

Bau- und Baustoffmaschinen



Information

Sichere Befestigung von Kernbohrgeräten



Information

Sichere Befestigung von Kernbohrgeräten

Kartellrechtlicher Hinweis

Dieses Merkblatt dient nur als Anhaltspunkt und bietet dem Anwender einen Überblick und Hilfestellung darüber, den für seine Anwendung richtigen Dübel auszuwählen. Es erhebt weder einen Anspruch auf Vollständigkeit, noch auf die exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Es darf nicht das Studium der relevanten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen ersetzen. Weiter sind die Besonderheiten der jeweiligen Produkte, sowie deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zu berücksichtigen. Von daher sind bei den im Merkblatt angesprochenen Beurteilungen und Vorgehensweisen eine Vielzahl weiterer Konstellationen denkbar.

1 Einleitung

Für den sicheren Betrieb von Maschinen und Geräten auf Baustellen sind vom Betreiber einer Maschine die geltenden gesetzliche Vorschriften sowie die Betriebsanleitungen der Hersteller zu beachten. Die Einhaltung aller einschlägigen Sicherheitsvorschriften liegt in der Verantwortung des ausführenden Unternehmers.

Beim Einsatz von Maschinen auf Baustellen muss der ausführende Unternehmer nicht nur alle einschlägigen Arbeitsschutz-, Unfallverhütungs- und sonstigen Sicherheitsvorschriften (Gesetze, Verordnungen, Bedienungsanleitungen, etc.) beachten, die sich

- auf die Bedienung der Maschine selbst beziehen,

sondern auch diejenigen, die sich

- auf den Einsatz der Maschine in der Umgebung der Baustelle beziehen, z.B.
 - Art und Qualität des Untergrundes
 - Art und Qualität des zu schneidenden Materials
 - Abnutzungszustand der Bohrkronen
 - Ausbildungsstand und Erfahrung des Bedienpersonals
 - Umgebungsbedingungen auf der Baustelle (im Freien / im Gebäude, Lichtverhältnisse, Feuchtigkeit, Wetterbedingungen)

Der Hersteller gibt im Rahmen der Betriebsanleitung Instruktionen zur bestimmungsgemäßen Verwendung und somit zum sicheren Umgang mit der Maschine, aber auch zu vorhersehbaren Fehlanwendungen.

Besonderes Augenmerk beim Einsatz von Kernbohrgeräten liegt auf der sicheren Befestigung der Maschine im Untergrund. Um dies zu gewährleisten, müssen zusätzlich noch die Einflussgrößen auf der Baustelle in Betracht gezogen werden, die für die Betriebssicherheit bedeutsam, aber in Umfang und Ausprägung schwer vorhersehbar und in Zahlen fassbar sind. Hier besteht eine Schnittstelle zwischen Hersteller und ausführendem Unternehmen, die die genaue Definition und Trennung der Verantwortungsbereiche erfordert.

In diesem Merkblatt sollen dem ausführenden Unternehmen deshalb alle wesentlichen Informationen gegeben werden, die seitens der Hersteller über die Betriebsanleitungen hinaus zum sicheren Betrieb eines Kernbohrgerätes auf der Baustelle beitragen können.

Zur Erarbeitung dieses Merkblattes hat die Fachabteilung „Baugeräte“ des VDMA Bau- und Baustoffmaschinen den Arbeitskreis „Kernbohrgeräte“ eingerichtet. Die eingebrachten Erfahrungen der Maschinenhersteller zeigen, dass die Zusammenhänge der Einflussgrößen aus Maschine und Baustellenbedingungen komplexer Natur sind. Für den Umgang mit den Hinweisen dieses Merkblattes ist daher eine vertiefte Kenntnis im Bereich der hier angewandten Maschinen- und Befestigungstechnik erforderlich. Die ausführenden Unternehmen sind deshalb angehalten, alle Entscheidungen über die Art der Befestigung der Kernbohrgeräte auf Baustellen nur durch adäquat ausgebildetes und eingewiesenes Personal zu treffen.

Die redaktionelle Ausarbeitung dieses Merkblattes erfolgte durch Prof. Dr.-Ing Detlev Borstell, Hochschule Koblenz, welcher die Arbeit des Arbeitskreises „Kernbohrgeräte“ eng begleitet hat.

2 Zusammenfassung

Hier werden in allgemein verständlicher Form die wesentlichen Inhalte der späteren Kapitel in Form einfacher Merksätze zusammengefasst:

