

ISSN- 0336-1296

BAM-BERICHT Nr. 47

DER BUNDESANSTALT FÜR
MATERIALPRÜFUNG (BAM)

BERLIN

Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen

Von Dr.-Ing. Arno Plank

JUNI 1977

52 Seiten mit 32 Abbildungen

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1
Telex 01-83 261 bamb d

Inhalt

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Werkstoff, Wirkungsweise, Trag- und Versagensverhalten von Kunststoffdübeln	2
3. Beanspruchung von Dübelverbindungen für Fassadenbekleidungen	4
4. Verankerungsgrundarten für Dübelverbindungen	5
5. Ausgangspunkt der Untersuchungen	7
6. Beeinflußbare Parameter der Dübeltragfähigkeit	12
6.1 Dübeltyp	12
6.2 Schraubendurchmesser	13
6.3 Schraubenform	15
6.4 Einschraubtiefe	17
6.5 Bohrlochdurchmesser	18
6.6 Verknüpfung der Einflußgrößen Schraubenkern- durchmesser, Bohrlochdurchmesser und Einschraubtiefe	24
6.7 Verankerungstiefe	27
6.8 Bohrmaschine	31
6.9 Mehrfacheinbau	32
7. Praktisch nicht beeinflußbare Parameter	34
7.1 Lage der Dübel im Steinverband	34
7.2 Steinart	35
7.21 Vollsteine	35
7.22 Hohlblocksteine	36
7.23 Lochsteine	39
7.3 Fugen	44
7.4 Rand- und Eckabstände	46
7.5 Spreizrichtung der Dübel	46
8. Folgerungen für die Praxis	47

V o r w o r t

Die schnelle technologische Entwicklung im Bauwesen hat vielfach zur Folge, daß die Brauchbarkeit von neuen Baustoffen, Bauteilen und Bauarten oder deren Erweiterung auf neue Anwendungsgebiete vor der Umsetzung in die Praxis nicht grundlegend untersucht werden kann. Ein Beispiel dafür gibt die Anwendung von Kunststoffdübeln zur Befestigung von Fassadenbekleidungen. Die erfolgreiche Verwendung im handwerklichen Bereich des Innenausbaues führte Ende der 50er Jahre zum Einsatz der Kunststoffdübel zur Befestigung von Fassadenbekleidungen. Anfangs wurden nur kleinere Bauten von wenigen Spezialfirmen mit angedübelten Fassadenbekleidungen versehen. Die Bewährung der Dübel auch in diesem Bereich bewirkte schon bald eine Ausdehnung auf Hochhausfassaden und einen Einstieg vieler Firmen in diese Marktlücke. Dieser Schritt und vor allen Dingen Schadensfälle mit schwerwiegenden Folgen erzwangen grundlegende Untersuchungen des Tragverhaltens von Kunststoffdübeln, mit denen Ende 1972 begonnen wurde. Während in anderen Instituten vorwiegend die Eigenschaften des Kunststoffmaterials auf das Tragverhalten und die Tragfähigkeit der Dübel anfangs nur in dichten, festen Verankerungsgrundarten untersucht wurden, war das Interesse in der BAM aufgrund praktischer Erfahrungen an Bauwerken auf die bautechnischen Einflüsse ausgerichtet.

Die in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen wurden in den Jahren 1973 bis 1976 in Laboratorien der BAM und an Bauwerken innerhalb Berlins durchgeführt. Ausgangspunkt für die Untersuchungen waren Anträge von Firmen mit bestimmten Zielrichtungen. Bei den Prüfungen zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln ergaben sich Fragestellungen, die über das unmittelbare Interesse der Antragsteller hinausgingen und deshalb im Rahmen von Forschung und Entwicklung in der BAM verfolgt wurden. Da die in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen und Ergebnisse nach den - zu dem jeweiligen Prüfungszeitpunkt - bestehenden Bedürfnissen der Praxis ausgerichtet waren, konnten die begleitenden

und vertiefenden Untersuchungen nicht das Ziel der Vollständigkeit haben. Ziel des Berichtes ist vielmehr, anhand der in der BAM an zahllosen Versuchen gesammelten Erfahrungen und Prüfungsergebnisse, die bautechnischen Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln systematisch darzustellen und den Dübelherstellern, Anwendern und Bauaufsichtsbehörden Hinweise und Anregungen für die Weiterentwicklung, sichere Handhabung und gezielte Kontrolle zu geben.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Laboratoriums 2.21 "Baukonstruktionen des Massivbaues" der BAM, die unter oftmals widrigen Bauwerks- und Witterungsverhältnissen durch ihr Verständnis, ihre Ausdauer und ihre Zuverlässigkeit zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Arno Plank

Berlin im März 1977

Verwendete Bezeichnungen

● Dübelauszugkraft

$\max F_z$	= Axiale Dübelauszugkraft (Höchstwert)
$\max F_{z;i}$	= Größter Einzelwert einer Versuchsreihe
$\min F_{z;i}$	= Kleinster Einzelwert einer Versuchsreihe
$F_{0,5}$	= Dübelauszugkraft bei 0,5 mm Schlupf der Dübelerbindung
\bar{F}_z	= Mittlere Dübelauszugkraft
$F_{z(5;90)}$	= 5 %-Fraktile der Dübelauszugkraft mit $W = 90$ % Aussagewahrscheinlichkeit
$F_{z(15;90)}$	= 15 %-Fraktile der Dübelauszugkraft mit $W = 90$ % Aussagewahrscheinlichkeit
$F_{0,5(15;90)}$	= 15 %-Fraktile der Dübelauszugkraft bei 0,5 mm Schlupf ($F_{0,5}$) mit $W = 90$ % Aussagewahrscheinlichkeit
zul F_1	= Aus dem unteren Grenzwert $F_{z(15;90)}$ der Dübelauszugkräfte $\max F_z$ nach [7] errechnete zulässige Dübelauszugkraft
zul F_2	= Aus dem unteren Grenzwert $F_{0,5}$ der Dübelauszugkräfte $F_{0,5}$ nach [7] errechnete zulässige Dübelauszugkraft

● Dübel

d	= Dübel Durchmesser
V	= Verankerungslänge der Dübel (gekennzeichnet auf Dübelhülse)
v	= Verankerungstiefe, diejenige Länge, mit der ein Dübel, bezogen auf die Wandoberfläche, eingebaut ist
v_{eff}	= Verankerungstiefe v , mit der ein Dübel bei Hohlkammersteinen effektiv im tragfähigen Verankerungsgrund sitzt
p	= Anpreßdruck der Dübel im Verankerungsgrund

● Schrauben

d_N	= Nenndurchmesser von Schrauben
d_K	= Schrauben-Kerndurchmesser

$d_{K;5}$ = Schrauben-Kerndurchmesser im Abstand
 $a = 5$ mm von der Spitze
 $d_{K;15}$ = Schrauben-Kerndurchmesser im Abstand
 $a = 15$ mm von der Spitze
 $d_{K;30}$ = Schrauben-Kerndurchmesser im Abstand
 $a = 30$ mm von der Spitze
 t = Einschraubtiefe der Schrauben, bezogen
auf die Verankerungslänge V
 M_D = Einschraubdrehmoment der Schrauben

● Verankerungsgrund, Bezeichnung nach DIN

D = Bohrlochdurchmesser in 10 mm Tiefe
 \bar{D} = Mittlerer Bohrlochdurchmesser

● Rechenbeiwerte

b_0 }
 b_1 } = Regressionskoeffizienten
 b_2 }

1. Einleitung

Der erste Kunststoffdübel der Welt wurde in Deutschland bereits im Jahre 1939 entwickelt [1]. Eine größere Verbreitung fand er aber erst rund zwanzig Jahre später. Heute werden in der Bundesrepublik Deutschland täglich mehrere Millionen Kunststoffdübel hergestellt, über deren Verwendung für Haushalt, Hobby, Handwerk und Industrie keinerlei Übersicht und Kontrolle besteht. Die Verbraucher stützen sich bei der Auswahl der verschiedenen Fabrikate und Dübeltypen im allgemeinen auf Händlerempfehlungen oder auf Firmenschriften, in denen nur teilweise Einbauanweisungen und auch nur zum Teil - vielfach unter Idealbedingungen ermittelte - Auszugkräfte enthalten sind.

Seit Ende der 50er Jahre hat der Kunststoffdübel als Verbindungsmittel auch im Bauwesen Schritt für Schritt Fuß gefaßt. Während die Kunststoffdübel anfangs vorwiegend im handwerklichen Bereich des Innenausbauens eingesetzt wurden, ist ihr Anwendungsgebiet schon bald auf die Befestigung von Bauteilen wie abgehängter Decken, Fassadenbekleidungen und Fassadengerüste erweitert worden. Mit diesem Schritt und vor allen Dingen auch durch Schadensfälle rückte der Kunststoffdübel in den Blickpunkt der Bauaufsichtsbehörden. Für Baustoffe, Bauteile und Bauarten, die bei ihrem Versagen eine erhebliche Gefährdung der öffentlichen Sicherheit darstellen, ist die Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit für den vorgesehenen Verwendungszweck nachzuweisen (§ 3 der Musterbauordnung) [2]. Dieser Nachweis wurde bisher durch Tragfähigkeitsprüfungen an einer beliebigen, meist unterschiedlichen Anzahl von Einzeldübeln im Labor oder am jeweiligen Bauwerk erbracht. Die Prüfbedingungen sind in den einzelnen Fällen sehr unterschiedlich gewählt und vielfach unzureichend beschrieben worden. Darüber hinaus sind die Dübelbauformen vielfach aufgrund von Prüfungsergebnissen und Bedürfnissen der Anwender laufend weiterentwickelt und verändert worden. Ein Vergleich vieler bereits vorliegender Ergebnisse ist deshalb nur schwer möglich.

In der BAM sind in den letzten Jahren umfangreiche Tragfähigkeitsprüfungen an Kunststoffdübeln verschiedenster Art für Zustimmungen im Einzelfall, für Zulassungen, für Sachverständigenaufgaben, für den Verbraucherschutz und in Schadensfällen durchgeführt worden.

Die mittlerweile in die Tausende gehende Anzahl von Einzelprüfungen ist an Probekörpern im Labor und an fertigen Bauwerken durchgeführt worden. Aus der Vielzahl der möglichen Einflußgrößen werden in diesem Beitrag nur die Einflüsse der handwerklichen Ausführung und der baulichen Gegebenheiten auf die Dübeltragfähigkeit anhand von Beispielen herausgestellt.

2. Werkstoff, Wirkungsweise, Trag- und Versagensverhalten von Kunststoffdübeln

Als Werkstoff für Kunststoffdübel wird überwiegend Polyamid (Nylon) verwendet. Ein Thermoplast, der nach den bisherigen Kenntnissen und Erfahrungen wegen seiner Zähigkeit, Festigkeit und seiner weitgehenden Temperaturbeständigkeit in dem im Bauwesen normalerweise auftretenden Temperaturbereich geeignet ist [3]. In begrenztem Umfang wird auch Polyäthylen als Grundwerkstoff verwendet. Kennzeichnende Größen für handelsübliche Kunststoffdübel sind

- Durchmesser (4 mm bis 20 mm),
- Gesamtlänge (20 mm bis 185 mm) und
- Verankerungslänge (20 mm bis 90 mm).

Für Fassadenbefestigungen werden Dübelgrößen zwischen 10 mm und 14 mm Durchmesser mit Verankerungslängen von 50 mm bis 90 mm verwendet. Das Bild 1 zeigt eine Auswahl handelsüblicher Kunststoffdübel. Die Kunststoffdübel besitzen im allgemeinen zwei Spreizungen und sind selbstspreizend. Die Spreizwirkung wird bei diesen Dübeln nur durch das Eindrehen der Befestigungsschrauben erreicht. Als Schrauben sind Holzschrauben nach DIN 97 (Senkkopfschrauben) und DIN 571 (Sechskantholzschrauben) sowie Spezialschrauben üblich, die je nach Verwendungszweck durch einen Zinküberzug korrosionsschutz oder aber selbst korrosionsbeständig sind. Beim Eindrehen schneiden sich die Gewindegänge der Schrauben in das Kunststoffmaterial ein und spreizen die Dübelzungen gegen die Bohrlochwandungen des Verankerungsgrundes. Das Dübelmaterial wird bei diesem Vorgang elastisch und plastisch sowie durch Anschmelzen infolge der Reibungswärme auch thermoplastisch verformt. Je nach Steifigkeits- und Festigkeitsverhältnissen von Dübelmaterial zu Verankerungsgrundmaterial werden die Dübelverankerungskräfte vorwiegend durch Reibungskräfte oder Scherkräfte erzeugt.

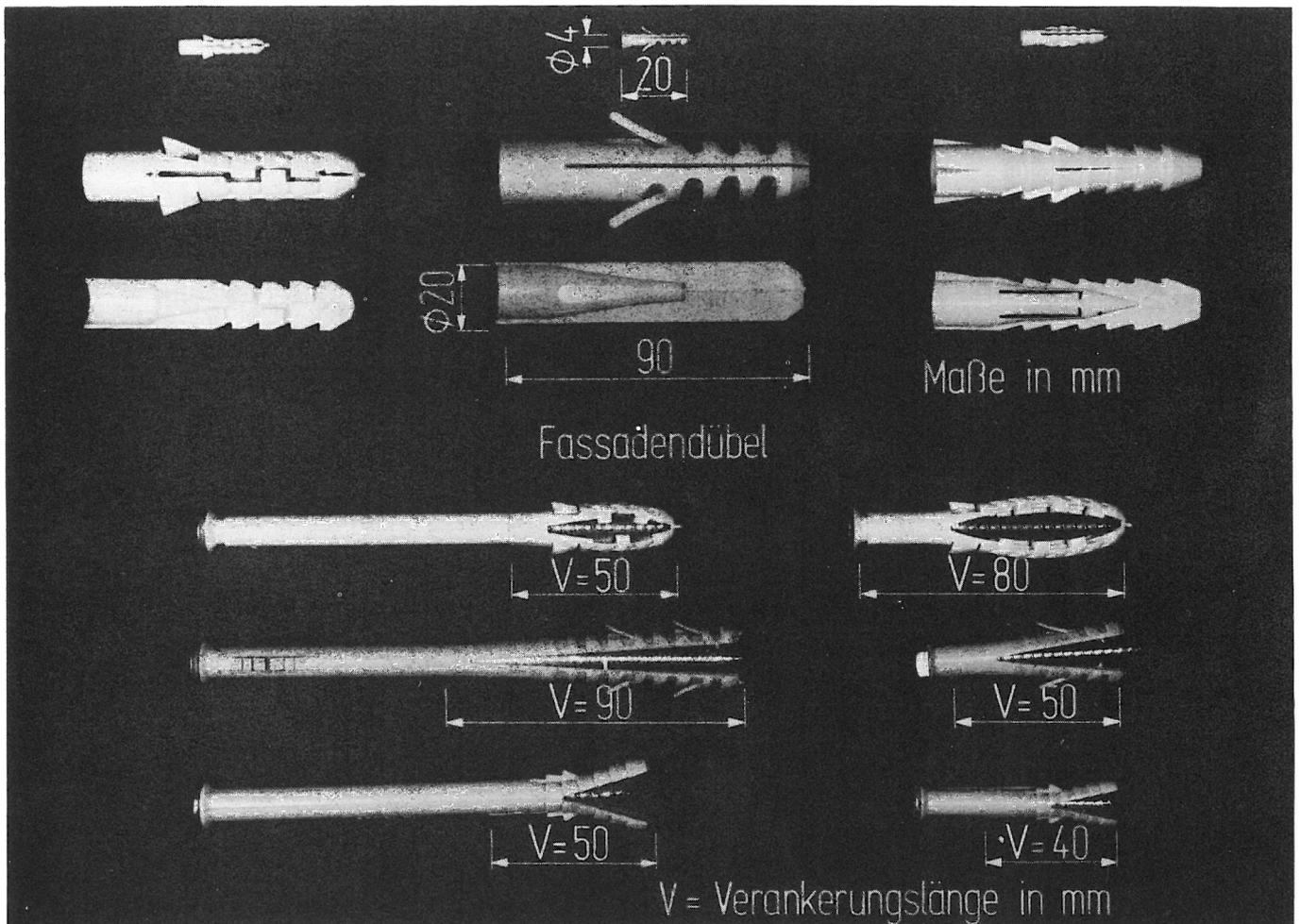


Bild 1: Beispiele für handelsübliche Kunststoffdübel

In festen, dichten Materialien sind die Dübeltragkräfte vorwiegend infolge Reibung wirksam, während bei weichen, porigen und hohlraumhaltigen Materialien die am Dübel angreifenden Kräfte durch Reibung und Formschluß der profilierten Spreizzungen im Verankerungsgrund aufgenommen werden. Entsprechend dieser Kraftabtragung treten als Versagensformen bei den Kunststoffdübeln

- glattes Herausziehen der Dübel aus dem Verankerungsgrund ohne Materialzerstörung,
 - kraterförmiges Ausbrechen des Verankerungsgrundes,
 - Spalten des Verankerungsgrundmaterials z.B. bei zu geringen Randabständen oder Bauteilabmessungen sowie
 - Herausziehen der Schrauben aus den Dübeln
- auf.

3. Beanspruchung von Dübelverbindungen für Fassadenbekleidungen

Fassadenbekleidungen haben im wesentlichen zwei Hauptaufgaben zu erfüllen:

1. Bauphysikalische Aufgaben des Feuchtigkeits- und des Wärmeschutzes.
2. Ästhetische Aufgaben.

"Vorgehängte Fassaden" werden ohne oder mit Luftschichten von mindestens 30 mm Dicke hergestellt. Sie eignen sich in gleichem Maße für eine Bekleidung von Neubauten, für eine Instandsetzung von Altbaufassaden und für eine nachträgliche Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes. Als Baustoffe für Fassadenbekleidungen werden vor allen Dingen Asbestzement, Aluminium, beschichtetes Stahlblech, Kunststoffe, Betonwerkstein, Naturstein und keramische Platten verwendet. Zur Veranschaulichung des Dübeleinsatzes zeigt das Bild 2 eine Fassade aus Betonwerkstein.



Bild 2: Mit Kunststoffdübeln befestigte Betonwerksteinfassade, Haus 20 (Bauwesen) der BAM

Die über die Befestigungselemente auf den Baukörper zu übertragenden Lasten setzen sich aus

- dem Eigengewicht der Konstruktion, das i.a. parallel zur Bauwerkoberfläche wirkt,
- der Schneelast, die auf Vorsprünge der Fassadenteile einwirkt,
- und vor allen Dingen der Windlast, die als senkrecht zur Wandoberfläche wirkend angenommen werden kann,

zusammen.

Zusätzliche Beanspruchungen der Dübel können durch Zwängungskräfte infolge von

- Montageungenauigkeiten,
- Verkehrserschütterungen,
- Temperaturänderungen,
- Schwinden, Kriechen und Setzen des Befestigungsgrundes und
- Brandbelastung

auftreten. Dadurch werden die Dübelverbindungen langfristig statisch und/oder kurzfristig auch dynamisch sowie thermisch beansprucht. Je nach Befestigungskonstruktion müssen dadurch Zugkräfte, Scherkräfte und Biegemomente sowie Kombinationen daraus von der Dübelverbindung aufgenommen werden.

4. Verankerungsgrundarten für Kunststoffdübel

Für die Zulassung und Verwendung von Kunststoffdübeln erwachsen aufgrund der breiten Palette der im Hochbau anzutreffenden Baustoffe und der handwerklichen Ausführung besondere Probleme. Obwohl genaue Erhebungen fehlen, dürfte die Verwendung von Kunststoffdübeln in monolithischen, ungeschichteten Bauteilen aus Normalbeton, gemessen am Gesamteinsatz, den geringsten Anteil ausmachen. Wesentlich größer ist der Einsatz der Kunststoffdübel in Leichtbetonen, die je nach Struktur unterschiedliche Festigkeits- und Verformungseigenschaften besitzen, die die Dübeltragfähigkeit beeinflussen. Die größten Schwierigkeiten hinsichtlich einer allgemeingültigen Aussage über die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln bereiten aber die vielfältigen Mauerwerksarten aus industriell gefertigten Steinen. Diese Palette reicht vom Mauerwerk aus herkömmlichen Mauerziegeln über

Leichtziegel, Kalksandsteine, Hüttensteine, Vollsteine und Hohlblocksteine mit natürlichen und künstlichen Zuschlägen bis zu Wandbausteinen aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Diese bereits vom Material sehr unterschiedlichen Steine weisen zudem noch unterschiedliche Abmessungen, Festigkeiten, Dichten und Hohlräume verschiedenster Gestalt auf. Einen Einblick in diese Vielgestaltigkeit gibt das folgende Bild.

