



Kapitel 15

BEFESTIGUNG

Stand: 08/2025

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann,
MPA Universität Stuttgart



1. Allgemeines

Die Bedeutung nachträglicher Befestigungen in KS-Mauerwerk nimmt im Bauwesen stetig zu. Die Anwendungen beim Einsatz nachträglicher Befestigungen mit Kunststoffdübeln, Injektionsdübeln und inzwischen auch Schraubankern sind sehr vielfältig. Einrichtungsgegenstände, wie z.B. Hängeschränke, Regale, Spiegel, Bilder oder Ähnliches (Bild 1) werden im privaten Bereich in der Regel mit nicht zugelassenen Dübeln befestigt.

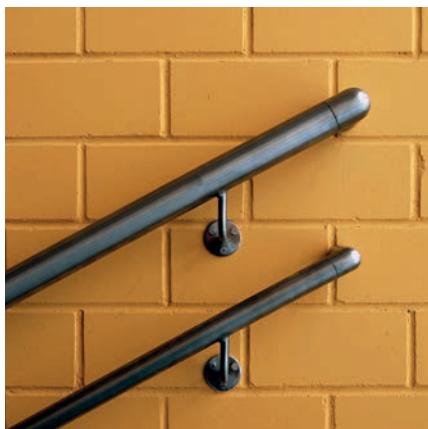


Bild 1 Befestigung von Treppengeländern an KS-Mauerwerk



Bild 2 Innensichtmauerwerk aus Kalksandstein mit befestigten Installationsleitungen

Typische sicherheitsrelevante Anwendungen hingegen sind Fassadenunterkonstruktionen, Vordächer, Markisen, Rohrleitungen oder anschließende Stahlkonstruktionen (siehe Bild 2), Rolltorführungen, Lüftungskanäle, Kabeltrassen oder abgehängte Decken.

Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen ist für nachträgliche Befestigungen mit Dübeln in der Regel sehr gut geeignet, da die hohen Druckfestigkeiten der Mauerwerkssteine hohe Haltewerte garantieren. Zudem ist der Untergrund homogen und so auch gut für die Verwendung von Schraubankern geeignet. Schraubanker und Kunststoffdübel aus Polyamid können in KS-Vollsteinen unter Zug- und Querbelastung vergleichbare Tragfähigkeiten wie in Normalbeton erreichen.

In KS-Lochsteinen ist wegen der hohen Festigkeit der Steinstegs ebenfalls mit ausreichend großen Traglasten zu rechnen. In diesen Fällen hängt die Tragfähigkeit jedoch wesentlich von der Anzahl der vom Dübel aktivierten Steinstegs sowie der Dicke des Außensteges ab.

In den folgenden Abschnitten werden die für Befestigungen in Kalksandstein geeigneten Systeme beschrieben, ihre Anwendungsbedingungen zusammengestellt und das Wirkprinzip erklärt.

2. Befestigungssysteme

Für nachträgliche Befestigungen an KS-Vollsteinen (Lochanteil < 15%) oder KS-Lochsteinen (Lochanteil > 15%) eignen sich Kunststoffdübel und Injektionssysteme mit oder ohne Siebhülse. Eine neue Entwicklung sind Schraubanker für den Einsatz in Mauerwerk. Man unterscheidet zwischen Befestigungssystemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) und allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) sowie mit europäisch technischer Bewertung (ETA).

2.1 Kunststoffdübel

Kunststoffdübel bestehen aus einer Dübelhülse und einer speziellen Schraube als Spreizelement. Die Dübelhülsen zugelassener Kunststoffdübel bestehen meist aus Polyamid (PA). Die vom Hersteller mitgelieferte Schraube bildet zusammen mit der Dübelhülse eine Befestigungseinheit und darf in keinem Fall untereinander ausgetauscht oder verändert werden. Ein Grund ist, dass die Länge und Geometrie von Schraube und Kunststoffhülse exakt aufeinander abgestimmt sind, um ein optimales Spreizverhalten bei der Montage zu gewährleisten. So kann beispielsweise ein Mitdrehen des DüBELS bei der Montage vermieden werden. Weiterhin besitzt die Dübelhülse einen „Kragen“, der die Soll-Einbaulage gewährleistet und verhindert, dass der Dübel bei der Montage in das Bohrloch hineinrutscht

und somit die Lage des Spreizbereichs verändert. Für Dübelhülsen von nicht bauaufsichtlich zugelassenen Kunststoffdübeln können neben Polyamid auch andere Kunststoffe wie z.B. Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet werden. Als Spreizelement können, je nach Empfehlung des Herstellers, Holzscreuben oder Spanplattenschrauben eingesetzt werden.

Bild 3 zeigt beispielhaft die Montage eines Kunststoffdübels. Dieser wird in der Regel in Durchsteckmontage gesetzt, d.h. der Dübel wird durch das zu befestigende Anbauteil hindurch montiert und die Schraube von Hand oder mit Hilfe eines Elektroschraubers eingeschraubt bis der Schraubenkopf auf dem Anbauteil bzw. dem „Kragen“ aufliegt.

Beim Eindrehen der Schraube in die Hülse wird der Kunststoff der Dübelhülse verdrängt und gegen die Bohrlochwand gepresst. Der Dübel ist richtig verankert, wenn sich die Dübelhülse nach dem vollständigen Eindrehen der Schraube weder dreht noch ein leichtes Weiterdrehen der Schraube möglich ist. Ein Überdrehen der Schraube ist bei hochwertigen Produkten in der Regel nicht möglich.

In Vollsteinen werden die auf den Dübel wirkenden Zuglasten ausschließlich durch Reibung zwischen Dübelhülse und Bohrlochwand übertragen. In Lochsteinen können Reibungskräfte

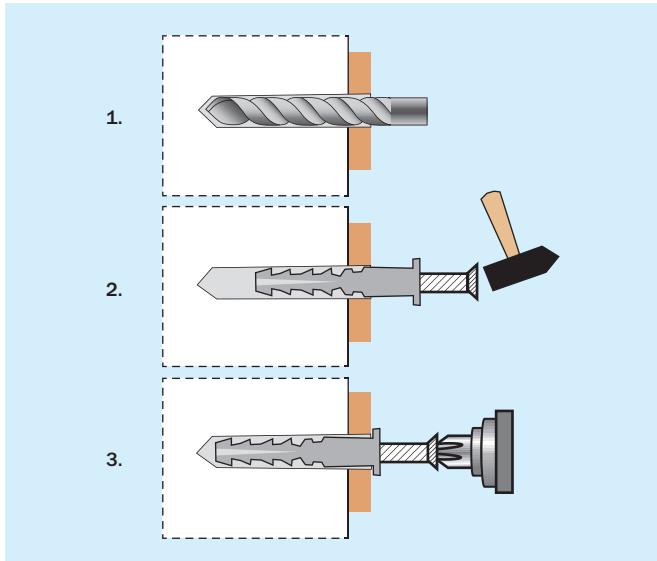


Bild 3 Montage eines KunststoffdüBELS

nur im Bereich der angeschnittenen Stege übertragen werden. Bei Lochsteinen wird jedoch zusätzlich ein Teil der aufgebrachten Zuglast durch die mechanische Verzahnung im Bereich der Steinlochung übertragen.

2.2 InjektionsdüBEL

InjektionsdüBEL (VerbunddüBEL) für Mauerwerk bestehen aus einer Gewindestange oder einer Innengewindegöhülse und einem für Mauerwerk geeigneten Injektionsmörtel. Der Mörtel wird in Kartuschen geliefert. Diese bestehen in der Regel aus zwei Kammern, in denen jeweils der Mörtel und der Härter enthalten sind. Als Bindemittel kommen Kunsthärze oder eine Mischung aus Kunsthärz und Zement (Hybridsysteme) zur Anwendung.

Für KS-Lochsteine sind Kunststoff- oder Metallsiebhülsen notwendig, um die erforderliche Mörtelmenge zu begrenzen, so dass nicht der gesamte Hohlraum mit Mörtel gefüllt werden muss.

Bild 4 zeigt beispielhaft die Montage eines InjektionsdüBELS. Nach dem Bohren muss das Bohrloch unbedingt gemäß den Herstellerangaben gereinigt werden. In der Kartusche sind das Harz und der Härter stets in einem für die jeweilige Mörtelart speziellen Mengenverhältnis enthalten. Dieses Mischungsverhältnis darf in keinem Fall verändert werden.