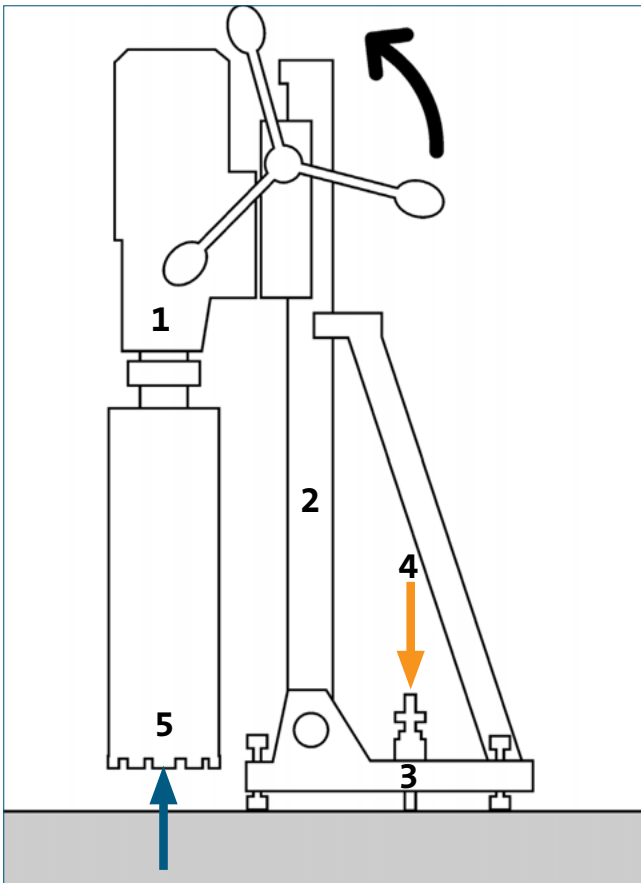
Zusammenfassung	
Beim Aufstellen der Maschine	Die Mutter sollte im vorderen Bereich des Langloches in der Bodenplatte sitzen (grün), nicht im hinteren (roten) Bereich. 
Vor dem Bohren	Es muss sichergestellt werden, dass der Dübel nicht bereits beim Anziehen der Mutter (durch die Vorspannkraft F_v) gelockert oder herausgezogen wird.
	Die Größe der Vorspannkraft F_v auf den Dübel ist wesentlich vom Anzugsverfahren und vom Anzugsmoment der Dübelmutter abhängig.
	Je sorgfältiger und präziser die Mutter angezogen wird (Anzugsverfahren, Drehmoment), je kleiner ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Dübel bereits beim Anziehen gelockert wird.
	Je genauer die Vorspannkraft F_v bestimmt werden kann, je genauer und sicherer wird die Ermittlung der Dübelkraft F .
Beim Bohren	Bei neuen, scharfen Bohrkronen (kleiner Reibungskoeffizient μ) wird die Dübelkraft F größer sein als bei älteren, bereits abgestumpften Bohrkronen (großer Reibungskoeffizient μ).
	Bei neuen, scharfen Bohrkronen reagiert die Dübelkraft F wesentlich empfindlicher auf eine Veränderung von Bohrkronendurchmesser und Drehzahl als bei älteren, bereits abgestumpften Bohrkronen.
	Die Vorspannkraft F_v wirkt immer zusätzlich zu den Betriebskräften beim Bohren.
	Die Größe der Vorspannkraft F_v ist unabhängig von der Größe der Betriebskräfte, die beim Bohren entstehen.
	Kleine Bohrkronendurchmesser mit großen Drehzahlen haben größere Dübelkräfte zur Folge. Der Einfluss des Reibungskoeffizienten μ (alte Bohrkronen / neue Bohrkronen) auf die Dübelkraft F ist jedoch wesentlich größer als der Einfluss von Drehzahl und Bohrkronendurchmesser.
	Bei kleinen Reibungskoeffizienten μ (neue scharfe Bohrkronen) UND einer Positionierung der Gewindestange im roten Bereich des Langloches wird die Dübelkraft F extrem stark ansteigen.

Tabelle 2-1

In diesen Regeln wurde bewusst auf die Darstellung der komplexen Hintergründe verzichtet. Diese Zusammenhänge werden in den folgenden Kapiteln detailliert erläutert.

Der Unternehmer, Vorgesetzte oder interessierte Fachmann muss neben seiner eigenen Erfahrung auch das Wissen um die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen theoretischen und technischen Details in eine Entscheidung für eine bestimmte Befestigung einbringen.

3 Aufbau und Befestigung eines Kernbohrgerätes



Grundsätzlich besteht ein Kernbohrgerät aus

- 1 Bohrkronen mit Motor und Vorschubeinheit
- 2 Linearführung und Stütze
- 3 Bodenplatte

Das Kernbohrgerät wird mit der Boden- oder Grundplatte meist mit Hilfe eines Dübels (4) im Untergrund verankert, um die zum Bohren erforderliche Vorschubkraft an der Bohrkronen (5) abfangen zu können. Entscheidend ist die sichere Verankerung in allen Arbeitspositionen (vertikal im Fußboden, horizontal in der Wand, über Kopf in der Decke).

Abbildung 3-1
Aufbau Kernbohrgerät

Quelle: ????

Die Befestigung erfolgt in der Regel durch ein System „Dübel + Gewindestange + Mutter“



Abbildung 3-2
Dübel (Einschlaganker)

Quelle: Prof. Borstell



Abbildung 3-3
Gewindestange + Mutter

Quelle: Prof. Borstell

Nach dem Bohren eines Loches in den Untergrund wird zunächst der Dübel (Einschlaganker) in das Loch hineingeschlagen. Danach wird die Kernbohrmaschine mit der Fußplatte über dem Loch positioniert und die Gewindestange wird durch das Langloch in der Fußplatte in den Einschlaganker eingeschraubt. Zum Festziehen dient z.B. ein Schraubendreher in der Querbohrung der Gewindestange. Anschließend wird der Dübel mit Hilfe der Mutter angezogen und somit der Dübel im Bohrloch verspannt.

Die vielfältigen Einflussgrößen auf der Baustelle spielen bei der Auswahl der Komponenten des Befestigungssystems (Dübel / Einschlaganker, Gewindestange, Mutter) und der Größe von Dübel und Gewindestange eine entscheidende Rolle. Deshalb müssen diese alle in eine Entscheidung für ein bestimmtes Befestigungssystem und dessen Dimensionen einbezogen werden.

Die wichtigste Kenngröße ist hierbei die auf den Dübel wirkende Kraft – im folgenden Dübelkraft genannt. In den folgenden Abschnitten wird deshalb beschrieben, von welchen Einflüssen diese Kraft abhängt und welche Auswirkungen diese Einflüsse auf die Größe der Dübelkraft haben.

4 Vorgehensweise zur Bestimmung der maximalen Dübelkraft

In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der maximalen Dübelkraft mit Hilfe der Grundlagen der technischen Mechanik beschrieben. In dieser Vorgehensweise sind

- Annahmen,
- Vereinfachungen,
- Einschränkungen und
- Grenzen

enthalten, die beachtet werden müssen.