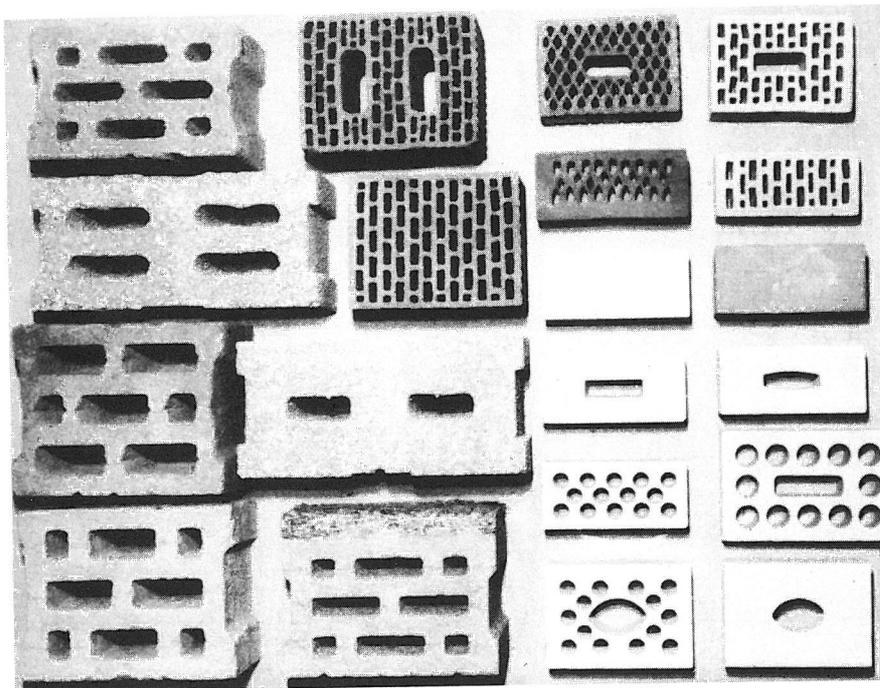


Bild 3: Querschnitte verschiedener Steinarten und -formate mit unterschiedlichen Hohlräumen

Weitere Probleme treten beim Mauerwerk durch die zahlreichen Stoß- und Lagerfugen auf. Da aber beim Mauerwerk das Hauptanwendungsgebiet der Kunststoffdübel liegt, muß durch systematische Untersuchungen dieses weite Feld erforscht werden. Eine rein theoretische Lösung scheidet wegen der vielfältigen und zum Teil mathematisch nicht beschreibbaren Einflüsse z.Z. noch aus. Die Dübeltragfähigkeit muß deshalb mit Hilfe von Versuchen bestimmt werden.

Wie stark die Dübeltragfähigkeit von den Prüfungsbedingungen sowie der handwerklichen und baulichen Ausführung abhängt, wird in den folgenden Abschnitten anhand von Prüfungsergebnissen der BAM dargestellt.

5. Ausgangspunkt der Untersuchungen

Im Jahre 1973 sollte an einem bestehenden Bauwerk der Einfluß der Alterung von Kunststoffdübeln auf die Tragfähigkeit durch Dübelauszugversuche untersucht werden. Für diese Versuche ist in der BAM eine Versuchseinrichtung entwickelt worden, die aus einem Prüfrahmen besteht, dessen drei Beine sich in einem gegenseitigen Abstand von 290 mm gegen das Mauerwerk abstützen (Bild 4). Die Prüfkraft wird mit Hilfe eines hydraulischen Druck-Zug-Zylinders von 15 kN (1,5 Mp) Höchstkraft erzeugt. Der Schraubenkopf der Dübelverbindung wird durch eine Haltevorrichtung gelenkig gefaßt, so daß die Prüfkraft ohne Zwang axial in die Schraube eingeleitet werden kann. Die einwirkende Kraft wird mit einer 10 kN (1,0 Mp)-Kraftmeßzelle auf DMS-Basis (10 kN $\hat{=}$ 4000 Skalenteilen) und der Weg der Dübelverbindung gegenüber dem Mauerwerk mit Hilfe eines auf dem Schraubenkopf aufgesetzten Tasters eines Differentialtransformator-Weggebers gemessen.

Beide Größen - Kraft und Weg - werden während des Prüfvorganges kontinuierlich mit einem Zweikoordinatenschreiber aufgezeichnet. Diese Versuchseinrichtung hat sich auch bei späteren Bauwerksversuchen gut bewährt.

Für die Untersuchungen des Einflusses der Alterung auf die Dübeltragfähigkeit stand eine nach Süden gelegene, d.h. eine mit hohen Temperaturen beanspruchte, rund 10 Jahre alte Fassadenbekleidung aus Asbestzement des Berliner Sportpalastes zur Verfügung. Die Mauerwerkswand bestand aus Vollziegeln sehr unterschiedlicher Festigkeit und wies große Unebenheiten auf. Die aus Holzlatten bestehende Unterkonstruktion war mit Polyamid-Kunststoffdübeln von 10 mm Durchmesser und 50 mm Verankerungslänge unter Verwendung von Holzschrauben angedübelt. Zum Ausgleich der Mauerwerksunebenheiten waren Unterlagshölzer unterschiedlicher Dicke zwischen Wand- und Lattenkonstruktion angeordnet. Das erforderte die Verwendung von Holz-

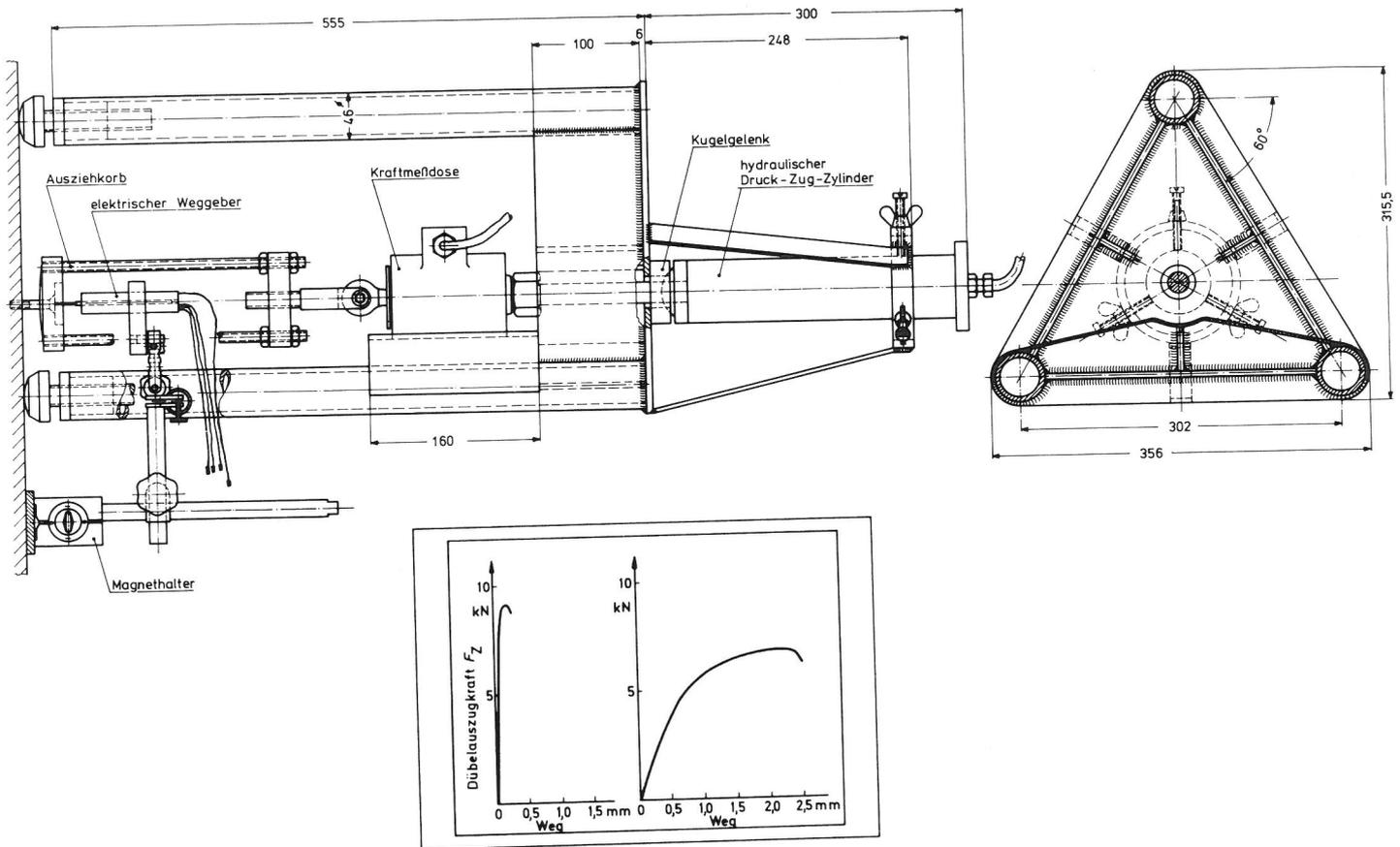


Bild 4: Versuchseinrichtung der BAM für Dübelauszugversuche an Bauwerken

schrauben unterschiedlicher Länge und Ausführung. Die örtlichen Feststellungen und Prüfungsergebnisse der Dübelauszugversuche waren so überraschend, daß sich daraus eine Fülle von Fragestellungen ergab, die schrittweise verfolgt wurden. In Bild 5 sind die Ergebnisse der axialen Dübelauszugversuche dargestellt. Als dominierende Einflußgröße der Tragfähigkeit stellte sich aufgrund einer Regressionsanalyse nicht die Alterung des Kunststoffmaterials, sondern die Einschraubtiefe der Schrauben in den Dübeln heraus, die für diese Versuchsbedingungen eine lineare Abhängigkeit lieferte. Während in den Prospekten des Herstellers für den verwendeten Dübeltyp eine Einschraubtiefe von $t = 55 \text{ mm}$, bezogen auf die Verankerungslänge $V = 50 \text{ mm}$

angegeben wird, lag bei den im Bauwerk vorhandenen Dübeln die Einschraubtiefe zwischen $t = 27 \text{ mm}$ und $t = 47 \text{ mm}$. Entsprechend niedrig waren die erreichten Auszugkräfte von etwa $\max F_Z = 1 \text{ kN}$ (100 kp) bis etwa $\max F_Z = 5 \text{ kN}$ (500 kp) im Verhältnis zu den unter Idealbedingungen ermittelten mittleren Auszugkräften von $\text{rd. } \bar{F}_Z = 7,2 \text{ kN}$ (720 kp). Dieser letzte Wert ist möglicherweise für den Standsicherheitsnachweis dieser Fassadenbekleidung zugrundegelegt worden. Entsprechende Erfahrungen wurden noch Ende 1976 an einer im Bau befindlichen Fassadenbekleidung trotz einer in der Zwischenzeit ergangenen Zulassung gesammelt.

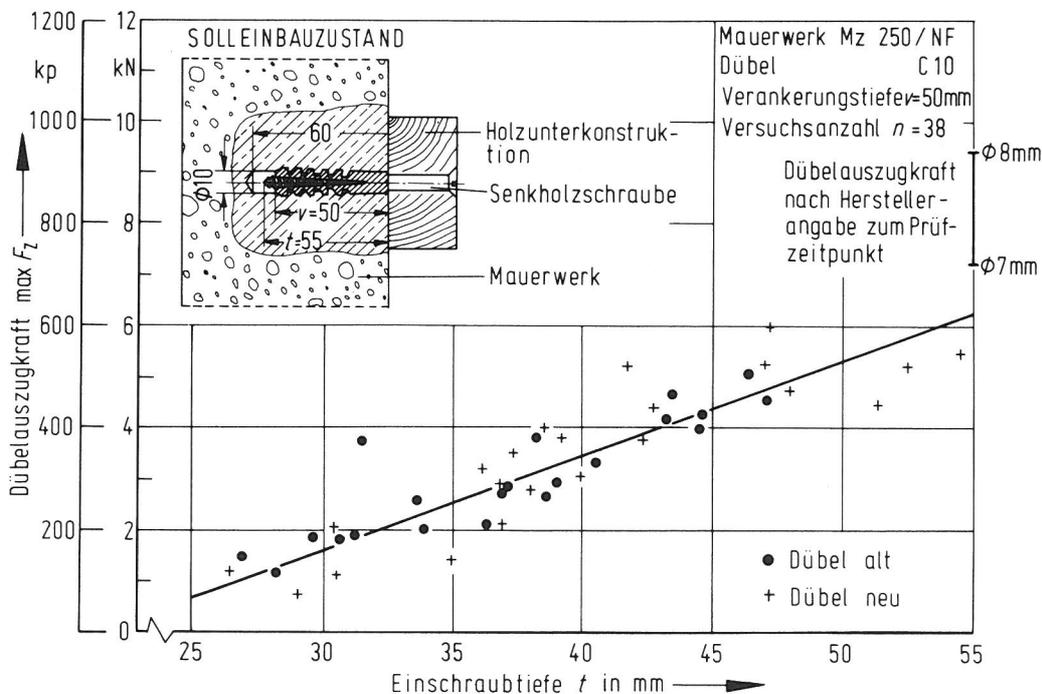


Bild 5: Einfluß der Einschraubtiefe auf die axiale Dübelauszugkraft bei Bauwerkversuchen in Mauerwerk Mz 250

Der Vergleich der für eine Einschraubtiefe von $t = 55 \text{ mm}$ im Versuch auf der Baustelle ermittelten mittleren axialen Auszugkraft von $\bar{F}_Z = 6,2 \text{ kN}$ (620 kp) zu der unter Idealbedingungen ermittelten Auszugkraft von $\bar{F}_Z = 7,2 \text{ kN}$ (720 kp) legt den Schluß nahe, daß außer

der Einschraubtiefe noch weitere, die Tragfähigkeit mindernde Einflüsse wirksam waren, die bei den geschilderten Bauwerksversuchen nicht miterfaßt werden konnten. Diese Vermutung wurde durch unmittelbar anschließende Laborversuche an Mauerwerkskörpern bestätigt.

Die im Labor unter Nennbedingungen ermittelten Versuchsergebnisse sind in Bild 6 den am Bauwerk ermittelten Dübelauszugkräften (siehe Bild 5) in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe gegenübergestellt. Auffallend ist, daß die beiden Mittelwertkurven im Bereich der Einschraubtiefen von $t = 40$ mm bis $t = 55$ mm annähernd parallel verlaufen und für $t = 55$ mm die anderenorts unter Nennbedingungen ermittelte Höchstlast reproduziert wurde.

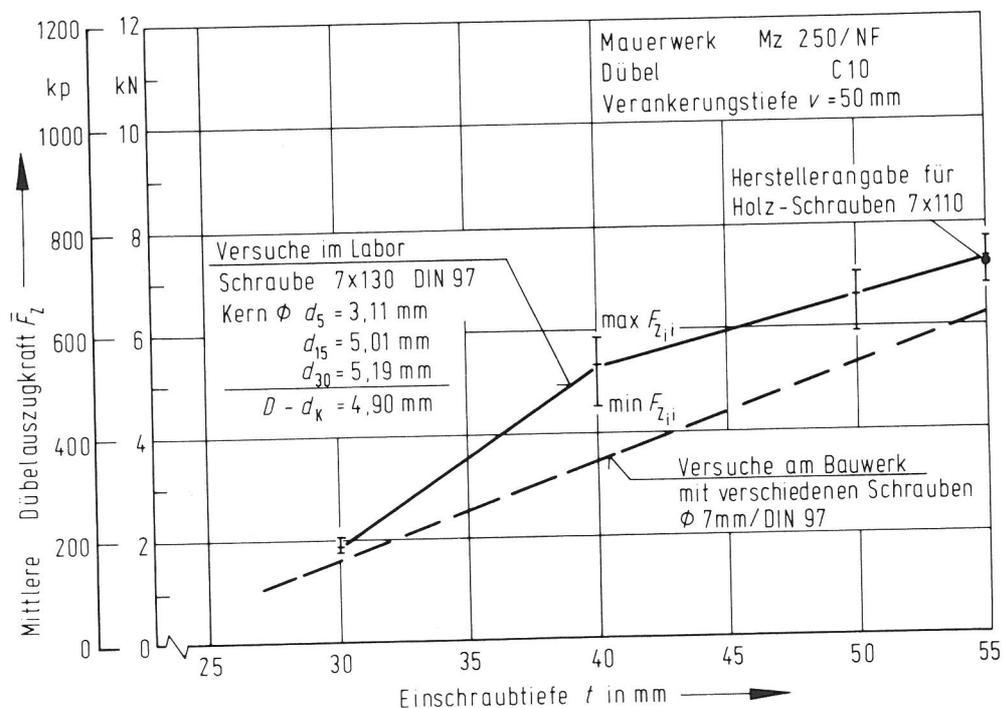


Bild 6: Vergleich des Einflusses der Einschraubtiefe auf die mittlere Dübelauszugkraft bei Labor- und Bauwerkversuchen nach Bild 5,
 d_K ; a Schraubenkerndurchmesser im Abstand a von der Schraubenspitze

Im Laufe weiterer Labor- und Bauwerksuntersuchungen haben sich die in Bild 7 zusammengestellten 24 Einflußgrößen der handwerklichen und baulichen Ausführung als wesentlich für die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln herausgestellt. Diese Parameter lassen sich einteilen in

- Beeinflußbare Parameter und
- Praktisch nicht beeinflußbare Parameter.

<u>Beeinflußbare Parameter</u>	<u>Praktisch nicht beeinflußbare Parameter</u>
<ul style="list-style-type: none"> ● Dübel <ul style="list-style-type: none"> – Werkstoff – Bauart – Form ● Schrauben <ul style="list-style-type: none"> – Durchmesser – Form – Sitz im Dübel (zentrisch oder schräg) – Einschraubtiefe ● Verankerungstiefe der Dübel ● Bohrlochdurchmesser (Bohrerdurchmesser) ● Bohrmaschine (mit oder ohne Schlagwerk) ● Mehrfacheinbau 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mauerwerk <ul style="list-style-type: none"> – Steinart – Steinformat – Steinverband – Fugenmörtel ● Lage der Dübel im Steinverband <ul style="list-style-type: none"> – Steinläufer – Steinkopf – Mittenlage – Randlage – Ecklage – Hohlraumlage – Stoßfuge – Lagerfuge ● Spreizrichtung der Dübel

Bild 7: Bautechnische Einflußgrößen der Dübeltragfähigkeit

In den folgenden Abschnitten wird der Einfluß der wichtigsten Parameter auf die Dübeltragfähigkeit anhand von Beispielen dargestellt.

6. Beeinflußbare Parameter der Dübeltragfähigkeit

6.1 Dübeltyp

Für diese Untersuchungen sind drei verschiedene Dübelfabrikate ausgewählt worden, deren Werkstoff aus Polyamid 6 bestand. Die Dübel vom Nenndurchmesser $d = 10$ mm und einer Verankerungslänge von $V = 50$ mm sind in der handelsüblichen Form aus dem Fachhandel bezogen und ohne jede weitere Konditionierung verwendet worden. Nach Herstellerangaben ist diese Dübelgröße bei Nennlochdurchmessern im Verankerungsgrund von $D = 10$ mm für Holzschrauben von $d_N = 6$ mm bis 8 mm Durchmesser verwendbar. Als Mindesteinschraubtiefe der Schrauben wird $t = 50$ mm bis 55 mm angegeben. Bei den Versuchen sind handelsübliche Senkholzschrauben nach DIN 97 der Nenndurchmesser $d_N = 6$ mm, 7 mm und 8 mm verwendet worden. Als Verankerungsgrund dienten Mauerwerkskörper aus Mauerziegeln Mz 250/NF DIN 105 mit Mörtelgruppe II. Die Mauerwerkskörper für diese und alle im weiteren beschriebenen Laboruntersuchungen hatten eine Fläche von 125 cm x 125 cm und eine Dicke von 24 cm. Zur leichteren Handhabung waren sie in Stahlrahmen aus C-Profilen ohne Vorspannung eingemörtelt.

Die Ergebnisse in Bild 8 zeigen, daß die Form der Dübel bei einem dichten und festen Untergrund im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung ist. Lediglich bei Schrauben mit $d_N = 8$ mm liefert der Dübel D signifikant höhere Werte. Dazu ist aber zu bemerken, daß dieser Dübeltyp für Schrauben $d_N = 8$ mm im praktischen Gebrauch nur bedingt verwendbar ist, da die Schrauben unter Nennbedingungen (Schrauben-Kerndurchmesser $d_K = 5,6$ mm, Bohrlochdurchmesser $D = 10,0$ mm, Einschraubtiefe $t = 55$ mm) nur sehr schwer eindrehbar sind und im Versuch teilweise abgedreht wurden.

Anders liegen die Verhältnisse bei Mauerwerk aus Lochziegeln, bei denen die Dübelform, d.h. speziell die Ausbildung der Dübelzungen, die Auszugkräfte wesentlich beeinflussen kann (dazu siehe Bild 29).

