



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS
Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
LABOR SPIEZ

Bericht

Prüfung und Zulassung von Dübelsystemen

Bericht	Prüfung und Zulassung von Dübelssystemen (Bericht BBS-1936.9)
Auftraggeber	Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS LABOR SPIEZ 3700 Spiez
Projektleiter	André Zahnd Chef Kollektivschutz LABOR SPIEZ 3700 Spiez
Verfasser	Daniel Schuler BBS Ingenieure AG Gertrudstrasse 17 8400 Winterthur
Ort/Datum	Winterthur, 15. März 2021

Zusammenfassung

Schutzbauten sind auf aussergewöhnliche Einwirkungen infolge von Waffenwirkungen bemessen. Bei diesen Einwirkungen auftretende Belastungen haben eine plastische Deformation des Tragwerks zu Folge und es ist davon auszugehen, dass sich Risse in den Stahlbetonbauteilen des Schutzbaus bilden. Nach einer Erdstossbelastung und der damit verbundenen schockartigen Belastung muss das Überleben im Schutzbau sowie dessen Funktion sichergestellt bleiben. Nicht zum Tragwerk gehörende, sekundäre Einbauteile, Installationen und Einrichtungen im Schutzbau müssen deshalb schocksicher ausgeführt und befestigt sein. Die Schocksicherheit von Einbauteilen und deren Befestigungen wird vom Labor Spiez, Bundesamtes für Bevölkerungsschutz BABS, geprüft.

Die Einbauteile in Schutzbauten werden häufig mittels Bohrmontage und Dübeln befestigt. Um die Schocksicherheit zu gewährleisten, müssen Dübel im gerissenen Betonuntergrund ein günstiges Tragverhalten bei dynamischer Belastung aufweisen. Die Prüfung der Schocksicherheit durch die akkreditierte Prüfstelle STS 0055, Labor Spiez und die Zulassung schocksicherer Dübelssysteme durch die Zulassungsstelle des Bundesamts für Bevölkerungsschutz BABS erfolgt gemäss dem im vorliegenden Bericht beschriebenen Prüf- und Zulassungsverfahren.

Bei Dübeln in stark gerissenem Betonuntergrund, die mit einer dynamischen Zugkraft belasteten werden, ist das Ausziehen des Dübels aus dem Bohrloch die massgebende Versagensart. Die Verankerungstiefe und die Betonfestigkeit haben einen untergeordneten Einfluss auf die Schocktragfähigkeit des Dübels. Das Traglastverhalten des Dübels ist primär von der Schockbelastung, vom Bohrlochdurchmesser sowie von der Rissweite abhängig. Aufgrund der langjährigen Erfahrung mit Dübelschockprüfungen wurden für alle Dübeltypen einheitliche, nur vom Bohrlochdurchmesser abhängige, Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit ($R_{d,shock}$) festgelegt. Die mit standardisierten Prüfparametern und einheitlichen Schockbelastungen durchgeführten Dübelschockprüfungen gewährleisten eine gute Vergleich- und Reproduzierbarkeit der Prüfungen. Der für schocksichere Einbauteile geforderte rechnerische Nachweis der schocksicheren Befestigung ist zudem allgemein und nicht nur für einen spezifischen Dübeltyp gültig.

Die praktischen Schockprüfungen von Dübelssystemen werden auf der Vertikalen Schockprüfanlage (VESPA) der Prüfstelle STS 0055, Labor Spiez, durchgeführt. Die dem Bemessungswert der Schocktragfähigkeit entsprechende Prüfbelastung ($N_{test,shock} = R_{d,shock}$) wird dabei durch die Beschleunigung des Prüftischs der VESPA und die Massenträgheit des am Dübel hängenden Betonprüfkörpers erzeugt. Dabei werden üblicherweise kleine Betonprüfkörper mit einer Masse von 25 kg oder rund doppelt so schwere Prüfkörper verwendet und die maximale Beschleunigung der Schockprüfanlage beträgt 12 bis 16 g.

Vor der Schockbelastung werden die Dübel gemäss den Montage- und Setzanweisungen der Europäischen Technischen Bewertung ETA in den Betonprüfkörpern versetzt. Nach dem Setzen der Dübel wird in den Betonprüfkörpern ein durch das Bohrloch verlaufender Riss erzeugt. Mit Hilfe von Sprengkeilen wird dabei ein durch den gesamten Prüfkörper verlaufender Riss mit konstanter Rissweite erzeugt. Der Parallelriss garantiert einheitliche und insbesondere nicht von der Verankerungstiefe des Dübels abhängige Prüfbedingungen. Ausgehend von Berechnungen der Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte Rissweiten in plastisch deformierten Stahlbetonteilen auftreten, wurde als Prüfbedingung für die Schockprüfungen ein Parallelriss mit einer Rissweite von 0,7 mm festgelegt.

Um die Schockbelastung aufzunehmen, müssen die Dübel in der Lage sein, die einwirkende Zugkraft trotz Riss und verlorener Vorspannung bei Spreizdübeln oder teilweise gelöstem Verbund bei Verbunddübeln, in den Untergrund zu übertragen. Insbesondere kraftkontrolliert spreizende Dübelssysteme müssen deshalb Spreizkräfte aufbauen, wozu eine Verschiebung des Dübels erforderlich ist. Bei den Dübelschockprüfungen werden die aufgrund der Schockbelastung auftretenden und als Schlupf bezeichneten Verschiebungen gemessen. Sie charakterisieren das Schocktragverhalten des Dübelsystems. Schocksichere Systeme zeichnen sich durch begrenzte und nicht zu stark streuende Schlupfwerte sowie eine gute Funktion (z.B. Nachspreizung bei kraftkontrolliert spreizenden Systemen) aus.

Für die Beurteilung der Schocksicherheit von Dübelssystemen sind die bei der Schockprüfung gemessenen Schlupfwerte massgebend. Der bei der Schockbelastung auftretende Schlupf wird für die Beurteilung mit einer logarithmischen Normalverteilung (Log-Normal-Verteilung) beschrieben.

Als Kriterien für die Bewertung des Schocktragverhaltens und die Erteilung einer Zulassung für schocksichere Befestigungen dienen die Parameter des Log-Normal verteilten Schlupfs. Als Zulassungskriterien sind der 90%-Fraktilwert und die Standardabweichung des Schlupfs bei der ersten Schockbelastung sowie das Verhältnis der Erwartungswerte der Log-Normal verteilten Schlupfwerte bei der ersten und bei der zweiten Schockbelastung definiert. Die drei Kriterien werden mit der Kennlinie des Schocktragverhaltens zusammengefasst und ergeben ein anschauliches Bild hinsichtlich der Duktilität des Tragverhaltens des Dübelsystems. Steife Systeme mit kleinen Schlupfen sind durch spitze Kennlinien charakterisiert. Stumpfe Kennlinien sind typisch für duktile Systeme mit grossen Schlupfen, welche jedoch über eine ausgeprägte Spreizkapazität verfügen.

Für die schocksichere Befestigung von Einbauteilen in Schutzbauten müssen geprüfte und vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS zugelassenen Dübelssysteme verwendet werden. Für den rechnerischen Schocksicherheitsnachweis der Befestigungen sind die in der Zulassung angegebenen Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit ($R_{d,shock}$) massgebend. Beim Einbau schocksicherer Befestigungen sind zudem die Achsabstände zwischen den Dübeln sowie die Randabstände zu Bauteilrändern zu beachten. Der minimal zulässige Achsabstand ($s_{min,shock}$) gewährleistet, dass kein Versagen durch Spalten auftritt und dass die Dübel im Fall einer Schockbelastung weder durch Ausziehen noch durch Betonbruch versagen. Der minimale Achsabstand ist in der Zulassung des Bundesamts für Bevölkerungsschutz BABS angegeben. Der minimale Randabstand entspricht der 1,5fachen effektiven Verankerungstiefe des Dübels ($1,5 \cdot h_{ef}$).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Waffenwirkungen und Schockbelastung von Schutzbauten	5
1.2	Schocksicherheit von Dübelsystemen	5
1.3	Abkürzungen und Bezeichnungen	5
1.3.1	Abkürzungen	5
1.3.2	Bezeichnungen	6
2	Tragfähigkeit von Dübelsystemen	7
2.1	Dübeltypen und Tragmechanismen	7
2.2	Rechnerischer Nachweis der Schocksicherheit	8
2.3	Bemessungswert der Schocktragfähigkeit	9
3	Schockprüfung von Dübelsystemen	13
3.1	Prüfaufbau und Prüfmethode	13
3.1.1	Prüfeinrichtung	13
3.1.2	Prüfbelastung	13
3.2	Gerissener Betonuntergrund	15
3.2.1	Rissform	15
3.2.2	Rissweite	16
3.2.3	Rissverlauf	17
3.3	Tragverhalten und Verschiebung	18
3.4	Prüfablauf	19
4	Auswertung und Bewertung der Prüfergebnisse	21
4.1	Prüfbedingungen	21
4.2	Auswertung	21
4.3	Bewertungskriterien	22
4.4	Zulassungskriterien und Kennlinie des Schocktragverhaltens	24
5	Minimaler Achs- und Randabstand	27
5.1	Minimaler Achsabstand	27
5.2	Minimaler Randabstand	28
6	Anhänge	29
6.1	Logarithmische Normalverteilung	29
6.2	Betonprüfkörper	31

1 Einleitung

1.1 Waffenwirkungen und Schockbelastung von Schutzbauten

Schutzbauten sind auf die bei einer Nuklearexplosion auftretenden Druck- und Erdstossbelastungen bemessen. Bei den entsprechend dem Schutzgrad festgelegten Belastungen wird das Schutzbauwerk plastisch deformiert, wobei vergleichsweise grosse Risse in den Stahlbetonteilen des Schutzbaus auftreten.

Nach Waffenwirkungen muss das Überleben im Schutzbau sowie dessen Funktion gewährleistet bleiben. Bei Erdstosseinwirkungen und den damit verbundene Schockbelastungen dürfen Einbauteile, Installationen und Einrichtungen im Schutzbau keine Personen gefährden und die Funktionstauglichkeit der Einbauten muss sichergestellt sein. Die Schocksicherheit von Einbauten und deren Befestigungen wird vom Labor Spiez, Bundesamtes für Bevölkerungsschutz BABS, geprüft.

1.2 Schocksicherheit von Dübelsystemen

Die Befestigungen von Einbauteilen und Installationen in Schutzbauten werden oft mittels Bohrmontage und nachträglich versetzt, im Folgenden generell als Dübel bezeichneten, Befestigungen erstellt. Zur Gewährleistung der Schocksicherheit müssen die in Schutzbauten eingesetzten Dübelsysteme schocksicher sein und ein entsprechendes Tragverhalten bei dynamischer Belastung und gerissenem Betonuntergrund aufweisen. Die Prüfung der Schocksicherheit und die Zulassung für schocksichere Befestigungen erfolgen mit einem speziell für die Dübelsysteme entwickelten Prüf- und Zulassungsverfahren.

Das Verfahren sowie die Kriterien für die Prüfung und Zulassung von Dübelsystemen wurden vom Fachbereich CBRNe Schutzsysteme des Labors Spiez aufgrund der langjährigen Erfahrung und umfangreicher Forschungsarbeiten festgelegt. Die akkreditierte Prüfstelle STS 0055 führt dabei Schockprüfungen von Dübelsystemen durch, und die Zulassungsstelle des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz BABS erteilt die Zulassung für schocksichere Befestigungen in Schutzbauten, wenn das Traglastverhalten des Dübel-systems die definierten Zulassungskriterien erfüllt.

1.3 Abkürzungen und Bezeichnungen

1.3.1 Abkürzungen

DLF	Dynamischer Lastfaktor
ETA	Europäische Technische Bewertung (European Technical Assessment)
IQR	Interquartilsabstand
LN	Logarithmisch Normal
VESPA	Vertikale Schockprüfanlage
cdf	Verteilungsfunktion (cumulative density function)
pdf	Verteilungsdichte (probability density function)

1.3.2 Bezeichnungen

a	Beschleunigung
a_{max}	Maximale Fusspunktbeschleunigung (Supportbeschleunigung)
$a_{test,shock}$	Maximale Beschleunigung Schockprüfung
d_0	Bohrernenndurchmesser
F	Kraft, statische Ersatzkraft (Schockkraft)
G	Gewichtskraft
h_s	Bauteildicke
h_1	Bohrlochtiefe
h_{ef}	Effektive Verankerungstiefe
m	Masse (Masse Prüfkörper, Masse Einbauteil)
N	Normalkraft (Zugkraft)
N_{pre}	Vorspannkraft
N_{stat}	Statische Normalkraft
N_{shock}	Schockzugkraft
$N_{test,shock}$	Schockprüfkraft
n	Anzahl
n_{tp}	Anzahl Prüflinge (test pieces / parts)
R	Widerstand (Resistance)
$R_{d,shock}$	Bemessungswert der Schocktragfähigkeit
S	Einwirkung (Stress)
$S_{d,shock}$	Bemessungswert der Schockeinwirkung
s	Schlupf, Dübelschlupf (Verschiebung)
s_{exp}	Verschiebung Dübel aufgrund Spreizung
s_{hole}	Dübelschlupf im Bohrloch
s_1	Schlupf beim 1. Schock
s_2	Schlupf beim 2. Schock
s_{25}	Unteres Quartil (25% Fraktil)
s_{50}	Mittelwert (50% Fraktil) (Median m)
s_{75}	Oberes Quartil (75% Fraktil)
s_{90}	90% Fraktil
s	Achsabstand Dübel
$s_{min,shock}$	Minimaler Achsabstand von schocksicheren Befestigungen
$s_{cr,sp}$	Minimaler Achsabstand zur Verhinderung von Spaltenversagen
s_c	Achsabstand bei Betonbruch
T_{inst}	Montage-/ Installationsdrehmoment
w	Rissbreite, -weite
w_p	Rissbreite Parallelriss
w_v	Rissbreite V-Riss
σ	Standardabweichung (Log-Normal Verteilung)
σ_1	Standardabweichung des Schlupfs s beim 1. Schock
μ	Erwartungswert (Log-Normal Verteilung)
μ_1	Erwartungswert des Schlupfs s beim 1. Schock
μ_2	Erwartungswert des Schlupfs s beim 2. Schock

2 Tragfähigkeit von Dübelsystemen

2.1 Dübeltypen und Tragmechanismen

Die unterschiedlichen, im Bauwesen verwendeten Dübelsysteme und ihre Tragmechanismen sind nachfolgend beschrieben:

Kraftkontrolliert spreizende Dübel

Kraft- oder drehmomentkontrolliert spreizende Dübel werden bei der Montage durch das Aufbringen eines Drehmoments vorgespannt. Mit der dabei erzeugten Zugkraft im Schraubenbolzen werden die auf einem Konus angeordneten Spreizsegmente gegen die Bohrlochwandung gepresst. Durch die dabei hervorgerufenen Reibungskräfte kann der Dübel Kräfte in den Untergrund übertragen, weshalb man vom Tragmechanismus Reibschluss spricht. Bei einer Erhöhung der Normalkraft N oder einem Verlust der Vorspannung aufgrund von Rissen im Untergrund sind die Dübel in der Lage kraftkontrolliert nachzuspreizen. Es wird zwischen Dübel des Bolzen- und des Hülsentyps unterschieden.