Der Mörtel wird mit Hilfe eines Auspressgerätes in das Bohrloch injiziert. Während diesem Vorgang werden Harz und Härter ausgepresst und in einer Mischwendel (dem sogenannten Statikmischer), an der Spitze der Kartusche, vollständig miteinander vermischt. Die ersten Hübe beim Auspressen sind daher zu verwerfen, da das vorgegebene Mischungsverhältnis noch nicht eingehalten wird. Der Härter und das Harz vermischen sich in der Mischwendel und härten dort, z.B. während einer Arbeitspause, aus. Die Kartusche kann dann nach Auf-

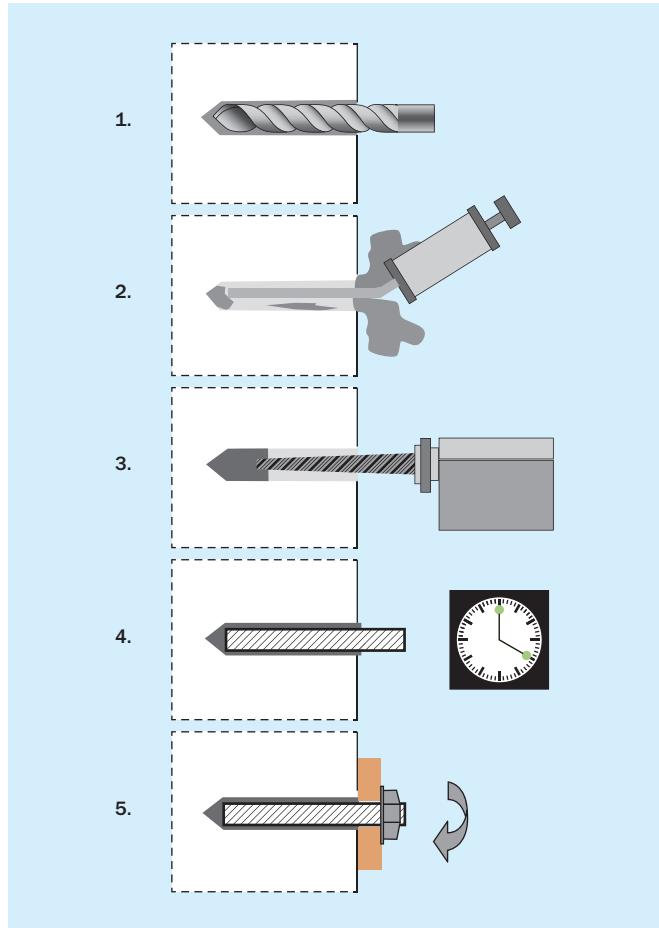


Bild 4 Montage eines InjektionsdüBELS als Vorsteckmontage

setzen einer neuen Mischwendel weiterverwendet werden, wobei die ersten Hübe beim Auspressen wieder zu verwerfen sind.

Nach dem Injizieren der erforderlichen Mörtelmenge wird die Gewindestange mit einer leichten Drehbewegung in das Bohrloch eingedrückt. Tritt am Bohrlochmund Mörtel aus, so wurde das Bohrloch ausreichend mit Mörtel verfüllt und die Montage korrekt ausgeführt. Die erforderliche Wartezeit bis zum Aufbringen der Last entspricht der angegebenen Aushärtezeit des Injektionsmörtels und ist von der Umgebungs- und Verankerungsgrundtemperatur abhängig. Je höher diese ist, desto kürzer ist in der Regel die Aushärte- und Verarbeitungszeit.

Um in Lochsteinen die Mörtelmenge zu begrenzen, müssen bei zugelassenen Systemen Siebhülsen verwendet werden. Beim Einpressen des Mörtels dringt dieser durch die Maschen der Siebhülse und bildet so im Hohlraum einen Formschluss aus. Die Siebhülse bildet mit dem Mörtel und der Ankerstange eine Einheit und darf nicht durch eine andere Siebhülse ausgetauscht werden, da die Maschengröße und Mörtelviskosität aufeinander abgestimmt sind. Dadurch wird die erforderliche Mörtelmenge auf ein Minimum begrenzt und dennoch eine hohe Tragfähigkeit gewährleistet (Bild 5).

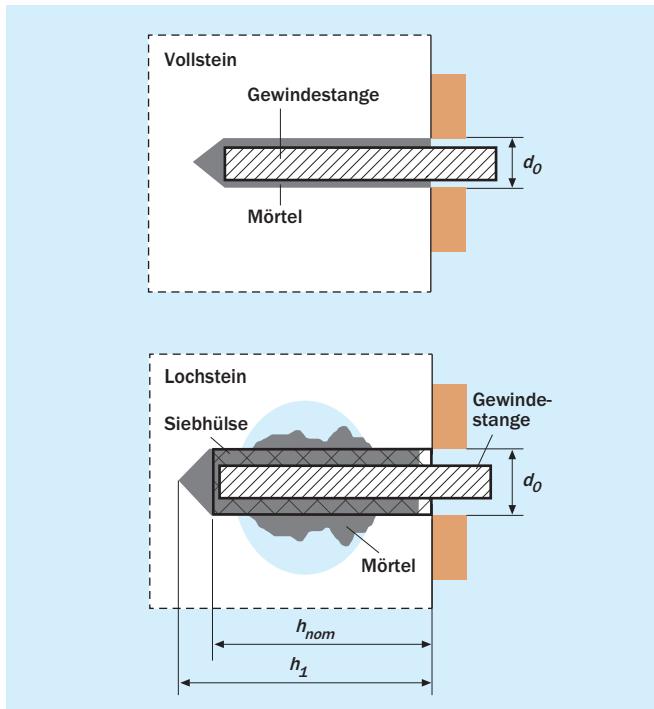


Bild 5 Injektionsdübel in KS-Vollstein und KS-Lochstein

Injektionsdübel werden oft in Vorsteckmontage verwendet. Hierbei werden zuerst die Dübel gesetzt und anschließend das Anbauteil, nach Ablauf der Aushärtezeit, befestigt (Bild 4). Bei größeren Anbauteilen mit mehreren Befestigungspunkten, wie z.B. Holzbalken kann dies aufgrund unvermeidlicher Toleranzen problematisch werden. Hier muss dann der Dübel in Durchsteckmontage oder mittels einer Setzsablonen montiert werden.

Zugelassene Injektionsdübel, die in Durchsteckmontage verwendet werden können, sind speziell für diese Montageart entwickelt und hinsichtlich unterschiedlicher Anbauteildicken und Siebhülsenlängen flexibel.

Injektionsdübel tragen in KS-Lochsteinen die Lasten überwiegend durch Verbund und mechanische Verzahnung des Mörtels mit dem Mauerwerk in den Untergrund ab. Werden beim Bohren keine Hohlräume angeschnitten, werden die Lasten – wie in KS-Vollsteinen – nur durch die Klebewirkung (Verbund) zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Mauerwerksverband abgetragen (Bild 5).

INFO

Vorteil der Injektionssysteme ist die in der Regel höhere Tragfähigkeit und die Verwendbarkeit als Einzelverankerung.

2.3 Schraubanker

Schraubanker sind rein mechanische Verankerungselemente und leiten die Lasten durch einen Formschluss in den Untergrund ein. Schraubanker eignen sich grundsätzlich für KS-Vollsteinmauerwerk. Je nach Lochgeometrie ist jedoch auch eine Anwendung in KS-Lochsteinen möglich.

Schraubanker sind in der Regel einteilige Verankerungselemente aus oberflächengehärtetem Stahl und haben unterschiedliche Kopfausführungen, wie z.B. einem Senkkopf, einem Gewindeanschluss oder einem Sechskantkopf mit angepresster Scheibe.

Für die Montage wird ein zylindrisches Bohrloch erstellt, das einen geringeren Durchmesser aufweist als der Außendurchmesser des Schraubengewindes. Dadurch wird beim Eindrehen des Schraubankers ein Gewinde in den Kalksandstein geschnitten, in dem die Schraube formschlüssig verankert wird. In Bild 6 ist die Montage eines Schraubankers beispielhaft dargestellt.

Wichtig ist, dass der Schraubanker bei der Montage nicht überdreht. Durch das Einschneiden des Gewindes in den Untergrund, kann es bei einem Überdrehen dazu kommen, dass das eingeschnittene Gewinde zerstört wird. Dadurch wird die Tragfähigkeit sehr stark oder vollständig reduziert. Aus diesem Grund sind die maximalen, in der ETA oder der aBG angegebenen Drehmomente, unbedingt einzuhalten. Für die Montage mit einem Elektro- oder Schlagschrauber dürfen zudem nur die in der ETA oder aBG aufgelisteten Geräte verwendet werden. Der Grund hierfür ist, dass diese für die Montage überprüft wurden und ein Überdrehen der Schraube damit ausgeschlossen werden kann.

Nach der Montage kann der Schraubanker sofort voll belastet werden. Ein weiterer Vorteil der Schraubanker ist, dass diese im Vergleich zu Verbunddübeln zwar höhere Spreizkräfte entwickeln, diese aber im Vergleich zu herkömmlichen Spreizdübeln gering bleiben. Damit sind für Schraubanker auch sehr geringe Rand- und Achsabstände realisierbar.

INFO

Mit der Anwendung von Schraubankern sind sehr geringe Rand- und Achsabstände realisierbar.