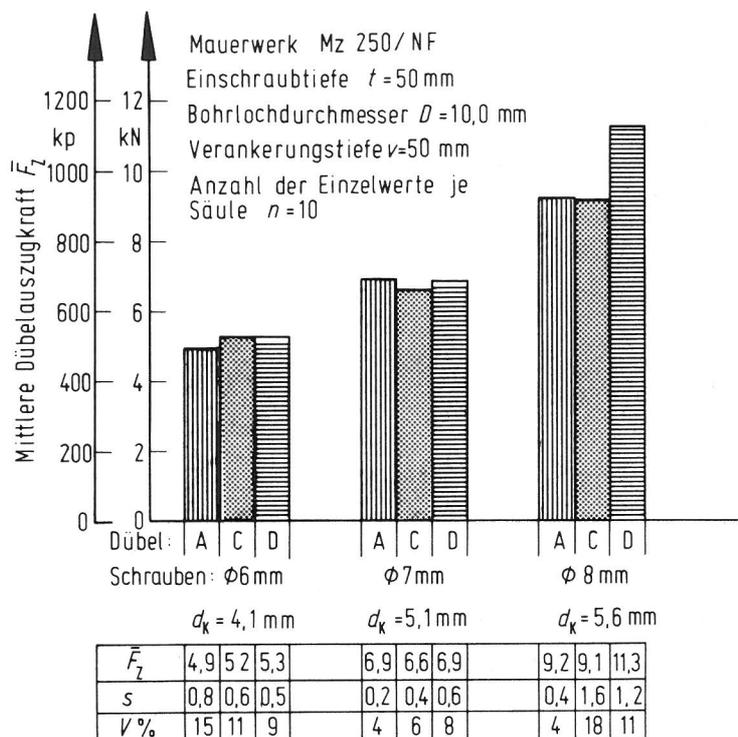


Bild 8: Vergleich der mittleren axialen Auszugkräfte verschiedener Dübelfabrikate ϕ 10 mm für Holzschrauben ϕ 6 mm, ϕ 7 mm und ϕ 8 mm

6.2 Schraubendurchmesser

Dübel und Schrauben werden vom Anwender im allgemeinen nur nach konstruktiven und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt. Als Schrauben finden üblicherweise Holzschrauben Anwendung. Neben dem Umstand, daß für jede Dübelsorte mehrere Schraubendurchmesser "passen", weisen die nach den DIN-Normen ohne Toleranzbeschränkungen für die Schrauben-Kerndurchmesser hergestellten Holzschrauben innerhalb einer Lieferung und zwischen den Fabrikaten erhebliche Schwankungen im Kerndurchmesser sowie Unterschiede in der Form auf. Für zwei verschiedene Schraubenchargen vom gleichen Nenndurchmesser $d_N = 8$ mm ergaben sich z.B. für Dübel vom Durchmesser $d = 10$ mm in Bohrlöchern gleichgroßen Durchmessers bei Mauerwerk aus Mauerziegeln Mz 250 sehr unterschiedliche mittlere Auszugkräfte von $\bar{F}_z = 6,3$ kN (630 kp) bzw. $\bar{F}_z = 11,0$ kN (1100 kp). Als Ursache für diesen erheblichen Unterschied stellte sich der Kerndurchmesser

der Schrauben heraus. Der Kerndurchmesser von Holzschrauben $d_N = 8$ mm soll nach DIN 97 $d_K = 5,6$ mm betragen. Bei den Schrauben mit den niedrigen Auszugkräften betrug er im Mittel aber nur $\bar{d}_K = 5,1$ mm, bei den hohen Auszugkräften dagegen $\bar{d}_K = 5,9$ mm. Ein Vergleich mit bereits vorliegenden Ergebnissen war damit besonders im Hinblick auf den Einfluß des Bohrlochdurchmessers unmöglich. Aus diesem Grunde sind alle für die Dübelauszugversuche verwendeten Schrauben vermessen worden. Zur Charakterisierung der Schrauben wurden die Kerndurchmesser in einem Abstand von $a = 5$ mm ($d_{K;5}$), $a = 15$ mm ($d_{K;15}$) und $a = 30$ mm ($d_{K;30}$) von der Schraubenspitze mit Hilfe einer Schiebelehre mit 0,02 mm Ablesemöglichkeit gemessen.

In Bild 9 sind die Ergebnisse der 11 untersuchten verschiedenen Schraubensorten aufgezeichnet. Die mittleren, aus mindestens 10 Einzelwerten ermittelten Kerndurchmesser der Schrauben vom Nenndurchmesser 8 mm schwanken im Abstand $a = 15$ mm von $\bar{d}_K = 4,98$ mm bis $\bar{d}_K = 5,86$ mm, d.h. um $\Delta = 0,88$ mm. Zwischen den Schrauben $\phi 6$ mm bis $\phi 8$ mm beträgt der Unterschied $\Delta = 1,84$ mm. Der Variationskoeffizient der Meßwerte für $a = 15$ mm und $a = 30$ mm liegt zwischen 1 % und 3,5 %. Die Meßergebnisse der Kerndurchmesser sind in den Bildern 12, 13 und 14 der Abschnitte 6.5 und 6.6 berücksichtigt. Als \bar{d}_K ist der Mittelwert der Kerndurchmesser $d_{K;15}$ und $d_{K;30}$ jeder einzelnen Schraube verwendet worden. Bei den z.Z. im Handel erhältlichen Spezialschrauben ist besonders darauf hinzuweisen, daß diese Schrauben für Nenndurchmesser 7 mm Kerndurchmesser von $d_K = 5,4$ mm aufweisen und damit im Bereich der Holzschrauben vom Nenndurchmesser 8 mm liegen.

Der in Bild 9 eingezeichnete Bereich des größten Spreizdruckes ist anhand der Meßergebnisse für einen Dübel C 12 und $V = 60$ mm in [4] auf die Längenverhältnisse des Dübels C 10 mit $V = 50$ mm proportional übertragen worden. Die größten Unterschiede im Kerndurchmesser der Schrauben fallen örtlich mit dem Bereich des größten zu erwartenden Spreizdruckes zusammen. Das erklärt den großen Einfluß des Schraubenkerndurchmessers auf die Dübelauszugkraft, wie er oben beschrieben worden ist. Nach [4] ist für den Dübel C 10 ein örtlicher, maximaler Spreizdruck von $\max p = 50 \text{ MN/m}^2$ (500 kp/cm^2) zu erwarten. Der tatsächlich in einem Verankerungsgrund auftretende Anpreßdruck

hängt aber außer vom Kerndurchmesser der Schrauben noch wesentlich von der Steifigkeit des Verankerungsgrundes ab.

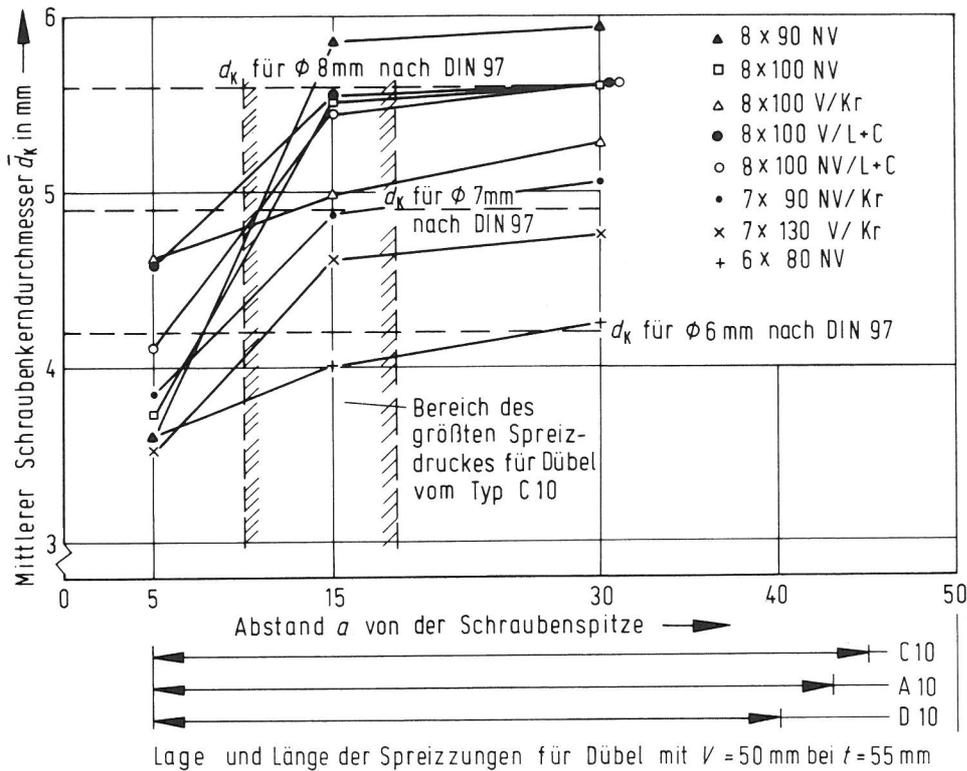


Bild 9: Mittlerer Schraubenkerndurchmesser \bar{d}_k in Abhängigkeit vom Abstand a von der Schraubenspitze

6.3 Schraubenform

Holzschrauben sollen nach DIN - abgesehen von der Schraubenspitze - über die Gewindelänge einen konstanten Kerndurchmesser aufweisen. Die im Abschnitt 6.2 beschriebenen umfangreichen Messungen an handelsüblichen Holzschrauben im Abstand von $a = 5$ mm, $a = 15$ mm und $a = 30$ mm von der Schraubenspitze ergaben für alle untersuchten Fabrikate und Schraubendurchmesser einen nichtzylindrischen Verlauf des Schraubenkerns (Bild 9). Diese unterschiedlichen Schraubenformen bewirken je nach Schraubendurchmesser, Dübeltyp und Verankerungsgrund eine gradlinige oder konkave Abhängigkeit der Dübelauszugskraft $\max F_z$ von der Einschraubtiefe t . Für zwei Schrauben-

chargen eines Fabrikates und etwa gleichen Kerndurchmessers, aber unterschiedlicher Schraubenform sind die Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit von der Einschraubtiefe t in Bild 10 aufgetragen. Während die Auszugkräfte bei der Schraubenform V/L+C stetig zunehmen, tritt bei der Schraubenform NV/L+C für eine Einschraubtiefe von $t = 50$ mm ein Knick auf, von dem ab die Dübelauszugkraft bis $t = 55$ mm abnimmt und dann gegenüber den Schrauben V/L+C nur noch ca. 85 % beträgt. Dieser Tragfähigkeitsabfall mit größerer Einschraubtiefe t ist in der unterschiedlich spitzen Form der Schrauben und der damit verbundenen unterschiedlichen Spreizung und Materialverdrängung im Dübel begründet. Bei dem untersuchten Dübeltyp A 10 tritt aufgrund der Form bei der dickeren Schraubenspitze eine Verminderung der Haftfläche der ersten Spreizzungenrippe auf.

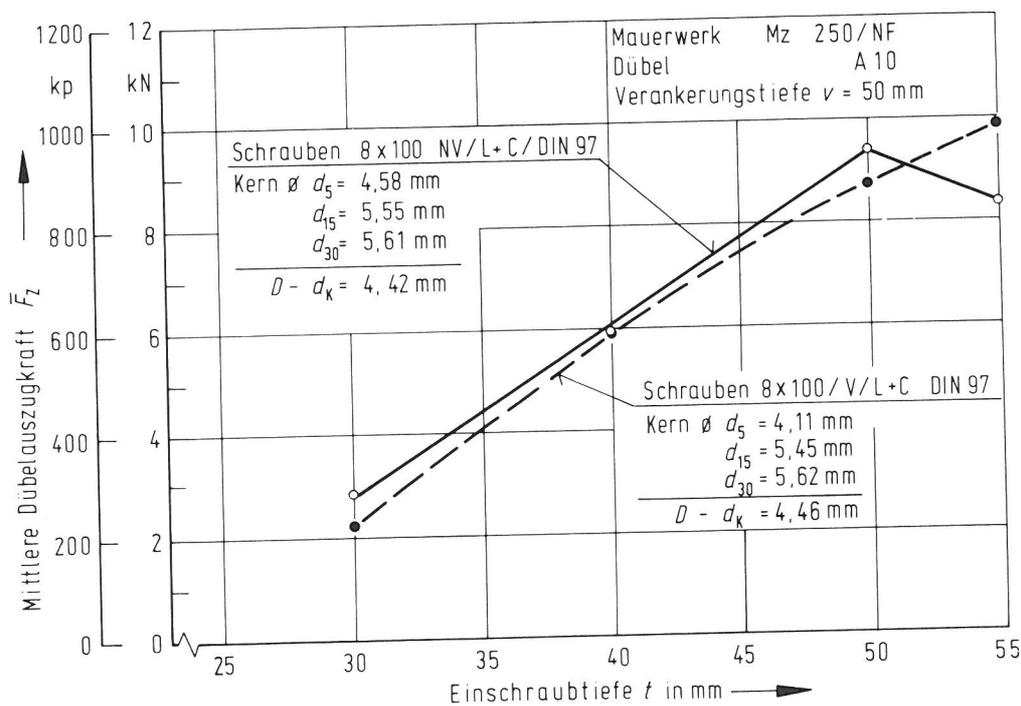


Bild 10: Einfluß der Schraubenform auf die mittlere Dübelauszugkraft bei verschiedenen Einschraubtiefen

6.4 Einschraubtiefe

Auf den starken Einfluß der Einschraubtiefe auf die Dübelauszugkräfte wurde bereits in den Abschnitten 5, 6.2 und 6.3 hingewiesen. Als Einschraubtiefe t ist die auf die Verankerungslänge V der Dübel bezogene Eindringtiefe der Schrauben definiert worden. Durch diese Definition ist ein Vergleich des Einflusses der Einschraubtiefe auch bei unterschiedlicher Gesamtlänge aber gleicher Verankerungslänge der Kunststoffdübel möglich.

Grobe Fehler beim Dübeleinbau hinsichtlich der Einschraubtiefe werden auch heute noch begangen. Als Musterbeispiel für konstruktionsbedingte Mängel ist die z.Z. noch ausgeübte Durchsteckmontage anzusehen. Bei dieser Montageart wird der auf die Schraube leicht aufgeschraubte Dübel durch die zu befestigenden Teile hindurch in den Verankerungsgrund gesteckt und dann die Schraube angezogen. Der angestrebte Idealzustand, daß der Dübel anfangs beim Einbau bündig sitzt und dann genau so weit eingetrieben wird, daß auch noch die optimale Einschraubtiefe erreicht wird, dürfte praktisch nur zufällig erreichbar sein. Abgesehen von den materialbedingten Toleranzen des Verankerungsgrundes wie Unebenheiten der Wand, wechselnde Putzdicken, unterschiedliche Bohrlochdurchmesser und dergleichen stellt diese Montageart eine Überforderung des Handwerkers dar (siehe dazu Bilder 11A und 11B).

Bei Prüfungen an Bauwerken ist darüber hinaus festgestellt worden, daß selbst bauaufsichtlich zugelassene Dübel mit kontrollierbarer Einschraubtiefe aus Unkenntnis falsch eingebaut wurden, indem zur oben beschriebenen Durchsteckmontage der Dübelrand abgetrennt oder aber, wie in Bild 11D dargestellt, die zu befestigenden Teile auf den Dübelrand aufgesetzt wurden. Dadurch ergaben sich erhebliche Abweichungen von den Mindesteinschraubtiefen.

Der Tragfähigkeitsabfall infolge verminderter Einschraubtiefe ist abhängig vom Dübeltyp, vom Schraubenkerndurchmesser, der Schraubenform, dem Bohrlochdurchmesser und der Verankerungsgrundart. Durch systematische Variation der Einschraubtiefen ist der Tragfähigkeitsabfall bei Dübeln vom Durchmesser $d = 10$ mm mit Verankerungslängen von $V = 50$ mm in dichten Materialien in der Größenordnung von

0,1 bis 0,2 kN/mm (10 - 20 kp/mm) für Schrauben von $d_N = 7$ mm
 0,2 bis 0,4 kN/mm (20 - 40 kp/mm) für Schrauben von $d_N = 8$ mm
 ermittelt worden (siehe auch Bilder 5, 6 und 10). In hohlraumhaltigen Verankerungsgrundarten ist dieser Tragfähigkeitsabfall im allgemeinen geringer (siehe z.B. Bild 18).

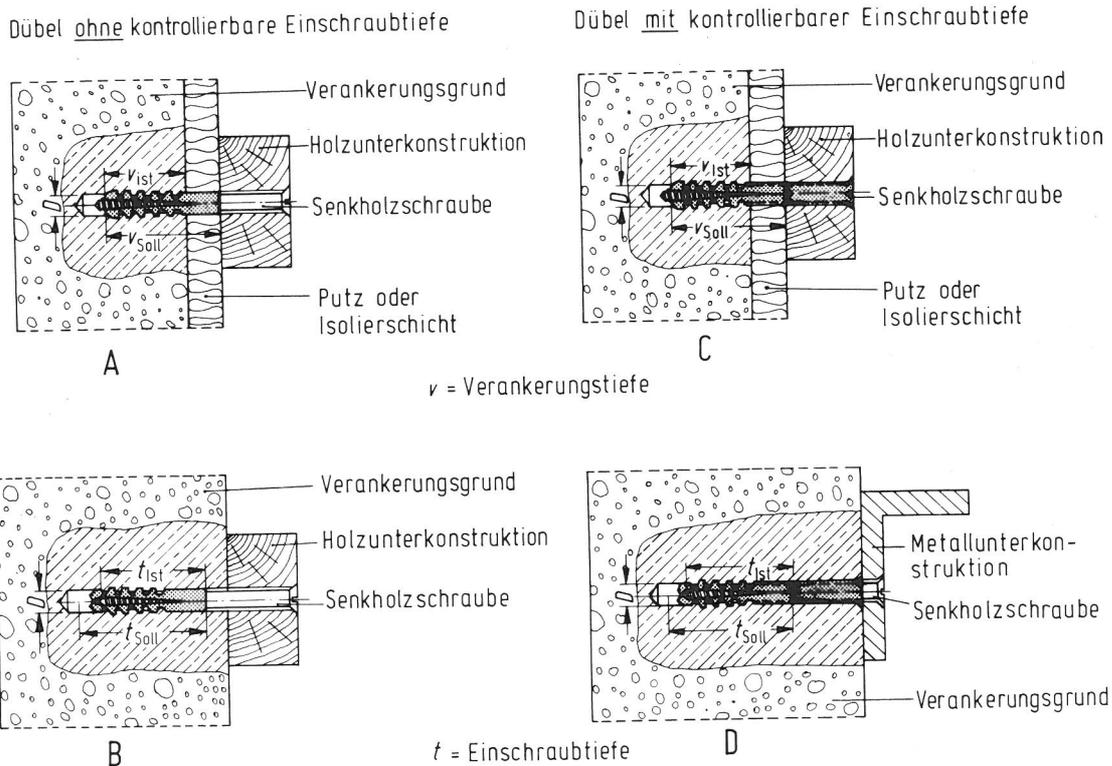


Bild 11: Tragfähigkeitsmindernde Fehler beim Dübeleinbau

6.5 Bohrlochdurchmesser

Die Bohrlochdurchmesser im Verankerungsgrund beeinflussen besonders bei selbstspreizenden Dübeln die Tragfähigkeit entscheidend. Handelsübliche Hartmetallbohrer werden wegen der Abnutzung, die bei der Verwendung am Bauwerk auftritt, mit einem gewissen Übermaß geliefert, so daß die Nenndurchmesser der Bohrlöcher erst nach einer gewissen Benutzungszeit der Bohrer erreicht werden. Darüber hinaus können einseitig abgenutzte, schlecht nachgeschliffene oder nicht

mehr ganz gerade Bohrer die Bohrlöcher vergrößern. An handelsüblichen neuen Hartmetallbohrern vom Nenndurchmesser 10 mm sind Bohrkronendurchmesser bis zu 10,6 mm festgestellt worden. Damit wurden in festen, dichten Materialien wie Mauerziegeln Mz 250 und Beton Bn 250 Bohrlöcher etwa gleichen Durchmessers, in weniger festen Materialien wie KSV 150 und KSL 150, Hbl 25 und Gasbeton G 25 jedoch größere Durchmesser von $D = 10,7$ mm bis zu $D = 12$ mm erzeugt.

An einer Fassadenfläche liegen wegen des Arbeitsfortschrittes Bohrlöcher mit größerem Durchmesser als im Entwurf angenommen in benachbarten Bereichen. Diesem Umstand muß bei Sicherheitsbetrachtungen Rechnung getragen werden.

Dem Einfluß des Bohrlochdurchmessers auf die Tragfähigkeit der Dübel ist deshalb durch systematische Variation des Bohrkronendurchmessers bis zu einem größten Maß von 12 mm nachgegangen worden. Die damit in den verschiedenen Verankerungsgrundarten erzielten Bohrlochdurchmesser sind mit einer Schiebelehre in ca. 10 mm Bohrlochtiefe gemessen worden. In dichten Materialien wurde der Bohrlochdurchmesser z.T. auch noch mit einem Präzisions-Tiefenmaß bestimmt, wobei sich bestätigte, daß die Bohrlöcher in festen Verankerungsgrundarten im allgemeinen zylindrisch sind.