Grundsätzlich wird für alle folgenden Berechnungen die folgende Geometrie mit den genannten Bezeichnungen für Kräfte und Hebelarme angenommen:

Bezeichnung	Beschreibung
F_1	Vorschubkraft an der Bohrkronen
F_3	Reaktionskraft am vorderen Grundplattenaufleger (Punkt „3“)
F_2	Reaktionskraft am hinteren Grundplattenaufleger (Punkt „2“)
F	Kraft auf den Befestigungsdübel
x_1	Entfernung zwischen der Mitte der Bohrkronen und dem vorderen Grundplattenaufleger
x_2	Entfernung zwischen Dübelmitte und dem hinteren Grundplattenaufleger
x_3	Entfernung zwischen dem vorderen Grundplattenaufleger und der Dübelmitte

Tabelle 4-1

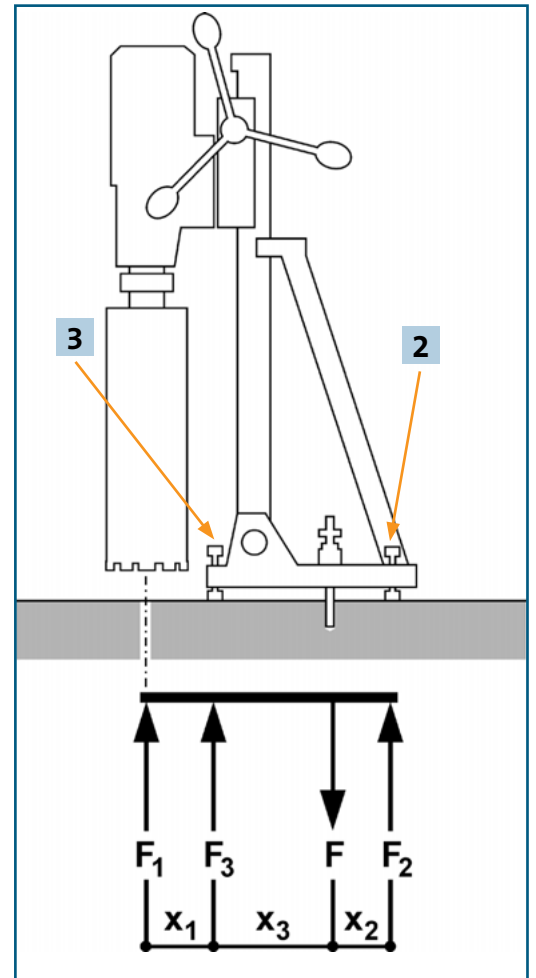


Abbildung 4-1

Quelle: ????

4.1 Mechanische Grundlagen

Grundsätzlich kann die Kraft F auf den Dübel – zunächst ohne Berücksichtigung der Vorspannung auf der Dübelschraube durch das Anziehen der Mutter oder der Schraube – aus den Kräfte- und Momentengleichgewichten am Kernbohrgerät nach Abbildung 4-1 berechnet werden.

Kräftegleichgewicht:

Formel 4-1
$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

Momentengleichgewicht in Punkt „2“ (vgl. Abb. 4-1):

Formel 4-2
$$F_1 (x_1 + x_2 + x_3) + F_3 (x_2 + x_3) - F \cdot x_2 = 0$$

Dies sind drei unbekannte Kräfte. Es stehen zur Lösung jedoch nur zwei Gleichungen zur Verfügung. Da keine weitere Gleichung zur Verfügung steht, muss eine der unbekannt Kräfte mit einem sinnvollen Wert angenommen und damit als bekannt angesetzt werden.

Als Lösungsansatz für diese Problematik soll genau der Moment betrachtet werden, in dem der Bohrständer vorne (bei Punkt „3“ vgl. Abb. 4-1) abhebt, also der Moment, in dem die Kraft $F_3 = 0$ wird.

Mechanische Grundlagen	
F	ist unbekannt und soll ermittelt werden
F_2	ist unbekannt
F_3	ist unbekannt
F_1	kann mit Hilfe des Reibfaktors zwischen Bohrkronen und Material aus dem Motormoment berechnet werden

Tabelle 4-2

Dieser Ansatz stellt jedoch nur einen der möglichen Betriebszustände dar, die zum Herausziehen des Dübels führen können. In der Reihenfolge einer ansteigenden Dübelkraft F sind dies:

Zustand a)

Die Maschine ist noch nicht in Betrieb. Die Dübelschraube wird gerade angezogen. Es muss sichergestellt sein, dass der Dübel nicht bereits beim Anziehen herausgezogen wird. Die Dübelkraft ist hier nur von den Randbedingungen beim Anziehen der Schraube abhängig.

Zustand b)

Die Maschine ist in Betrieb. F_1 steigt an, F_3 ist (noch) > 0 , d.h. das vordere Auflager der Grundplatte steht noch fest auf dem Untergrund. Wenn F_1 steigt, sinkt zwar F_3 , aber F steigt an, so dass die Kraft auf den Dübel so groß werden kann, dass der Dübel herausgezogen wird. Die Dübelkraft F ist jetzt durch das Wirken von F_1 größer als im Zustand a. Dieser Zustand ist durch die statische Überbestimmung nicht mit einfachen analytischen Ansätzen berechenbar.

Zustand c)

Die Maschine ist in Betrieb und F_1 ist so groß geworden, dass das vordere Auflager abgehoben hat und $F_3 = 0$ ist. Dieser Zustand ist praktisch unerwünscht und darf deshalb in der Regel auch nicht vorkommen. Die Gleichungen vereinfachen sich jedoch und F kann mit einfachen analytischen Ansätzen berechnet werden. Wenn $F_{\text{Zustand c}}$ immer noch kleiner sein sollte, als die zulässige Auszugskraft, dann ist dieser vereinfachte Ansatz durchaus sinnvoll anzuwenden, denn wenn der Dübel im Zustand c hält, dann hält er auch im Zustand b ($F_{\text{Zustand c}} > F_{\text{Zustand b}}$). Wenn $F_{\text{Zustand c}}$ jedoch größer ist als die zulässige Dübelauszugskraft, dann ist zu überlegen, ob eine weitere Berechnung für Zustand b durchzuführen ist, oder ob dieses negative Ergebnis ohne weitere Nachrechnung verwendet wird. Diese Entscheidung würde auf der sicheren Seite liegen.