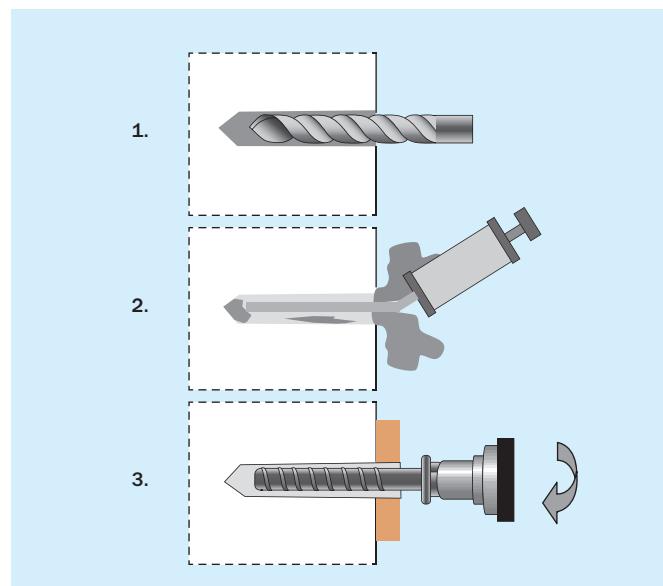


Bild 6 Montage eines Schraubankers als Durchsteckmontage

Durch das Einschneiden des Gewindes in Kalksandstein ist es zudem möglich, den Schraubanker ohne großen Aufwand zu demontieren. Einige Schraubanker sind auch für eine mehrmalige, kurzzeitige Anwendung zugelassen, wenn es sich um temporäre Befestigungen handelt. Durch teilweises Herausdrehen ist

zudem eine Justierung der Verankerung möglich. Auch hierzu gibt es bereits Untersuchungen, die zeigen, dass Schraubanker hierfür grundsätzlich geeignet sind. Ob ein Schraubanker für eine mehrfache Anwendung oder eine Justierung geeignet ist, muss in der technischen Bewertung angegeben sein.

3. Sicherheitsanforderungen

Bei der Beurteilung einer Befestigung spielen Sicherheitsanforderungen eine sehr große Rolle. Grundsätzlich wird zwischen sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Anwendungen unterschieden.

Eine sicherheitsrelevante Anwendung liegt dann vor, wenn beim Versagen der Befestigung Gefahr für Leib und Leben besteht oder wesentliche wirtschaftliche Schäden zu erwarten sind. In solchen Fällen dürfen nur Befestigungen verwendet werden, wenn deren Verwendbarkeit durch

- eine allgemeine Bauartgenehmigung (aBG),
- eine europäisch technische Bewertung (ETA) nachgewiesen ist.

Alternativ kann die Verwendbarkeit auch durch eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) oder Baustellenversuche in Kombination mit einer allgemeine Bauartgenehmigung geregelt werden.

Definitionsgemäß sind Befestigungen von Fassadenunterkonstruktionen, Verankerungen von Sprinklersystemen oder von abgehängten Decken als sicherheitsrelevant einzustufen. Demgegenüber werden Befestigungen von Einrichtungsgegenständen (z. B. Hängeschränke, Regale, Lampen und Bilder) oder von Installationsleitungen (Wasser, Sanitär und Heizung) in Privatgebäuden in der Regel als nicht sicherheitsrelevant angesehen. Allerdings sollte auch hier überprüft werden, ob durch ein Versagen der Befestigung Menschenleben gefährdet sind. Im Zweifelsfall sollten auch für diese Anwendungen zugelassene Dübelsysteme verwendet werden. Ansonsten können solche Verankerungen nach handwerklichen Regeln ausgeführt werden. Auch wenn hier keine Anforderungen an die Verankerung gestellt werden, sollten die Grundprinzipien, die auch zugelassenen Dübeln zugrundliegen, beachtet werden.

Des Weiteren unterscheiden sich die Anwendungsbedingungen von Kunststoffdübeln von denjenigen von Verbunddübeln oder Schraubankern.

Kunststoffdübel sind auf Anwendungen mit Mehrfachbefestigungen und statisch unbestimmte Systeme beschränkt [4]. Dies sind in der Regel sogenannte „redundante Systeme“, bei denen im Falle eines Versagens oder einer übermäßig großen Verschiebung eines Verankerungspunktes nicht das Gesamtsystem versagt [1].

Gemäß europäischer Definition ist diese Lastumlagerung automatisch und ohne zusätzliche Nachweise gewährleistet, wenn die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das zu befestigende Bauteil wird mit mindestens drei Befestigungspunkten befestigt. (Ein Befestigungspunkt besteht dabei aus mindestens einem Dübel).
- Der Bemessungswert der Einwirkungen S_d pro Befestigungspunkt muss auf 3 kN begrenzt werden.
- Die Tragfähigkeit und ggf. Gebrauchstauglichkeit der Unterkonstruktion bei Ausfall eines Befestigungspunktes ist nachgewiesen.

Bei einer Vergrößerung der Anzahl der Befestigungspunkte von drei auf vier (oder mehr) darf der Bemessungswert der Einwirkungen vergrößert werden und beträgt maximal $S_d = 4,5$ kN.

Demgegenüber dürfen Verbunddübel und Schraubanker auch als Einzelverankerung verwendet werden, wenn bestimmte Anwendungsbedingungen wie Mindestverankerungstiefe oder Setzposition eingehalten werden.

In Europa gibt es eine sehr große Vielfalt an Mauerwerksbaustoffen, Steinformaten und Lochbilder. In den technischen Bewertungen (aBG, ETA) sind daher alle Voll- und Lochsteine beschrieben, für die die Verankerung zugelassen ist. Die angegebenen Werte gelten daher nur für die dort aufgeführten Steine. Dies betrifft vor allem die Angaben hinsichtlich des Formats, der Druckfestigkeit und des Lochbildes (d.h. Größe und Verteilung der Hohlräume).

4. Dübel für sicherheitsrelevante Befestigungen

4.1 Kunststoffdübel

Aufgrund der inzwischen großen Anzahl an unterschiedlichen Produkten und Steinarten können keine typischen Montagekennwerte und Lasten angegeben werden. Dies liegt auch daran, dass die Tragfähigkeit von sehr vielen Faktoren abhängt. Diese wird daher in der ETA oder aBG immer in Abhängigkeit der Montage- und Anwendungsbedingungen angegeben. Beispielsweise gelten die angegebenen Tragfähigkeiten in KS-Lochsteinen nur dann, wenn die Bohrlöcher mit dem vorgeschriebenen Bohrverfahren erstellt wurden. Diese Einschränkung hat den Hintergrund, dass beim Bohren mit Hammerwirkung die Stege der Lochsteine auf ihrer Rückseite deutlich stärker ausbrechen können als beim Bohren im Drehgang (Bild 7).



Bild 7 Unterschiedliche Vorschädigung durch Dreh- und Hammerbohren

Das zulässige Bohrverfahren ist daher immer in der europäisch technischen Bewertung angegeben.

Der erforderliche minimale Randabstand hängt davon ab, ob im Bereich der Verankerung eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Hierbei ist aber zu beachten, dass eine Auflast auch eine ungünstige Auswirkung haben kann. Es sollte daher mindestens der Randabstand eingehalten werden, der sich ohne Auflast ergibt. Der minimale Randabstand ist daher immer in der europäisch technischen Bewertung angegeben und nimmt in der Regel mit einem größer werdenden Verankerungsdurchmesser zu.

Im Bereich von Stoßfugen ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit der Kunststoffdübel nahezu halbiert werden muss. Bei Injektionsdübeln liegen die Abminderungen im Bereich von ca. 30 %. Zudem darf nur dann in der vermortelten Stoßfuge verankert werden, wenn der Dübel hierfür geeignet ist und dieses durch Versuche nachgewiesen wurde. Bei unvermortelten Stoßfugen ist die Funktion des Dübels ebenfalls nachzuweisen.

In der Regel sind für Kunststoffdübel auch Temperaturbereiche angegeben, die einzuhalten sind (z.B. 50 °C/80 °C). Der geringere Wert entspricht der langzeitig im Mittel erlaubten Temperatur, der höhere Temperaturwert darf auch kurzzeitig nicht überschritten werden.

Wichtig für die Bemessung ist, dass die Tragfähigkeiten, die in der ETA oder aBG angegeben sind, nur für die dort aufgeführten Steine und Anwendungsbedingungen gelten.

Die wichtigsten einzuhaltenden Anwendungsbedingungen sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN 20000-412 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für die Formate und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Anwendungen in KS-Lochsteinen muss die erforderliche Verankerungstiefe eingehalten werden. Ist das nicht möglich, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Bei Mauerwerk ohne Vermörtelung der Stoßfugen ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma_M$ auf 2,0 kN zu begrenzen, um ein Herausziehen des Steins aus dem Mauerwerksverband zu verhindern. Auf diese Begrenzung darf verzichtet werden, wenn Mauersteine mit Nut-Feder-System verwendet werden oder das Mauerwerk mit Stoßfugenvermortelung ausgeführt wird.
- Sind die Mauerwerksfugen nicht sichtbar, z.B. bei verputztem Mauerwerk, ist die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} zu halbieren.