Wegkontrolliert spreizende Dübel

Die Dübel werden durch das Einschlagen des Spreizteils oder der Dübelhülse gespreizt und funktionieren ebenfalls aufgrund von Reibschluss. Die Tragfähigkeit der Dübel ist jedoch abhängig von dem beim Setzen erzeugten Spreizweg. Erhöhte Zugkräfte können nicht übertragen werden und auch der Verlust der Vorspannung aufgrund von Rissen im Untergrund hat eine starke Reduktion der Tragfähigkeit zur Folge. Wegkontrolliert spreizende Dübel sind deshalb **für schocksicheren Befestigungen nicht geeignet** und deshalb im Bild 1 auch nicht dargestellt. Zahlreiche in der Vergangenheit durchgeführte Schockprüfungen mit solchen Dübelsystemen haben dies klar bestätigt.

Hinterschnittdübel

Bei Hinterschnittdübeln wird eine Verzahnung des Dübels im Untergrund erzeugt und der Dübel überträgt die Kräfte über Formschluss. Um den Formschluss zu erzeugen, wird das zylindrische Bohrloch durch ein spezielles Bohrverfahren aufgeweitet. Bei selbsthinterschneidenden Dübeln wird der Hinterschnitt beim Setzen des Dübels erzeugt.

Betonschrauben

Betonschrauben werden mit einem Schrauber, einem Bohrhammer im Drehgang oder einem Drehmomentschlüssel in vorgebohrte zylindrische Bohrlöcher eingeschraubt. Die Gewindegänge des gehärteten Spezialgewindes schneidet sich dabei in den Beton. Zugkräfte (N) werden so mittels Formschluss in den Beton eingeleitet.

Verbunddübel und Verbundspreizdübel

Die Dübelsysteme bestehen allgemein aus einem Stahlteil und einem Verbundmörtel. Bei **Injektionssystemen** ist der 2-Komponenten Verbundmörtel in einer Mörtelkartusche vorkonfektioniert. Mit einem Auspressgerät wird der Mörtel in das Bohrloch injiziert. Der Mörtel wird beim Injizieren mit einer Mischdüse (Statikmischer) gemischt. Bei **Patronensystemen** befindet sich der 2-Komponenten Mörtel in einer Glaspatrone oder in einem Schlauchbeutel. Er wird durch das drehende und schlagende Eintreiben der Ankerstange in das Bohrloch gemischt.

- **Verbunddübel** bestehen aus dem Verbundmörtel und einer Gewinde- oder Ankerstange oder einer Innengewindehülse. Der Tragmechanismus basiert auf dem Verbund des Dübels mit der Bohrlochwandung und wird als Stoffschluss bezeichnet. Die Lasteinleitung in den Untergrund erfolgt über die gesamte Verankerungslänge.

- **Verbundspreizdübel** bestehen aus Verbundmörtel und einer Ankerstange mit mehreren Kernen. Die Ankerstange ist beschichtet oder weist eine glatte und harte Oberfläche auf, welche einen Verbund zwischen der Ankerstange und dem Kunstharzmörtel verhindert. Durch das Vorspannen des Dübels (Aufbringen des Montagedrehmoments) nach dem Aushärten des Mörtels wird der Mörtel in einzelne Mörtelsegmente aufgebrochen, die wie die Spreizsegmente eines Metallspreizdübels wirken. Zugkräfte (N) werden sowohl über den Verbund (Stoffschluss) zwischen Mörtel und Bohrlochwandung als auch über Spreiz- und damit Reibungskräfte (Reibschluss) zwischen der Mörtelschale und der Bohrlochwandung abgetragen.

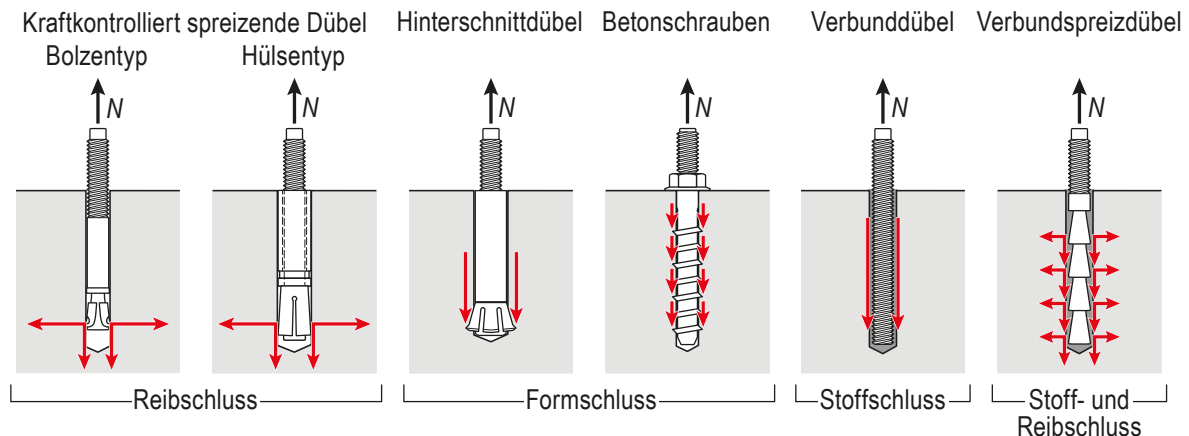


Bild 1: Dübelssysteme und Tragmechanismen

2.2 Rechnerischer Nachweis der Schocksicherheit

Bei der praktischen Schockprüfung von Einbauteilen für Schutzbauten wird das Einbauteil mit Stahlschrauben auf der Plattform der Schockprüfanlage montiert. Die im Schutzbau verwendeten, mittels Bohrmontage versetzten Dübel, werden darum im Rahmen der Schockprüfung von Einbauteilen nicht geprüft. Die Schocksicherheit der Dübelbefestigungen schocksicherer Einbauteile muss deshalb rechnerisch nachgewiesen werden.

Für den rechnerischen Nachweis der schocksicheren Befestigungen (Verankerungsbe-rechnung) werden die im Schockfall auf die Dübelbefestigungen einwirkenden Kräfte be-rechnet. Für die auf das Einbauteil wirkende Schockkraft (Trägheitskraft) wird dabei eine statische Ersatzkraft F angenommen. Beim rechnerischen Nachweis der Schocksicherheit der Dübelbefestigungen muss nachgewiesen werden, dass der maximale Bemessungs-wert der Schockeinwirkung $S_{d,shock,max}$ den im Abschnitt 2.3 angegebene Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ nicht übersteigt, wobei der Nachweis für Schockeinwirkun-gen in allen Raumrichtungen ($\pm F_x$, $\pm F_y$, $\pm F_z$) erbracht werden muss (Bild 2).

$$S_{d,shock,max} \leq R_{d,shock}$$

Die Antwortbeschleunigung schockbeanspruchter Einbauteile und damit die einwirkende Schockkraft F ist von den dynamischen Charakteristiken des Einbauteils abhängig. Weil die Schwingungsanalyse von Einbauteilen in den meisten Fällen jedoch aufwändig und nicht verhältnismässig ist, kann die am Massenschwerpunkt des Einbauteils angreifenden statische Ersatzkraft F vereinfacht mit der maximalen Fusspunkt- bzw. Supportbeschleunigung a_{max} und einem Stosszuschlag - dem sogenannten Dynamischen Lastfaktor DLF -

bestimmt werden. Das Beispiel eines vereinfachten rechnerischen Nachweises der schocksicheren Befestigungen ist in der Technischen Weisung TW Schock 2021¹ dokumentiert.

$$F = F_x = F_y = F_z = m \cdot a_{max} \cdot DLF$$

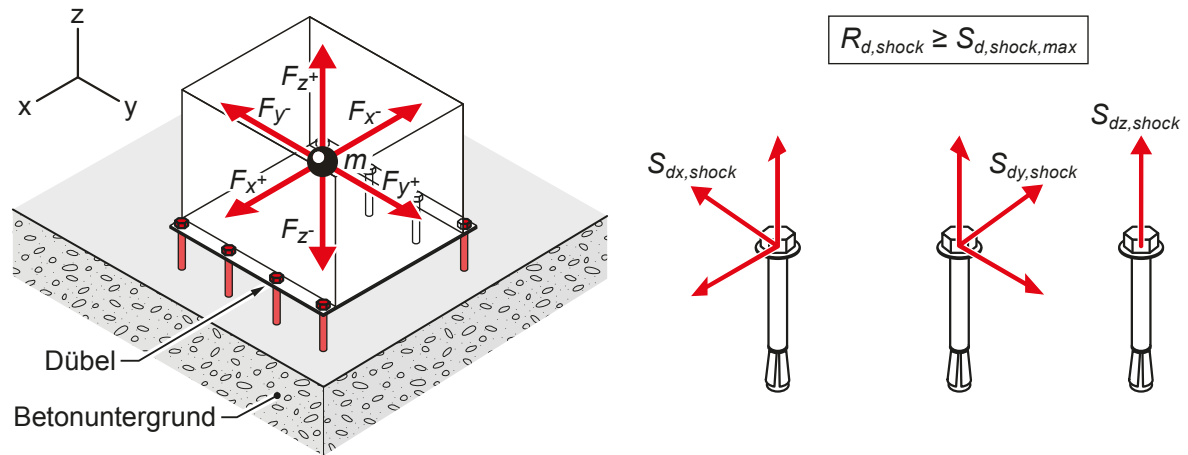


Bild 2: Rechnerischer Nachweis der schocksicheren Befestigungen

2.3 Bemessungswert der Schocktragfähigkeit

Forschungsarbeiten zur Schocksicherheit von Dübelssystemen und die seit vielen Jahren im Labor Spiez durchgeführten Dübelschockprüfungen zeigen, dass das Versagen durch Ausziehen die massgebende Versagensart ist. Bei stark gerissenem Betonuntergrund haben sowohl die Verankerungstiefe der Dübel als auch die Betonfestigkeit kaum einen Einfluss auf die Schocktragfähigkeit. Bei einem mit einer Schockzugkraft belasteten Dübel im gerissenen Beton hängt die Tragfähigkeit und das Last-Verschiebungs-Verhalten primär vom Bohrlochdurchmesser ab.

Aufgrund der detaillierten Analysen der Tragfähigkeiten verschiedener Dübeltypen und den Erfahrungen aus zahlreichen Dübelschockprüfungen wurden vom Bohrlochdurchmesser abhängige, für alle Dübelfabrikate und -typen einheitliche Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d, shock}$ festgelegt. Dies hat den Vorteil, dass standardisierte Prüfparameter verwendet werden können wodurch auch eine gute Vergleich- und Reproduzierbarkeit der Prüfungen gewährleistet wird. Der rechnerische Nachweis der schocksicheren Befestigung (vgl. Abschnitt 2.2) ist zudem allgemein und nicht nur für einen spezifischen Dübeltyp gültig.

Nachfolgend sind die Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d, shock}$ für kraftkontrolliert spreizende Dübel des Bolzentyps (Bild 3), kraftkontrolliert spreizende Dübel des Hülsentyps (Bild 4), Hinterschnittdübel (Bild 5) sowie Verbunddübel und Verbundspreizdübel (Bild 6) angegeben. Sie ist bei allen Dübeltypen vom Bohrloch- bzw. vom Bohrernenn-durchmesser d_0 und nicht vom Nominaldurchmesser (M) des Dübels abhängig.

¹ TW Schock 2021, Technische Weisungen für die Schocksicherheit von Einbauteilen in Schutzbauten des Zivilschutzes, Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern, 1. März 2021

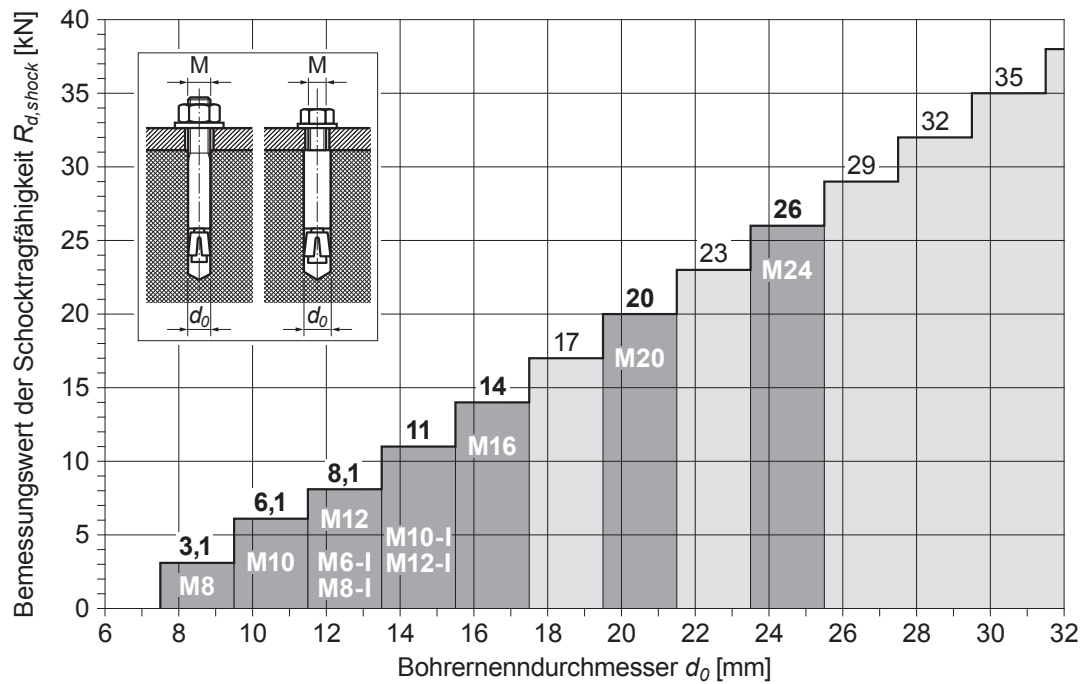


Bild 3: Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ für kraftkontrolliert spreizende Dübeln des Bolzentyps