Um die Dübelauszugkräfte als Funktion der tatsächlichen Kerndurchmesser der Schrauben und der tatsächlichen Bohrlochdurchmesser im Verankerungsgrund darstellen zu können, mußte eine geeignete Verknüpfung dieser Einflußgrößen gefunden werden. Vergleichende Untersuchungen ergaben, daß eine Vergrößerung des Bohrlochdurchmessers die Dübelauszugkraft etwa in gleichem Maße beeinflusst wie eine Verkleinerung des Schraubenkerndurchmessers. Aus diesem Grunde wurden die Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K aufgetragen.

Alle im Labor für den Dübeltyp A 10 in Mauerwerk aus Mauerziegeln Mz 250/NF mit 8 Schraubensorten für eine Einschraubtiefe von $t = 50$ mm ermittelten Dübelauszugkräfte sind in Bild 12 in dieser Art aufgetragen. Die Dübeltragfähigkeit nimmt mit wachsender Durchmesserdifferenz ab. Die Mittelwertkurve ist als gestrichelte und die untere Toleranzgrenze $F_{z(5;90)}$ als durchgezogene Linie eingezeichnet.

Diese Kurve gibt diejenige Grenze (Fraktile) an, unter der mit einer bestimmten Aussagewahrscheinlichkeit, in diesem Falle $W = 90\%$, nur noch 5% aller möglichen Dübelauszugkräfte zu erwarten sind. Entsprechende Dübelauszugkräfte und Kurven wurden für die Einschraubtiefen $t = 40\text{ mm}$ und $t = 55\text{ mm}$ ermittelt. Die Ausfallwahrscheinlichkeit $\epsilon = 5\%$ und die Aussagewahrscheinlichkeit $W = 90\%$ sind vom Sachverständigenausschuß "Ankerschienen und Dübel für tragende Konstruktionen" des Instituts für Bautechnik für die Auswertung von Dübelauszugversuchen aus Laborversuchen vereinbart worden.

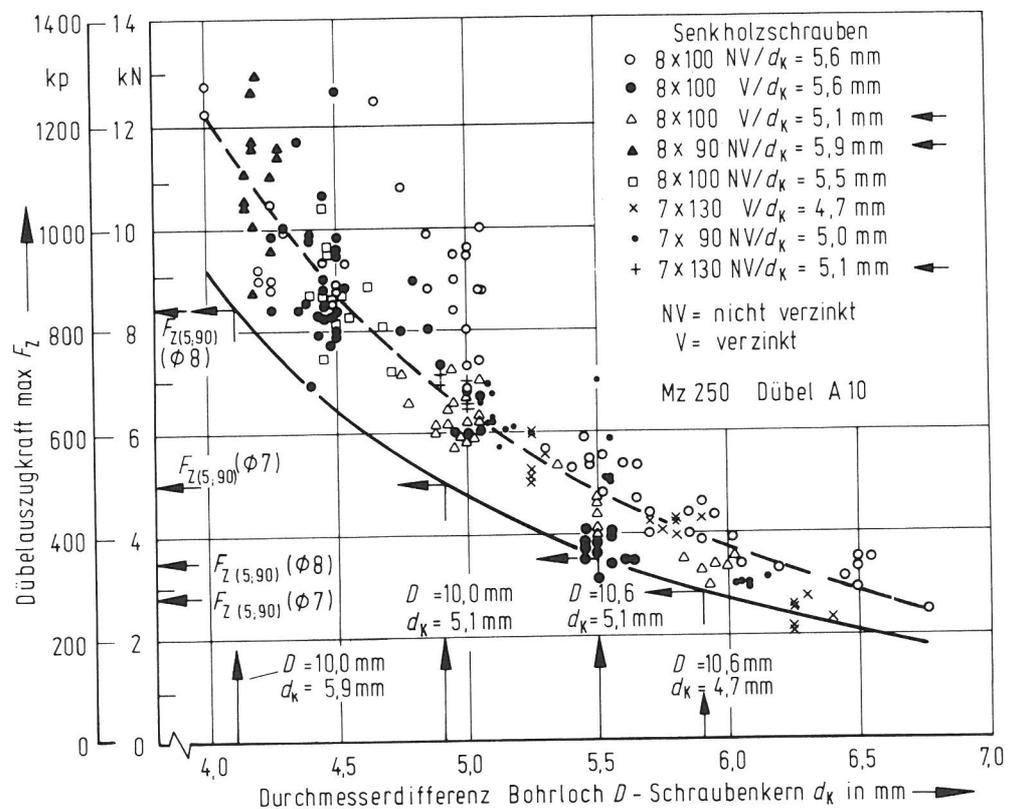


Bild 12: Einzelwerte, Mittelwertkurve und untere Grenzkurve $F_{z(5;90)}$ für Dübelauszugkräfte in Mauerwerk Mz 250 in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz $D - d_K$. Verankerungstiefe $v = 50\text{ mm}$, Einschraubtiefe $t = 50\text{ mm}$.

Ein Vergleich der Fraktilewerte in Bild 12 für Schrauben $d_N = 8$ mm liefert beispielsweise für die Nenn-Einbaubedingungen $D = 10,0$ mm und $d_K = 5,6$ mm ($D - d_K = 4,4$ mm) einen Wert $F_Z(5;90) = 6,9$ kN (690 kp) und für die ungünstigsten bei den Untersuchungen festgestellten Bedingungen unter Verwendung des größten Bohrerdurchmessers von $10,6$ mm (ΔD) und des kleinsten Schraubenkerndurchmessers von $d_K = 5,1$ mm einen Wert von $F_Z(5;90) = 3,5$ kN (350 kp). Das Beispiel zeigt, daß allein aufgrund der beiden Einflußgrößen D und d_K die maßgebenden Kräfte gegenüber den Nennbedingungen etwa um den Faktor 2 verschieden sein können.

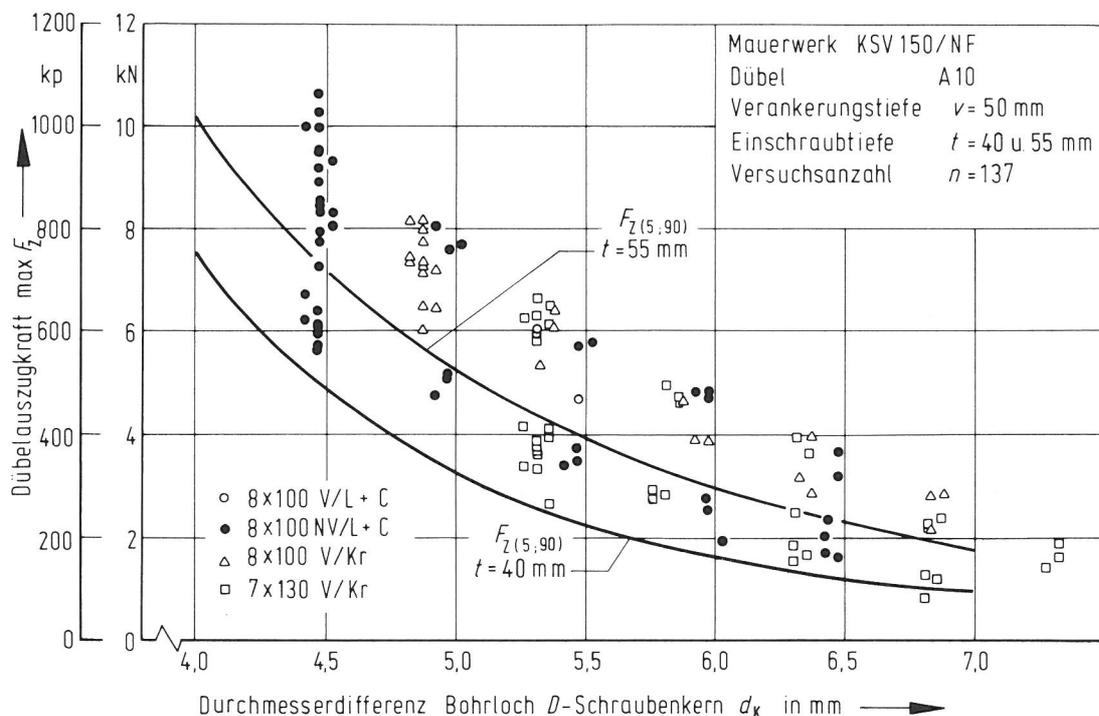


Bild 13: Einzelwerte, Mittelwertkurven und untere Grenzkurven $F_Z(5;90)$ für Dübelauszugkräfte in Mauerwerk KSV 150 in Abhängigkeit von der Durchmesserdiffere n z $D - d_K$ für Einschraubtiefen $t = 40$ mm und $t = 55$ mm

Für Mauerwerk aus Kalksand-Vollsteinen KSV 150/NF sind die Dübelauszugkräfte für den gleichen Dübeltyp A 10 in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K mit den unteren Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ für Einschraubtiefen von $t = 40$ mm und $t = 55$ mm aufgetragen, die für vier verschiedene Schraubensorten ermittelt wurden (Bild 13). Der Abfall der Dübelauszugkraft mit wachsender Durchmesserdifferenz erfolgt in KSV 150 - Mauerwerk in gleichem Maße wie in Mz 250 - Mauerwerk. Die in Bild 13 unterhalb der für $t = 55$ mm geltenden $F_{z(5;90)}$ -Kurve liegenden Dübelauszugkräfte wurden für $t = 40$ mm ermittelt.

In Bild 14 sind schließlich die Ergebnisse von Dübelauszugversuchen mit Dübeln C 10 ($V = 50$ mm) in Beton 250 wiedergegeben, die im Labor unter den am Bauwerk vorgefundenen Bedingungen für eine bereits bestehende Fassadenkonstruktion durchgeführt worden sind. Die im Versuch verwendete Einschraubtiefe von $t = 45$ mm ist gleich der kleinsten am Bauwerk vorgefundenen Einschraubtiefe. Die mit $\min \Delta$ und

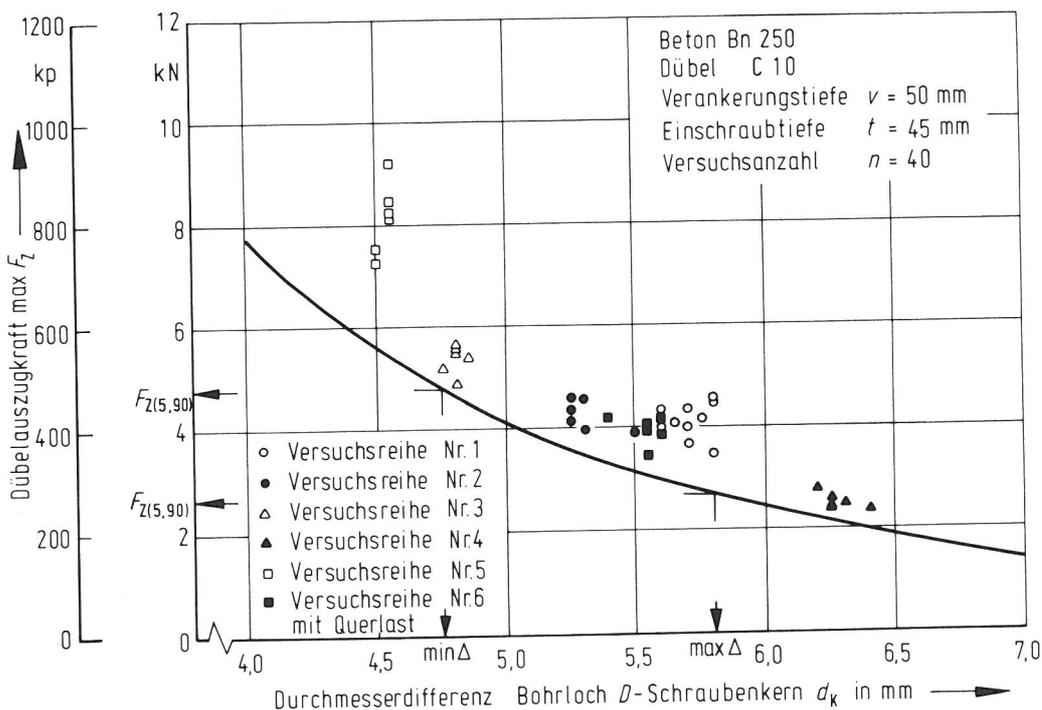


Bild 14: Einzelwerte und untere Grenzkurve $F_{z(5;90)}$ der Auszugkräfte für Dübeltyp C 10 in Bn 250 in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz $D - d_K$ für Einschraubtiefe $t = 45$ mm, Querlast $Q = 0,20$ kN (20 kp)

max Δ bezeichneten Durchmesserdifferenzen Bohrloch D - Schraubenkern d_K entsprechen den am Bauwerk stichprobenartig ermittelten Verhältnissen. Für die zugehörigen Fraktile der Dübelauszugkräfte $F_{z(5;90)}$ ergeben sich Werte von $\min F_{z(5;90)} = 2,65 \text{ kN}$ (265 kp) und $\max F_{z(5;90)} = 4,75 \text{ kN}$ (475 kp). Eine Querlast von $Q = 0,20 \text{ kN}$ (20 kp) im Abstand von 80 mm von der Verankerungsgrund-Oberfläche brachte keine Beeinträchtigung der axialen Dübelauszugkraft.

Ein Vergleich der Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ für Mz 250, KSV 150 und Bn 250 bei einer Verankerungstiefe für die zwei verwendeten Dübeltypen A 10 und C 10 von $v = 50 \text{ mm}$ und einer Einschraubtiefe von $t = 45 \text{ mm}$ erfolgt in Bild 15. Die drei dort eingezeichneten Kurven entstammen den Bildern 14, 16 und 17. Das Bild 15 zeigt deutlich, daß in diesem Fall Verankerungsgrund und Dübeltyp die Dübelauszugkräfte nur relativ wenig beeinflussen. Diese Feststellung deckt sich mit den Ergebnissen des Abschnittes 6.1.

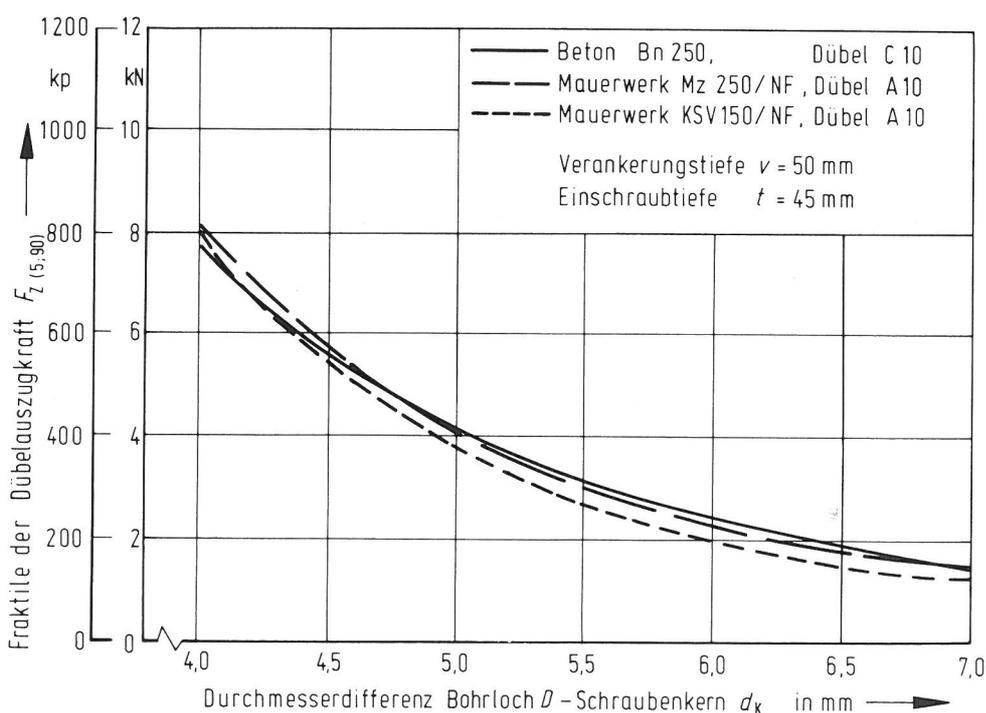


Bild 15: Vergleich der unteren Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ für verschiedene Verankerungsgrundarten und Dübeltypen bei $t = 45 \text{ mm}$. Kurven der Bilder 14, 16 und 17

Anders liegen die Verhältnisse bei hohlraumhaltigen Steinen. Dort ist die Abhängigkeit der Dübelauszugkräfte von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K nicht so einheitlich wie in dichten, festen Materialien. Die Dübelauszugkräfte werden bei Steinarten wie Hohlblock- und Kalksandlochsteinen oder Lochziegeln stark von der Lage der Dübel bezüglich der Hohlräume, der Verankerungstiefe, der Form der Spreizungen und der Verankerungslänge der Dübel bestimmt. Die Verankerungslänge der Dübel vom Durchmesser 10 mm kann bei hohlraumhaltigen Steinen im Gegensatz zu dichten Materialien $V = 50$ mm bis $V = 90$ mm betragen. Einen Eindruck von der Vielfältigkeit und der Art der Einflüsse bei hohlraumhaltigen Steinen vermitteln die Bilder 18, 27, 28 und 29, in denen die an Kalksandlochstein-Mauerwerk ermittelten Ergebnisse dargestellt worden sind.

6.6 Verknüpfung der Einflußgrößen Schraubenkerndurchmesser, Bohrlochdurchmesser und Einschraubtiefe

Um die Abhängigkeit der Dübeltragfähigkeit von den Haupteinflußgrößen Schraubenkerndurchmesser d_K , Bohrlochdurchmesser D und Einschraubtiefe t übersichtlich und praktisch verwertbar darstellen zu können, ist die in den Bildern 16, 17 und 18 dargestellten Form gewählt worden: Grenzkurve der Dübelauszugkraft $F_z(5;90)$ in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K mit der Einschraubtiefe t als Scharparameter.

Die unteren Toleranzgrenzen $F_z(5;90)$ und die Mittelwertkurven \bar{F}_z des funktionalen Zusammenhanges zwischen der Zielgröße $\max F_z$ und den Einflußgrößen $D - d_K$ sowie t sind mit Hilfe eines von R. Rudolphi [5] aufgestellten Regressionsrechnungs-Programmes berechnet worden. Die Voraussetzungen zur Anwendung des Verfahrens sind eingehend in [5] beschrieben. Für die vorliegende Verteilung der Meßwerte ist als Ansatz des funktionalen Zusammenhanges zwischen $\max F_z$ und $D - d_K$ ein allgemeiner Potenzansatz der Form

$$\max F_z = b_0 \cdot (D - d_K)^{b_1} \cdot t^{b_2}$$

gewählt worden, für den die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Rechenwerten der Schätzfunktion und den Meßwerten gegenüber anderen Ansätzen den kleinsten Wert ergab. Der Vorteil des

Rechenprogrammes besteht darin, daß zur Berechnung des funktionalen Zusammenhanges alle für $t = 40$ mm bis $t = 55$ mm bzw. $t = 70$ mm bis $t = 85$ mm vorhandenen Meßwerte in einem Rechengang zur Festlegung des Kurvenverlaufes und zur Interpolation berücksichtigt und die unteren einseitigen Toleranzgrenzen $F_{z(5;90)}(t)$ zu der jeweiligen Schätzfunktion berechnet werden können. Die in den Bildern 16 und 17 dargestellten Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ der 5 %-Fraktilen mit einer Aus-sagewahrscheinlichkeit von $W = 90$ % (einseitige untere Toleranzgren-zen) gelten für die Versagensart "Glattes Herausziehen der Dübel aus dem Verankerungsgrund". Wie ein Vergleich dieser Bilder zeigt, ist der Unterschied zwischen den Kurven für Mauerwerk aus Mz 250/NF und KSV 250/NF beim Dübeltyp A 10 für alle Einschraubtiefen gering.