Zusammenfassung:

Zu- stand	Randbe- dingungen	$\sum F$	$\sum M$	Bemerkungen	Folgerung
a	$F_1 = 0$	$F_{\text{Zustand a}} = F_2 + F_3$	$F_3 = F_2 \cdot (x_2/x_3)$	$F_{\text{Zustand a}}$ ist die Vorspannkraft der Dübelschraube, die aus dem Anzugsmoment resultiert	Es muss durch den ausführenden Unternehmer sichergestellt werden, dass der Dübel nicht bereits beim Anziehen der Schraube oder der Mutter gelockert oder herausgezogen wird.
b	$F_1 > 0$ und $F_3 > 0$	$F_{\text{Zustand b}} = F_1 + F_2 + F_3$	nicht erforderlich	nicht einfach analytisch lösbar	Die Ermittlung der Kräfte kann mit Hilfe der FEM ¹ Methode erfolgen. [1]
c	$F_1 > 0$ und $F_3 = 0$	$F_{\text{Zustand c}} = F_1 + F_2$	$F_2 = F_1 \cdot (x_1 + x_3)/x_2$	einfach analytisch lösbar, wenn entweder $F_{\text{Zustand c}}$ oder F_1 bekannt sind	Da das maximale F_1 aus dem Motor-moment berechnet werden kann, kann dieser Ansatz als Grundlage für die vereinfachte Berechnung von F verwendet werden.

Tabelle 4-3

In den folgenden Kapiteln wird deshalb auf die allgemeinen Grundlagen zur vereinfachten Ermittlung der Dübelkraft auf der Grundlage des Zustandes c eingegangen, um diejenigen Größen zu identifizieren, die besonderen Einfluss auf die Größe der Dübelkraft haben.

¹) Die Finite-Elemente-Methode (FEM), auch „Methode der finiten Elemente“ genannt, ist ein numerisches Verfahren zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen. Sie ist ein weit verbreitetes modernes Berechnungsverfahren im Ingenieurwesen und ist das Standardwerkzeug bei der Festkörpersimulation.

4.2 Vereinfachte Kraftberechnung für Zustand c

4.2.1 Kräfte und Reibung an der Schneide der Bohrkronen

Beim Betrieb einer Kernbohrmaschine wird die vertikale Vorschubkraft von Hand an einem Handrad erzeugt und über ein Ritzel/Zahnstange auf die Bohrkronen übertragen. An der Bohrkronen wirkt gleichzeitig eine horizontal wirkende Tangentialkraft aus dem Drehmoment des Motors. Nur die vertikale Vorschubkraft geht als F_1 in die Kräfte- und Momentengleichgewichte zur Bestimmung der am Dübel wirkenden Kraft ein.

Beim Schneiden des Betons stellt sich unter Berücksichtigung der Reibung an der Schnittstelle und des jeweils verfügbaren Motormomentes ein bestimmtes Verhältnis zwischen der vertikalen Vorschubkraft und der horizontalen Tangentialkraft ein. Für die Ermittlung der maximalen Dübelkraft kann davon ausgegangen werden, dass

- das maximale Motormoment anliegt, weil
- die Vorschubkraft gerade so groß ist, dass sie nicht zum Abwürgen des Motors führt.

Das maximale Motormoment des Bohrmotors T ist bekannt. Es kann aus der maximalen abgegebenen Leistung P des Motors und der Drehzahl n bestimmt werden:

$$\text{Formel 4-3} \quad T = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

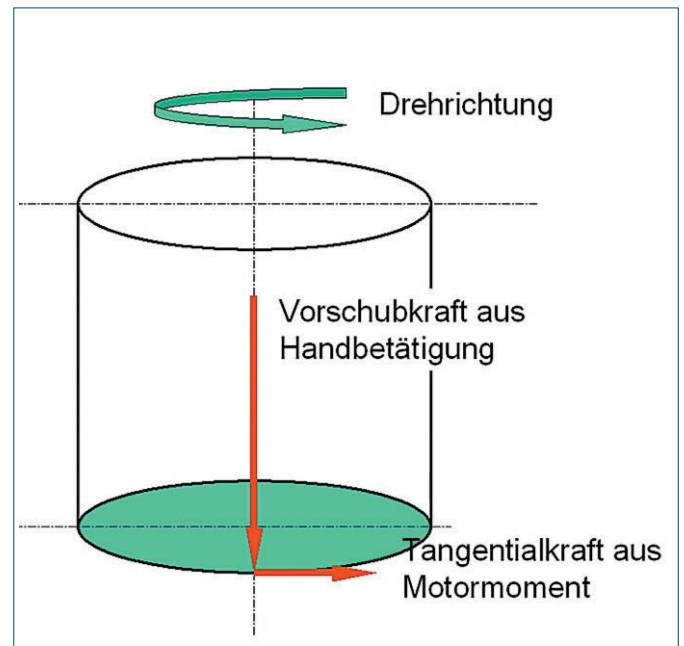


Abbildung 4-2

Quelle: Prof. Borstell

Damit ist die anliegende Vorschubkraft F_1 über das Reibungsgesetz nur noch vom Reibungskoeffizienten μ zwischen Bohrkronen und geschnittenem Material, vom Bohrkronendurchmesser d und vom momentan anliegenden Drehmoment T abhängig.

$$\text{Formel 4-4} \quad F_1 \cdot \mu = F_t = \frac{2T}{d}$$

und es wird

$$\text{Formel 4-5} \quad F_1 = \frac{2 \cdot T}{d \mu}$$

4.2.2 Berechnung der Dübelkraft F

Nach Tabelle 4-3 Zustand c) und mit den Formeln 4-3 und 4-5 lässt sich nun die Dübelkraft (noch ohne Vorspannkraft) berechnen:

Formel 4-6

$$F_{\text{Zustand c}} = F_1 + F_2 = F_1 \cdot \left(1 + \frac{x_1 + x_3}{x_2}\right) = \frac{P}{\pi \cdot n \cdot d \mu} \cdot \left(1 + \frac{x_1 + x_3}{x_2}\right)$$

Durch das Anziehen der Dübelschraube / -mutter entsteht eine Vorspannkraft F_V , die noch zu der gerade ermittelten Dübelkraft dazugezählt werden muss.

Formel 4-7

$$F_{\text{Zustand c}} = F_V + \frac{P}{\pi \cdot n \cdot d \mu} \cdot \left(1 + \frac{x_1 + x_3}{x_2}\right)$$

In dieser Formel sind nun alle wesentlichen Einflussgrößen enthalten:

- der Reibungskoeffizient μ
- die Vorspannkraft F_V
- die abgegebene Leistung P (die auch durch Drehmoment T und Drehzahl n beschrieben werden kann)
- der Bohrkronendurchmesser d
- die Längen x_1 , x_2 und x_3

Die Bedeutung dieser Einflussgrößen für die Dübelkraft wird in den folgenden Abschnitten im Detail verdeutlicht. Hierzu werden in den Berechnungen fiktive, aber realistische Beispielzahlen verwendet.