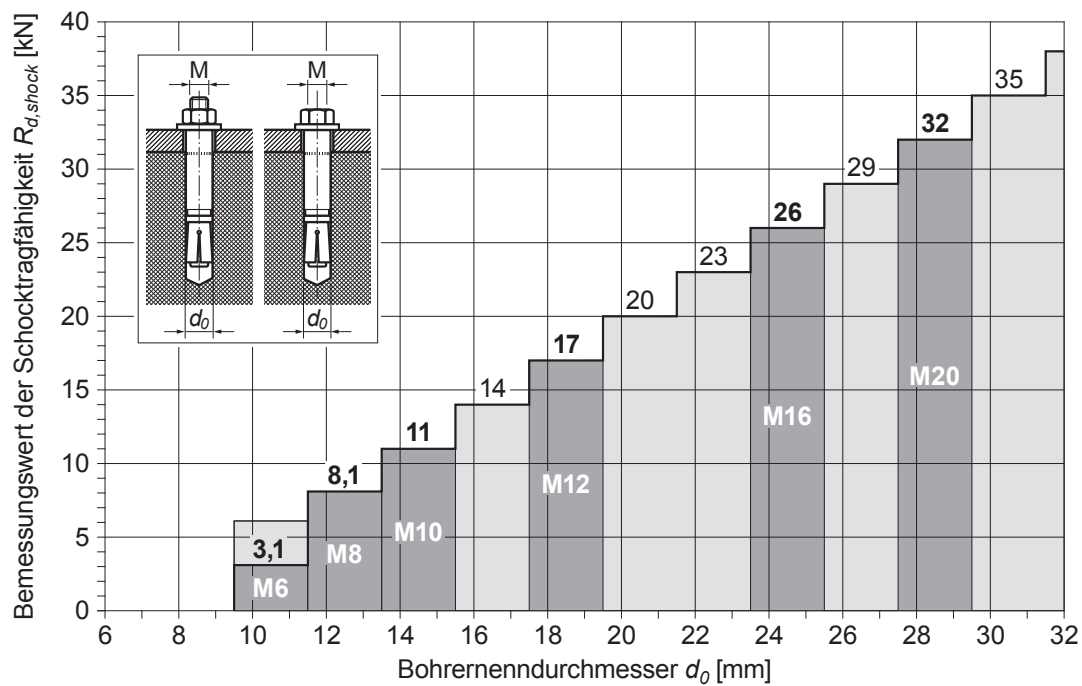


Bild 4: Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ für kraftkontrolliert spreizende Dübeln des Hülsentyps

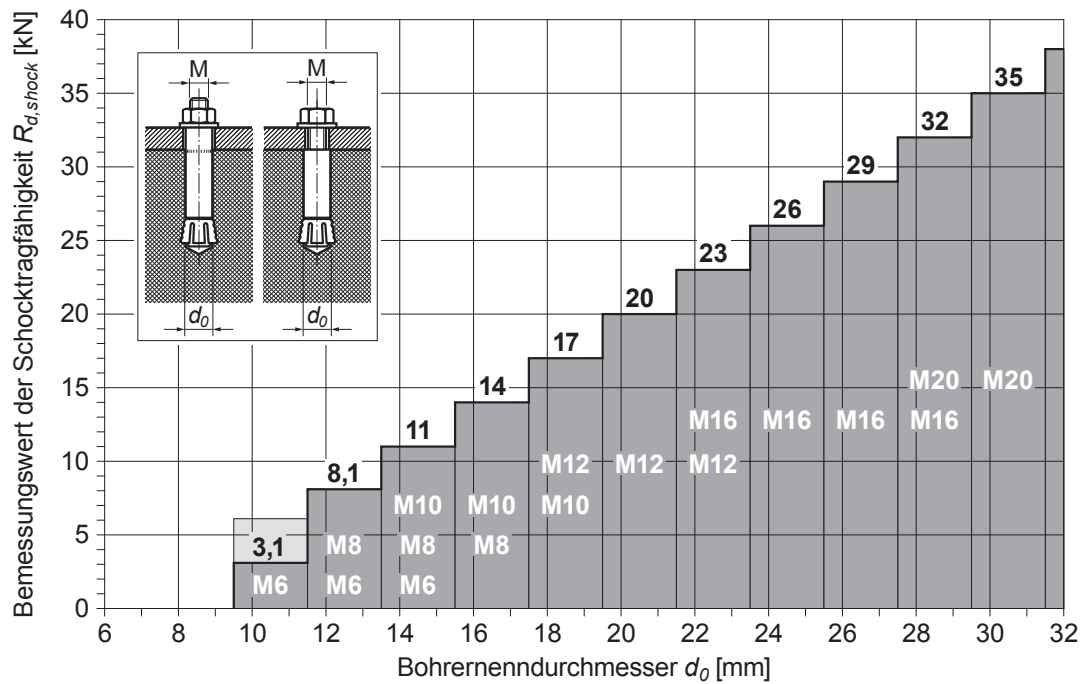


Bild 5: Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ für Hinterschnittdübel

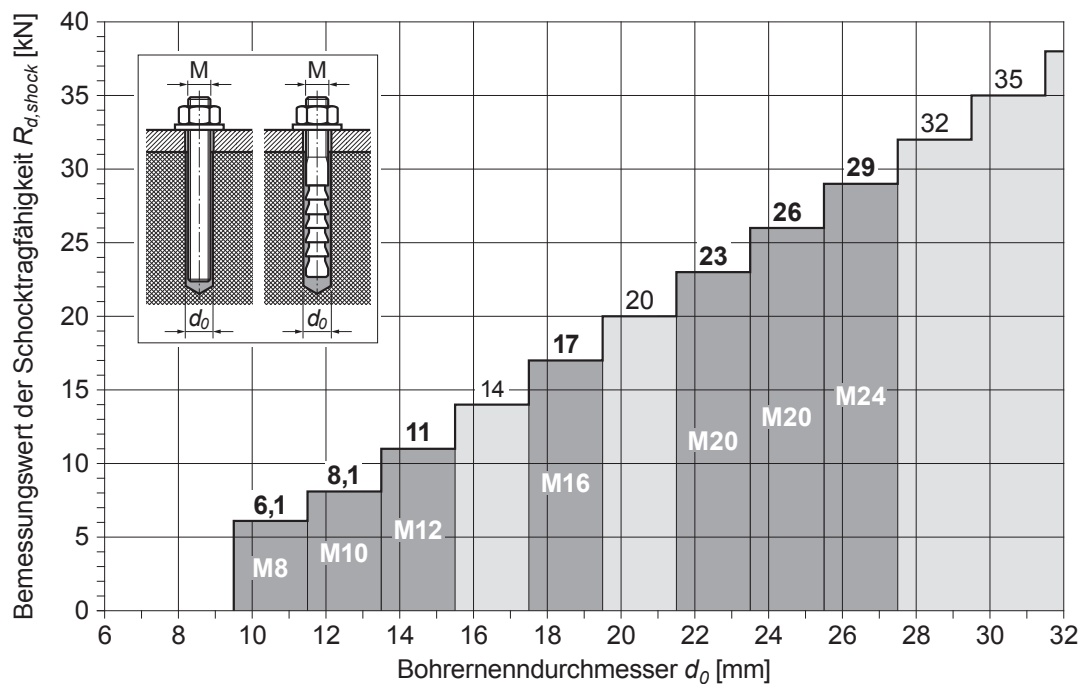


Bild 6: Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ für Verbunddübel und Verbundspreizdübel

3 Schockprüfung von Dübelsystemen

Schutzbauten werden auf grosse Luft- und Erdstossbelastungen bemessen weshalb von wesentlichen plastischen Deformationen des Schutzbauwerks auszugehen ist. Die Schockprüfung von Dübelsystemen erfolgt aus diesem Grund mit einer dynamischen Belastung und im gerissenen Beton.

3.1 Prüfaufbau und Prüfmethode

3.1.1 Prüfeinrichtung

Die Schockprüfungen von Dübelsystemen werden auf der Vertikalen Schockprüfanlage (VESPA) der Prüfstelle STS 0055 durchgeführt. Die servohydraulisch gesteuerte Anlage verfügt über eine Prüfplattform, auf der Einbauteile bis zu einem Gewicht von zehn Tonnen aufgebaut werden können. Mit der Anlage können stoss- bzw. schockartige Bewegungen in vertikaler Richtung mit einer maximalen Beschleunigung bis rund 18 g erzeugt werden.



Bild 7: Dübelschockprüfung mit der Vertikalen Schockprüfanlage (VESPA)

3.1.2 Prüfbelastung

Für die praktischen Schockprüfungen werden die Dübel dynamisch, mit einer zentrischen Zug- bzw. Normalkraft N belastet. Die Prüfbelastung wird durch die schockartige Bewegung des Prüftischs der VESPA nach oben, aufgrund der Massenträgheit des am Dübel hängenden Betonprüfkörpers (Masse m) erzeugt.

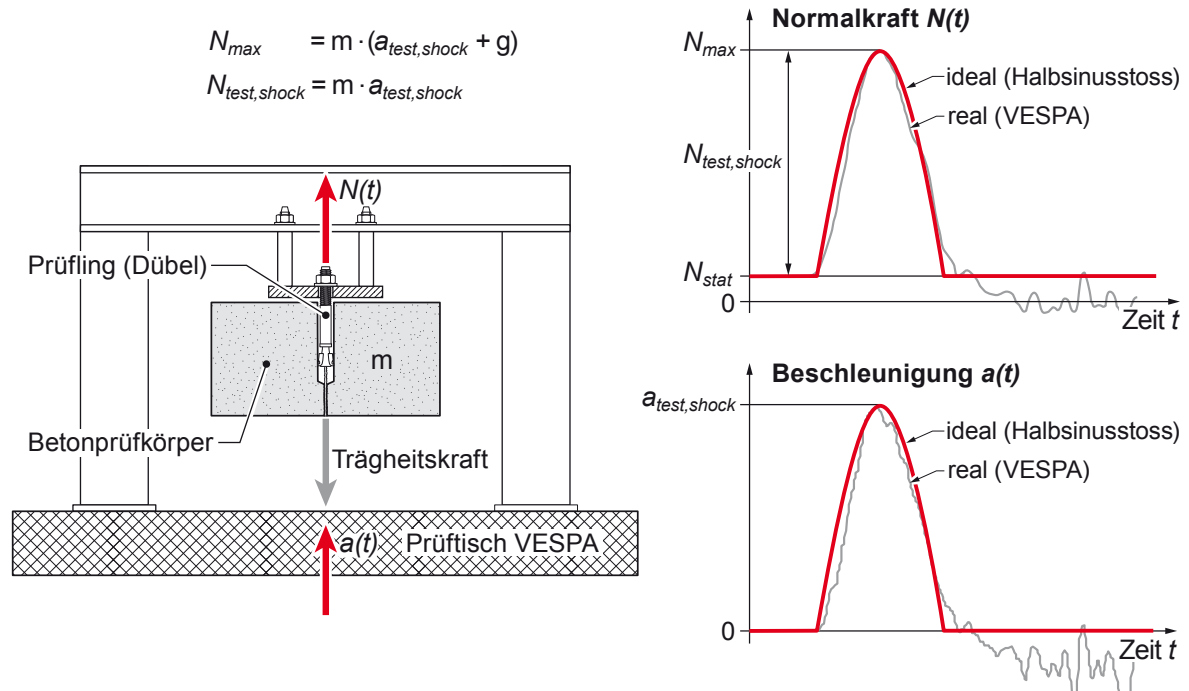


Bild 8: Prüfung von Dübeln mit der dynamischen Normalkraft $N(t)$ (Schockzugkraft)

Für die Dübelschockprüfung wird mit dem Prüftisch der Vertikalen Schockprüfanlage (VESPA) ein Stoss mit der maximalen Beschleunigung $a_{test,shock}$ erzeugt. Die Stossform entspricht dabei ungefähr einem Halbsinus. Die Stossdauer muss 20 - 30 ms betragen. Die aufgrund der Massenträgheit des Betonprüfkörpers erzeugte dynamische Prüflast (Schocklast) $N_{test,shock}$ hat ebenfalls eine halbsinusförmige Stossform. Im Bild 8 sind der Beschleunigungs-Zeit-Verlauf $a(t)$ und der Normalkraft-Zeit-Verlauf $N(t)$ qualitativ dargestellt.

Die Prüflast $N_{test,shock}$ entspricht dem gemäss Kapitel 2.3 definierten Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$. Abhängig von der Masse m des Betonprüfkörpers, wird die maximale Beschleunigung $a_{test,shock}$ des Halbsinusstosses wie folgt festgelegt:

$$N_{test,shock} = R_{d,shock}$$

$$a_{test,shock} = R_{d,shock} / m$$

Für die Qualifikation eines Dübelsystems sind die jeweils kleinsten Dübelgrössen bzw. Bohrlochdurchmesser massgebend. Die praktischen Prüfungen werden deshalb immer mit den kleinen Dübelgrössen (Bohrernennendurchmesser $d_0 = 8 - 12$ mm) durchgeführt. Für solche Dübel sind die Bemessungswerte der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ mit 3,1 kN, 6,1 kN und 8,1 kN festgelegt (vgl. Kapitel 2.3).

Für die Dübelschockprüfungen werden üblicherweise kleine, 25 kg schwere Betonprüfkörper oder grössere Prüfkörper, mit einer Masse von 52 kg verwendet (vgl. Anhang 6.2). Entsprechend dem Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ und der Masse m des Betonprüfkörpers werden die Dübelschockprüfungen mit den nachfolgend angegebenen Maximalbeschleunigungen $a_{test,shock}$ durchgeführt (Tabelle 1):

Betonprüfkörper	Masse m [kg]	Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ [kN]		
		3,1	6,1	8,1
"klein"	25	12,6 g	–	–
"gross"	52	–	12,0 g	15,9 g

Tab. 1: Betonprüfkörpergrösse (-masse) und Maximalbeschleunigung $a_{test,shock}$

Da der Prüfling zusätzlich zur Schockbelastung auch durch das Eigengewicht G des Betonprüfkörpers mit der statischen Normalkraft N_{stat} belastet wird, beträgt die maximale Normalkraftbelastung N_{max} während der Schockbelastung:

$$N_{max} = N_{test,shock} + N_{stat} = m \cdot (a_{test,shock} + g)$$

Für die Dübelbefestigungen von Einbauteilen an Decken oder Wänden entspricht die geringe Zusatzbelastung durch das Eigengewicht grundsätzlich der Realität. Die Prüfung mit einer Zugkraft von N_{max} ist als konservativ zu bezeichnen, wenn bei vereinfachten rechnerischen Schocksicherheitsnachweisen die Gewichtskraft des Einbauteils nicht berücksichtigt wird.