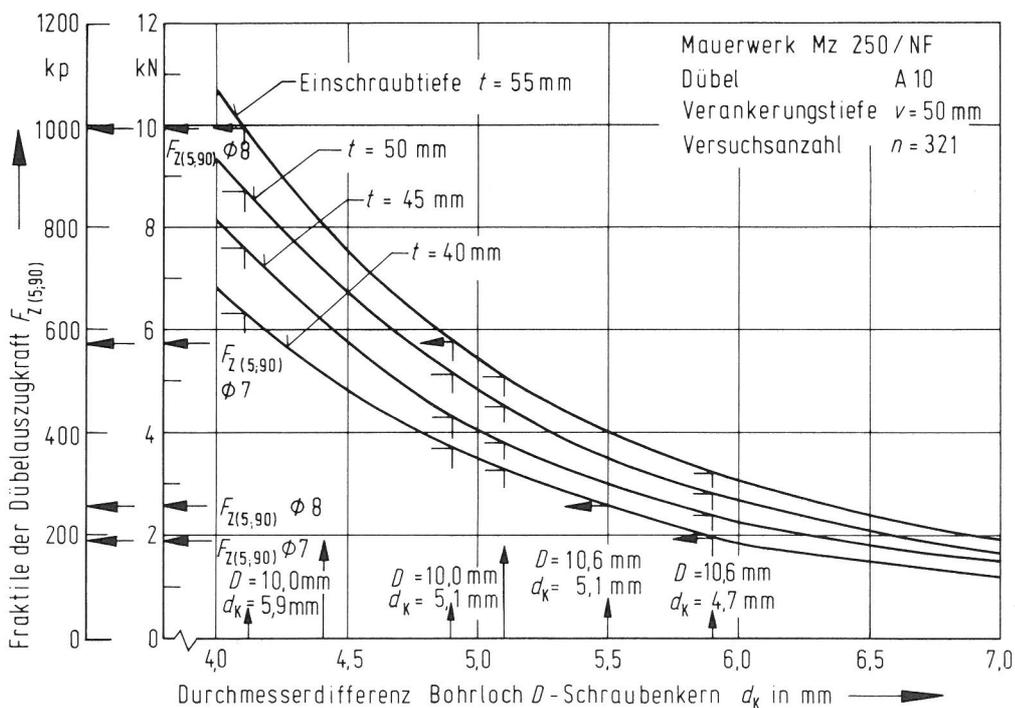


Bild 16: Untere Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ (Fraktilen) der Dübelauszugskräfte in Abhängigkeit von der Durchmesser-differenz $D - d_k$ und der Einschraubtiefe t für Mauerwerk MZ 250

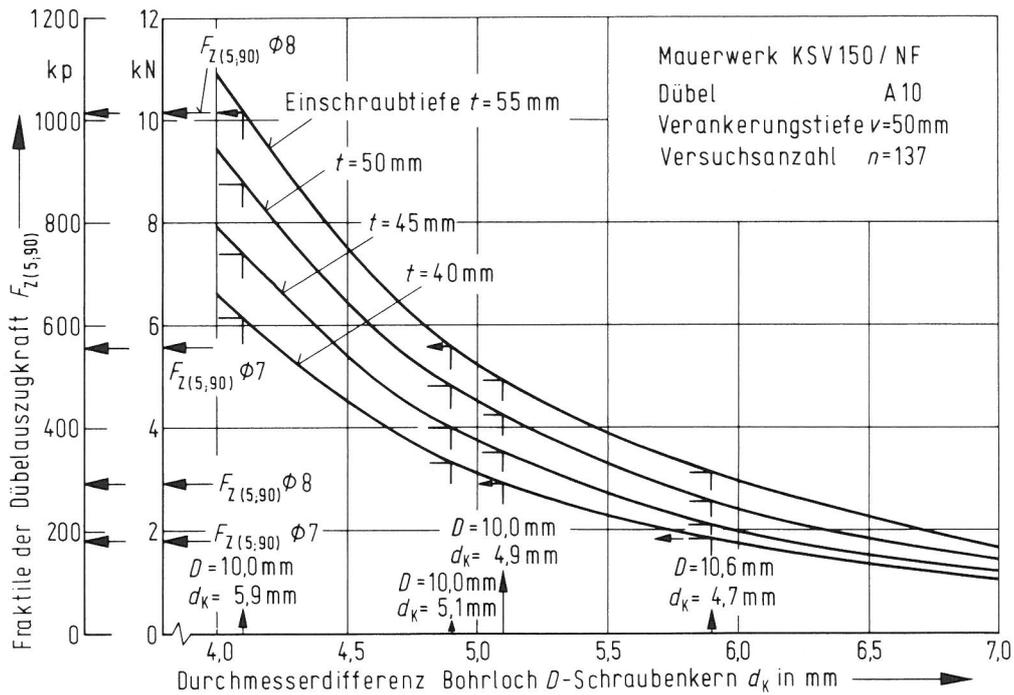


Bild 17: Untere Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ (Fraktilen) der Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit der Durchmesserdifferenz $D - d_K$ und der Einschraubtiefe t für Mauerwerk KSV 150

In Bild 18 sind die entsprechenden Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ für die eingezeichnete, hinsichtlich der Hohlräume ungünstigsten Lage des untersuchten Dübeltyps AL 10 in Mauerwerk aus KSL 150/2 DF wiedergegeben. Die Meßwerte für die Einschraubtiefe $t = 85$ mm sind in Bild 29 eingetragen. Die für $t = 70$ mm vorliegenden Einzelwerte sind aus Platzgründen nicht mit aufgeführt.

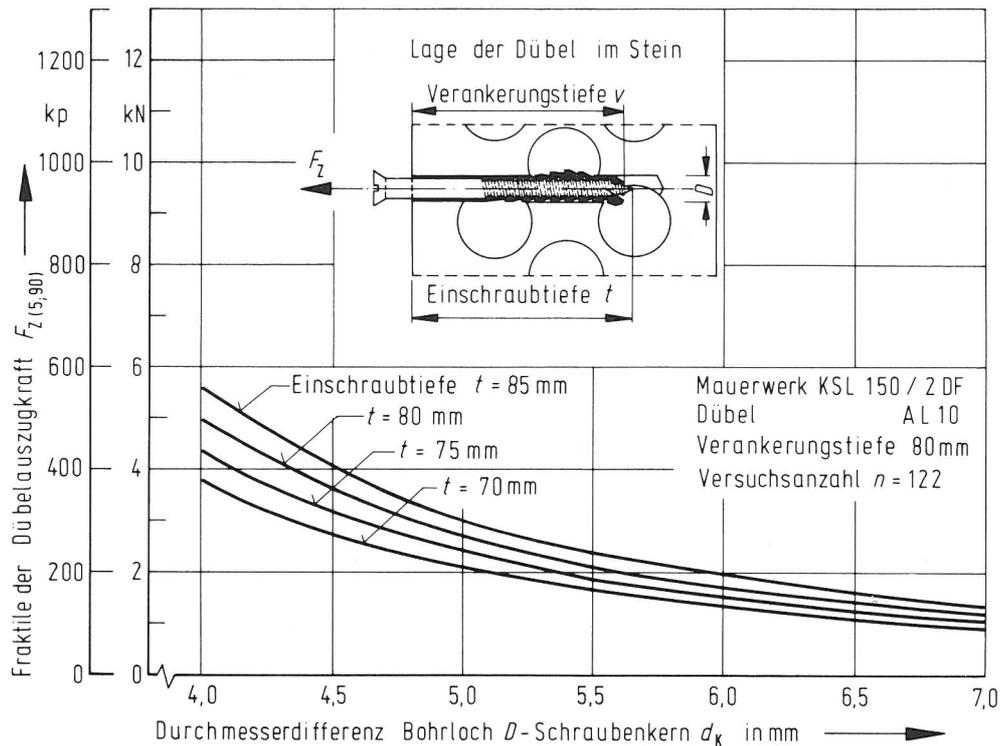


Bild 18: Untere Grenzkurven $F_z(5;90)$ (Fraktile) der Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit von der Durchmesserdifférenz $D - d_k$ und der Einschraubtiefe t für Mauerwerk KSL 150

6.7 Verankerungstiefe

Die Verankerungslängen V von Kunststoffdübeln gegen diejenigen Längen an, mit denen die Dübel zum Erreichen der vollen Verankerungskraft im tragfähigen Verankerungsgrund eingebaut werden müssen. Bei kurzen Dübeln entspricht die Dübellänge der Verankerungslänge, bei langen Fassadendübeln ist die Verankerungslänge dagegen kürzer als die Gesamtlänge und durch Markierungen auf der Dübelhülse gekennzeichnet.

Die Verankerungstiefe v ist dagegen die Länge, mit der ein Dübel, bezogen auf seine Gesamtlänge, im Verankerungsgrund tatsächlich eingebaut ist. Abweichungen von dem Sollzustand - Verankerungslänge gleich Verankerungstiefe - können aus bautechnischen Gründen ent-

stehen. Größere Verankerungstiefen als erforderlich wirken sich in dichten, festen Materialien im allgemeinen nicht auf die Tragfähigkeit aus. In Hohlblocksteinen und Lochsteinen können größere Verankerungstiefen höhere, durchaus aber auch niedrigere Dübeltragfähigkeiten bewirken.

Zu geringe Verankerungstiefen der Dübel entstehen z.B. durch Unterschätzen der Dicke oder aber auch wechselnde Dicke nicht tragfähiger Oberflächenschichten wie Putz- und Isolierschichten, größere Unebenheiten der Bauwerksoberflächen oder aber auch durch zu geringe Bohrlochtiefen (Bilder 11A und 11C).

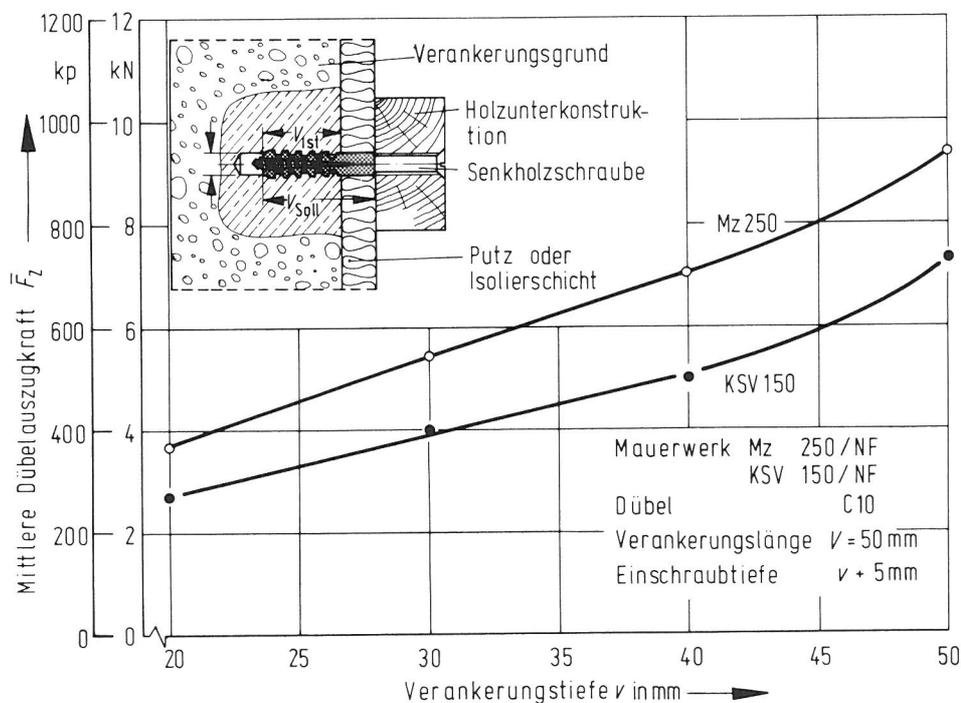


Bild 19: Einfluß der Verankerungstiefe v auf die mittlere Dübelauszugskraft \bar{F}_z von Dübeln C 10 in Mauerwerk Mz 250 und KSV 150

In Bild 19 sind die Dübelauszugkräfte \bar{F}_z in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe für den Dübeltyp C 10 mit Spezialschrauben 7 x 105 ($d_K = 5,4$ mm) in den beiden Verankerungsgrundarten Mauerziegel Mz 250 und Kalksandvollstein KSV 150 als Mittelwertkurven dargestellt. Für dieses dichte und feste Verankerungsgrundmaterial er-

gibt sich für den Dübeltyp C 10 mit $V = 50$ mm Verankerungslänge, bei Verminderung der Verankerungstiefe von $v = 50$ mm um 10 mm auf $v = 40$ mm ein Kraftabfall von rund 2,4 kN (240 kp). Das entspricht gegenüber den Nennbedingungen einer prozentualen Minderung von 25 % bei Mz 250 bzw. 34 % bei KSV 150. Der Kraftabfall je mm verminderter Verankerungstiefe entspricht etwa den Werten für entsprechend verminderte Einschraubtiefen (s. Abschnitt 6.4).

Für den Dübeltyp A 10 liegt diese Kraftminderung unter entsprechenden Bedingungen in der gleichen Größenordnung. Bei Steinen mit Hohlräumen ist der Einfluß der Verankerungstiefe sehr stark von der Lage der Dübel bezüglich dieser Hohlräume und der Größe der Hohlräume abhängig. In Bild 20 sind für einen Hohlblockstein aus Ziegelsplittbeton Hbl 50, Drk 240 x 365 x 238 DIN 18 151 mit 35 mm Stegdicke und 30 mm Hohlraumbreite die Auszugskräfte für den Dübeltyp C 10 L mit einer Verankerungslänge $V = 90$ mm in Abhängigkeit von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K für Verankerungstiefen von $v = 60$ mm und $v = 90$ mm im Kammerbereich dargestellt. Die $F_{z(5;90)}$ Fraktilenkurven ergeben für die größere Verankerungstiefe von $v = 90$ mm bei $D - d_K = 5,0$ mm um 7 % und bei $D - d_K = 6,0$ mm um 25 % höhere Werte als für $v = 60$ mm.

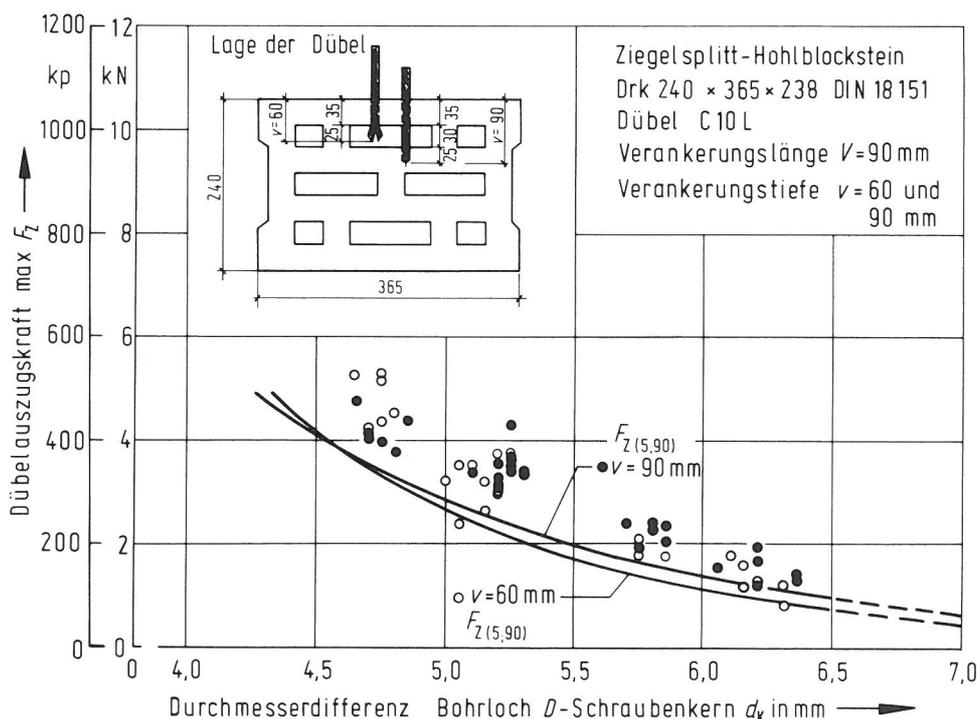


Bild 20: Vergleich der unteren Grenzkurven $F_{z(5;90)}$ für Dübel C 10 L bei Verankerungstiefen $v = 60$ mm und $v = 90$ mm in einem Hohlblockstein Hbl 50/Drk 240 x 365 x 238 DIN 18 151

Für einen entsprechenden 300 mm dicken Hbl 50 - Stein, Drk 300 x 365 x 238 mm mit 35 mm Stegdicke und 50 mm Hohlraumbreite sind die Verhältniswerte der von der Verankerungstiefe abhängigen mittleren Dübelauszugkräfte für den Dübeltyp C 10 L mit einer Verankerungslänge $V = 90$ mm in Bild 21 dargestellt.

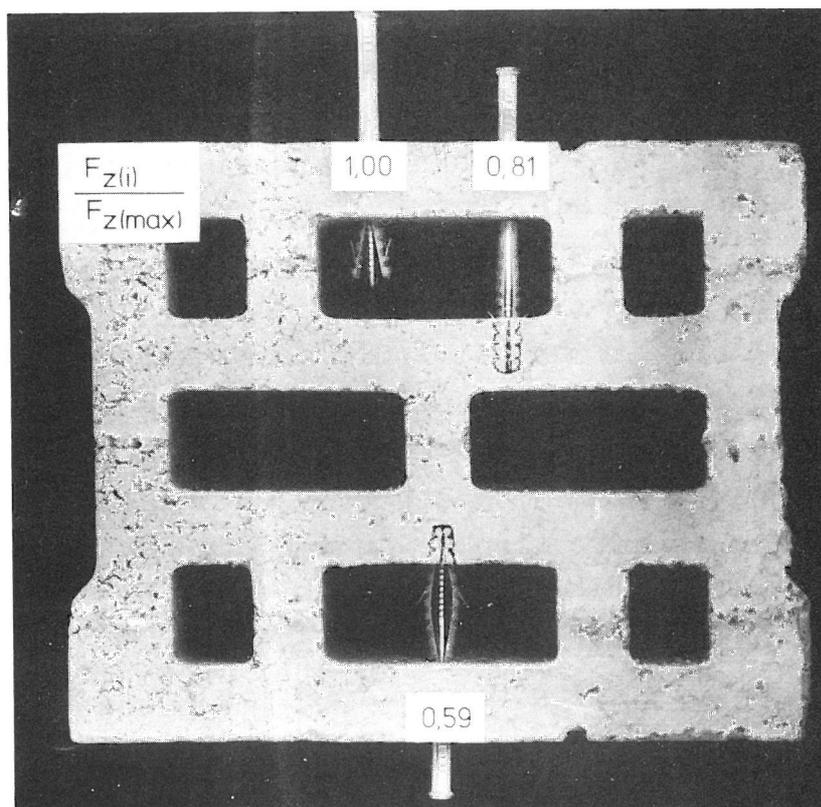


Bild 21: Vergleich der mittleren Dübelauszugkräfte für Dübel C 10 L bei Verankerungstiefen $v = 60$ mm, $v = 110$ mm und $v = 115$ mm in einem Hohlblockstein Hbl 50/Drk 300 x 365 x 238 DIN 18 151

Die größten Werte ergeben sich in diesem Fall im Gegensatz zu dichten Materialien für die kleinste Verankerungstiefe von $v = 60$ mm bei einer Verankerungslänge des Dübels von $V = 90$ mm. Demgegenüber beträgt die Dübeltragfähigkeit bei fast doppelt so großer Verankerungstiefe von $v = 115$ mm rund 20 % weniger. Bei Verringerung dieser Verankerungstiefe um nur 5 mm auf $v = 110$ mm sinkt die mittlere Dübelauszugkraft um weitere 20 % auf rund 60 % derjenigen Auszugskraft bei $v = 60$ mm. Die Ursache für diesen erheblichen Kraftabfall ist die infolge der Hohlraumbreite von 50 mm relativ starke Verringerung der effektiven Verankerungstiefe im vollen Stegmaterial, die

von $v_{\text{eff}} = 30$ mm bei $v = 115$ mm auf $v_{\text{eff}} = 25$ mm bei $v = 110$ mm absinkt. Die in diesen Fällen im äußeren Steinstege sitzende Dübelhülse trägt nicht zur Verankerung bei. In Bild 21 ist deutlich zu erkennen, daß bei geringer effektiver Verankerungstiefe die Dübelzungen ausbeulen. Durch weiteres Anziehen der Schrauben kann ein regelrechtes Ausknicken der Dübelzungen erreicht werden.

Diese beiden Beispiele zeigen, daß die Größe der aus praktischen Gründen auf die Steinoberfläche zu beziehenden Verankerungstiefe bei hohlraumhaltigen Steinen nicht von vornherein ein zuverlässiges Maß für die zu erwartende Tragfähigkeit liefert.

Weitere Beispiele für den Einfluß der Verankerungstiefe auf die Dübelauszugkraft bei Hohlblocksteinen sind in den Bildern 25 und 26 zu Abschnitt 7.2.2 angeführt.

