile
KTA 3201.2	2010-11	KTA 3201.2 Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, Regeländerungsentwurf
KTA 3205.1	2002-06	KTA 3205.1 Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen, Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreiskomponenten in Leichtwasserreaktoren

KTA 3205.2	1990-06	KTA 3205.2 Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen, Teil 2: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für druck- und aktivitätsführende Komponenten in Systemen außerhalb des Primärkreises (inhaltlich überprüft und unverändert gültig: 2000-06)
KTA 3211.2	2010-11	KTA 3211.2 Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, Regeländerungsentwurf
KTA 3601	2005-11	Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken
PSÜ Grundlagen	1996-12	Grundlagen zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung für Kernkraftwerke (Dez. 1996), BAnz. 1997, Nr. 232a
RSK 426	2010-05	RSK-Stellungnahme „Anforderungen an Dübelverbindungen in Kernkraftwerken“ (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 426. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 20.05.2010)
RSK 427	2010-06	RSK-Stellungnahme „Sicherheitstechnische Anforderungen an der Schnittstelle zwischen Anlagentechnik und Bautechnik in Kernkraftwerken (Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 427. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 17.06.2010)
Sachstandsbericht zur Darstellung des Verlege- und Bewertungskonzeptes von Kleinleitungen	2010-12	Sachstandsbericht zur Darstellung des Verlege- und Bewertungskonzeptes von Kleinleitungen sicherheitstechnisch relevanter Systeme in kerntechnischen Anlagen AREVA Arbeitsbericht PESP-G/2010/de/0072 vom 30.12.2012
VGB Tastversuche	2007	Zugversuche mit Dübeln FZA 18x80 K M12 und Hilti HDA-T M12 im bewegten Riss mit reduzierten Rissbreiten zur Feststellung realistischer Axialverschiebungen für Halterungskonstruktionen, 2007).
WLN 2006/06	2006-10	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2006/06) „Fehlerhaft montierte Dübel“ im Kernkraftwerk Biblis, Block A (KWB-A) vom 20.10.2006
WLN 2006/06a	2007-09	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2006/06a) ; Ergänzung zur Weiterleitungsnachricht 2006/06 „Fehlerhaft montierte Dübel“ im Kernkraftwerk Biblis, Block A (KWB-A) vom 07.09.2007
Z-30.3.6	2009-04	Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3.6 (Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen) vom 20.04.2009