3.2 Gerissener Betonuntergrund

Bei der plastischen Deformation von Stahlbetonteilen bilden sich Risse in den Bereichen mit Zugspannungen (Zugzonen). Aufgrund von Spannungsspitzen verlaufen die Risse bevorzugt durch die Bohrlöcher von Dübelbefestigungen. Die Dübelschockprüfungen werden darum mit gerissenem Betonuntergrund durchgeführt. Die für die Schockprüfungen festgelegten Charakteristiken des Risses sowie das Trag- und Verschiebungsverhalten von Dübeln in Rissen sind nachfolgend beschrieben.

3.2.1 Rissform

Bei der Biegebeanspruchung von Bauteilen aus Stahlbeton bilden sich in den Zugzonen V-förmigen Biegerisse (Bild 9). Massgebend für das Tragverhalten von Dübeln in solchen Rissen ist die Rissbreite im Verankerungsbereich des Dübels (Verankerungstiefe h_{ef}).

Bei den Dübelschockprüfungen werden Betonprüfkörper verwendet, in denen mittels Sprengkeilen ein durchgehender Parallelriss erzeugt wird und es besteht keine Beziehung zwischen der Rissbreite w_p und der Verankerungstiefe h_{ef} (Bild 10).

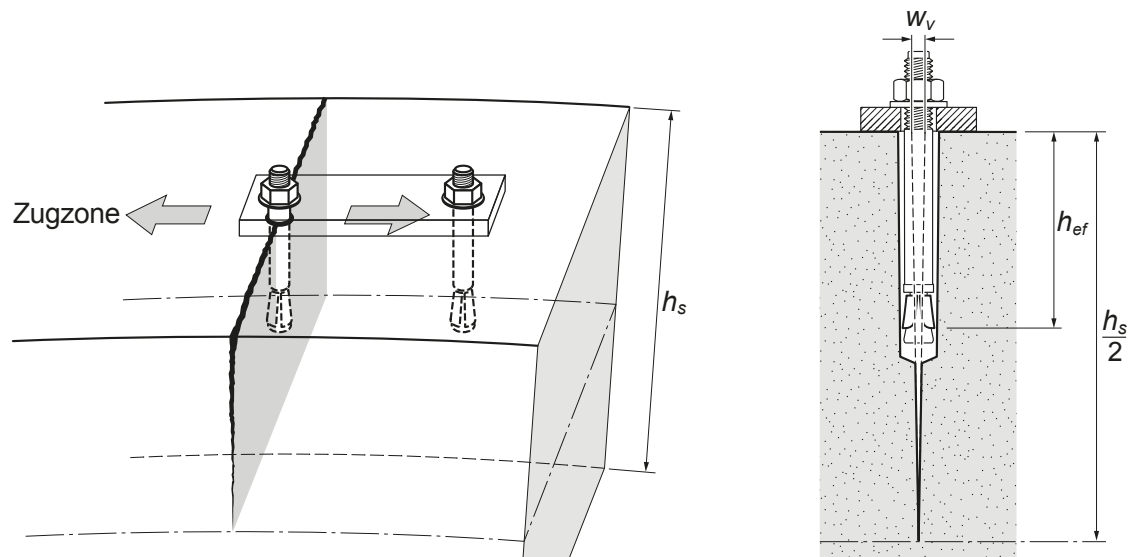


Bild 9: Biegebeanspruchtes Bauteil mit Biegeriss (V-Riss) mit Rissweite w_v

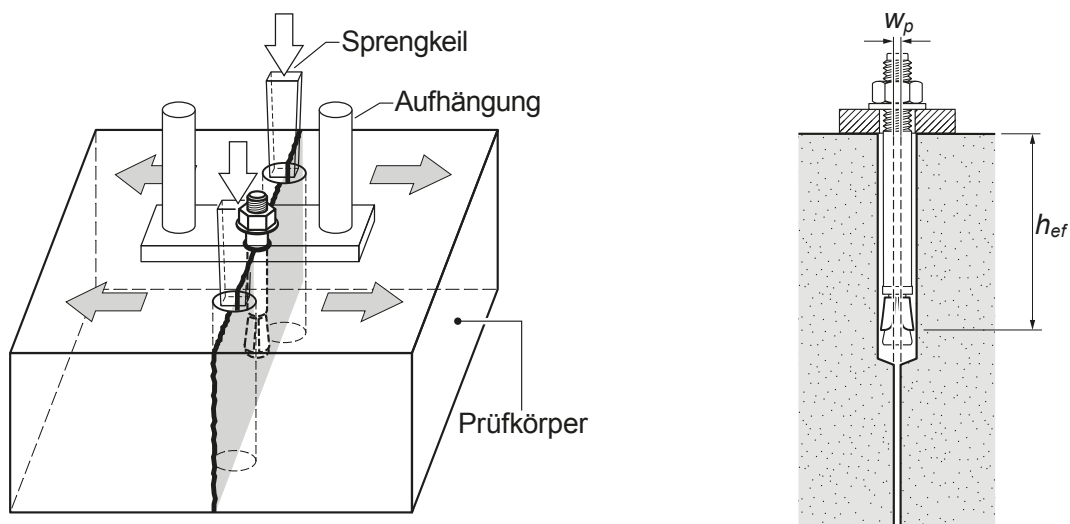


Bild 10: Betonprüfkörper für Dübelschockprüfungen mit Parallelriss der Rissweite w_p

3.2.2 Rissweite

Sowohl bei kraftkontrolliert spreizenden Dübeln als auch bei Hinterschnittdübeln werden die Belastungen in der Verankerungstiefe bzw. im Spreizbereich des Dübels in den Untergrund eingeleitet (siehe auch Bild 1). Für das Tragverhalten im gerissenen Beton ist bei solchen Dübeltypen die Rissweite in der Verankerungstiefe h_{ef} massgebend.

Bei biegebeanspruchten und dabei plastisch deformierten Stahlbetonbalken oder -platten hängt die Rissweite w_v der Biegerisse grundsätzlich von der Deformation des Bauteils und von der Anzahl der sich bildenden V- Risse ab. Basierend auf Versuchen und Modelrechnungen wird für die Rissweite w_v von Biegerissen die im Bild 11 dargestellte Wahrscheinlichkeitsverteilung angenommen. Rissweiten mit $w_v \geq 0,4$ mm treten dabei mit 80%iger Wahrscheinlichkeit auf. Die Wahrscheinlichkeit von Rissen mit $w_v > 1,1$ mm beträgt noch 10%.

Für die Dübelschockprüfungen wird ein Parallelriss im Betonprüfkörper erzeugt. Die Prüfbedingungen sind damit einheitlich und nicht der Verankerungstiefe des Dübel-systems abhängig. Die zur Breite des V-förmigen Risses äquivalente Rissweite w_p im Verankerungsbereich des Dübels sowie die den Biegerissen entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung der Rissweite w_p von Parallelrissen sind im Bild 11 dargestellt.

Im Fall einer kleinen Verankerungstiefe h_{ef} und einer grossen Bauteildicke h_s ist im Verankerungsbereich des Dübels eine grössere Rissweite massgebend. Im Sinn einer konservativen Annahme sind diese ungünstigen Verhältnisse bei der im Bild 11 aufgezeichnete Wahrscheinlichkeitsverteilung berücksichtigt. Aufgrund der Verteilung wird davon ausgegangen, dass 90% der Parallelrisse eine Rissweite aufweisen, welche nicht mehr als 0,7 mm beträgt.

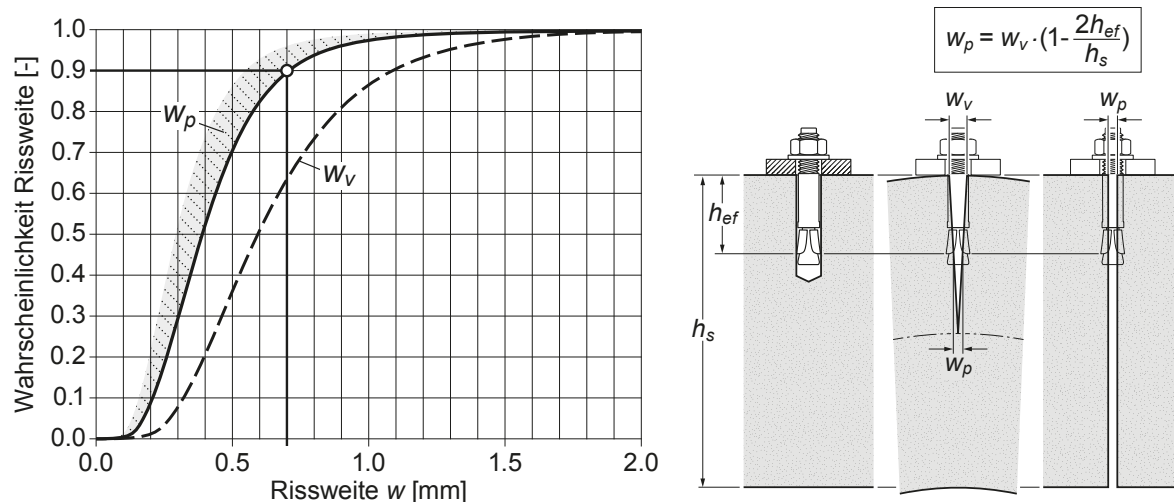


Bild 11: Wahrscheinlichkeit der Rissweite w_v von Biegerissen (V-Risse) und äquivalente Verteilung der Rissweite w_p von Parallelrissen

Auch bei grossen plastische Deformationen von Stahlbetonteilen kann davon ausgegangen werden, dass 90% der Risse (90% Fraktil) nicht breiter als 0,7 mm sind. Für die Schockprüfung von Dübelssystemen ist die Rissweite w , der in den Betonprüfkörpern erzeugten Parallelrisse, deshalb wie folgt festgelegt:

$$w_p = w = 0,70^{\pm 0,1} \text{ mm}$$

3.2.3 Rissverlauf

Generell hängt der Rissverlauf in Stahlbetonteilen von zahlreichen, teilweise schwierig quantifizierbaren Einflussfaktoren, wie dem Spannungsverlauf, der Bewehrung oder dem Betonkies und -zement ab. Bei den für die Dübelschockprüfungen verwendeten Betonprüfkörpern wird der gewünschte Rissverlauf durch das Bohrloch mit der Anordnung der Sprengkeile erreicht. Diese befinden sich nahe beim Dübel (vgl. Anhang 6.2).

Bei mechanischen Dübelssystemen (Spreiz- und Hinterschnittdübel) verläuft der im Betonprüfkörper erzeugte Riss wegen den Spannungskonzentrationen beim Bohrloch üblicherweise mehr oder weniger zentral durch das Bohrloch (Bild 12).

Bei Verbunddübelssystemen verläuft der Riss häufig seitlich um das Bohrloch herum, wobei der Verbund teilweise gelöst wird. Abhängig vom Dübelssystem, der Betonfestigkeit und den Mörtel Eigenschaften wird der Verbund zwischen Mörtel und Bohrlochwandung oder zwischen Mörtel und Ankerstange gelöst. (Bild 13).

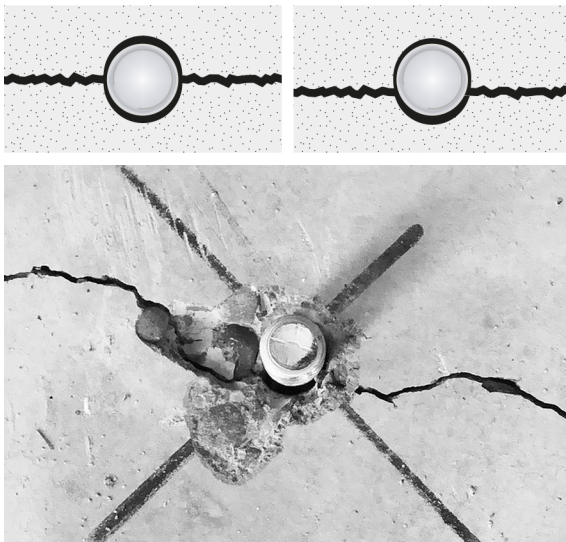


Bild 12: Typischer Rissverlauf bei mechanischen Dübelssystemen (nicht massgebende Betonabplatzung an der Oberfläche)

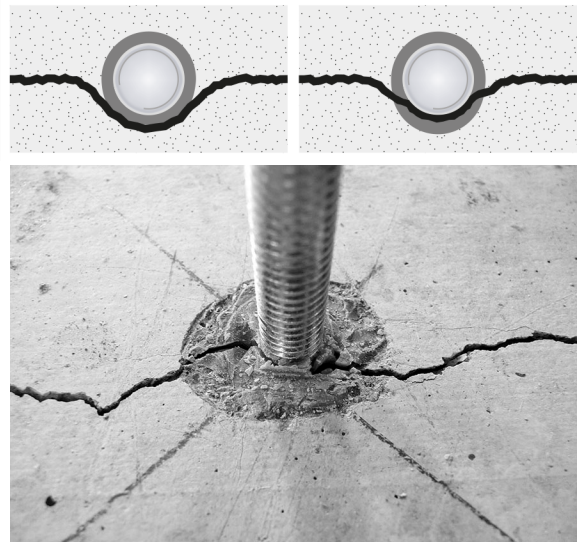


Bild 13: Typischer Rissverlauf bei Verbunddübelssystemen (Lösung des Verbunds zwischen Ankerstange und Mörtel)

3.3 Tragverhalten und Verschiebung

Die Funktion, das Tragverhalten und die Verschiebung von Dübeln bei der Schockprüfung ist nachfolgend am Beispiel eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels des Bolzentyps dargestellt (Bild 14).