Sind die Fugen zwar sichtbar, aber das Mauerwerk ist ohne Stoßfugenvermortelung erstellt, dann darf die charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} nur angesetzt werden, wenn der Mindestrandabstand gemäß ETA oder aBG auch zu den Stoßfugen eingehalten wird. Ist das nicht der Fall, muss die charakteristische Tragfähigkeit ebenfalls halbiert werden.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden der Kunststoffdübel zu entnehmen.

4.2 Injektionsdübel

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Injektionsdübel in Kalksandsteinen als Einzelbefestigungen verwendet werden. Das bedeutet, die gesamte Last darf mit nur einem Dübel oder einer Dübelgruppe in den Ankergrund eingeleitet werden.

Wie bei Kunststoffdübeln hängt der erforderliche Randabstand davon ab, ob eine Auflast vorhanden ist oder nicht. Es gelten die gleichen Ausführungen wie für Kunststoffdübel.

Üblicherweise versagen Injektionsdübel durch Ausbrechen oder Herausziehen. Bei größeren Randabständen ist die Tragfähigkeit daher höher, da die Versagensfläche nicht durch den Steinrand beeinflusst wird. Übliche Randabstände liegen je nach Dübelgröße und Steinfestigkeit zwischen 5 cm und 20 cm.

Für Injektionsdübel sind eine Reihe weiterer Bedingungen einzuhalten. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Die maximale Last, die durch Einzeldübel oder eine Dübelgruppe in einen Stein eingeleitet werden darf, ist begrenzt. Dadurch soll verhindert werden, dass der belastete Stein als Ganzes aus dem Mauerwerksverband herausgezogen wird. Der entsprechende Nachweis ist nach der Bemessungsrichtlinie EOTA TR 054 [9] zu führen.
- Die Temperatur im Bereich des Injektionsmörtels darf den in der ETA oder aBG angegebenen Wert nicht überschreiten. Die angegebenen Temperaturbereiche sind analog zu den Kunststoffdübeln definiert.
- Bis zur Lastaufbringung sind produktabhängige Wartezeiten einzuhalten, die von der Temperatur im Ankergrund und vom Injektionssystem (Mörteltyp) abhängen.

Auch bei Injektionssystemen gelten die ermittelten Tragfähigkeiten nur für die in der ETA oder der aBG angegebene Bohrverfahren. Wird von dem angegebenen Bohrverfahren abgewichen, können Versuche am Bauwerk durchgeführt werden, um den charakteristischen Widerstand F_{RK} für das abweichenden Bohrverfahren zu ermitteln.

Die Berechnung der Tragfähigkeit, insbesondere bei Vollsteinen, berücksichtigt alle möglichen Versagensarten. Die Versagensart mit dem rechnerisch geringsten charakteristischen Widerstand ist für die Bemessung maßgebend. Die Tragfähigkeiten gelten nur, wenn die in der ETA oder der aBG angegebenen Montagekennwerte und Anwendungsbedingungen eingehalten werden. Die wichtigsten einzuhaltenden Anwendungsbedingungen sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Mörtel des Mauerwerks muss mindestens der Mörtelklasse M 2,5 nach DIN 20000-412 entsprechen.
- Die Werte für KS-Vollsteine gelten für die in der Zulassung angegebenen Formate und Druckfestigkeiten sowie für alle größeren Formate und/oder Druckfestigkeiten.
- Die Werte für KS-Lochsteine gelten nur für Formate, Druckfestigkeiten und Lochbilder, die in der Zulassung beschrieben sind.
- Bei abweichenden Formaten und/oder Lochbildern sowie bei geringeren Druckfestigkeiten und/oder Rohdichten dürfen Versuche am Bauwerk durchgeführt werden.
- Der Gewindedurchmesser der Ankerstange muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Verankerungstiefe muss mindestens 50 mm betragen.
- Die Wanddicke muss mindestens 100 mm betragen.

Der Fugeneinfluss ist wie folgt zu berücksichtigen:
Sind die Fugen des Mauerwerks nicht sichtbar (z.B. verputzte Wand), sind die charakteristischen Tragfähigkeiten auf 75 % abzumindern. Sind die Fugen des Mauerwerks sichtbar (z.B. bei einer unverputzten Wand) dürfen die in der Zulassung an-

gegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten verwendet werden, wenn:

- die Stoß- und Lagerfugen planmäßig mit Mörtel verfüllt sind, oder
- der minimale Randabstand c_{min} auch zu den Stoßfugen eingehalten wird.

In allen anderen Fällen ist die Tragfähigkeit ebenfalls auf 75 % zu reduzieren.

Die zulässigen Biegemomente sowie weitere Detailinformationen zur Anwendung, sind den jeweiligen Zulassungsbescheiden zu entnehmen. Die früher vorgeschriebene Probobelastung von 3 % der verbauten Dübel entfällt, da die Anwendung nur noch in Voll- und Lochsteine zugelassen ist, die in der ETA oder der aBG aufgeführt sind. Diese Vorgehensweise entspricht der bei Kunststoffdübeln.

4.3 Schraubanker

Im Gegensatz zu Kunststoffdübeln dürfen Schraubanker auch in Kalksandstein als Einzelbefestigungen verwendet werden. Der erforderliche Randabstand zur freien Mauerwerkswand oder einer freien Fuge hängt bei Schraubankern in der Regel vom Bohrverfahren und dem Schraubendurchmesser ab.

Üblicherweise versagen Schraubanker durch Ausbrechen oder einem kombinierten Ausbrechen/Herausziehen. Bei größeren Randabständen ist die Tragfähigkeit daher höher, da die Versagensfläche nicht durch den Mauerwerksrand oder eine Fuge beeinflusst wird. Übliche Randabstände liegen zwischen 5 cm und 15 cm.

Für Schraubanker sind eine Reihe weiterer Bedingungen einzuhalten. Die Wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

- Der Nachweis für das Herausziehen eines Steines aus dem Verbund ist nach der Bemessungsrichtlinie EOTA TR 054 [9] zu führen.
- Im Vergleich zu Verbunddübeln und Kunststoffdübeln werden keine Temperaturbereiche angegeben. Hier gilt der allgemeine Temperaturbereich, der Temperaturen zwischen -40 °C und +80 °C abdeckt.
- Eine Anwendung in der Stoß- und Lagerfuge ist nur dann möglich, wenn diese untersucht wurde und entsprechende Regelungen in der ETA oder der aBG angegeben sind. Teilweise ist die zulässige Fugenbreite abhängig vom Schraubendurchmesser begrenzt.
- Der Nenndurchmesser des Schraubankers muss mindestens 6 mm betragen.
- Die Wanddicke muss mindestens 100 mm betragen.

Der Fugeneinfluss kann, anders als bei Verbunddübeln, nicht pauschal durch eine Abminderung berücksichtigt werden. Dieser hängt bei Schraubankern von mehreren Faktoren ab, ins-

besondere dem Schraubendurchmesser und der Fugenbreite. Daher sind in der ETA oder aBG jeweils Abminderungen für die

Anwendung in Fugen angegeben. Diese müssen in den notwendigen Zulassungsversuchen ermittelt werden.

5. Bemessung

5.1 Zugbelastung

5.1.1 Herausziehen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei Steinausbruch oder Herausziehen eines DüBELS ist stark vom DüBELtyp abhängig. Zudem variiert diese abhängig von der Steinfestigkeit und der Stegdicke des KS-Voll- bzw. KS-Lochsteines. Daher kann diese Versagensart nicht ohne weiteres berechnet werden. Für Schraubanker und KunststoffdüBEL wird daher die Last für die Versagensart Herausziehen immer in der ETA oder aBG angegeben.

In [6] sind die Grundlagen für eine überschlägige Berechnung für VerbunddüBEL aufgeführt. Der Wert ist aber in jedem Fall der ETA zu entnehmen. Die Berechnung des Verbundversagens für Injektionssysteme erfolgt mit folgender Gleichung:

$$N_{Rk,p} = \tau_{Rk} \cdot h_{ef} \cdot d_s \cdot \pi \quad (5.1)$$

τ_{Rk}	Charakteristische Festigkeit des Verbundmörtels
h_{ef}	Verankerungstiefe
d_s	Durchmesser der Gewindestange

Die charakteristische Verbundfestigkeit des Mörtels kann dabei von der maximalen Anwendungstemperatur abhängen. Auch ein feuchter Untergrund während der Montage kann die Verbundfestigkeit reduzieren und sollte berücksichtigt werden. Nach den Ausführungen in [8] hat die Höhe der Auflast keinen wesentlichen Einfluss auf die Herausziehlasten und kann daher vernachlässigt werden.