Fiktive Beispielwerte:

	Beispielwerte	
Maximale Abgabeleistung P	2250	W
Drehzahl bei Volllast n	220 / 420 / 650	min ⁻¹
Kernbohrdurchmesser d	350 / 160 / 100	mm
Länge $x_1 = d_{max} / 2$ (Näherung)	175	mm
Länge $x_2 + x_3$	500	mm
$q = x_2 / x_3$	0,11 bis 9	
Reibungskoeffizient μ	0,14 bis 0,94	
Schrauben- / Dübeldurchmesser	M12	

Tabelle 4-4

4.2.2.1 Einflussgrößen Vorspannungskraft F_v und Reibungskoeffizient μ

Reibungskoeffizient

Reibungskoeffizienten für die Paarung Diamantbohrkrone / Beton sind in der Literatur nicht zu finden. Aus den Kraftmessungen der Hersteller im Jahr 2009 [2] [4] wurde versucht, einen allgemein gültigen Reibwert K_v zwischen Bohrkrone und Beton zu ermitteln. Hierzu wurden mehrere Messreihen durchgeführt, die insgesamt 92 Messwerte ergaben. Die große Streuung der Messwerte bedeutete jedoch, dass eine generelle Annahme für einen allgemein gültigen Reibungskoeffizienten nicht möglich war. Die Beurteilung durch die HS Koblenz ergab:

„ ... in deutlich mehr als 16 von 100 Fällen wird das angenommene $K_v = 0,4$ zu niedrige Dübelauszugskräfte ergeben! Werkstoffkennwerte werden in der Regel mit einer Versagenswahrscheinlichkeit von 2,5% ermittelt. Hiervon sind die 2009 ermittelten K_v -Werte so weit entfernt, dass sie nicht verwendbar sind und eine Messung der Reibwerte an den Bohrkronen erforderlich ist.“ [3]

Es ist an dieser Stelle ersichtlich, dass eine gesicherte Annahme eines allgemeingültigen Reibungskoeffizienten nicht möglich ist und auch seitens der Maschinenhersteller nicht erfolgen kann. Aus diesem Grund wird in diesem Informationsblatt eine Parametervariation für den Reibungskoeffizienten μ durchgeführt, um die Auswirkungen von sehr kleinen ($\mu = 0,05$) bis zu großen Reibungskoeffizienten ($\mu = 0,95$) deutlich zu machen.

Der Einfluss des Reibungskoeffizienten μ ist aus Formel 4-7 (oder auch 4-11) sofort ersichtlich: je größer der Reibungskoeffizient, je kleiner die Dübelkraft. Der Zusammenhang zwischen F und μ ist jedoch nicht linear (siehe Abbildung 4-3).

Bei der Verwendung der hier beschriebenen Vorgehensweise ist es die Aufgabe des ausführenden Unternehmers, den Einfluss des Reibungskoeffizienten μ angemessen zu berücksichtigen.

Vorspannkraft

Die Größe der Vorspannkraft F_v ist wesentlich vom Anzugsverfahren und vom Anzugsmoment der Dübelmutter abhängig.

Für gängige Norm-Schrauben nach DIN werden die Vorspannkraft in Abhängigkeit von Anzugsmomenten, Gewindereibung und Festigkeitsklasse der Schraube in der VDI-Richtlinie 2230 [5] angegeben. Diese Werte können hier als Anhaltspunkte für die Vorspannkraft dienen. In der Regel werden Dübelschrauben die Größen M12 oder M16 haben. Hierfür werden in der VDI 2230 folgende möglichen Vorspannkraften genannt, die bei Verwendung des angegebenen Anzugsmomentes erreicht werden sollten:

Montagevorspannkraft [kN] und dazugehörige Anziehdrehmomente [Nm] nach VDI 2230									
Abmes- sung	Festigk. Klasse	Gesamtreibung im Gewinde							
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	
M12	8.8	45,2	44,1	43,0	41,9	40,7	38,3	35,9	kN bei
		63	73	84	93	102	117	130	Nm
	10.9	66,3	64,8	63,2	61,5	59,8	56,3	52,8	kN bei
		92	108	123	137	149	172	191	Nm
	12.9	77,6	75,9	74,0	72,0	70,0	65,8	61,8	kN bei
		108	126	144	160	175	201	223	Nm
M16	8.8	84,7	82,9	80,9	78,8	76,6	72,2	67,8	kN bei
		153	180	206	230	252	291	325	Nm
	10.9	124,4	121,7	118,8	115,7	112,6	106,1	99,6	kN bei
		224	264	302	338	370	428	477	Nm
	12.9	145,5	142,4	139,0	135,4	131,7	124,1	116,6	kN bei
		262	309	354	395	433	501	558	Nm

Tabelle 4-5

Voraussetzung für den Ansatz einer Kraft für F_V ist weniger das Anziehen der Schrauben mit dem Anziehdrehmoment nach VDI 2230, sondern dass das Anziehdrehmoment und damit die Größe von F_V überhaupt bekannt ist! Dies ist durch das ausführende Unternehmen sicherzustellen.

Für die hier folgenden Berechnungen soll beispielhaft mit einer Gewindereibung von $\mu_{ges} = 0,14$ und einer Schraube (Dübel) M12 der Festigkeitsklasse 8.8 gerechnet werden. Dies ergibt dann folgende zu berücksichtigende Vorspannkraft: M12: $F_V = 41,9$ kN.

Abbildung 4-3 zeigt den Einfluss von Reibungskoeffizient μ und Vorspannkraft F_V auf die Dübelkraft F :

Aus Abbildung 4-3 kann abgelesen werden:

- Die Dübelkraft F wird durch F_V unabhängig von allen anderen Einflussgrößen linear erhöht und hat damit einen entscheidenden und direkten Einfluss auf die Größe der Dübelkraft F .
- Der Zusammenhang zwischen F und μ ist nicht linear!
- Bei kleinen Reibungskoeffizienten treten immer größere Dübelkräfte auf als bei großen Reibungskoeffizienten.
- Bei kleinen Reibungskoeffizienten reagiert die Dübelkraft wesentlich empfindlicher auf Veränderungen als bei großen Reibungskoeffizienten.