Nach dem Setzen des Dübels in das vorgebohrte Bohrloch wird der Dübel mit dem vom Hersteller respektive der Europäischen Technischen Zulassung ETA vorgegebenen Installationsdrehmoment T_{inst} vorgespannt. Das Vorspannen hat eine Verschiebung des Dübels zur Folge. Wenn der Bohrlochdurchmesser korrekt, d.h. nicht zu gross erstellt wurde, ist diese Verschiebung jedoch klein.

Durch das Spalten des Betonprüfkörpers und die Öffnung des durch das Bohrloch führenden Risses verliert der Dübel seine Vorspannkraft N_{pre} nahezu vollständig. Ohne dass der Dübel nachgespannt wird, wird der Prüfling danach auf der Schockprüfanlage (VESPA) montiert. Dabei wird der Betonprüfkörper am Dübel aufgehängt und dieser wird durch das Eigengewicht G des Prüfkörpers statisch belastet. Die Aufnahme der statischen Last N_{stat} hat ein kraftkontrolliertes Nachspreizen und eine Verschiebung des Dübels im Bohrloch zur Folge.

Bei der Schockprüfung wird die als Schlupf s bezeichneten Verschiebung gemessen, die der Dübel aufgrund der Schockbelastung N_{shock} ausführt. Die Verschiebung infolge der statischen Belastung wird dabei nicht berücksichtigt, d.h. die Schlupfmessung geht vom statischen Zustand vor der dynamischen Belastung aus. Der Schlupf s setzt sich grundsätzlich aus dem für das Nachspreizen erforderlichen Spreizweg s_{exp} und dem eigentlichen Schlupf s_{hole} des Dübels im Bohrloch zusammen. Bei den Schlupfmessungen können diese Schlupfanteile nicht unterschieden werden. Für die Beurteilung der Schocksicherheit von Dübelssystemen ist dies aber auch nicht relevant.

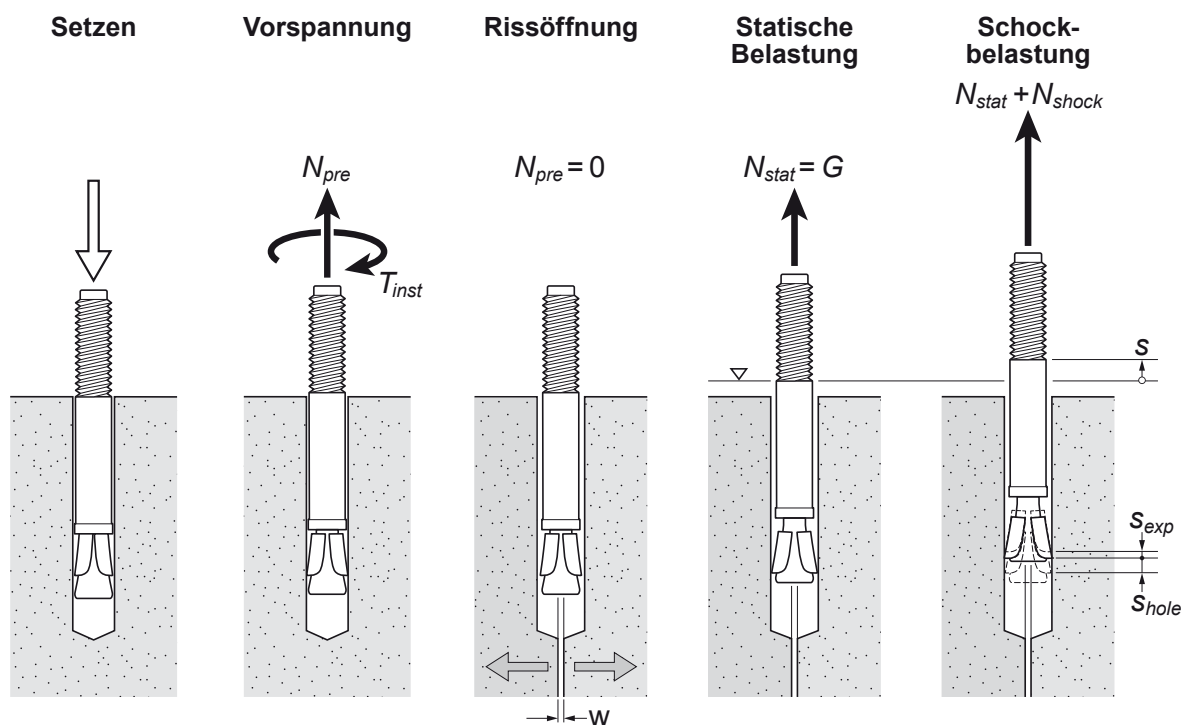


Bild 14: Funktion und Tragverhalten eines kraftkontrolliert spreizenden Bolzendübeln bei der Schockprüfung (massstabsgetreue, schematische Darstellung)

3.4 Prüfablauf

Für die Dübelschockprüfung werden die Prüflinge gemäss den Montage- und Setzanweisungen des Herstellers resp. der Europäischen Technischen Zulassung ETA in den Betonprüfkörpern (siehe Anhang 6.2) versetzt. Der Bohrerennendurchmesser d_0 , die Bohrlochtiefe h_1 und die Verankerungstiefe h_{ef} sind einzuhalten und die Bohrlöcher sind wie vorgeschrieben zu reinigen. Bei Verbundsystemen müssen die Verarbeitungs- und Aushärungszeiten des Mörtels eingehalten werden.

Nach dem ordnungsgemässen Versetzen der Dübel werden die Halterungen zur Aufhängung der Betonprüfkörper auf der Vertikalen Schockprüfanlage VESPA mit dem vorgeschriebenen Installationsdrehmoment T_{inst} montiert.

Nach der Montage der Halterungen wird in den Betonprüfkörpern mit Hilfe von Sprengkeilen, ein durchgehender, durch das Bohrloch verlaufender Parallelriss, mit einer Rissweite von $w = 0,7 \text{ mm}$ erzeugt. Bei drehmomentkontrolliert spreizenden Dübeln geht dabei die Vorspannung verloren und die Dübel sitzen nur noch lose im Bohrloch. Bei Verbundsystemen kann die Rissöffnung zu einem teilweisen Lösen des Verbunds führen (vgl. Abschnitte 3.2.2 und 3.2.3).

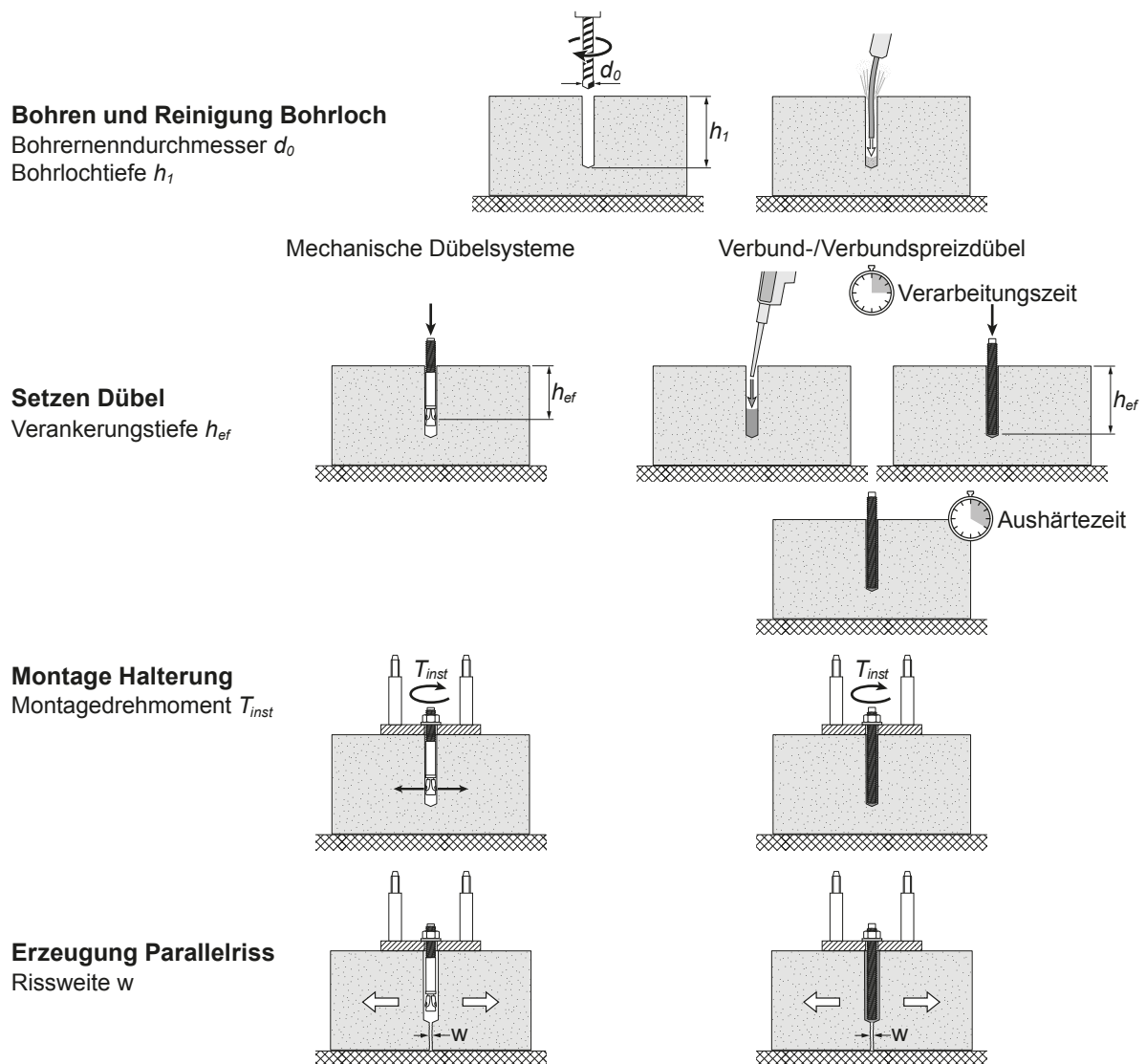


Bild 15: Versetzen der Dübelprüflinge (mechanische Dübelssysteme und Verbundsysteme); Montage der Aufhängungen und Erzeugung des Risses im Betonprüfkörper

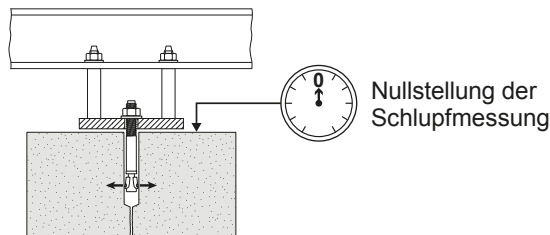
Ohne, dass die Dübelprüflinge nachgespannt werden, werden die Betonprüfkörper für die Schockbelastung auf der Vertikalen Schockprüfanlage VESPA an den Dübeln aufgehängt. Dabei können sich die Dübel aufgrund der statischen Belastung durch das Eigengewicht der Prüfkörper im Bohrloch verschieben (siehe auch Bild 14). Zur Beurteilung des Schocktragverhaltens ist dieser Schlupf nicht relevant und die Messgeräte der Schlupfmessung werden vor der ersten Schockbelastung auf Null gestellt.

Durch die vertikalen Beschleunigung der VESPA Prüfplattform mit dem definierten Beschleunigungs-Zeit-Verlauf $a(t)$ und der Maximalbeschleunigung $a_{test,shock}$ werden die Dübel mit einer dynamischen Zugkraft $N(t)$ belastet (vgl. Abschnitt 3.1.2). Die durch die Schockbelastung mit $N_{test,shock}$ hervorgerufenen Schlupfe s werden gemessen und aufgezeichnet.

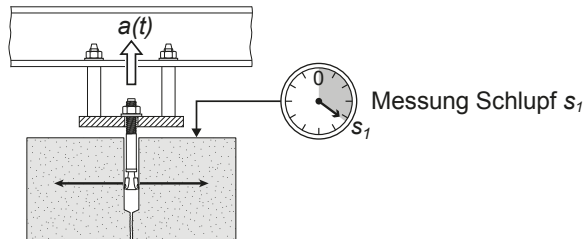
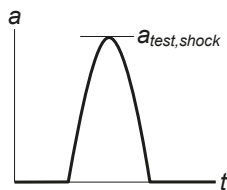
Alle Dübelprüflinge werden zweimal mit der gleichen Schockkraft $N_{test,shock}$ belastet. Zwischen den Schockbelastungen werden keine Manipulationen an den Dübeln durchgeführt. Bei der 1. und bei der 2. Schockbelastung wird der aufgrund der Belastung auftretende Schlupf s_1 und s_2 gemessen. Die Schlupfmessungen bilden die Grundlage für die Beurteilung des Schocktragverhaltens des Dübelsystems (siehe Kapitel 4).

Aufhängung (VESPA)

Statische Belastung durch Eigengewicht Prüfkörper



1. Schockbelastung



2. Schockbelastung

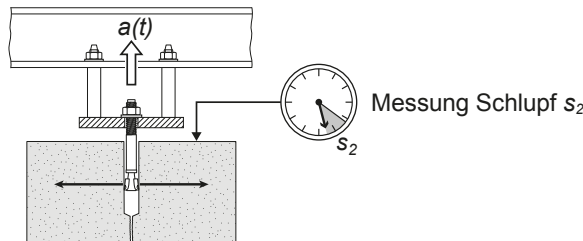
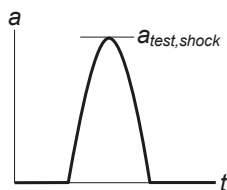


Bild 16: Montage der Betonprüfkörper auf der Vertikalen Schockprüfanlage VESPA; 1. und 2. Schockbelastung und Messung der dabei auftretenden Schlupfe s_1 und s_2

4 Auswertung und Bewertung der Prüfergebnisse

4.1 Prüfbedingungen

Für die Schockprüfung eines Dübelsystems werden im Minimum 15 Prüflinge (Dübel) mit zwei Schocks belastet ($n_{tp} \geq 15$). Zwischen den beiden Belastungen werden keine Manipulationen an den Dübeln - beispielsweise ein Nachspannen - durchgeführt. Die Prüflast $N_{test,shock}$ entspricht dem im Abschnitt 2.3 festgelegten Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ und ist beim 1. und 2. Schock gleich gross:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Prüflinge:} \quad n_{tp} &\geq 15 \\ \text{Prüflast:} \quad N_{test,shock} &= R_{d,shock} \end{aligned}$$

4.2 Auswertung

Die aufgrund der Schockbelastung auftretenden Verschiebungen der Dübel (Schlupf s) werden gemessen und bilden die Grundlage für die Bewertung des Schocktragverhaltens des Dübelsystems. Im Bild 17 sind beispielhaft die bei der Schockprüfung von 15 kraftkontrolliert spreizenden Dübeln beim 1. und beim 2. Schock gemessenen Schlupfwerte s_1 und s_2 als Histogramme dargestellt.