6.8 Bohrmaschine

Als einer der letzten beeinflussbaren Parameter in der handwerklichen Ausführung wird der Einfluß des Bohrens angeführt. Üblicherweise werden die Löcher für Dübel mit Schlagbohrmaschinen gebohrt. Bei Verankerungsgrundarten mit geringer Festigkeit oder mit Hohlräumen können dabei von außen unsichtbare Materialzerstörungen auftreten, die die Dübeltragfähigkeit entscheidend beeinflussen. Als Beispiel sind in Bild 22 die Ergebnisse von Bauwerksversuchen dargestellt, bei denen die Bohrlöcher für die Versuche mit und ohne Schlagwerk gebohrt wurden, während die bauausführende Firma die bereits fertige Fassade ausschließlich mit Schlagwerkbohrung hergestellt hatte. Beim Bohren im Bereich der Kammern von Hohlblocksteinen Hbl 50/Drk 240 x 365 x 238 DIN 18 151 aus Ziegelsplittbeton bildeten sich auf der Innenseite der Stege kegelförmige Materialausbrüche, die fast bis zur halben Stegdicke reichten, so daß die Dübelzungen beim Spreizen keinen Widerstand fanden. Die Dübelverbindungen versagten dadurch vorzeitig. In Bild 22 sind die Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit vom Einschraubdrehmoment der Schrauben aufgetragen. Die unteren Kreuze gehören zu den mit Schlagbohrer hergestellten Dübellöchern und die Punkte zu denen, die ohne Schlagwerk gebohrt wurden. Der Unterschied in den Dübelauszugkräften ist erheblich. Die Mittelwerte der Dübelauszugkräfte

liegen bei $\bar{F}_Z = 1,7 \text{ kN}$ (170 kp) für Bohren mit Schlag und bei $\bar{F}_Z = 3,6 \text{ kN}$ (360 kp) für Bohren ohne Schlag.

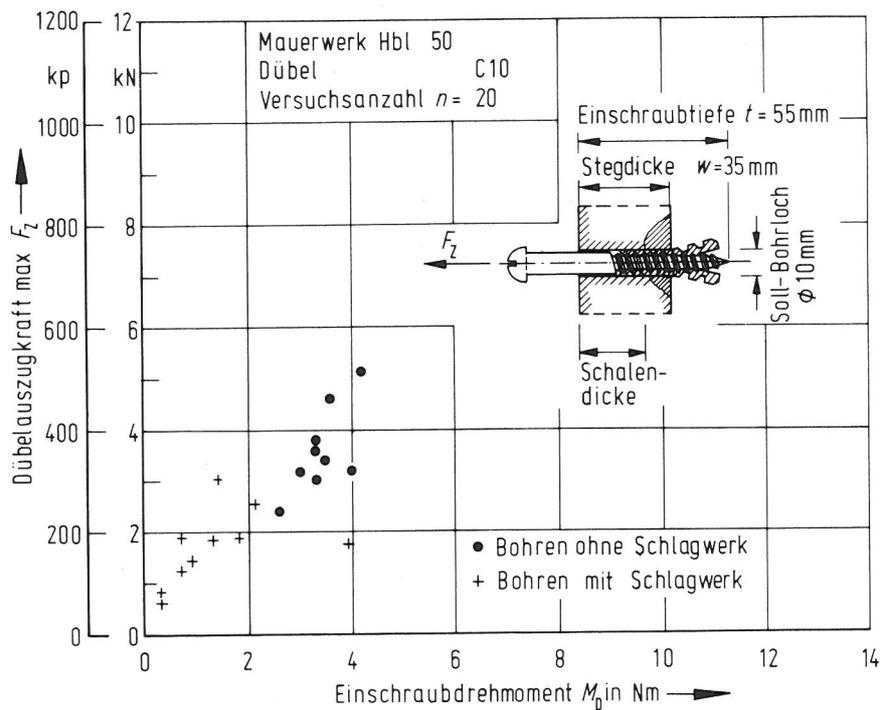


Bild 22: Einfluß der Bohrart auf die Dübelauszugkraft bei Mauerwerk Hbl 50/Drk 240 x 365 x 238 DIN 18 151

6.9 Mehrfacheinbau

Bei Prüfungen zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Dübeln an fertigen Bauwerken besteht für die Bauausführenden vielfach die Möglichkeit, neue Befestigungseinheiten in dieselben alten oder aber andere bereits vorhandene Bohrlocher von auf Tragfähigkeit geprüften Befestigungseinheiten zu setzen. Aufgrund derartiger Feststellungen an Bauwerken sind im Labor Versuche mit Dübeln A 10 in Mauerwerk Mz 250 durchgeführt worden. Dazu wurden jeweils neue Dübel mit ein- und derselben Schraube 8 x 100 DIN 97 zehnmal in dasselbe Bohrloch

von $D = 10,0$ mm Durchmesser eingesetzt und geprüft. Die Versuchsergebnisse sind in Bild 23 dargestellt.

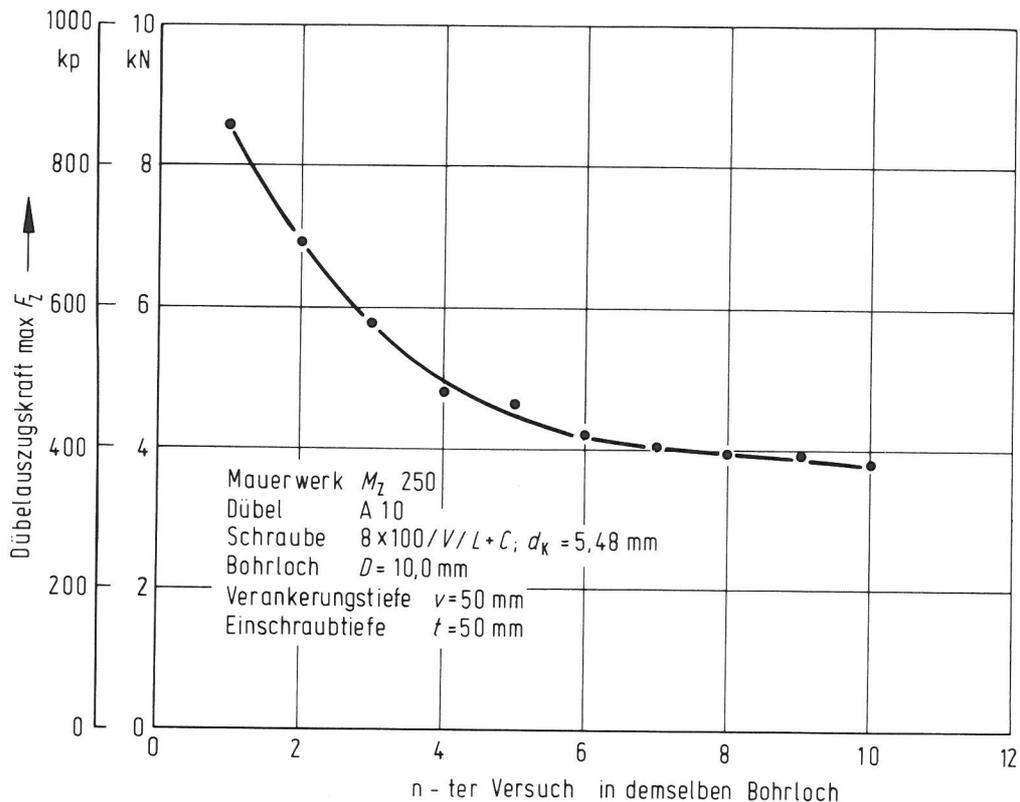


Bild 23: Einfluß des Mehrfacheinbaus neuer Befestigungseinheiten in ein- und dasselbe Bohrloch

Bereits bei einem zweiten Einbau eines Dübels sank die maximale Dübelauszugkraft auf 81 % und beim dritten Einbau in dasselbe Bohrloch auf 67 % der beim ersten Versuch ermittelten Dübelauszugkraft. Der Grund für diesen Kraftabfall bei mehrmaligem Dübeleinbau liegt hauptsächlich in der verminderten Haftreibung im Bohrloch, da die Bohrwandungen durch das Herausziehen der Dübel geglättet und durch den Abrieb des Kunststoffmaterials geschmiert werden. Von zweitrangiger Bedeutung ist dabei eine mögliche geringfügige Bohrlochvergrößerung, die mit einer Schiebelehre nicht feststellbar war. Der Kraftabfall zwischen dem ersten und dritten Versuch würde vergleichsweise nach Bild 12 einer durchaus meßbaren Durchmesserergrößerung von 0,7 entsprechen.

7. Praktisch nicht beeinflussbare Parameter

7.1 Lage der Dübel im Steinverband

Ein bei der praktischen Ausführung nur wenig zu beeinflussender Parameter ist die Lage der Dübel im Steinverband. Während bei Betonwänden ein in sich relativ gleichmäßiger Verankerungsgrund vorliegt, weist Mauerwerk aufgrund der verschiedenen Steinformate, Steinarten, Steinfestigkeiten, des hohen Fugenanteils mit unterschiedlichen Festigkeiten und der handwerklichen Ausführung viele Unregelmäßigkeiten auf, die sich auf die Dübeltragfähigkeit auswirken. Die Verteilung der Dübel an einer Fassadenfläche erfolgt in der Planung nach rein statischen und konstruktiven Gesichtspunkten, wobei das Raster der Unterkonstruktion schon bei der Wahl des Fassadensystems festliegt. Dadurch ist die Wahl der Befestigungspunkte bei der handwerklichen Ausführung nicht mehr frei. Die Dübelbefestigungen können dann

- in der Mitte eines Steinkopfes oder -läufers,
- am Rande eines Steines,
- in der Ecke eines Steines,
- in der Stoßfuge oder
- in der Lagerfuge

liegen (Bild 24).

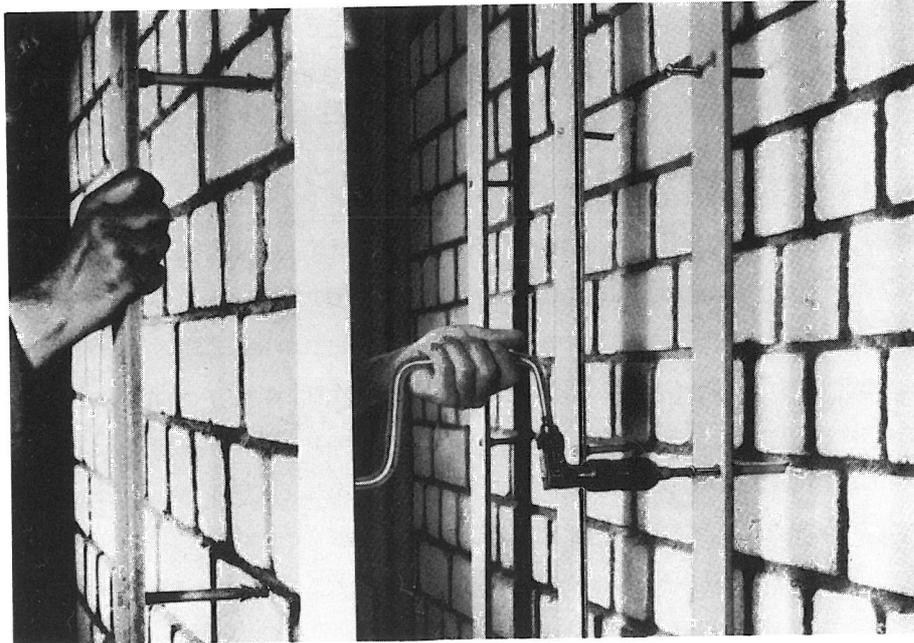


Bild 24: Beispiel für die Lage von Verankerungspunkten in Kalksandstein-Mauerwerk

Fast jede dieser Lagen weist ihre eigenen Probleme auf. Bei dichten Materialien ist die Mittenlage im Stein am günstigsten. Bei Hohlblocksteinen und Lochsteinen wird in Steinmitte dagegen u.U. ein Hohlraum getroffen, in dem die Dübeltragfähigkeit wesentlich geringer sein kann als im vollen Stegmaterial (siehe auch Abschnitt 6.7).

7.2 Steinart

7.2.1 Vollsteine

Wenig problematisch ist die Verankerung von Kunststoffdübeln in Vollsteinen aus festem, dichtem Material, sofern die in den Abschnitten 7.4 und 7.5 angesprochenen Randbedingungen eingehalten werden. Als Befestigungseinheiten kommen nur Dübel mit einer Verankerungslänge $V = 50$ mm bis 60 mm Länge in Frage, da bei größeren Verankerungslängen von z.B. $V = 90$ mm und entsprechender Verankerungstiefe das erforderliche Einschraubdrehmoment so groß ist, daß die Schrauben für die praktische Ausführung zu schwer eindrehbar sind und u.U. abgedreht werden. Die für Dübel mit $V = 50$ mm Verankerungslänge zu erwartenden Tragfähigkeiten gehen aus den Bildern 12 bis 17 in den Abschnitten 6.5 und 6.6 hervor. Ein signifikanter Unterschied zwischen einer Verankerung im Steinkopf bzw. im Steinläufer war bei Mauerziegeln Mz 250 und Kalksandvollsteinen KSV 150 nicht festzustellen.

In Vollblocksteinen aus Gas- und Schaumbeton nach DIN 4165 liefern die in Bild 1 dargestellten Kunststoffdübel so geringe Dübelauszugkräfte, daß ein wirtschaftlicher Einsatz für die Befestigung von Fassadenkonstruktionen nicht möglich ist. Eine Vergrößerung von Verankerungslänge und Verankerungstiefe bringt bei dieser Verankerungsgrundart keine entscheidende Erhöhung der Tragfähigkeit.

Über die Tragfähigkeit von Dübeln in Vollsteinen aus Leichtbeton nach DIN 18 152 mit natürlichen oder künstlichen Zuschlägen wie Bims, Blähschiefer, Blähton oder Ziegelsplitt liegen in der BAM noch keine Ergebnisse vor. Aus einem Vergleich von stichprobenartigen Ergebnissen an Hohlblocksteinen aus Naturbims und Ziegelsplitt nach DIN 18 151 ist aber zu vermuten, daß die Art der Zu-

schläge die Dübeltragfähigkeit entscheidend beeinflusst und eine Übertragung von Ergebnissen von einer auf die andere Steinart nur anhand der Steinfestigkeitsklasse zumindest noch unsicher ist.

7.2.2 Hohlblocksteine

Hohlblocksteine aus Leichtbeton nach DIN 18 151 weisen neben unterschiedlichen Druckfestigkeiten und Zuschlagarten auch noch unterschiedlich große Hohlräume auf, die vom Fabrikat und dem Steinformat abhängen. Die Breite der konischen Hohlräume schwankt in Verankerungsrichtung der Dübel zwischen 30 mm und 50 mm, die Dicke der Stege zwischen 30 mm und ≥ 40 mm. Damit ist die effektive Verankerungstiefe v_{eff} bei sonst gleicher, auf die Steinoberfläche bezogener Verankerungstiefe v der Dübel von Steinart zu Steinart verschieden (siehe dazu auch Abschnitt 6.7, Bilder 20 und 21). Diese Problematik ist in der BAM noch nicht systematisch verfolgt worden. Als Beispiel für das unterschiedliche Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Hbl-Mauerwerk werden in den Bildern 25 und 26 die Ergebnisse von Dübelauszugversuchen an Bauwerken entsprechend dem Ergänzungsbescheid des IfBt [7] für zwei verschiedene Dübeltypen und zwei Hbl 50 - Steinarten aus Ziegelsplittbeton wiedergegeben. Die Dübelauszugkräfte $\max F_Z$ sind in diesen Bildern in Abhängigkeit vom Einschraubdrehmoment M_D aufgetragen. Diese Darstellungsweise gibt außer der Zuordnung von $\max F_Z$ und M_D auch die Streuung der Einzelwerte wieder. Bei den in den beiden Bildern dargestellten drei Versuchsreihen sind die Befestigungseinheiten entsprechend dem Verankerungsraster der Fassadenunterkonstruktion auf die Wandoberfläche verteilt worden.

Der Einfluß von Dübeln unterschiedlicher Verankerungslänge V auf die Dübeltragfähigkeit bei gleicher Steinart ist in Bild 25 dargestellt. Für die Dübel C 10 mit $V = 50$ mm Verankerungslänge, deren Verankerungslöcher mit Schlagbohrung hergestellt wurden, besteht kein funktionaler Zusammenhang zwischen der Dübelauszugkraft und dem Einschraubdrehmoment. Die rechts der "einhüllenden" Geraden eingezeichneten Meßwerte sind bis auf eine Ausnahme alle an Dübel-einheiten ermittelt worden, die im Bereich von Steinstegen gesetzt waren. Die in den Steinquerschnitten dargestellten möglichen Dübel-

lagen gelten für idealisierte Dübellagen. Am Bauwerk gehen diese Dübellagen wegen der örtlichen Gegebenheiten ineinander über. Ein Vergleich der in Bild 25 eingetragenen unteren Grenzwerte $F_{z(15;90)}$ (Fraktilen und der daraus errechneten zulässigen Dübeltragkräfte F_1 , auf deren Ermittlung im Abschnitt 8 noch eingegangen wird, zeigt den Einfluß der größeren Verankerungslänge V , der Verankerungstiefe v sowie der Bohrart auf die Dübeltragfähigkeit und verdeutlicht die Wichtigkeit der richtigen, auf die Steinart abgestellten Dübelauswahl. Für den Dübel C 10 L mit $V = 90$ mm ist die zulässige Dübeltragkraft mit $F_1 = 0,45$ kN (45 kp) rund 1,8 mal so groß wie für den Dübel C 10 mit $V = 50$ mm.

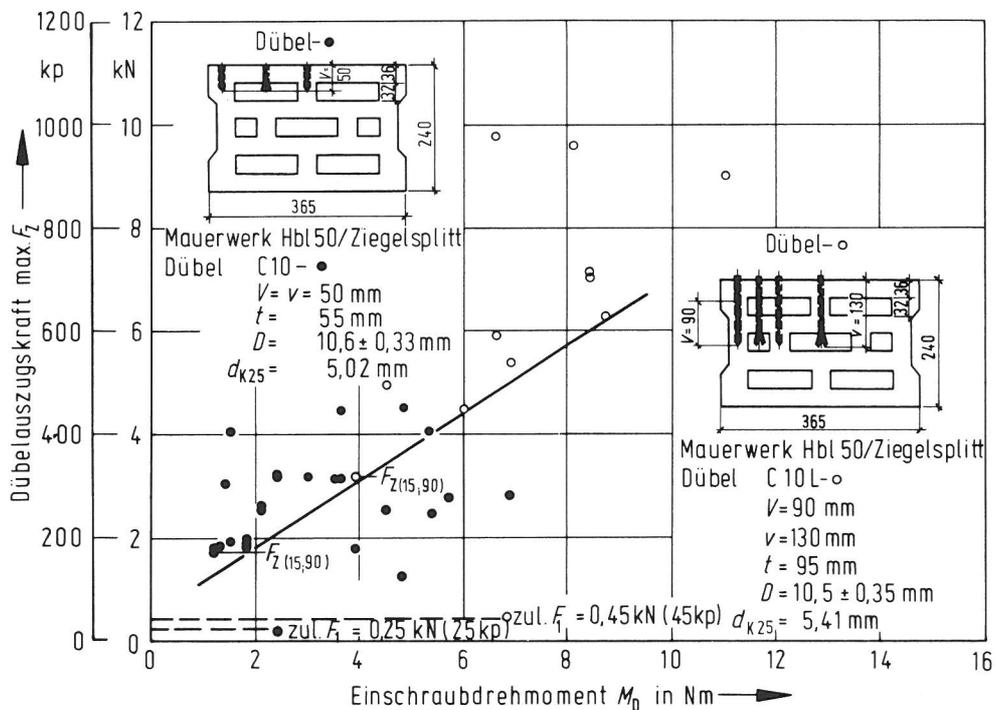


Bild 25: Einfluß unterschiedlicher Verankerungslänge auf die Dübelauszugkräfte am Bauwerk bei Hbl-Mauerwerk

In Bild 26 sind für den Dübeltyp C 10 L mit $V = 90$ mm Verankerungslänge die Dübelauszugkräfte in Abhängigkeit vom Einschraubdrehmoment für zwei verschiedene Steinquerschnitte von Hbl 50 - Steinen eingetragen. Bei beiden Versuchsreihen wurden die Verankerungslöcher mit Bohrmaschinen ohne Schlagwerkeinstellung gebohrt. Die Darstellung der idealisierten Dübellagen zeigt, daß bei dem 300 mm

breiten Stein aufgrund der Hohlkammeranordnung und Kammerbreite die Dübellagen am Bauwerk nur zwischen zwei idealisierten Dübellagen variieren können, während bei dem 240 mm breiten Stein vier idealisierte Dübellagen möglich sind, zwischen denen die Dübel am Bauwerk gesetzt werden können. Die effektiven Verankerungstiefen v_{eff} im vollen Material, bezogen auf die Verankerungslänge V der Dübel, betragen bei den 300 mm breiten Steinen zwischen $v_{\text{eff}} = 26$ mm und $v_{\text{eff}} = 90$ mm. Die zulässigen Dübeltragkräfte sind für den 240 mm breiten Stein mit $\text{zul } F_1 = 0,45$ kN (45 kp) unter den gegebenen Bedingungen rund 1,7 mal so groß wie für den 300 mm breiten Stein. Wie groß dabei der Einfluß der um 20 mm größeren Verankerungstiefe beim 240 mm breiten Hbl-Stein ist, kann aus diesen, unter Bauwerksbedingungen ermittelten Versuchsergebnissen nicht abgeleitet werden (siehe dazu auch Bild 20 in Abschnitt 6.7).