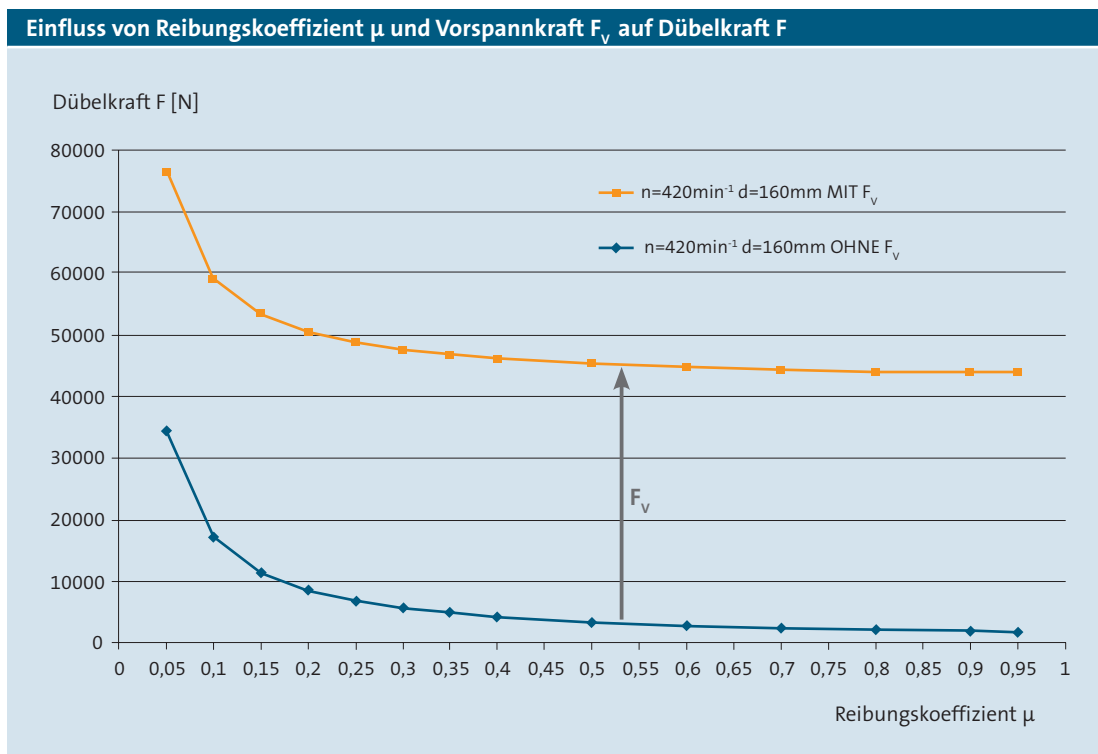


Abbildung 4-3

4.2.2.2 Einflussgrößen Drehzahl und Kernbohrdurchmesser

Der Einfluss von Drehzahl n und Bohrkronendurchmesser d ergibt sich aus Abbildung 4-4:

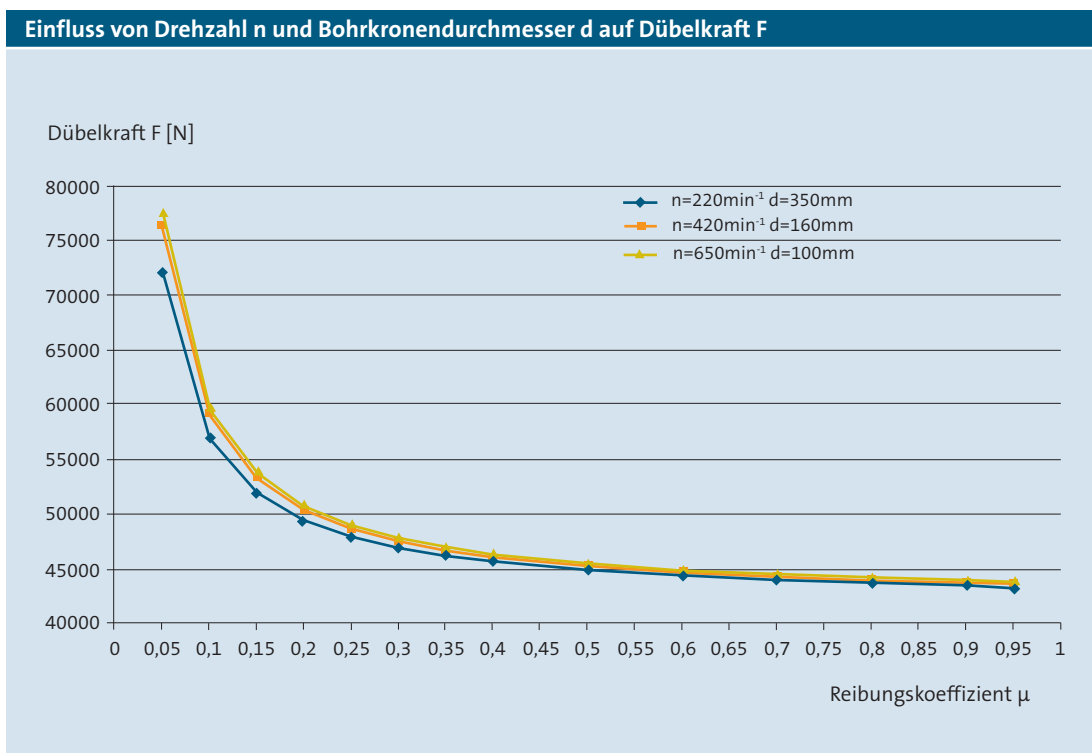


Abbildung 4-4

Aus dieser Darstellung lässt sich die folgende Aussage ablesen:

- Kleine Bohrkronendurchmesser mit großen Drehzahlen haben größere Dübelkräfte zur Folge.
- Bei kleinen Reibungskoeffizienten reagiert die Dübelkraft wesentlich empfindlicher auf Veränderungen von Drehzahl und Bohrkronendurchmesser als bei großen Reibungskoeffizienten.