Für die mathematische Auswertung werden die Messwerte mit einer logarithmischen Normalverteilung (Log-Normal-Verteilung) beschrieben (siehe Anhang 6.1). Neben den Histogrammen ist im Bild 17 die Verteilungsdichte (probability density function pdf) des log-normal verteilten Schlupfs bei der 1. und 2. Schockbelastung dargestellt.

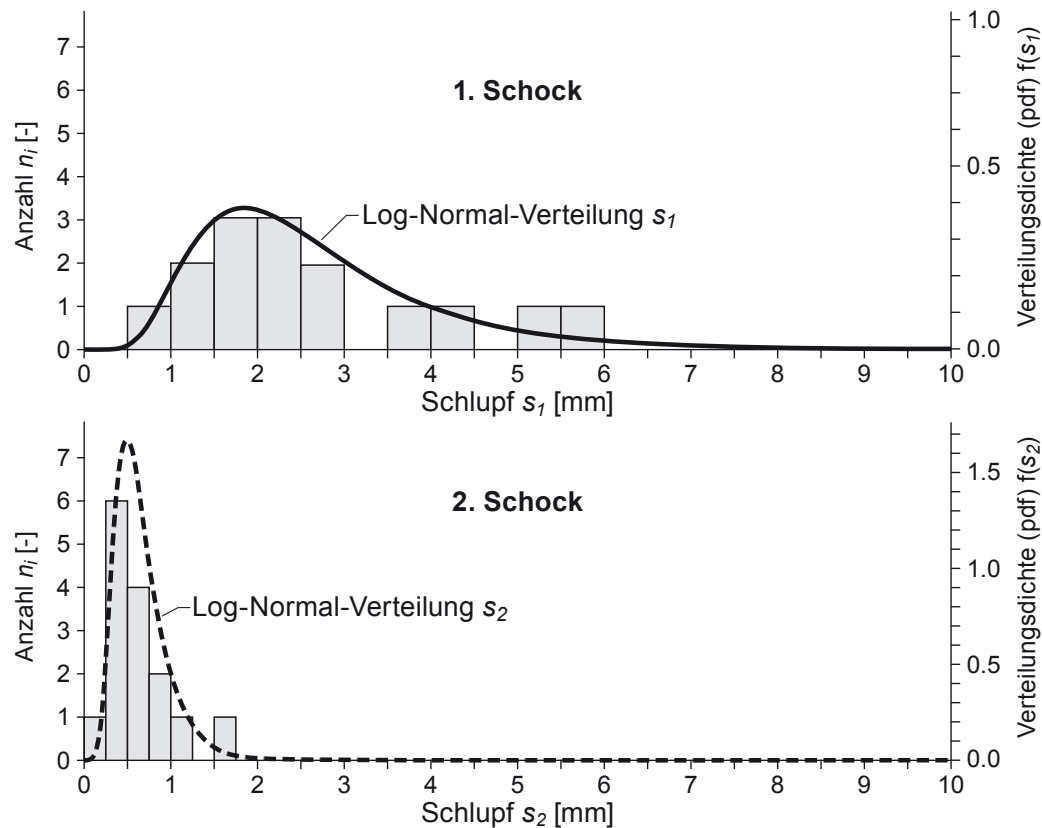


Bild 17: Histogramm und Verteilungsdichte (pdf) des Schlupfs beim 1. Schock ($f(s_1)$) und des Schlupfs beim 2. Schock ($f(s_2)$) (Beispiel)

4.3 Bewertungskriterien

Das Tragverhalten von Dübelssystemen bei Schockbelastungen und gerissenem Beton wird anhand der bei den Schockprüfungen gemessenen Dübelverschiebungen (Schlupf) bewertet. Für schocksichere Befestigungen geeignete Dübelssysteme zeichnen sich durch tolerierbare, nicht zu stark streuende Schlupfwerte bei der ersten Schockbelastung aus. Kleinere und weniger stark streuende Verschiebungen bei der zweiten Belastung sind ein Indiz für ein stabiles Traglastverhalten und die korrekte Funktion des Dübels (z.B. Nachspreizung bei kraftkontrolliert spreizenden Systemen).

Für die Bewertung des Schocktragverhaltens von Dübelssystemen sind die folgenden, im Bild 18 dargestellten, Parameter der Log-Normal-Verteilungen des bei der 1. und der 2. Schockbelastung gemessenen Schlupfs s massgebend:

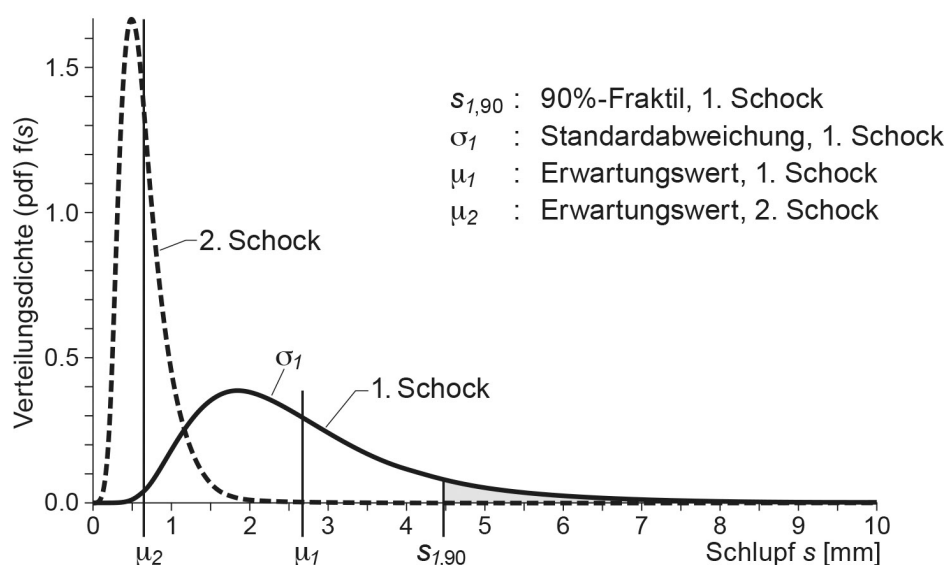


Bild 18: Für die Bewertung massgebende Parameter der Log-Normal-Verteilungen des Schlupfs (Beispiel)

Aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl Prüflinge ($n_{tp} \geq 15$) wird die Log-Normal-Verteilung stark durch Extremwerte beeinflusst. Insbesondere der 90%-Fraktilwert $s_{1,90}$ sowie die als Mass für die Streubreite dienende Standardabweichung σ_1 reagieren stark auf Extremwerte. Um die Überbewertung durch einzelne Versager oder vereinzelt grossen Schlupfwerte s_i zu vermeiden, werden die Schlupfe von Ausreissern gemäss Bild 19 und Bild 20 korrigiert.

90% Fraktile $s_{1,90}$

Für die Bestimmung des 90%-Fraktile des Schlupfs beim 1. Schock $s_{1,90}$ werden Schlupfwerte $s_1 > 30$ mm und Versager (Auszug) mit $s_1 = 30$ mm gewertet:

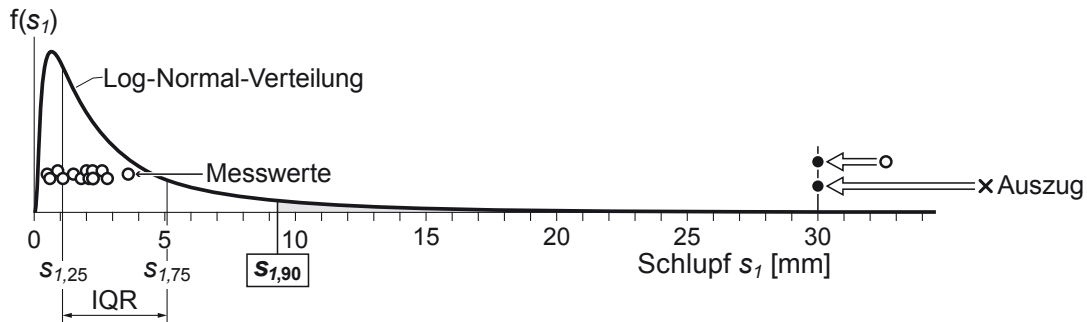


Bild 19: Bestimmung des 90%-Fraktiles $s_{1,90}$ und Wertung von Extremwerten und Versagern

Standardabweichung σ_1

Bei der Ermittlung der Standardabweichung σ_1 des Schlupfs beim 1. Schock gelten alle Werte s_1 , die vom oberen Quartil $s_{1,75}$ gemessen, den 3fachen Interquartilsabstand $IQR = s_{1,75} - s_{1,25}$ überschreiten, als extreme Ausreisser. Der Schlupf von extremen Ausreissern wird auf $s_1 = s_{1,75} + 3,0 \cdot IQR$ korrigiert:

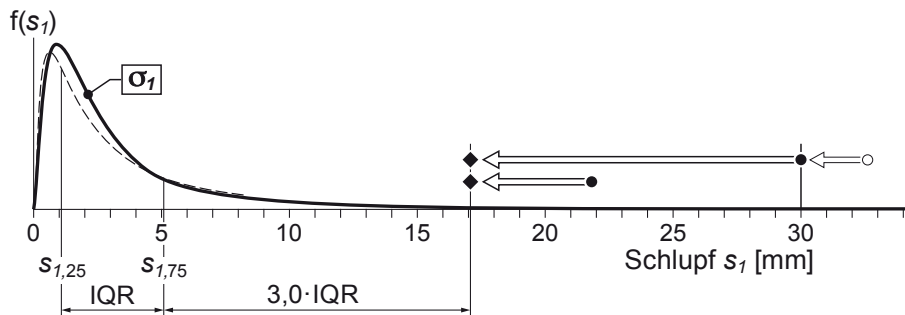


Bild 20: Bestimmung der Standardabweichung σ_1 mit Korrektur von extremen Ausreissern

Verhältnis der Erwartungswerte μ_1/μ_2

Das Verhältnis des Erwartungswerts μ_1 des Log-Normal verteilten Schlupfs s_1 beim 1. Schock zum Erwartungswert μ_2 des Log-Normal verteilten Schlupfs s_1 beim 2. Schock ist ein Mass dafür, wie sich das Tragverhalten des Dübels stabilisiert. Ein grosser Verhältnisswert ist insbesondere bei kraftkontrolliert spreizenden Dübelsystemen ein klares Indiz für ein gutes Nachspreizverhalten.

Dübelprüflinge, die bei der 1. oder der 2. Schockbelastung durch Auszug versagen, werden für die Ermittlung des Verhältnisses der Erwartungswerte nicht berücksichtigt.

4.4 Zulassungskriterien und Kennlinie des Schocktragverhaltens

Dübelssysteme können für die schocksichere Befestigung von Einbauteilen in Schutzbauten zugelassen werden, wenn der Dübel unter Schockeinwirkung und bei stark gerissenem Betonuntergrund ein geeignetes Tragverhalten zeigt. Die Eignung des Dübelsystems wird anhand der Bewertungskriterien (Abschnitt 4.3) beurteilt.

Unter Vorbehalt der abschliessenden Beurteilung der Zulassungsstelle BABS wird eine Zulassung für schocksichere Befestigungen in Schutzbauten erteilt, wenn für das Dübelssystem eine gültige Europäische Technische Bewertung ETA vorliegt und wenn aufgrund der Auswertung der Dübelschockprüfung die folgenden Zulassungskriterien erfüllt sind:

- 90%-Fraktile (1. Schock) $s_{1,90} \leq 10,0 \text{ mm}$
- Standardabweichung (1. Schock) $\sigma_1 \leq 3,0 \text{ mm}$
- Verhältnis der Erwartungswerte $\mu_1/\mu_2 > 1,0$

Das Tragverhalten von Dübelssystemen unter Schockbelastung wird mit der Kennlinie des Schocktragverhaltens, mit welcher die drei Bewertungs- bzw. Zulassungskriterien zusammengefasst sind, dargestellt. Das Bild 21 zeigt die Kennlinie des im Bild 17 und Bild 18 dokumentierten Beispiels. Es handelt sich um eine typische Kennlinie eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels.

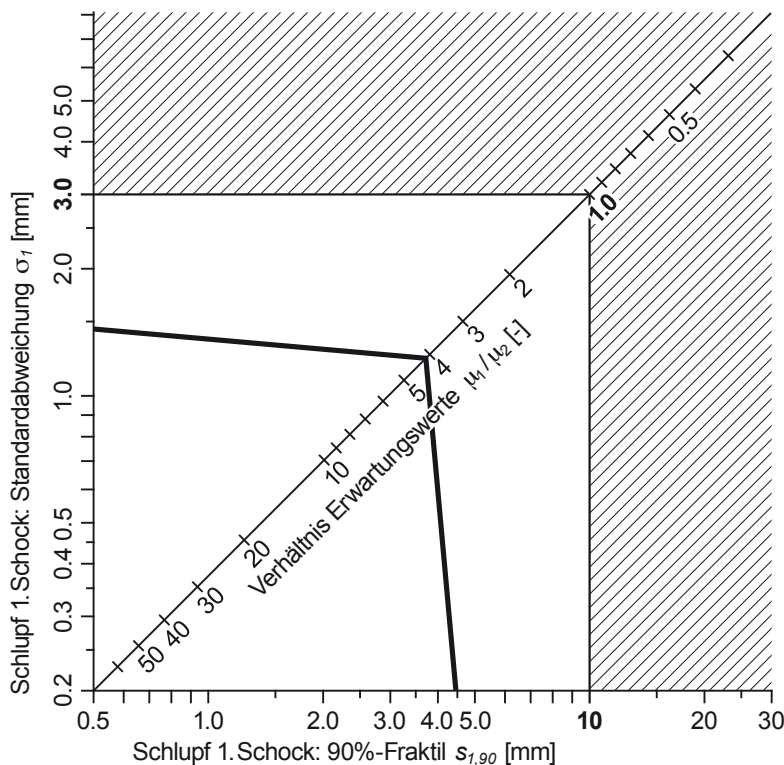


Bild 21: Kennlinie des Schocktragverhaltens eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels (Beispiel)

Mit der Kennlinie wird die Duktilität bzw. Steifigkeit des Dübelsystems anschaulich dargestellt. Steife Systeme, bei denen die Belastung nur eine geringe Verschiebung zur Folge hat, sind durch spitze Kennlinien charakterisiert. Stumpfe Kennlinien sind charakteristisch für duktile Systeme. Zur Übertragung der Last beim ersten Schock benötigen sie vergleichsweise grosse Verschiebungen, bei der zweiten Belastung ist das Tragverhalten dann jedoch wesentlich steifer. Beispielhaft sind in den folgenden Abbildungen typische Kennlinien des Schocktragverhaltens unterschiedlicher Dübelssysteme dargestellt.