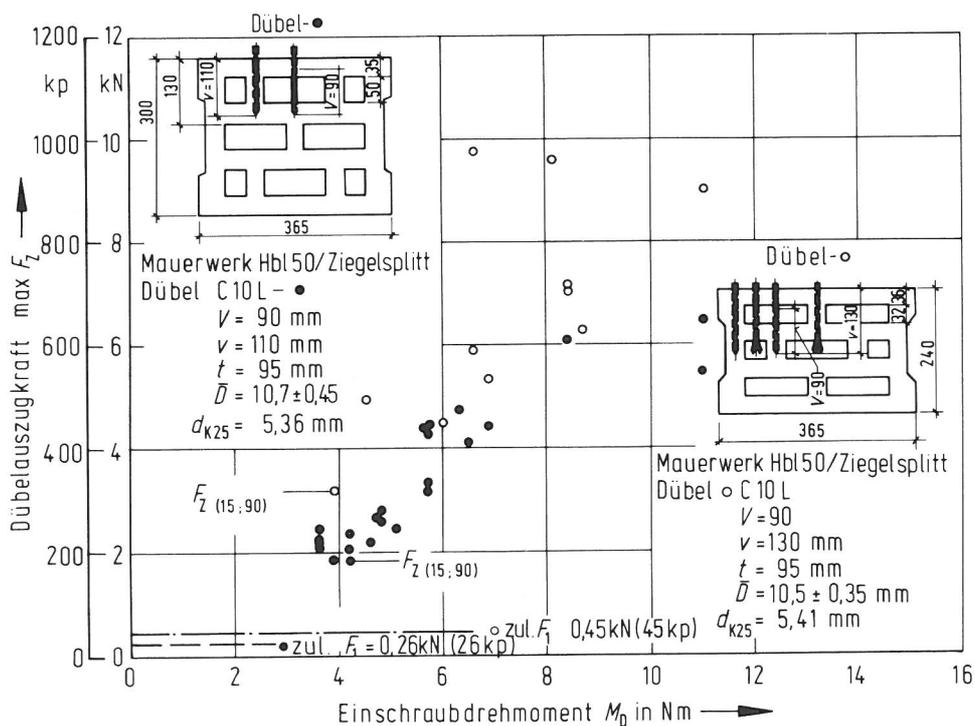


Bild 26: Einfluß von Steinart und Verankerungstiefe auf die Dübelauszugkraft bei Hbl-Mauerwerk am Bauwerk

7.2.3 Lochsteine

Kalksandlochsteine nach DIN 106 oder Lochziegel nach DIN 105 werden in verschiedenen Steinformaten mit sehr unterschiedlichen rechteckigen oder zylindrischen Hohlräumen und nach sehr verschiedenen Verfahren hergestellt. Die Herstellungsverfahren bewirken vielfach - besonders bei gebrannten Leicht- und Lochziegeln - innere Spannungszustände im Stein. Diese Eigenspannungszustände beeinträchtigen die Gebrauchstauglichkeit der Steine im Mauerwerk im allgemeinen nicht. Bei der Verankerung von Bauteilen mit Spreizdübeln in diesen Steinen genügen aber vielfach schon geringe Spreizkräfte, um das Steinmaterial zu zerstören. Dadurch können u.U. nur sehr geringe Verankerungskräfte aufgenommen werden, so daß ein wirtschaftlicher Einsatz von Kunststoff-Spreizdübeln bei derartigen Steinen nicht möglich ist. Bei Tastversuchen in Leichtziegelmauerwerk LMz 75/10 DF mit Dübeln C 10 L ($v = V = 90 \text{ mm}$) ergaben sich beispielsweise Dübelauszugkräfte von nur $\max F_z = 0,59 \text{ kN}$ (59 kp) bis $\max F_z = 0,73 \text{ kN}$ (73 kp). Außer diesen grundsätzlichen Schwierigkeiten bei dem Einsatz von Dübeln in Lochsteinen gibt es noch spezifische Eigenschaften

Dübellagen 1 2 3

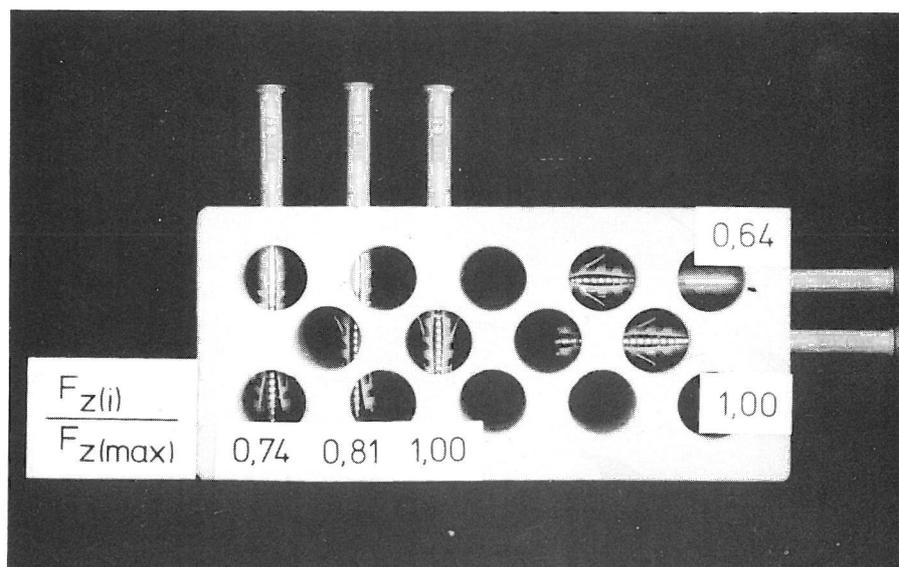


Bild 27: Beispiele für mögliche Dübellagen innerhalb eines Kalksandlochsteines mit Verhältniswerten der mittleren Dübelauszugkräfte

die durch die Anordnung der Hohlräume bestimmt werden. In Bild 27 sind als Beispiel für den Einfluß der Dübellage auf die Dübeltragfähigkeit die Verhältniszerte der mittleren Dübelauszugkräfte bei verschiedener Hohlraumlage von Dübeln C 10 L (Prototyp mit $V = 90 \text{ mm}$) im Querschnitt eines Kalksandlochsteines dargestellt. Die Dübelauszugkräfte können danach - je nach Lage der Dübel im Steinquerschnitt - bis auf den 0,64-fachen Wert der Dübelauszugkraft der günstigsten Lage abnehmen. Die Kraftunterschiede entstehen durch die verschiedenen Verzahnungs- und Spreizmöglichkeiten der Dübel und sind damit auch vom Dübeltyp abhängig.

Schwierigkeiten bereitet bei der praktischen Ausführung vielfach das zentrische Eindrehen der Schrauben. Bei "angeschnittenen Hohlräumen" (z.B. Lage 2 in Bild 27) folgen die Schrauben beim Eindrehen dem geringsten Widerstand und werden in Richtung der Hohlräume verbogen, so daß ein zentrischer Sitz im Dübel nicht gewährleistet ist. In Extremfällen konnte sogar ein seitliches Ausweichen der Schrauben aus dem Dübel heraus beobachtet werden.

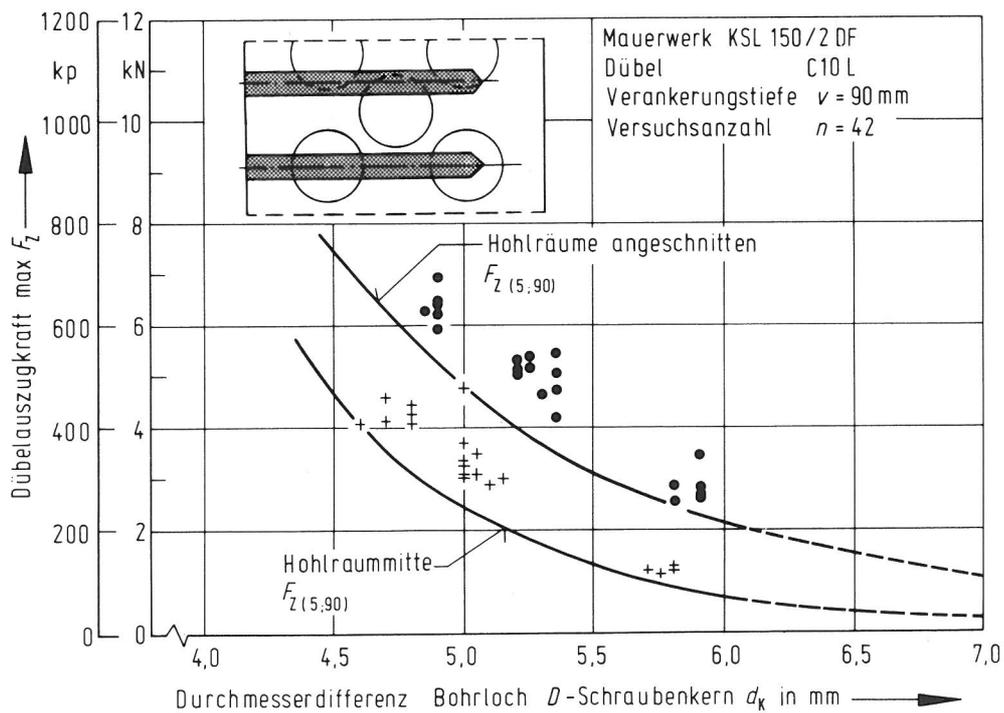


Bild 28: Einfluß der Dübellage in KSL-Steinen auf die Dübelauszugkraft $\max F_z$ und die untere Fraktile $F_{z(5;90)}$
Einschraubtiefe $t = 95 \text{ mm}$

Das Bild 28 zeigt die in Laborversuchen ermittelte Abhängigkeit der Dübelauszugskraft von der Durchmesserdifferenz Bohrloch D - Schraubenkern d_K bei zwei verschiedenen Hohlraumlagen (Lagen 1 und 2 in Bild 27) für den Dübeltyp C 10 L mit $V = 90$ mm und die gleiche Steinart KSL 150 wie in Bild 27.

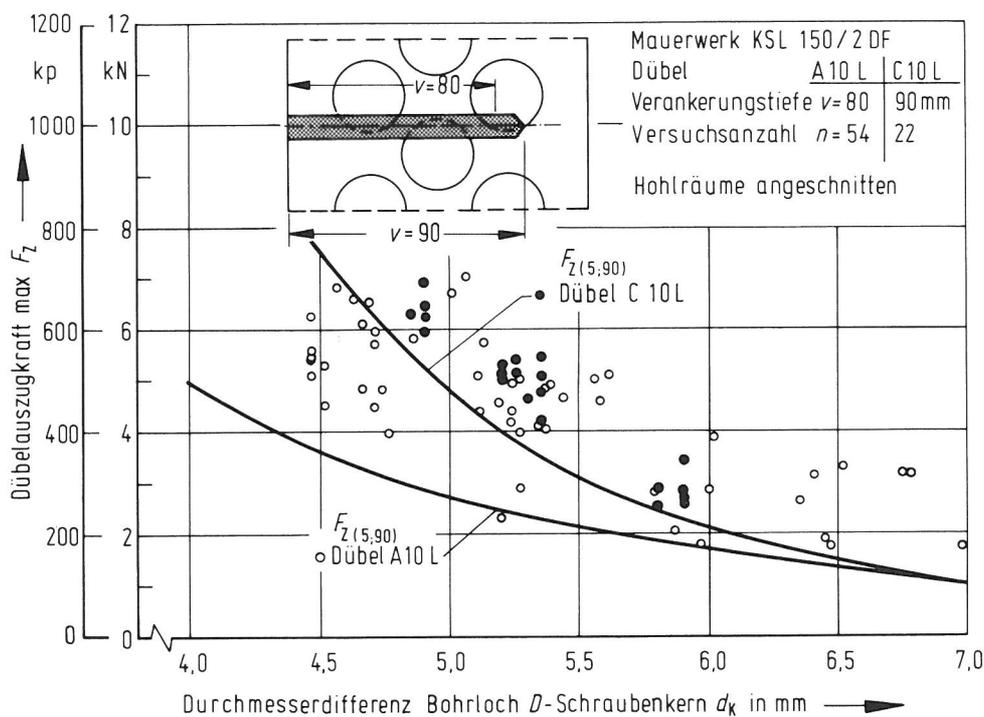


Bild 29: Einfluß des Dübeltyps auf die Dübelauszugskraft max F_z und die untere Fraktile $F_z(5;90)$ in KSL-Mauerwerk

Den Einfluß von Dübeltyp und Verankerungslänge V auf die Dübelauszugskraft spiegelt das Bild 29 besonders deutlich wider. Bemerkenswert ist die wesentlich größere Streuung der Versuchsergebnisse für den Dübeltyp AL 10 und der erhebliche Unterschied der Fraktilekurven $F_z(5;90)$.

Wie stark wirken sich diese Einflüsse nun auf die Ergebnisse von Dübelauszugversuchen am Bauwerk nach dem Ergänzungsbescheid des IfBt [7] aus? Dazu sind die Dübelauszugkräfte von drei an Bauwerken durchgeführten Versuchsreihen in Abhängigkeit von den Einschraubdrehmomenten in den Bildern 30 und 31 dargestellt worden. Wie schon in Abschnitt 7.2.2 erwähnt, hat sich diese Darstellungsweise bei der Auswertung von Bauwerksversuchen bewährt, da dabei sowohl die Streuung der Meßwerte wie auch die Zuordnung von Dübelauszugkraft und Einschraubdrehmoment erkennbar sind. Bei allen drei Versuchsreihen wurden die Dübel entsprechend dem Verankerungsraster der Fassadenkonstruktion unter Beachtung der Rand- und Eckabstände (siehe Abschnitt 7.4) in die Steine des KSL-Mauerwerks gesetzt. Die Querschnitte des Steinformates 2 DF entsprachen dem in den Bildern 3 und 27 dargestellten Steinquerschnitt, die des 3 DF-Formats dem in Bild 3, Reihe 3 unten, wiedergegebenen Querschnitt.

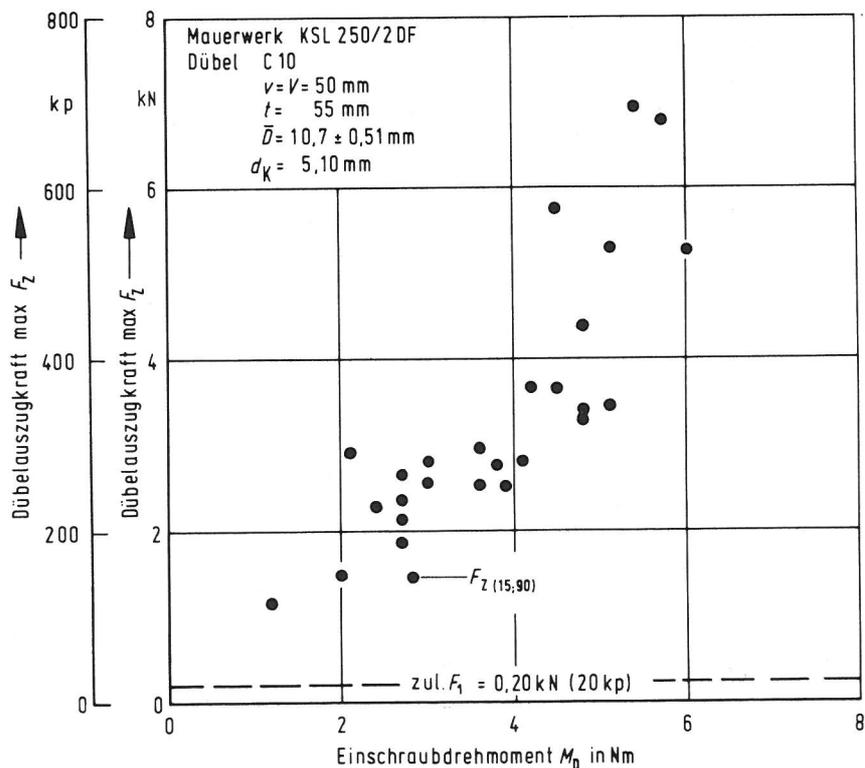


Bild 30: Abhängigkeit der Dübelauszugkraft vom Einschraubdrehmoment für Dübel C 10 in Mauerwerk KSL 250/2 DF

Bei allen drei Versuchsreihen steigt die Dübelauszugskraft mit wachsendem Einschraubdrehmoment an. Die Versuchsergebnisse streuen in allen Fällen erheblich. Im ungünstigsten Falle liegt die Spannweite der Einzelwerte zwischen rund $\max F_Z = 1 \text{ kN}$ (100 kp) und $\max F_Z = 7 \text{ kN}$ (700 kp). Die aus diesen Ergebnissen errechnete zulässige Dübeltragkraft beträgt für den verwendeten Dübel C 10 (V = 50 mm) zu $F_1 = 0,20 \text{ kN}$ (20 kp), (Bild 30). Die Bohrlöcher waren in diesem Falle mit Schlagbohrung hergestellt worden.

Die Ergebnisse von zwei, mit dem gleichen Dübeltyp C 10 L an zwei verschiedenen Bauwerken mit unterschiedlichen Wanddicken, Steinformaten und Verankerungstiefen durchgeführten Versuchsreihen sind in Bild 31 dargestellt. Bei dem KSL-Steinformat 3 DF mit großen ovalen Griffschlitzen ließen sich die Schrauben in Dübeln C 10 L bei einer Verankerungstiefe von $v = 90 \text{ mm}$ nicht festschrauben.

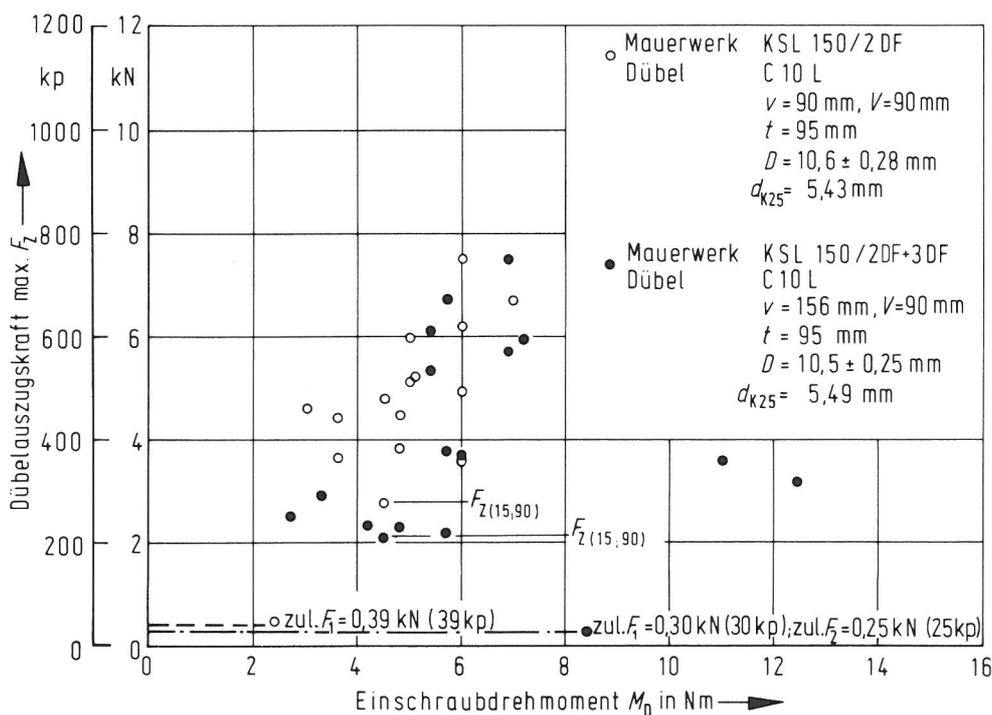


Bild 31: Abhängigkeit der Dübelauszugskraft vom Einschraubdrehmoment für Dübel C 10 L mit zwei verschiedenen Verankerungstiefen in Mauerwerk KSL 150/2 DF, KSL 150/2 DF + 3 DF

Die deshalb verwendete größere Verankerungstiefe von $v = 156$ mm in Mauerwerk KSL 150/2 DF + 3 DF bewirkte gegenüber den mit $v = 90$ mm in Mauerwerk KSL 150/2 DF durchgeführten Versuchen keine Erhöhung der Dübeltragfähigkeit. Die zulässige Dübeltragkraft war trotz der wesentlich größeren Verankerungstiefe $v = 156$ mm erheblich geringer und erreicht wegen des größeren Schlupfes dieser Dübelverbindungen nur einen Wert von zul $F_2 = 0,25$ kN (25 kp) gegenüber zul $F_1 = 0,39$ kN (39 kp) für die Verankerungstiefe von $v = 90$ mm. Wie weit die unterschiedliche Form der Hohlräume der 2 DF- und 3 DF-Formate dieses Ergebnis beeinflusst hat, kann aus diesen Versuchsergebnissen nicht abgelesen werden, da für die Versuchsdurchführenden Steinformat und Steinquerschnitt von der Wandoberfläche her nicht erkennbar waren.