5.1.2. Stahlversagen

Grundsätzlich hängt die Tragfähigkeit vom Querschnitt der Gewindestange bzw. der Schraube des KunststoffdüBELs sowie der Stahlfestigkeit ab. Die charakteristische Tragfähigkeit kann damit wie folgt berechnet werden:

$$N_{Rk,s} = f_{uk} \cdot A_s \quad (5.2)$$

f_{uk}	Nominelle charakteristische Stahlzugfestigkeit
A_s	Minimaler maßgebender Stahlquerschnitt

Da bei Schrauben, die in KunststoffdüBELn verwendet werden, der maßgebende Querschnitt nicht immer einfach zu ermitteln ist, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt und in der ETA angegeben.

Bei Schraubankern ist zu beachten, dass diese an der Oberfläche gehärtet sind. Daher ist auch hier eine Berechnung der Stahltragfähigkeit nur bedingt möglich. Die Stahltragfähigkeit für Schraubanker ist daher ebenfalls der ETA oder der aBG zu entnehmen.

5.1.3 Steinausbruch

Zu einem Steinausbruch kommt es, wenn der Untergrund durch Rissbildung versagt. Dabei kommt es zu einem kegelförmigen, pyramidenförmigen Ausbruchkörper, der durch Ränder oder Aussparungen begrenzt werden kann. Für Lochsteine ist eine allgemeingültige Berechnung der Steinausbruchlast nicht möglich, da der Spannungszustand im Untergrund von unzähligen Faktoren abhängt. Daher wird der Wert für Steinausbruch in Lochsteinen immer in der ETA oder der aBG angegeben.

Für Vollsteine nach DIN EN 771-2 [3] kann die Steinausbruchlast überschlägig berechnet werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Berechnungsmethode derzeit noch nicht vollständig abgesichert und daher nicht in den Zulassungen enthalten ist. Nach den derzeitigen Regelungen ist der in den Versuchen geprüfte Wert für die Versagensart Herausziehen des DüBELs auch für das Versagen infolge Steinausbruch zu verwenden.

Nach [10], [11] kann die charakteristische Steinausbruchlast von InjektionsdüBELn in Abhängigkeit der Steinsorte mit Gleichung 5.3 für Vollsteine ermittelt werden.

$$N_{Rk,b} = k \cdot f_{M,Netto} \cdot (h_{ef})^{1,5} \quad (5.3)$$

k	Faktor für Steinversagen = 1,25
$f_{M,Netto}$	Nettodruckfestigkeit des Stein, die in der ETA angegeben ist.
h_{ef}	Verankerungstiefe

Bei Schraubankern errechnet sich die wirksame Verankerungstiefe h_{ef} analog für Beton, indem der Gewindeanlauf und die Schraubenspitze abgezogen werden.

5.1.4. Herausziehen eines Steines

Die Last bei Versagen infolge Herausziehens eines Steines aus dem Verband hängt von der zur Verfügung stehenden Scherfläche ab. Damit hängt der charakteristische Widerstand vom Steinformat ab und ob die Stoßfugen vermörtelt sind oder nicht. Sind diese nicht vermörtelt, können nur die Lagerfugenflächen für A_{Scher} angesetzt werden. Die Tragfähigkeit für ein Herausziehen des Steines aus dem Verband berechnet sich wie folgt:

$$N_{Rk,SA} = f_{vk} \cdot A_{Scher} \quad (5.4)$$

Der Wert f_{vk} ist dabei die charakteristische Schubfestigkeit in den Mauerwerksfugen. Für Kalksandsteine kann ein Wert zwischen 0,10 N/mm² und 0,15 N/mm² angenommen werden. Vor allem bei kleinformativen Steinen kommt es zu dieser Versagensart. Bei einer mechanischen Verzahnung der Steine (z.B. Nut-Feder-System) kann der Wert allerdings deutlich höher liegen.

5.1.5. Einfluss des Randes

Der Einfluss des Randes (z.B. der Steinrand im Bereich einer nicht vermortelten Stoßfuge oder der Rand eines Wandelements) auf die Tragfähigkeit hängt von der Versagensart ab. Für reines Herausziehen oder Verbundversagen ist die Abminderung im Bereich eines Randes relativ gering, da hier der Untergrund wenig Einfluss auf das Versagen hat.

Für ein Versagen infolge Steinausbruch kann für KS-Vollsteine davon ausgegangen werden, dass die Last mit einem Randabstand geringer als $1,5 \cdot h_{ef}$ abnimmt. Die in der Zulassung angegebenen charakteristischen Tragfähigkeiten beziehen sich daher immer auf den zugehörigen minimalen Randabstand c_{min} . Dieser Randabstand ist einzuhalten. Teilweise sind in der ETA und aBG auch Tragfähigkeiten für unterschiedliche Randabstände angegeben.

Gemäß den Vorgaben der ETAG 029 [2] ist für KS-Vollsteine der minimale Randabstand $c_{min} > 50$ mm oder $3d_0$ und für KS-Vollsteine der minimale Randabstand $c_{min} > 100$ mm oder $6d_0$, wobei d_0 der nominelle Bohrdurchmesser ist.

Grundsätzlich können im Rahmen der Qualifizierungsversuche auch geringere Randabstände untersucht werden. Hierzu liegen jedoch bisher nur vereinzelt Erfahrungen vor. Überschlägig kann die Tragfähigkeit für Steinausbruch linear im Verhältnis vom vorhandenen zum notwendigen Randabstand reduziert werden:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot (c_1/c_{cr}) \cdot (0,7 + 0,3/c_{cr}) \quad (5.5)$$

N_{Rk}^0	Charakteristische Tragfähigkeit in der Steinmitte, wenn $c_1 > c_{cr}$
c_1	Vorhandener Randabstand
c_{cr}	Notwendiger Randabstand, um die charakteristische Tragfähigkeit N_{Rk}^0 zu erhalten.

Der Wert c_{cr} kann für Vollsteine zu ca. $1,5 \cdot h_{ef}$ angenommen werden. Für Lochsteine kann dieser derzeit nur experimentell ermittelt werden. Daher ist der entsprechende Wert immer einer ETA zu entnehmen.

5.1.6. Einfluss des Achsabstandes

Der Einfluss des Achsabstandes auf die Tragfähigkeit hängt von der Versagensart ab. Für reines Herausziehen oder Verbund-

versagen ist die Abminderung für nebeneinander angeordnete Verankerungen durch Versuche zu ermitteln. Bei Kunststoffdübeln ist die Abminderung relativ gering, bei Verbunddübeln kann diese hingegen größer ausfallen, wenn es zu einem so genannten kombinierten Versagen aus Herausziehen mit Steinbruch kommt.

Der Einfluss des Achsabstandes wird immer im Rahmen der Qualifizierungsversuche ermittelt und in der ETA oder aBG ein entsprechender Gruppenfaktor α_{gN} angegeben. Dabei wird zwischen Gruppenfaktoren $\alpha_{gN,\perp}$ und $\alpha_{gN,II}$ unterschieden. Die Richtung senkrecht (\perp) oder parallel (II) bezieht sich dabei auf die Anordnung der Gruppen bezogen auf die Lagerfuge (Bild 8).

Die charakteristische Tragfähigkeit einer Gruppe ergibt sich damit zu:

$$N_{Rk,c}^g = N_{Rk,c}^0 \cdot \alpha_{gN,\perp} \cdot \alpha_{gN,II} \quad (5.6)$$

N_{Rk}^0 Charakteristische Tragfähigkeit eines EinzeldüBELS
 $s_{\perp} > s_{cr,\perp}$ und $s_{II} > s_{cr,II}$

Der Gruppenfaktor kann für KS-Vollsteine überschlägig wie folgt abgeschätzt werden:

$$\alpha_{gN,\perp} = (s_{\perp}/s_{cr}) \quad (5.7)$$

$$\alpha_{gN,II,II} = (s_{II}/s_{cr}) \quad (5.8)$$

Der Wert s_{cr} kann für Vollsteine zu ca. $3,0 \cdot h_{ef}$ ($= 2 \cdot c_{cr}$) angenommen werden. Für Lochsteine kann dieser derzeit nur experimentell ermittelt werden. Daher ist der entsprechende Wert immer einer ETA zu entnehmen.

Wenn sich die Gruppe im Bereich eines Randes befindet, kann der Einfluss des Randes wie bei einem Einzeldübel berücksichtigt werden. Der zunehmende Randabstand ist der minimale Abstand zum randnahen Dübeln der Gruppe. D. h. die Abminderung durch den Rand (c_1/c_{cr}) wird auf die Gruppentragfähigkeit N_{Rk}^g bezogen.