4.2.2.3 Geometrische Einflussgrößen x_1 , x_2 und x_3

Einflussgröße x_1

Je nach Gestaltung der Bodenplatte kann die Länge x_1 verschieden ausfallen. Für die Beispielrechnung soll x_1 mit der Hälfte des maximal möglichen Bohrkronendurchmessers angenommen werden. Im konkreten Einsatzfall kann x_1 genau bestimmt werden.

Einflussgröße $q = x_2/x_3$

In den Bodenplatten der Kernbohrgeräte sind oftmals Langlöcher, um nach dem Setzen des Dübels vor dem Anziehen der Mutter noch eine genaue Positionierung des Bohrers vornehmen zu können. Die Entfernung des Dübels vom vorderen Plattenaufleger hat ebenfalls einen Einfluss auf die Größe der Dübelkraft. Diese Entfernung kann anhand des Verhältnisses von x_2 zu x_3 beschrieben werden.

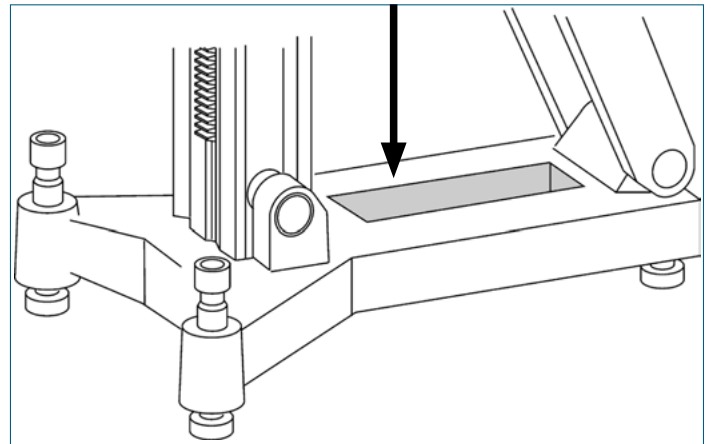


Abbildung 4-5

Quelle: ????

Bei $q = x_2/x_3 = 1$ ist $x_2 = x_3$ und der Dübel sitzt genau in der Mitte zwischen vorderem und hinterem Plattenaufleger.

Wird der Dübel zum vorderen Plattenaufleger verschoben (blauer Pfeil), so wird

$$x_2 > x_3 \text{ und } q = x_2/x_3 > 1.$$

Wird der Dübel zum hinteren Plattenaufleger verschoben (gelber Pfeil), so wird

$$x_2 < x_3 \text{ und } q = x_2/x_3 < 1.$$

Die Länge der Bodenplatte L ist aus den Herstellerangaben meist bekannt und der Lagerabstand $x_2 + x_3$ kann durch diesen Wert angenähert werden:

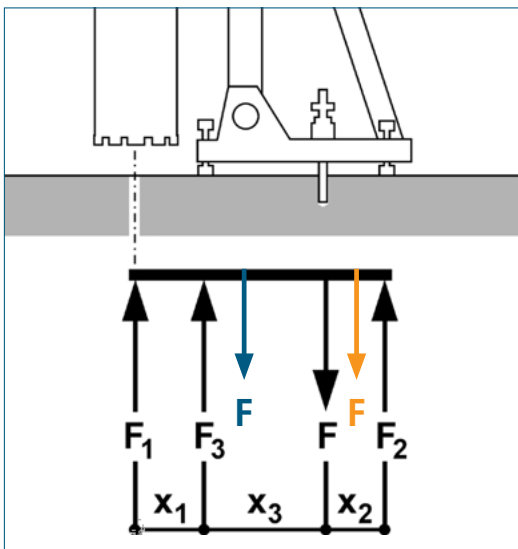


Abbildung 4-6

Quelle: ????

Formel 4-8

$$L = x_2 + x_3$$

Mit Formel 4-8 und q können x_2 und x_3 ersetzt werden:

Formel 4-9

$$x_2 = L \cdot \frac{q}{q+1}$$

Formel 4-10

$$x_3 = L \cdot \frac{1}{q+1}$$

In der Beispielrechnung wird die Auswirkung verschiedener Dübelpositionen zwischen $q = 9$ und $q = 0,11$ für den Fall $n = 420 \text{ min}^{-1}$ mit Bohrkronendurchmesser $d = 160 \text{ mm}$ in Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten μ dargestellt:

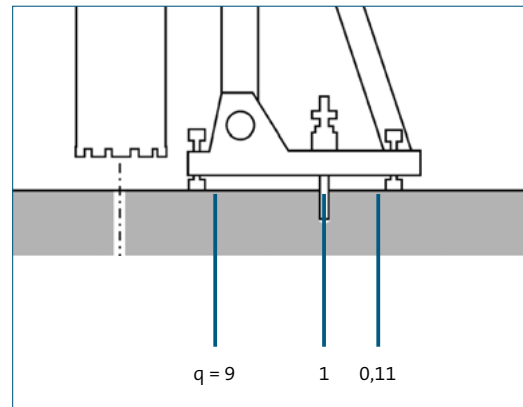


Abbildung 4-7

Quelle: ????

Die Berechnungsformel für die Dübelkraft wird dann zu:

Formel 4-11

$$F_{\text{Zustand c}} = F_V + \frac{P}{\pi \cdot n \cdot d \cdot \mu} \cdot \left(1 + \frac{x_1 + L \cdot \frac{1}{q+1}}{L \cdot \frac{q}{q+1}} \right)$$