7.3 Fugen

Problematisch ist eine allgemeine Beurteilung der Tragfähigkeit von Dübeln, die in Fugen gesetzt sind. Abgesehen von der unterschiedlichen Zusammensetzung, Qualität und Festigkeit der Mörtel spielt die handwerkliche Ausführung der Fugen im Mauerwerk eine erhebliche Rolle. Laborversuche liefern aus diesem Grunde oftmals keine repräsentativen Werte für die Dübeltragfähigkeit am Bauwerk.

Die umfassendsten Erfahrungen zu dem Problem der Verankerung von Dübeln in Fugen konnten auf einer Baustelle mit bereits fertiggestellter Fassadenunterkonstruktion gesammelt werden. Die bauausführende Firma traute der Verankerung in KSL-Steinen nicht und setzte deshalb die Dübel C 10 R ($V = 50$ mm) grundsätzlich in Lagerfugen. Die mit Bohrkronen von 10,3 mm Durchmesser gebohrten, meist ovalen Löcher, wiesen mittlere Durchmesser bis zu $D = 12,2$ mm auf. Von 17 geprüften Dübeln waren 2 Dübel völlig lose, die Dübelauszugkräfte der restlichen 15 Dübel lagen zwischen max $F_z = 0,55$ kN (55 kp) und max $F_z = 3,3$ kN (33 kp), im Mittel bei $\bar{F}_z = 1,8$ kN (180 kp). Die nach dem Ergänzungsbescheid [7] errechnete zulässige Dübeltragkraft ergab einen Wert von zul $F_1 = 0,08$ kN (8 kp). Sie betrug damit nur rund ein Sechstel der bei der statischen Berechnung angesetzten Dübeltragkraft von zul $F_z = 0,5$ kN (50 kp). Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit Erfahrungen, die in Einzelfällen an anderen Bauwerken gesammelt wurden.

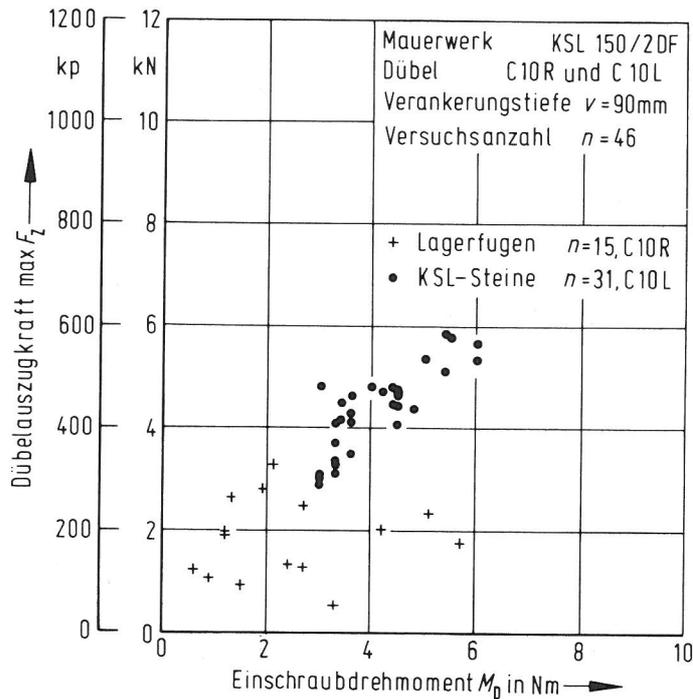


Bild 32: Einfluß der Dübellage Fuge - KSL - Stein auf die Dübelauszugkräfte

Die in den Versuchen ermittelten Dübelauszugkräfte sind in Bild 32 über den zugehörigen Einschraubdrehmomenten aufgetragen. Diese Darstellung zeigt, daß im Lagerfugenbereich keine eindeutige Zuordnung von Einschraubdrehmoment und Dübelauszugkraft möglich ist. Vergleichsweise sind in das Diagramm Prüfungsergebnisse von Dübelauszugkräften eingezeichnet, die sich für einen Dübeltyp C 10 L mit $V = 90\text{ mm}$ Verankerungslänge in Mauerwerk aus KSL-Steinen ergaben.

Auch dieses Beispiel beweist, daß die Dübeltragfähigkeit durch eine richtige, auf den Verankerungsgrund abgestellte Dübelwahl entscheidend verbessert werden kann.

7.4 Eck- und Randlagen

Bei der Untersuchung des Einflusses der Rand- und Ecklagen von Dübeln mit Durchmessern $d = 10$ mm und Schrauben vom Durchmesser 7 mm und 8 mm sind bis zu einem Achsabstand der Dübel von 15 mm bei vollfugig vermauertem Kalksandlochstein-, Kalksandvollstein- und Mauerziegel-Mauerwerk, solange äußerlich keine erkennbaren Zerstörungen auftraten, auch keine signifikanten Minderungen der Dübelauszugkräfte festgestellt worden. Anders war der Sachverhalt bei sehr dicken Schrauben und ausgekratzten Fugen, bei denen die Steine teils sofort beim Eindrehen der Schrauben, teils nach einer gewissen Einwirkungszeit der Spreizkraft Risse bekamen (siehe Abschnitt 7.5). Besondere Aufmerksamkeit ist dem Randabstand bei altem Mauerwerk aus Steinen und Fugenmörteln unbekannter Festigkeit zu widmen, bei dem nach den in der BAM vorliegenden Erfahrungen ein Rand-Achsabstand der Dübel von mindestens 25 mm nicht unterschritten werden sollte.

Bei Hohlblockstein-Mauerwerk muß der Randabstand zur Stoßfuge hin dagegen größer gewählt werden als bei Vollsteinen, weil die Dübel bei einem Randabstand von 15 mm, der der Tiefe der Stirnseitennut der Steine entspricht, im Fugenmörtel sitzen. Der Mindestrandabstand zur Stoßfuge sollte deshalb mindestens 33 mm betragen (nach DIN 18 151

$$e + \frac{b}{2} = 15 + \frac{35}{2} = 33 \text{ mm} \quad \text{bzw.} \quad e + \frac{b}{2} = 15 + \frac{30}{2} = 30 \text{ mm}).$$

7.5 Spreizrichtung

Als letzter der praktisch nicht beeinflussbaren Parameter wird die Spreizrichtung der Dübel behandelt. Besonders bei Bauwerken, bei denen der Verankerungsgrund mit Putz- oder Isolierschichten versehen ist, kann die Lage der Dübel im Stein bezüglich der Fugen im allgemeinen nicht bestimmt werden. Die Spreizrichtung spielt aber gerade in Eck- und Randbereichen von Steinen und Bauwerken eine wichtige Rolle. Wie bereits in Abschnitt 6.2 berichtet wurde, kann der maximale Spreizdruck bei einem Dübel vom Typ C 10 bis zu $\max p = 50 \text{ MN/m}^2$ (500 kp/cm^2) betragen. Im Labor sind vollfugig vermauerte Probekörper von 125 cm Länge und 24 cm Dicke aus Kalksandvollsteinen KSV 150/NF von Dübeln A 10 mit Holzschrauben $\varnothing 8$ mm

auseinandergedrückt worden, die mit Spreizrichtung zum freien Mauerwerksrand in die dritte Steinschicht (Läuferschicht) gesetzt worden waren. Bei freien Mauerwerkskanten, wie Fensterbrüstungen, Attiken oder Gebäudeecken, sind deshalb ausreichende Randabstände und die Spreizrichtung der Dübel zu beachten.

In hohlraumhaltigen Steinen beeinflußt die Spreizrichtung die Dübeltragfähigkeit ebenfalls. Bei Hohlblocksteinen werden die 30 mm bis ≥ 40 mm breiten Querstege beim Spreizen der Dübel in Richtung der Hohlräume häufig zerdrückt. An Kalksandlochsteinen KSL 150 ergaben sich für die Dübellage "Hohlraummitte" (Lage 1 in Bild 27) signifikant verschiedene Auszugkräfte je nachdem, ob die Spreizung der Dübel in Richtung der Mantellinie oder in Umfangsrichtung der zylindrischen Hohlräume erfolgte. Die Größe der Beeinflussung ist in diesem Falle außer von der Gestalt und Größe der Hohlräume auch noch vom Dübeltyp, d.h. für diesen Fall besonders von der Ausbildung der Spreizungen abhängig. Die vielfältigen Einflußmöglichkeiten und Wechselwirkungen erlauben bei hohlraumhaltigen Steinen keine allgemeingültigen Angaben über die günstigste Spreizrichtung bezüglich der von außen her nicht zu erkennenden Hohlräume.

8. Folgerungen für die Praxis

Die Vielfalt der allein in der baulichen Ausführung begründeten Einflüsse könnte dazu verleiten, Kunststoffdübel zur Befestigung von Bauteilen grundsätzlich auszuschließen. Das hieße aber, an den Bedürfnissen der Baupraxis vorbeizugehen und eine Technologie aufzuhalten, die sich in vielen Fällen bereits bewährt hat. Zur Einschränkung des sicherheitstechnischen Risikos sind aber bestimmte Maßnahmen unerläßlich.

Die Bauaufsichtsbehörden haben bereits Schritte unternommen und die Anwendung von Kunststoffdübeln in ihrem Zuständigkeitsbereich für zulassungspflichtig bzw. zustimmungspflichtig erklärt. Dieser Schritt allein reicht aber nicht aus, da den oft nur angelernten Handwerkern die Gründe und Zusammenhänge für die in den Zulassungen festgelegten Bestimmungen unbekannt sind. Für die Verwendung von Kunststoffdübeln in Gebieten des bauaufsichtlichen Bereiches ist deshalb in Zukunft von den Anwendern eine spezielle handwerk-

liche Ausbildung zu fordern, die dem jeweiligen Stand der Technik entspricht und eine unsachgemäße Anwendung - wie sie selbst bei zugelassenen Dübeln möglich ist - ausschließt. Solange dieses Ziel noch nicht erreicht ist und grundlegende Kenntnisse in der Praxis nicht in ausreichendem Maße vorliegen, tragen Hersteller und Materialprüfanstalten ein erhöhtes Maß an Verantwortung. Sie müssen vereint durch eine umfassende fachliche Beratung diese Lücke zu schließen versuchen. Nur auf diesem Wege kann in der Zwischenzeit eine sachgerechte, dem jeweiligen Anwendungszweck angepaßte Auswahl und sichere Anwendung von Kunststoffdübeln erreicht werden.

In den bis jetzt vorliegenden Zulassungsbescheiden [6,7] sind aufgrund der geschilderten bautechnischen Einflüsse auf das Tragverhalten von Kunststoffdübelverbindungen folgende Feststellungen getroffen worden:

1. Kunststoffdübel für Fassadenbekleidungen dürfen nur als Befestigungseinheiten, bestehend aus einer Dübelhülse mit Spreizteil und einer definierten Schraube verwendet werden.
2. Die Abmessungen der Schrauben,
Gesamtlänge,
Länge des Gewindeteils,
Schaftdurchmesser,
Gewindedurchmesser,
Kerndurchmesser sowie die
Durchmessertoleranzen
sind Bestandteile der Zulassung.
3. Die Einschraubtiefe der Schrauben muß kontrollierbar sein, z.B. durch Eindrehen der Schrauben bis zum Rand der Dübelhülse.
4. Die Verankerungslänge V muß auf der Dübelhülse gekennzeichnet und damit die Verankerungstiefe v der Dübel erkennbar und kontrollierbar sein.
5. Das Eckmaß der Hartmetallschneide der Bohrer darf den Nenn-durchmesser der Dübel nicht um mehr als 0,4 mm überschreiten.
6. Die Bohrlöcher sind sorgfältig rechtwinklig zur Oberfläche zu bohren. Ein Hinweis auf eine Einschränkung des Schlagbohrens bei bestimmten Verankerungsgrundarten fehlt z.Z. noch (siehe Abschnitt 6.8).

7. Die Bohrlochtiefe muß die Verankerungstiefe der Dübel um mindestens 10 mm überschreiten.
8. Dübel und Schrauben dürfen nur einmal montiert werden. Eine Einschränkung des Mehrfacheinbaus von Dübeln in vorhandene Bohrlöcher ist in den Zulassungen noch nicht berücksichtigt (siehe Abschnitt 6.9).
9. Für die Verankerung von Kunststoffdübeln in Bauteilen aus Beton und Stahlbeton darf eine Mindestbauteildicke von 10 cm nicht unterschritten werden. Die Bohrlochüberdeckung muß mindestens 2 cm betragen.
10. Das Einschraubdrehmoment ist an 3 % der gesetzten Dübel zu kontrollieren. Mindesteinschraubdrehmomente sind in Abhängigkeit von dem Dübeltyp und Dübeldurchmesser festgelegt.
11. Bei der Herstellung von Dübelverbindungen muß der mit der Verankerung von Dübeln betraute Unternehmer oder der von ihm beauftragte Bauleiter oder ein fachkundiger Vertreter des Bauleiters auf der Baustelle anwesend sein.

Unter Berücksichtigung dieser sowie noch weiterer, z.B. die Materialeigenschaften der Kunststoffdübel betreffende Bestimmungen, sind für

- Wände aus Normalbeton nach DIN 1045 mindestens der Betonfestigkeitsklasse B_n 150,
- Mauerwerkswände aus ungelochten Vollziegeln nach DIN 105 der Druckfestigkeit 15 MN/m² (150 kp/cm²) mit mindestens Mörtelgruppe II nach DIN 1053 und
- Mauerwerkswände aus ungelochten Kalksand-Vollsteinen nach DIN 106 mindestens der Druckfestigkeit 15 MN/m² (150 kp/cm²) mit mindestens der Mörtelgruppe II nach DIN 1053

aufgrund von anderenorts durchgeführten Laborversuchen für Dübel von 10 mm Durchmesser zulässige Dübeltragkräfte zu $F = 0,8 \text{ kN}$ (80 kp) für Zug- und Schrägzugbeanspruchung festgelegt worden.

Eine reine Zugbelastung der Kunststoffdübel infolge Fassadeneigengewicht ist nicht zulässig. Die ständige Zugbelastung der Dübel bei einer Schrägzugbelastung der Verbindungen infolge Fassadeneigengewicht darf 20 % der zulässigen Werte für Schrägzuglast nicht überschreiten. Darüber hinaus sind in der Zulassung noch weitere Bestimmungen enthalten, auf die im Rahmen dieses Berichtes nicht eingegangen wird.

Bei der Anwendung der ersten Zulassung für Kunststoffdübel vom Dezember 1975 [6] stellte sich jedoch sehr bald heraus, daß die Bedürfnisse der Praxis in viel größerem Maß auf andere Verankerungsgrundarten wie Hohlblockstein-, Kalksandlochstein-, Leichtziegel-Mauerwerk und dergleichen gerichtet sind. Ferner zeigte sich, daß die aufgrund von Laborversuchen an Einzelsteinen geforderten zusätzlichen Bedingungen wie

- Kantenabstand der Dübel zum Steinrand mindestens 3,5 cm zur Lagerfuge und mindestens 6 cm zur Stoßfuge, d.h., daß die Dübel bei strenger Auslegung dieser Vorschrift nicht einmal in die Mitte normalformatiger Steinköpfe gesetzt werden dürften,
- Grundsätzlicher Ausschluß der Verankerung von Dübeln in Lager- oder Stoßfugen, was z.B. gerade in der Altbau- sanierung bei geputzten Fassaden nie auszuschließen ist, zu wenig praxisgerecht sind.

Aus diesem Grunde ist bereits im Januar 1976 eine Ergänzung [7] zur Zulassung für Kunststoffdübel erfolgt, die diese Mängel behebt. Danach darf die Befestigung von Fassadenbekleidungen auch an Mauerwerkswänden aus Hohlkammersteinen oder Lochsteinen und Lochziegeln wie

Mauerziegeln nach DIN 105,
Kalksandsteinen nach DIN 106,
Hüttensteinen nach DIN 398,
Hohlblocksteinen aus Leichtbeton nach DIN 18 151,
Hohlblocksteinen und T-Hohlsteinen aus Beton mit
geschlossenem Gefüge nach DIN 18 153

sowie in Lagerfugen und Stoßfugen erfolgen. Voraussetzung dafür ist aber, daß die Tragfähigkeit der Dübel durch Ausziehversuche mit zertrümmerter Zugbelastung am Bauwerk an wahlweise mindestens 15, 25

oder 35 Dübel unter den ungünstigsten Bedingungen der praktischen Ausführung ermittelt wird. Als unterer Grenzwert zur Berechnung der zulässigen Dübeltragkräfte zu F aufgrund von Bauwerksversuchen ist im Gegensatz zur Auswertung von Laborversuchen, bei denen die 5 %-Fraktile vereinbart wurde, die 15 %-Fraktile mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von $W = 90 \% (F_{z(15;90)})$ festgelegt worden, da in diesem Falle keine Übertragung von Meßergebnissen aus Laborversuchen auf Bauwerksverhältnisse erforderlich ist. Der gegenüber der Fraktile $F_{z(15;90)}$ anzusetzende Sicherheitsbeiwert beträgt unter Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors von 0,7 zur Abdeckung nicht erfaßter Eigenschaften des Kunststoffmaterials und größerer als im Versuch verwendeter Bohrkronendurchmesser $\nu = 5/0,7 = 7,14$ für die Fraktile der Dübelauszugkräfte und $\nu = 3/0,7 = 4,29$ gegenüber der Fraktile der Dübelzugkräfte bei 0,5 mm Schlupf.

Einzelheiten der Auswertung sind im Ergänzungsbescheid [7] ausgeführt. Auf eine wichtige Einschränkung im Ergänzungsbescheid ist besonders hinzuweisen: Sofern die Lage der Dübel bezüglich Stein und Stoß- bzw. Lagerfuge nicht angegeben (z.B. wegen eines vorhandenen Wandputzes oder einer Wärmedämmung) oder aber das Mauerwerk nicht beurteilt werden kann, so ist der in der beschriebenen Weise ermittelte zulässige Wert zu halbieren. Darüber hinaus dürfen die zulässigen Dübeltragkräfte bestimmte Höchstwerte nicht überschreiten, die für Mauerwerk aus folgenden Steinarten betragen:

Hohlblocksteine aus Leichtbeton nach DIN 18 151	0,4 kN (40 kp)
Kalksandlochsteine nach DIN 106	0,5 kN (50 kp)
Hohllochziegel nach DIN 105	0,6 kN (60 kp)

Mit diesem Verfahren konnten von der BAM in zahlreichen Fällen gute Erfahrungen gesammelt und den Bauschaffenden in den meisten Fällen auch geholfen werden. Die aufgrund von Versuchen an Bauwerken ermittelten zulässigen Dübeltragkräfte schwankten bei Mauerwerk aus Kalksandlochsteinen nach DIN 106 zwischen zu $F = 0,20$ kN (20 kp) bis 0,39 kN (39 kp) und bei Mauerwerk aus Hohlblocksteinen nach DIN 18 151 zwischen zu $F = 0,25$ kN (25 kp) bis 0,45 kN (45 kp).

Nach den bisher vorliegenden Prüfungsergebnissen, Kenntnissen und Erfahrungen ist bei Mauerwerk aus Hohlkammersteinen und Lochsteinen eine Festlegung von zulässigen Dübeltragkräften nur anhand der normmäßigen Bezeichnung der Steine und der Steinfestigkeitsklasse vorerst nicht möglich, da die Größe, Art und Lage der Hohlräume wie auch das Steinmaterial die Dübeltragfähigkeit beeinflussen. Im derzeitigen Stadium der Entwicklung wird die Festlegung zulässiger Dübeltragkräfte für bisher nicht untersuchte Untergrund- und Dübelarten auch in absehbarer Zukunft nur über Tragfähigkeitsprüfungen möglich sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Beton 7/76, S. 257
- [2] Manleitner, S.:
Zulassungsbedürftige Baustoffe, Bauteile und Bauarten -
Stahlbeton, Treppen, Dübel.
Mitteilungen Institut für Bautechnik 2/1976, S. 33-36
- [3] Ehrenstein, G.W.:
Bauwerksdübel aus Thermoplasten ...
auch zugelassen als tragende Bauelemente.
Verbindungstechnik, Heft 4, April 1976, 8.Jahrg., S.25-28
- [4] Wagner-Grey, U.:
Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum
Tragverhalten von Spreizdübeln in Beton.
Dissertation TU München, 1976
- [5] Rudolphi, R. u. W. Caemmerer, T.Tanaka:
Zur Berechnung einseitiger Toleranzgrenzen bei empirisch
ermittelten funktionalen Zusammenhängen am Beispiel der
Ermittlung des Zuschlages Z auf die Wärmeleitfähigkeit
 $R_{10, tr}$ für Betone nach DIN 52 612.
Gesundheitsingenieur 95 (1974), Heft 1, S. 11-20
- [6] Zulassungsbescheid des Instituts für Bautechnik, Berlin.
Zulassungs-Nr. Z-21.2-9 vom 3. Dezember 1975
- [7] Bescheid über die Ergänzung des Zulassungsbescheides
vom 3. Dezember 1975 mit Datum vom 12. Januar 1976.