5.1.7. Einfluss von Fugen

Fugen können grundsätzlich wie Ränder behandelt werden. Insbesondere bei unvermortelten Stoßfugen ist das Verhalten einer

$s_{cr,II}$	Abstand zwischen 2 Befestigungspunkten parallel zu Lagerfuge
$s_{cr,\perp}$	Abstand zwischen 2 Befestigungspunkten senkrecht zu Lagerfuge
$s_{min,II}$	Minimaler Achsabstand zwischen 2 Verankerungen innerhalb einer Gruppe parallel zu Lagerfuge
$s_{min,\perp}$	Minimaler Achsabstand zwischen 2 Verankerungen innerhalb einer Gruppe senkrecht zu Lagerfuge
c_{min}	Minimaler Randabstand zur Stoßfuge oder zum Rand des Wandelements

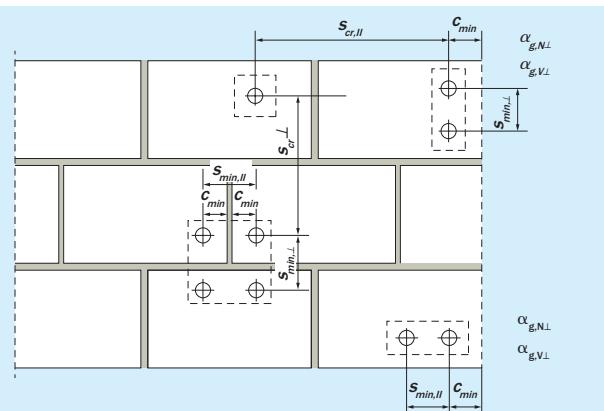


Bild 8 Unterschiedliche Anordnungen von Gruppenverankerungen in KS-Mauerwerk [6]

Verankerung vergleichbar mit dem Verhalten am freien Rand. Um die Bemessung zu vereinfachen und aufgrund dessen, dass die Fugen nicht immer sichtbar sind (z.B. verputztes Mauerwerk) wurde eine vereinfachte Regelung getroffen.

Für Kunststoffdübel darf bei sichtbaren Fugen die in der technischen Spezifikation angegebene charakteristische Tragfähigkeit F_{Rk} angesetzt werden. Voraussetzung ist, dass zu unvermörtelten Stoßfugen ein Abstand c_{min} eingehalten bzw. eine Abminderung durch den Randabstand berücksichtigt wird. Gleichermaßen gilt für Verbunddübel und Schraubanker.

Bei nicht sichtbaren Fugen (d. h. eine Montage des DüBELS in der Fuge kann nicht ausgeschlossen werden) muss die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln auf 50 % reduziert ($0,5 \cdot F_{Rk}$) werden.

Verbunddübel haben eine davon abweichende Regelung. Hier sollte die Tragfähigkeit bei nicht sichtbaren Fugen auf 75 % reduziert ($0,75 \cdot F_{Rk}$) werden. Insbesondere kleine Durchmesser können aber zu einer größeren Abminderung führen. Daher ist diese durch Versuche zu ermitteln und wird als Faktor $\alpha_{j,V}$ in der ETA oder aBG angegeben.

Bei Schraubankern muss die Tragfähigkeit in der Fuge stets durch Versuche ermittelt werden. Daher wird die Abminderung $\alpha_{j,V}$ für eine bestimmte maximale Fugenbreite in der ETA oder aBG angegeben. Ist kein Wert angegeben, so darf der Schraubanker nicht in der Fuge montiert werden.

5.2 Querbelastung

5.2.1 Lokales Steinversagen

Die charakteristische Tragfähigkeit bei lokalem Steinversagen ist vom Durchmesser des DüBELS, der Steinfestigkeit sowie der Stegdicke des KS-Voll- bzw. KS-Lochsteines abhängig. Daher kann diese Versagensart nicht ohne weiteres berechnet werden. Der Wert wird daher immer in einer ETA oder aBG angegeben.

5.2.2. Stahlversagen

Bei einer Querbelastung eines DüBELS kann es zu einem Versagen infolge Stahlbruch der Schraube bzw. der Gewindestange kommen. Die charakteristische Tragfähigkeit kann wie folgt berechnet werden.

$$V_{Rk,s} = \alpha_s \cdot f_{uk} \cdot A_s \quad (5.9)$$

α_s	Faktor zur Berücksichtigung der Querbelastung
f_{uk}	Nominelle charakteristische Stahlzugfestigkeit
A_s	Minimaler maßgebender Stahlquerschnitt

Der Faktor α_s berücksichtigt die Spannungsverteilung in Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,35 bis 0,5. Da der Faktor α_s und der maßgebende Querschnitt A_s nicht immer einfach zu ermitteln sind, wird die Tragfähigkeit ebenfalls in Versuchen ermittelt. Dies gilt insbesondere für Kunststoffdübel und Schraubanker.

5.2.3. Herausziehen eines Steines

Die Ausführungen in 5.1.3 zum Herausziehen des Steines bei einer zentrischen Zugbelastung gelten auch für das Herausziehen

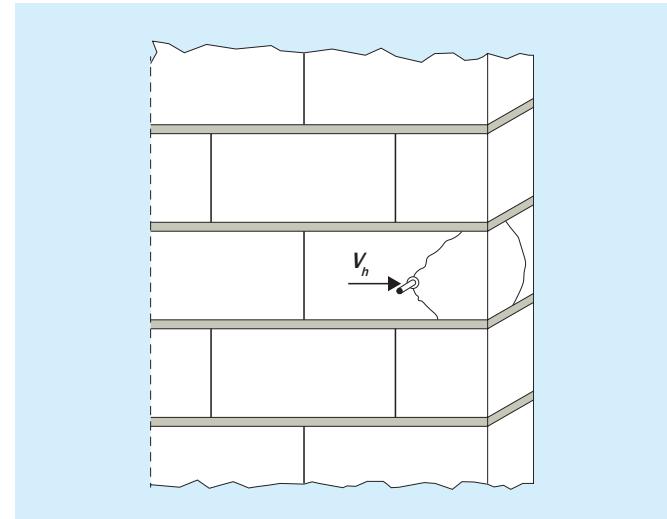


Bild 9 Steinkantenbruch am Mauerwerksrand [7]

des Steines aus dem Verband infolge einer Querbelastung, wobei nur die aktivierten Schubflächen berücksichtigt werden.

5.2.4. Steinkantenbruch am Rand

Unter Querbelastung kann bei Vollsteinen ein Steinkantenbruch auftreten. Hierbei bildet sich ein typischer Bruchkegel am Rand.

Die charakteristische Tragfähigkeit kann in Vollsteinen wie folgt berechnet werden:

$$V_{Rk,c} = k \cdot (d_{nom} \cdot f_{bk})^{0,5} \cdot c_1^{1,5} \cdot (h_{nom}/d_{nom})^{0,2} \quad (5.10)$$

k Faktor für Querlastrichtung

h_{nom} Wirksame Länge

d_{nom} Durchmesser der Verankerung

f_{bk} Charakteristische Steinfestigkeit

c_1 Vorhandene Randabstand

Der Faktor k berücksichtigt die Querlastrichtung und beträgt in der Regel 0,25 bei Belastung zum freien Rand (siehe Bild 9) und 0,45 bei Belastung parallel zum freien Rand. Die Werte h_{nom} und d_{nom} sind die wirksame Länge und der Durchmesser des DüBELS, f_{bk} die Steinfestigkeit und c_1 der vorhandene Randabstand. Als wirksame Länge kann für die meisten Verankerungselemente h_{ef} angenommen werden.

Es ist zu beachten, dass $c_1 > c_{min}$ erfüllt sein muss. Bei Gruppen muss die Tragfähigkeit unter Verwendung der Gruppenfaktoren $\alpha_{gV,\perp}$ bzw. $\alpha_{gV,\parallel}$ berechnet werden. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen bei Zugbelastung.

Bei Kunststoffdübeln ist zu beachten, dass $V_{Rk,c}$ auf die Herausziehlast $N_{Rk,p}$ limitiert wird, da in der technischen Spezifikation nur ein Wert F_{Rk} für alle Lastrichtungen angegeben wird und es theoretisch auch bei einer Querbelastung zu einem Herausziehen kommen kann.

Für Lochsteine muss der Wert über Versuche ermittelt werden. Eine Berechnung der charakteristischen Tragfähigkeit ist derzeit nicht möglich. Für senkrecht zum Rand belastete Verbund-

dübel kann nach [7] für $c_1 > 100$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{RK,c} = 1,25$ kN und für $c_1 > 250$ mm eine Tragfähigkeit von $V_{RK,c} = 2,5$ kN angenommen werden. Für eine Belastung parallel zum freien Rand kann für $c_1 > 100$ mm generell eine

Tragfähigkeit von $V_{RK,c} = 2,5$ kN angenommen werden. Beispiele für die Bemessung von Verankerungen in KS-Steinen sind auch in [5] aufgeführt.