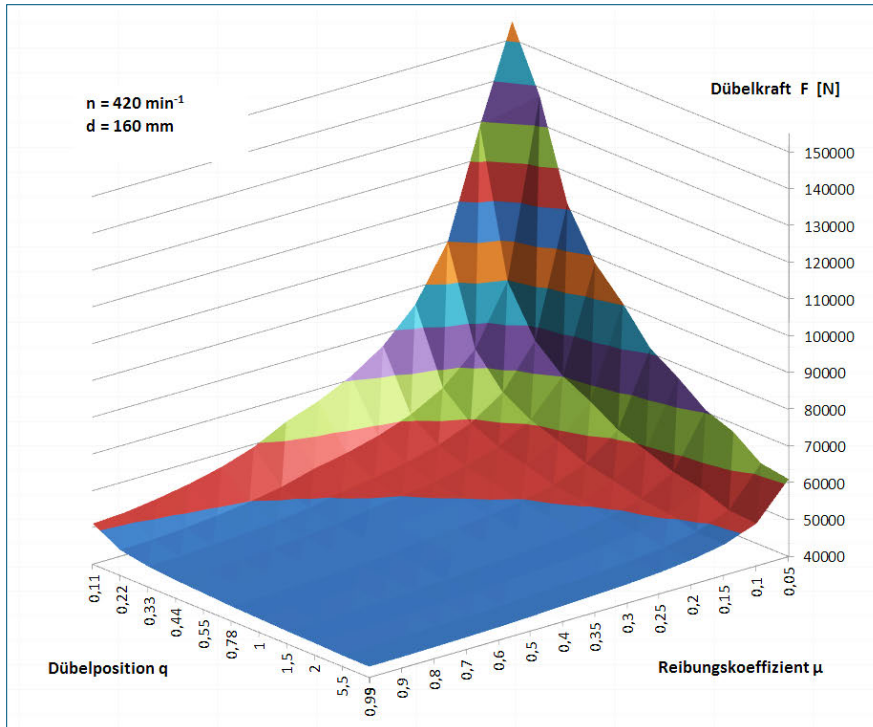


Abbildung 4-8

Quelle: Prof. Borstell

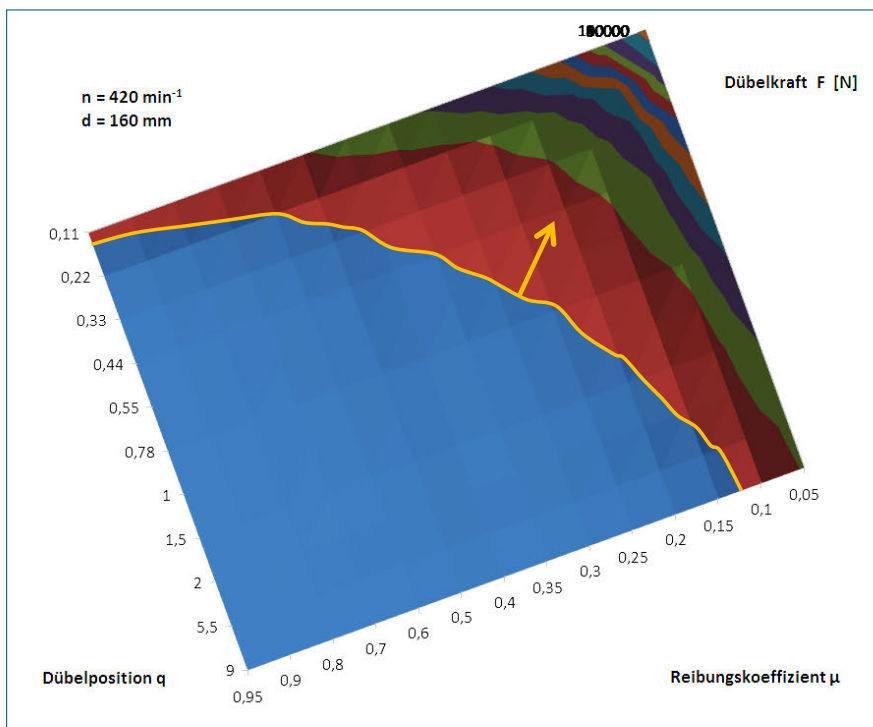


Abbildung 4-9 (Draufsicht zu Abbildung 4-8)

Quelle: Prof. Borstell

Aus diesen Darstellungen ist abzulesen, dass

- die Verschiebung der Dübelposition weg von der Plattenmitte in Richtung des hinteren Plattenauflegers (kleines q) in Kombination mit kleinen Reibungskoeffizienten große Dübelkräfte zur Folge haben wird,
- wirklich extreme Veränderungen der Dübelkraft in dem Bereich ab der orangen Linie in Peilrichtung auftreten werden (vgl. Abbildung 4-9).

4.3 Auswahl eines Dübels

Die Auswahl des Dübels wird sich im Wesentlichen an der erforderlichen Dübelkraft orientieren. Aus den hier verwendeten Gleichungen können jedoch keine belastbaren und somit allgemeingültigen Zahlenwerte für die Dübelkraft gewonnen werden. Dies haben Messungen und FEM-Untersuchungen durch die Hersteller gezeigt. [1] [2] [4]

Das Fehlen einer pauschalen Angabe für die Dübelkraft macht es deshalb erforderlich, dass das ausführende Unternehmen bei seiner Entscheidung zur Auswahl des Dübels alle möglichen Quellen und Know-How Träger in die Auswahl eines geeigneten Befestigungssystems einbezieht, z.B:

- Eigene Erfahrungen (Best Practice)
- Zusammenarbeit mit dem Dübelhersteller
- Einbeziehung des Wissens über die Auswirkungen aller in diesem Informationsblatt genannten Einflussgrößen

5 Literaturverzeichnis

- [1] D. Borstell, Prof. Dr.-Ing., „Abschlussbericht zum Projekt 520006, Messwertverifikation durch FEM,“ HS Koblenz, Koblenz, 2013.
- [2] FA10 / Hersteller, „EXCEL-Tabellen der Messergebnisse der Kraftmessungen bei CEDIMA 2009“.
- [3] D. Borstell, Prof. Dr.-Ing., „Kurzbericht: Statistische Auswertungen der Messungen aus 2009,“ HS Koblenz, Koblenz, 2012.
- [4] Hilti, „Präsentation zu den Messergebnissen der Kraftmessungen im Jahr 2009“.
- [5] VDI Richtlinie 2230, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einschraubenverbindungen Teil 1, Berlin: Beuth-Verlag, 2003.

VDMA

Bau- und Baustoffmaschinen

Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main

Kontakt

Helmut Schgeiner

Telefon +49 69 6603-1680

Fax +49 69 6603-2680

E-Mail helmut.schgeiner@vdma.org