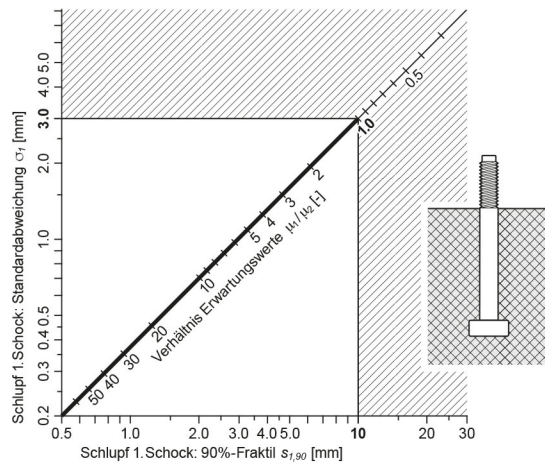


Bild 22: Maximal steifes Tragverhalten ohne Verschiebungen (z.B. Kopfbolzendübel)

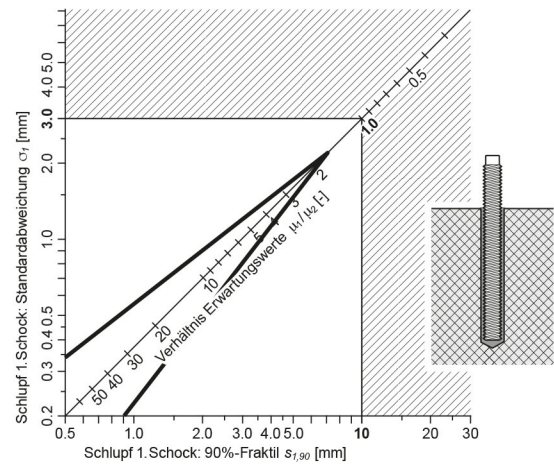


Bild 23: Sehr steifes Tragverhalten mit sehr kleinen, kaum streuenden Schlupfwerten

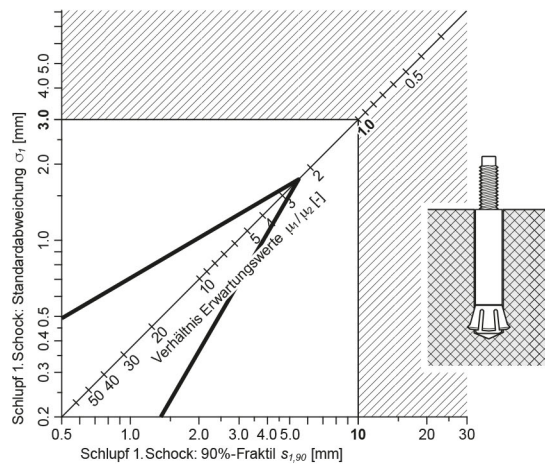


Bild 24: Steifes, z.B. für Formschluss typisches Tragverhalten ("spitze" Kennlinie)

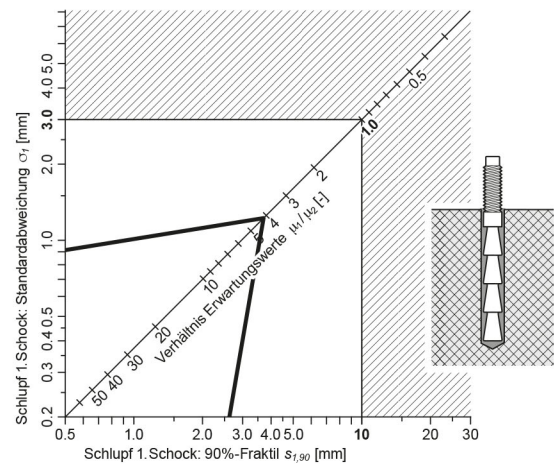


Bild 25: Mittelsteifes Tragverhalten mit durchschnittlichen Schlupfwerten

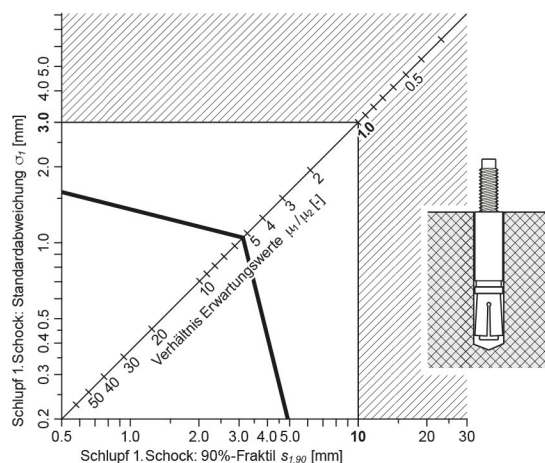


Bild 26: Duktiles Tragverhalten mit ausgeprägtem Nachspreizen ("stumpfe" Kennlinie)

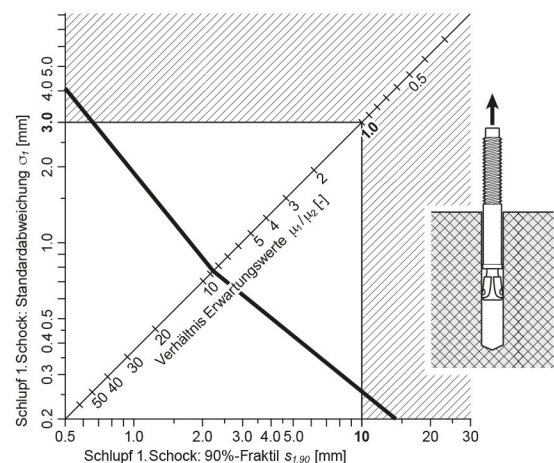


Bild 27: Sehr grosse und stark streuende Schlupfwerte sowie Versager (Auszug) beim ersten Schock (Zulassungskriterien werden nicht erfüllt)

5 Minimaler Achs- und Randabstand

5.1 Minimaler Achsabstand

Bei schocksicheren Befestigungen darf der minimale Achsabstand $s_{min,shock}$ zwischen einzelnen Dübeln, den Dübeln in einer Befestigungsgruppe oder zwischen den Dübeln benachbarter Befestigungsgruppen nicht unterschritten werden. Durch die Einhaltung des minimalen Achsabstands wird gewährleistet, dass kein Versagen durch Spalten auftritt und dass die Dübel bei der Schockbelastung S_{shock} weder durch Ausziehen noch durch Betonbruch versagen (Bild 28).

Der für schocksichere Befestigungen festgelegte minimale Achsabstand $s_{min,shock}$ ist mindestens so gross, wie der in der Europäischen Technischen Bewertung ETA des Dübel-systems angegebene Achsabstand $s_{cr,sp}$, bei dem ein Versagen durch Spalten auftritt. Bei einem Achsabstand von $s_{min,shock}$ ist zudem gewährleistet, dass bei der Schockbelastung S_{shock} kein Versagen durch Betonbruch eintritt. Für Beton C30/37 und den Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ ist Betonbruch nicht massgebend, wenn der Achsabstand s_c nicht überschritten wird.

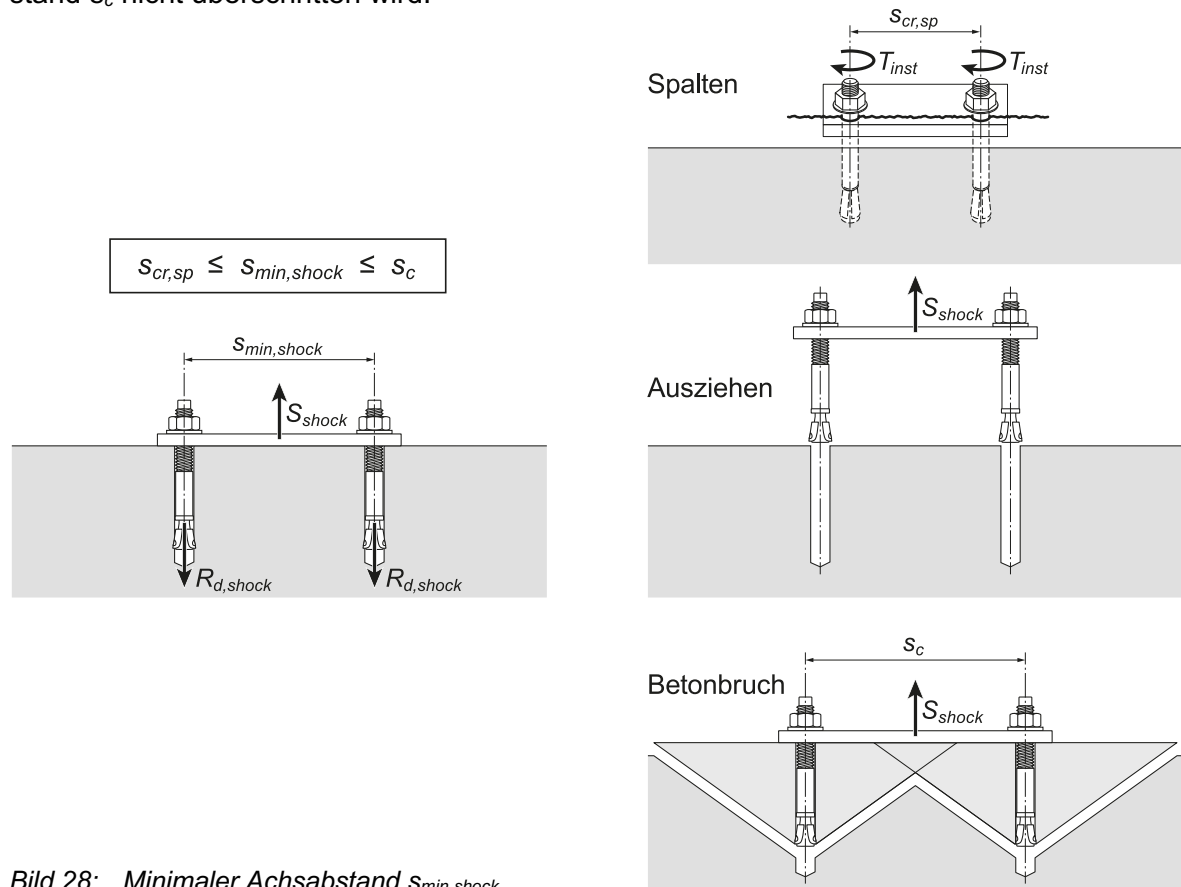
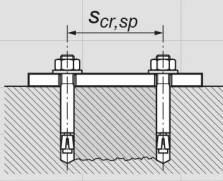


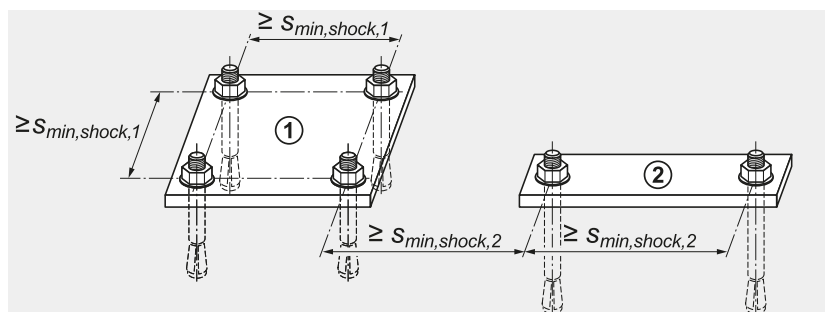
Bild 28: Minimaler Achsabstand $s_{min,shock}$

Die minimalen Achsabstände $s_{min,shock}$ für schocksichere Dübelssysteme sind in der folgenden Tabelle 2 angegeben. Sie sind vom Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ und der effektiven Verankerungstiefe h_{ef} abhängig. Sie entsprechen mindestens dem in der Europäischen Technischen Bewertung ETA des Dübel-systems angegebene Achsabstand $s_{cr,sp}$ für Spaltversagen, sind jedoch nicht grösser, als die 3fache effektive Verankerungstiefe ($3 \cdot h_{ef}$).

$R_{d,shock}$ [kN]	Effektive Verankerungstiefe h_{ef} [mm]										
	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 - 79	80 - 89	90 - 99	100 - 119	120 - 139	140 - 159	160 - 179	180 - 200
3.1	50	50	50								
6.1	100	80	60	50							
8.1	140	120	100	80	60						
11		160	140	120	100	80	60				
14			190	170	150	130	110	70			
17				210	190	170	150	110	80		
20					220	200	180	150	120	90	
23						250	220	190	150	110	
26							260	220	180	140	100
29								260	220	180	140
32									250	210	170
35									290	250	210

 Tab. 2 Minimaler Achsabstand $s_{min,shock}$ für schocksichere Dübelssysteme

Innerhalb einer Dübelgruppe darf der minimale Achsabstand $s_{min,shock}$ gemäss Tabelle 2 nicht unterschritten werden. Nebeneinander liegende Befestigungsgruppen mit unterschiedlichen minimalen Achsabständen ($s_{min,shock,1}$ und $s_{min,shock,2}$) sind so anzuordnen, dass der grössere minimale Achsabstand an keiner Stelle unterschritten wird (Bild 29).


 Bild 29: Minimaler Achsabstand $s_{min,shock}$ zwischen Befestigungsgruppen

5.2 Minimaler Randabstand

Bei Dübelbefestigungen in der Nähe von Bauteilrändern darf der Randabstand nicht kleiner sein, als die 1,5fache effektive Verankerungstiefe h_{ef} des Dübels (Bild 30).