6. Baustellenversuche

6.1 Allgemeines

Gemäß der Empfehlung für die „Durchführung und Auswertung von Versuchen am Bauwerk mit Injektionsankern“ können Baustellenversuche durchgeführt werden, um abweichende Anwendungsbedingungen nachträglich abzuprüfen [12]. Grundsätzlich sind dort drei Möglichkeiten für die Untersuchungen am Bau gegeben:

- Auszugsversuche,
- Probobelastung und
- Abnahmeversuche

Die Dübel dürfen nur dann auf der Baustelle getestet werden, wenn diese eine ETA oder aBG besitzen. Grund hierfür ist, dass auf der Baustelle der Dübel unter Standard- und unter Kurzzeitbedingungen geprüft wird. Im Bewertungsverfahren werden zusätzlich Einflüsse wie erhöhte Temperatur, Feuchte, wiederholte Belastung usw. untersucht und beurteilt. Die durch solche Einflüsse verringerten Tragfähigkeiten müssen in jedem Fall berücksichtigt werden. Daher wird in den europäisch technischen Bewertungen eine Abminderung β angegeben, die genau solche Einflüsse berücksichtigt.

6.2. Durchführung

Die Anzahl der zu untersuchenden Dübel sowie die Stelle, an der die Verankerungen geprüft werden müssen, sind durch den Versuchsleiter oder Gutachter festzulegen und müssen an das Bauwerk angepasst werden. Grundsätzlich sollen die ausgewählten Prüfstellen repräsentativ sein, so dass zuverlässige Angaben über die charakteristische Tragfähigkeit des DüBELS für das gesamte Bauwerk vorliegen. Die Versuche sollten auch die ungünstigsten Bedingungen bei der anschließenden praktischen Ausführung berücksichtigen.

Wenn Steine, die auch im Bauwerk verbaut sind, für Laborversuche zur Verfügung stehen, können die Versuche auch unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Um ungünstige Bedingungen abzudecken sind hier jedoch gesonderte Überlegungen notwendig, allerdings sind der Versuchsablauf und der Versuchsaufwand deutlich geringer als in Situ.

Folgende Bedingungen sollten bei Versuchen am Bauwerk eingehalten werden:

- Die Last sollte bei allen Versuchen rechtwinklig zur Oberfläche des Mauerwerks aufgebracht werden.

- Eine Einspannung am Dübel ist zu vermeiden.
- Der lichte Abstand der Abstützung der Versuchseinrichtung auf dem Mauerwerk sollte mindestens 150 mm betragen (für $h_{ef} < 75$ mm).
- Bei großen Verankerungstiefen muss im Einzelfall die Abstützweite vergrößert werden.

Bei den Auszugsversuchen ist die Belastung langsam und stetig zu steigern, bis die Bruchlast erreicht wird (ca. 1 Minute). Bei der Probobelastung und dem Abnahmeversuch ohne Versagen, muss die Last stufenweise erhöht werden, bis die notwendige Probelast erreicht wird.

6.3. Auswertung

Die Auswertung der Auszugversuche erfolgt nach den in der ETA angegebenen Verfahren. Zudem kann ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden. Dies gilt jedoch nur für fünf oder mehr Versuche. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus der folgenden Gleichung:

$$N_{RK} = 0,5 \cdot N_1 \cdot \beta \quad (6.1)$$

$$\begin{array}{ll} N_1 & \text{Mittelwert aus den fünf kleinsten Versuchen} \\ \beta & \text{Abminderungsfaktoren nach ETA oder aBG} \end{array}$$

Der Wert N_1 ist der Mittelwert der fünf kleinsten Versuchslasten aus allen durchgeführten Versuchen (mindestens 15 Versuche). Der Faktor β ist die Abminderung, die sich aus weiteren ungünstigen Faktoren (z.B. Dauerlast, erhöhte Temperatur usw.) ergibt. Dieser Faktor ist in der ETA oder aBG angegeben. Grundsätzlich kann immer eine statistische Auswertung vorgenommen werden, wenn fünf oder mehr Versuche vorliegen. Die charakteristische Tragfähigkeit ergibt sich dann aus der folgenden Gleichung:

$$N_{RK} = (N_{um} - k_s \cdot s) \cdot \beta \quad (6.2)$$

$$\begin{array}{ll} N_{um} & \text{Mittelwert aus allen Versuchen} \\ k_s & \text{Statistikfaktor zur Berücksichtigung der Anzahl} \\ & \text{der Versuche} \\ s & \text{Standardabweichung aller Versuche} \\ \beta & \text{Abminderungsfaktoren nach ETA oder aBG} \end{array}$$

Der Wert k_s ist der Statistik-Faktor nach Owen [13]. Für fünf Versuche beträgt dieser 3,41 und für zehn Versuche 2,57.

7. Befestigungen für Fenster

Im Bereich der einbruchhemmenden Fenstermontage werden die mechanischen Angriffe auf die Befestigungsmittel untersucht und geprüft. Diese Anforderungen können bisher nicht über eine ETA oder aBG abgedeckt werden.

Für die statischen Einwirkungen auf ein Fenster aus Wind- und Nutzlast können die Verankerungen theoretisch nach ETA oder aBG nachgewiesen werden. Dazu müssen die Dübel auf der Seite des Kalksandsteines geprüft sein, die sich später im Bereich der Fensterlaibung befindet. Ist ein solcher Wert in der ETA oder aBG angegeben, kann dieser für den Nachweis verwendet werden.

Für die Bemessung müssen die Einwirkungen auf den jeweiligen Dübel bekannt sein. Diese hängen jedoch von sehr vielen Parametern ab, wie z.B. der Art der „Verklotzung“, der Fensterrahmensteifigkeit, dem Lastfall (geschlossenes Fenster, offenes Fenster, leicht geöffnetes Fenster) und der Konstruktion des Verankerungspunktes.

Für die Verankerung der Fenster selbst gibt es mehrere Möglichkeiten. Dies ist z.B. die direkte Verankerung mit Rahmendübeln oder die indirekte Verankerung mittels Laschen, Winkeln und Konsolen. Bei der direkten Verankerung werden die Lasten vom Fensterrahmen direkt in den Untergrund eingeleitet. Für den Fall der indirekten Verankerung werden die Winkel und Laschen am Fenster und am Untergrund befestigt, wobei für die Befestigung am Untergrund grundsätzlich die oben beschriebenen Verankerungen (Schraub-

anker, Kunststoffdübel und Verbunddübel) Dübel verwendet werden.

Im Bereich von absturzsichernden Verankerungen für Fenster gibt es den Leitfaden für absturzsichernde Verglasungen [14], in dem weitergehende Anforderungen an die Verankerung gestellt werden. In der Regel handelt es sich dabei um bodentiefe Fenster, bei denen Einwirkungen durch Personenauftreten möglich sind und die über kein Geländer oder andere absturzsichernde Maßnahmen verfügen, um diese Lasten aufzunehmen. In diesem Fall sind je Fensterseite mindestens zwei absturzsichernde Fensterelementbefestigungen anzubringen. Die Befestigung der Lasche am Fensterprofil mit Bohrschrauben für das jeweilige Rahmenprofil ist separat nachzuweisen oder muss durch eine entsprechende Zulassung (aBG) abgedeckt sein.

Für die Einwirkung sind die Kräfte auf die Verankerungsmittel als Querkräfte in Stoßrichtung anzunehmen. Der Nachweis kann für den Fall eines harten Stoßes pauschal dadurch erfolgen, dass für die Verankerung ein Widerstand von 2,8 kN nachgewiesen wird. Weitere Ausführungen hierzu sind in [14] enthalten. Im Zweifelsfall sollten aber Stoßprüfung nach DIN EN 13049 [15], nach DIN 18008-4:2013-07 [16] mit Fenstern inklusive deren Verankerung im Mauerwerk durchgeführt werden.

INFO

Kalksandstein ist ein idealer Befestigungsgrund.

8. Befestigungen von Vorhangsfassaden

Die Anforderungen für Verankerungen von Fassaden ergeben sich aus der Unterkonstruktion, der Belastung und den Toleranzanforderungen. Fassaden sind aufgrund ihrer Konstruktion in der Regel redundante Systeme, so dass für die Verankerung neben Verbunddübeln und Betonschrauben auch Kunststoffdübel zulässig sind [4].

Die Anwendung und Bemessung der Verankerungen im Mauerwerk unterscheiden sich jedoch nicht von Verankerungen für andere Anwendungen. Auch die Ermittlung der Tragfähigkeit und die Bemessung der Verankerungspunkte sind identisch, so dass alle zugelassenen Verankerungssysteme mit einer ETA oder aBG für die Verankerungen von Fassaden in KS-Mauerwerk verwendet werden können.

9. Befestigungen im Brandfall

Werden Befestigungen einer Brandbelastung ausgesetzt, kann es zu einem Versagen des Untergrundes oder einem Versagen der Verankerung selbst kommen. Um das Tragverhalten unter Brandbelastung zu beurteilen, wird in Brandversuchen die Dauer bis zu einem Versagen ermittelt und ausgewertet.