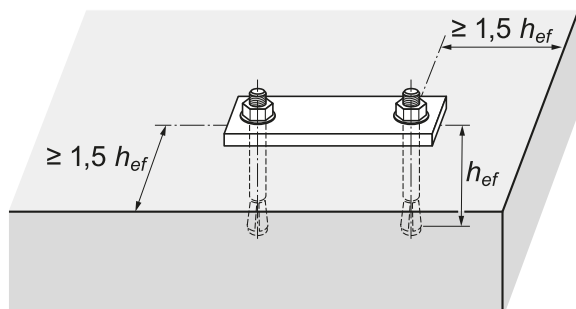


Bild 30: Minimaler Randabstand

6 Anhänge

6.1 Logarithmische Normalverteilung

Die logarithmische Normalverteilung (Log-Normal-Verteilung oder LN-Verteilung) ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung für zufällige Variable, welche nur positive Werte annehmen können. Sie eignet für die Auswertung und Beschreibung zufälliger positiver und vergleichsweise stark streuender Messgrößen. Die Modellierung stochastischer Daten mit Log-Normal-Verteilungen hat sich in vielen Bereichen der Naturwissenschaft und Technik bewährt. Die bei den Dübelschockprüfungen gemessenen Schlupfwerte werden deshalb mit einer Log-Normal-Verteilung beschrieben.

Eine stetige positive Zufallsvariable x , ist Log-Normal verteilt, wenn die transformierte Zufallsvariable $y = \ln(x)$ normalverteilt ist. Die Dichtefunktion oder **Verteilungsdichte $f(x)$** (probability density function pdf) der Verteilung ist:

$$f(x) = \frac{1}{\xi \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\xi} \right)^2 \right\}$$

Der Erwartungswert μ und die Standardabweichung σ sind Parameter der Verteilung und werden wie folgt berechnet:

Erwartungswert:

$$\mu = \exp \left(\lambda + \frac{\xi^2}{2} \right)$$

Standardabweichung:

$$\sigma = \mu \cdot \sqrt{\exp(\xi)^2 - 1}$$

Der **Erwartungswert** μ einer Zufallsgrösse ist der Wert, den sie im «Mittel» annimmt. Da es sich bei der Log-Normal-Verteilung um eine rechtsschiefe, nicht symmetrische Verteilung handelt, ist der Erwartungswert grösser als der Median.

Der **Median** wird auch als multiplikativer oder geometrischer Erwartungswert oder als Zentralwert bezeichnet. Es ist der Wert, bei dem kleinere und grössere Werte mit einer Wahrscheinlichkeit (Probability P) von jeweils 50% zu erwarten sind:

$$P(x \leq x_{50}) = P(x \geq x_{50}) = 50\%$$

Der Median x_{50} der Log-Normal-Verteilung berechnet sich wie folgt:

$$x_{50} = \exp(\lambda)$$

Der **Modus** oder Modalwert ist ein weiterer Lageparameter der Log-Normal-Verteilung. Es handelt sich dabei um den Wert, der am häufigsten vorkommt, d.h. der Wert, bei welcher die Verteilungsdichte $f(x)$ maximal ist. Der Modus x_{mod} der Log-Normal-Verteilung berechnet sich wie folgt:

$$x_{mod} = \exp(\xi - \lambda^2)$$

Die beiden **Quartile** sind weitere Werte zur Charakterisierung der Verteilung. Die Hälfte aller Zufallsgrößen x liegt zwischen dem unteren Quartil x_{25} ($P(x \leq x_{25}) = 25\%$) und dem oberen Quartil x_{75} ($P(x \leq x_{75}) = 75\%$).

Das Bild 31 zeigt die Verteilungsdichte $f(x)$ (probability density function pdf) und die Verteilungsfunktion oder Summenkurve $F(x)$ (cumulative density function cdf) einer Log-Normal verteilten Zufallsgrösse x mit den Kennwerten und Lageparametern der Verteilung.

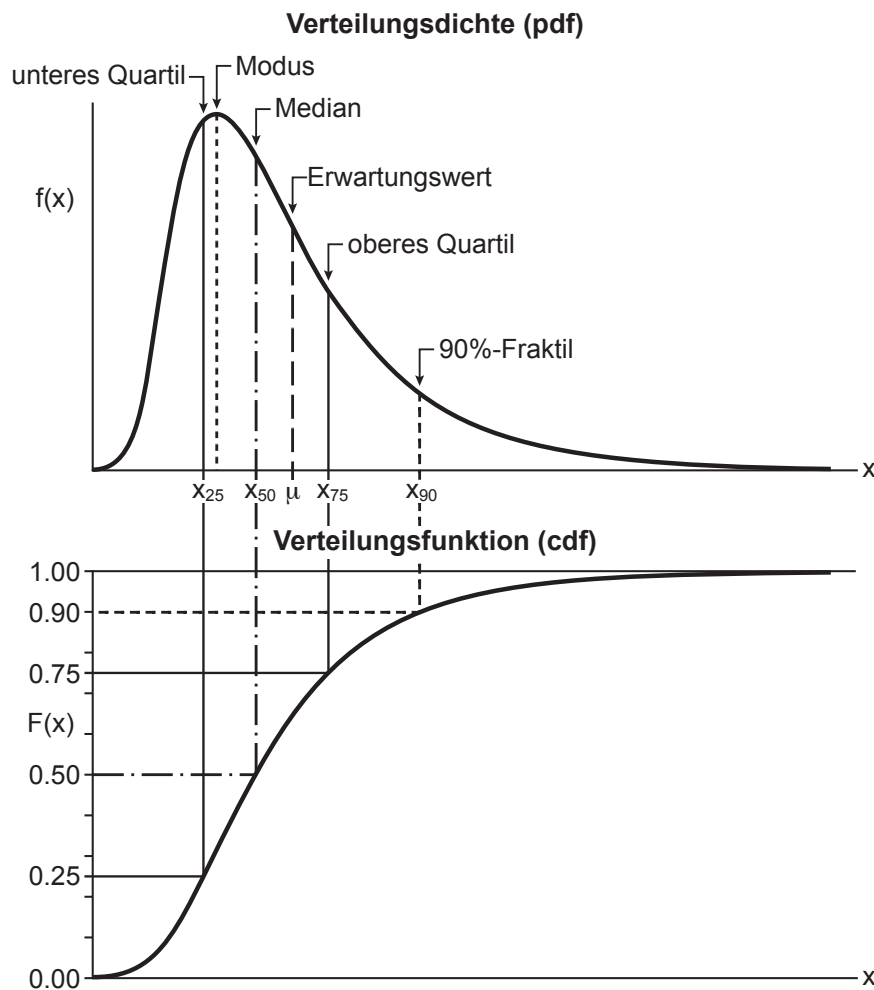


Bild 31: Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion der Log-Normal-Verteilung einer Zufallsgrösse x

6.2 Betonprüfkörper

Abhängig vom Bemessungswert der Schocktragfähigkeit $R_{d,shock}$ des geprüften Dübelssystems, werden für die Durchführung der Dübelschockprüfungen, üblicherweise die kleinen Betonprüfkörper mit einer Masse von 25 kg oder die grösseren Prüfkörper mit einer Masse von 52 kg verwendet (siehe auch Abschnitt 3.1.2):

- Betonprüfkörper 25 kg (290 x 290 x 120 mm)
- Betonprüfkörper 52 kg (360 x 360 x 160 mm)

Die Betonprüfkörper werden vorfabriziert und müssen die in der Tabelle 3 angegebenen Betonspezifikationen gemäss der Norm SN EN 206-1 erfüllen. Die Geometrie und die Bewehrung der Prüfkörper geht aus den nachfolgenden Planunterlagen hervor.

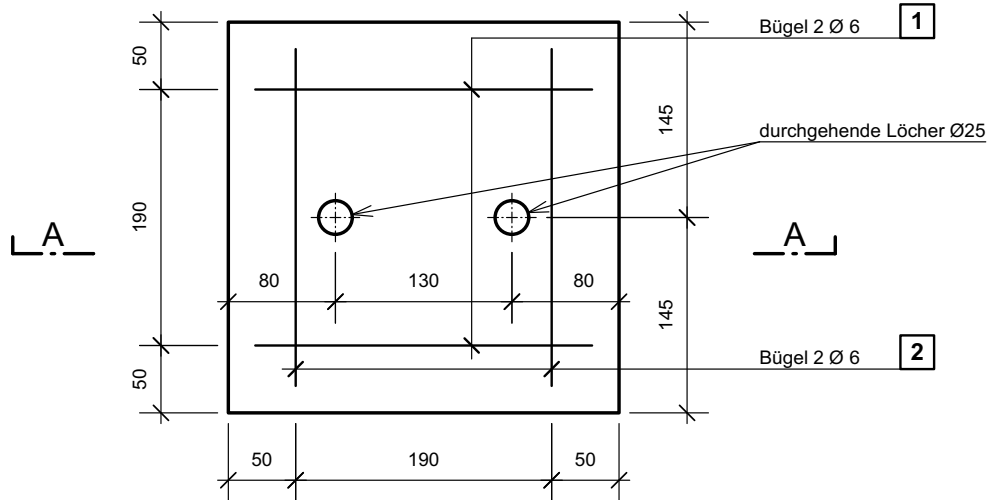
Druckfestigkeitsklasse	C30/37
Expositionsklasse	XC4(CH)
Nennwert Grösstkorn D_{max} der Gesteinskörnung	D_{max} 16
Klasse des Chloridgehalts	Cl 0, 10
Konsistenzklasse	C3
Frost-Tausalz-Widerstand	nein
Wasserzementwert w/z_{max} [-]	0,50

Tab. 3 Für die Herstellung der Prüfkörper geforderte Betonspezifikationen

Betonprüfkörper 25 kg

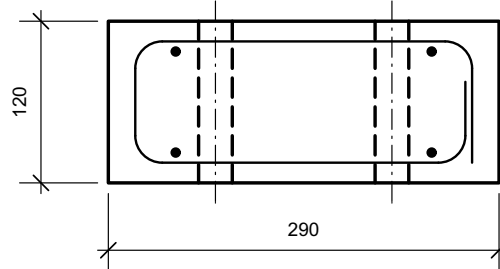
Grundriss

(alle Masse in mm)



Schnitt A – A

(alle Masse in mm)



Beton: C30/37

Stahl: B500B

Eisenliste:

Pos.	Stückzahl	Ø (mm)	abgew. Länge (m)	Totallänge (m)	Gewicht (kg)	Normform Aussenmasse (mm) Ohne besondere Angaben werden die Betonstähle nach SIA-Norm 262 abgebogen	Bemerkungen
1	2	6	0.74	1.48	0.33		
2	2	6	0.71	1.42	0.32		
Total bearbeitet:			2.90 m	0.65 kg			

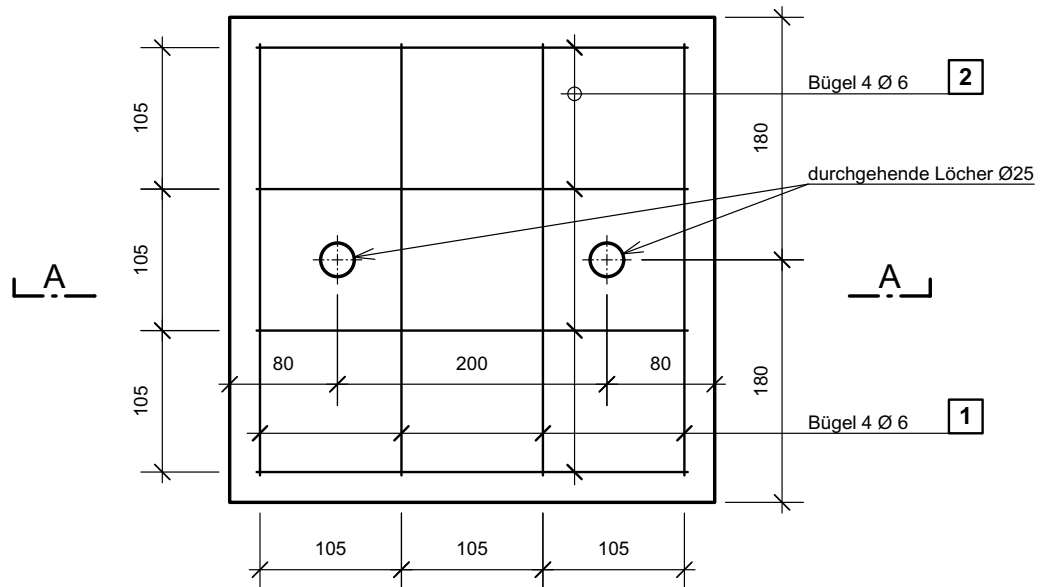
Betonprüfkörper für Dübelschockprüfung Prüfkörper 25 kg (290|290|120)

Plan Nr.	1936.01	Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS LABOR SPIEZ Prüfstelle STS 0055
Massstab	1:5		
Gezeichnet	Gu	bbsINGENIEURE	BBS Ingenieure AG Gertrudstrasse 17 CH-8400 Winterthur
Datum	30.01.2020		

Betonprüfkörper 52 kg

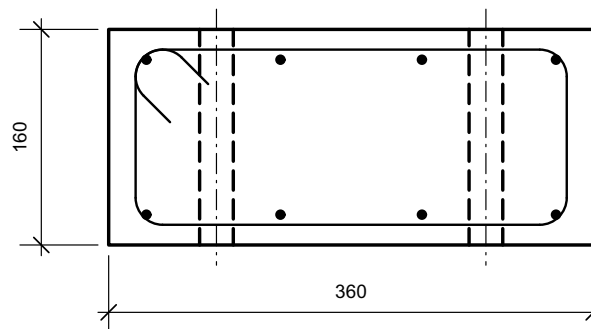
Grundriss

(alle Masse in mm)



Schnitt A – A

(alle Masse in mm)



Beton: C30/37

Stahl: B500B

Eisenliste:

Pos.	Stückzahl	Ø (mm)	abgew. Länge (m)	Totallänge (m)	Gewicht (kg)	Normform Aussenmasse (mm) Ohne besondere Angaben werden die Betonstähle nach SIA-Norm 262 abgebogen	Bemerkungen
1	4	6	1.05	4.20	0.93		
2	4	6	1.02	4.08	0.91		
Total bearbeitet:				8.28 m	1.84 kg		

Betonprüfkörper für Dübelschockprüfung

Prüfkörper 52 kg (360|360|160)

Plan Nr.	1936.02	Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS LABOR SPIEZ Prüfstelle STS 0055
Massstab	1:5		
Gezeichnet	Gu		BBS Ingenieure AG Gertrudstrasse 17 CH-8400 Winterthur
Datum	30.01.2020		