Sowohl Kunststoffdübel als auch Verbunddübel haben eine ausgeprägte Temperaturempfindlichkeit und sind nur unter bestimmten Randbedingungen für den Brandfall geeignet. Dies

liegt daran, dass der Verbundmörtel und die verwendeten Kunststoffe bereits bei Temperaturen zwischen 80 °C und 120 °C schmelzen und ihre Festigkeit vollständig verlieren. Die Temperaturen im Bauteilinneren können aber auch unter Brandbelastung unterhalb dieser Grenze bleiben, da die Temperaturleitfähigkeit von KS-Mauerwerk gering ist.

Für Verbunddübel kann die Verankerungstiefe ohne großen Aufwand erhöht werden, um die Brandtragfähigkeit positiv zu

beeinflussen. Die Tragfähigkeit von Verbunddübel unter Brand ist jedoch sehr produktabhängig, so dass keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Für eine grobe überschlägige Abschätzung kann für R60 eine Verbundfestigkeit von ca. $\tau_f = 2 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden. Die Verankerungstiefe sollte aber im oberen Bereich um ca. 40 mm reduziert werden, da in diesem Bereich der Mörtel verbrennen bzw. es zu Steinabplatzungen kommen kann.

Schraubanker bestehen aus Stahl und weisen im Brandfall eine höhere Tragfähigkeit auf. Im Brandfall kann für eine Branddauer von 60 Minuten eine Stahltragfähigkeit von $\sigma_f = 8 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden. Bei Schraubankern kann es auch zu einem Versagen des Untergrundes kommen. Für dieses Versagen liegen für Kalksandvollsteine teilweise Versuche vor. Diese zeigen, dass die Tragfähigkeit im Brandfall durch eine Abminderung der Tragfähigkeit bei 20 °C wie folgt ermittelt werden kann:

$$N_{Rk,fi} = 0,7 \cdot 0,25 \cdot N_{Rk,20C} \text{ bis R90} \quad (6.3)$$

$$N_{Rk,fi} = 0,7 \cdot 0,20 \cdot N_{Rk,20C} \text{ für R120} \quad (6.4)$$

Der Faktor 0,7 berücksichtigt, dass der Stein unter Brandbelastung reißt und sich der Schraubanker damit im Riss befindet. Für das Versagen des Untergrundes unter Querbelastung gilt entsprechend:

$$V_{Rk,fi} = 0,7 \cdot 0,25 \cdot V_{Rk,20C} \text{ bis R90} \quad (6.5)$$

$$V_{Rk,fi} = 0,7 \cdot 0,20 \cdot V_{Rk,20C} \text{ für R120} \quad (6.6)$$

In den oben aufgeführten Gleichungen sind für $N_{Rk,20C}$ und $V_{Rk,20C}$ die geringsten Werte aller maßgebenden Versagensarten bei Raumtemperatur anzusetzen.

Literatur

- [1] EAD 330747-00-0601, Fasteners for use in concrete for multiple use for non-structural systems.
- [2] Europäische Organisation für Technische Zulassungen: ETAG 029, Metal Injection Anchors for use in Masonry, Brüssel, April 2013
- [3] DIN EN 771-2: Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine; Deutsche Fassung EN 771-2:2011
- [4] EAD 330284-00-0604 „Plastic anchors for redundant non-structural systems in concrete and masonry“ (Ersatz für ETAG 020)
- [5] W. Jäger, Mauerwerk-Kalender 2012, Dübeltechnik praxisnah, Teil 1: Grundlagen und Bemessungsbeispiele für Befestigungen in Mauerwerk, Ernst und Sohn 2012.
- [6] Meyer, A.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 2005.
- [7] Welz, G.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln unter Querlast in Mauerwerk, Dissertation, Universität Stuttgart 2011
- [8] Schild, K.: Zur Bemessung von Injektionsverankerungen in Mauerwerk. Dissertation, Universität Bochum 2002.
- [9] TR 054, Design methods for anchorages with metal injection anchors for use in masnonry, EOTA Brüssel, April 2016
- [10] Stipetić, M.: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in ungerissenem und gerissenem Mauerwerk. Dissertation, Universität Stuttgart, 2007
- [11] Hofmann, J. und Welz, G.: Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln in Mauerwerk, Mauerwerk-Kalender 2017
- [12] DIBt; Technische Regeln im Bereich Befestigungstechnik und Bewehrungstechnik 22.01.2021
- [13] Owen, D. B.: Handbook of statistical tables. Addison Wesley Publishing Company, 1968.
- [14] ETB – Richtlinie „Bauteile, die gegen Absturz sichern“; Juni 1985
- [15] DIN EN 13049:2003-08, Fenster – Belastung mit einem weichen, schweren Stoßkörper – Prüfverfahren, Sicherheitsanforderungen und Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 13049:2003
- [16] DIN 18008-4: 2013-07, Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln – Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen

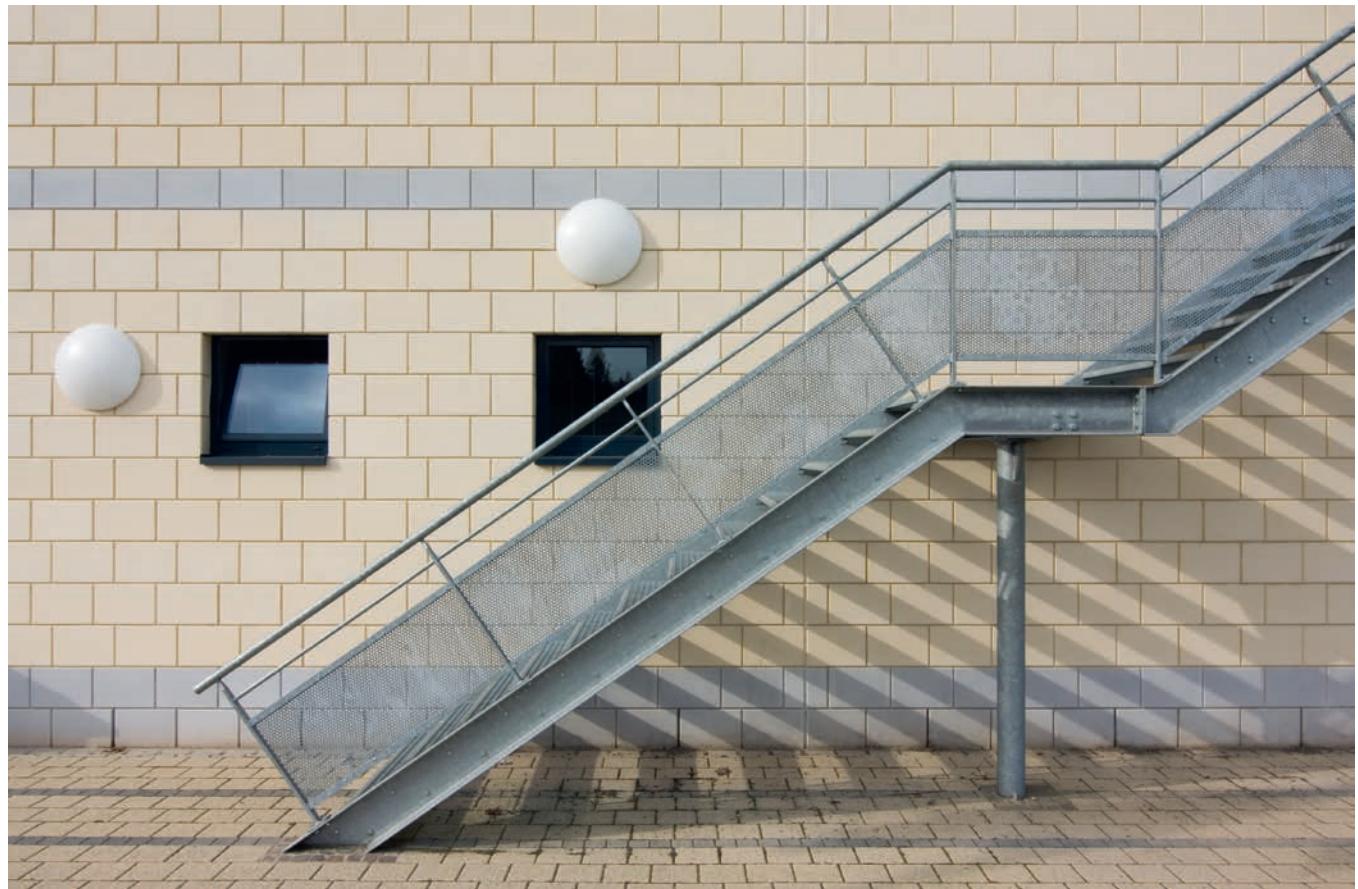
**Bildnachweise**

Bild S. 424, Bild S. 437: Stefan Witte

Bild 1: Xella Deutschland GmbH;

Bild 2: Atelier Kinold;

Bild 7: Adolf Würth GmbH & Co. KG;