

ANKERGRUPPEN MIT DÜBELN IN DER BETONZUGZONE

von B. Mayer und R. Eligehausen

1. AUFGABENSTELLUNG

Bei Ankergruppen wird die zu befestigende Last mittels einer Stahlplatte auf die einzelnen Dübel der Gruppe verteilt. Ordnet man Ankergruppen in der gerissenen Zugzone von Stahlbetonbauteilen an, können einzelne Dübel in Rissen verankert sein. Diese Dübel weisen neben einer niedrigeren Bruchlast ein anderes Last-Verschiebungsverhalten als Dübel im ungestörten Beton auf.

In diesem Aufsatz wird der Einfluß dieses unterschiedlichen Last-Verschiebungsverhaltens der Einzeldübel auf die Bruchlast von Vierfachbefestigungen erörtert. Es werden nur die wesentlichen Ergebnisse mitgeteilt, weitere Einzelheiten sind /1, 4/ zu entnehmen.

2. THEORETISCHE ABSCHÄTZUNG DER BRUCHLAST EINER GRUPPENBEFESTIGUNG

2.1 Voraussetzungen

Zur Klärung des vorliegenden Problems sind einige Annahmen zu treffen, um den Untersuchungsaufwand in vertretbaren Grenzen zu halten:

- Es werden nur Zweifach- und quadratische Vierfachbefestigungen untersucht, da diese in der Praxis am häufigsten vorkommen. Der Achsabstand soll $a \geq t$ (t = Setztiefe) betragen.
- Die Untersuchungen werden für zentrischen Zug durchgeführt, weil bei dieser Belastungsart die ungünstigsten Ergebnisse zu erwarten sind.
- Es wird davon ausgegangen, daß die Risse im Beton im allgemeinen nur in einer Richtung verlaufen. Dies ist beispielsweise bei einachsig gespannten Platten der Fall.
- Die Ankerplatte wird als biegesteif vorausgesetzt, und die Dübel sollen mit der Ankerplatte ideal gelenkig verbunden sein. Die Vorspannkraft der vorschriftsmäßig installierten Dübel wird als auf Null abgefallen angenommen.
- Es werden die beiden Grenzfälle gelenkig bzw. drehsteif gelagerte Ankerplatte untersucht.

Gelenkig gelagerte Ankerplatten liegen dann vor, wenn Lasten mittels relativ biegeweichen Konstruktionen (z.B. dünnen langen Zugstäben) an die Ankerplatte angeschlossen werden. Die Lastaufnahme der Einzeldübel wird durch die Gleichgewichtsbedingungen bestimmt. Die Ankerplatte wird sich wegen der ungleichen Verschiebungen der Einzeldübel verdrehen und kann im Grenzfall an einer Seite am Beton anliegen.

Die Ankerplatte kann als drehsteif gelagert angesehen werden, wenn relativ biegesteife Teile (z.B. steife Rohre) starr mit der Ankerplatte

verbunden sind. Da die Verschiebungen aller Dübel gleich groß sind, richtet sich die Lastaufnahme der Einzeldübel nach deren Steifigkeit.

2.2 Untersuchungsmethode

Das Verfahren zur Abschätzung der Bruchlast von Mehrfachbefestigungen bei unterschiedlichen Last-Verschiebungskurven der Einzeldübel wird im folgenden anhand der in Bild 1 a dargestellten Vierfachbefestigung erläutert. Bei dieser Gruppenbefestigung sollen drei Dübel in Rissen etwa gleicher Breite ($w \sim 0,4$ mm) liegen und ein Dübel im ungerissenen Beton zwischen Rissen verankert sein. Die angenommenen Last-Verschiebungskurven der Einzeldübel sind in Bild 1 b aufgezeichnet, wobei zur Vereinfachung für alle Dübel im RiB dasselbe Last-Verschiebungsverhalten vorausgesetzt wird. Bei Belastung der Vierfachbefestigung folgt also der Dübel 1 im ungerissenen Beton der Last-Verschiebungskurve 1 und die restlichen Dübel der Kurve 2. Ferner wird ein spröder Betonausbruch ohne Überschneidung der Ausbruchkegel der Einzeldübel angenommen.

2.2.1 Gelenkig gelagerte Ankerplatte mit 3 Dübeln im RiB ohne Abstützung am Beton

Bei Belastung müssen aus Gleichgewichtsgründen ($\sum M = 0$) die sich diagonal gegenüberliegenden Dübel gleich große Kräfte aufnehmen (d.h. $F_1 = F_3$ und $F_2 = F_4$) (vgl. Bild 2 a). Wegen der ungleichen Verschiebungen der Dübel 1 und 3 dreht sich die Ankerplatte im vorliegenden Fall um die Verbindungslinie der Dübel 2 und 4. Diese Dübel nehmen eine Last entsprechend der Verschiebung $v_2 = v_4 = 0,5 (v_1 + v_3)$ auf (Bild 2 b). Sie sind also geringer beansprucht als Dübel 3. Die Gesamtlast F beträgt:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \quad (1)$$

$$\text{mit } F_1 = F_3 \quad (1 \text{ a})$$

$$\text{und } F_2 = F_4 = f(v_2) = f\left(\frac{v_1 + v_3}{2}\right) \quad (1 \text{ b})$$

Die Höchstlast der Dübelgruppe wird bei sprödem Versagen von Dübel 3 erreicht (Bild 2 c), da eine Lastumlagerung auf Dübel 1 aus Gleichgewichtsgründen nicht möglich ist und die Dübel 2 und 4 die Gesamtlast nicht mehr übertragen können. Die Höchstlast der Gruppe beträgt dann:

$$F_u = 2 (F_1 + F_2) \quad (2)$$

Berücksichtigt man, daß die Last der Dübel 1 und 3 der Bruchlast F_{uR} eines Dübels im RiB entspricht, die von den Dübeln 2 und 4 aufgenommene Last wegen $v_2 < v_3$ niedriger als F_{uR} ist, gilt im untersuchten Fall

$$F_u < 4 F_{uR} \quad (3)$$

Das bedeutet, daß im untersuchten Fall die Bruchlast der Gruppe niedriger als das n -fache ($n =$ Zahl der Einzeldübel) der Bruchlast eines Einzeldübels im RiB ist.

2.2.2 Gelenkig gelagerte Ankerplatte mit 3 Dübeln im Riß mit Abstützung am Beton

Bei Belastung der Vierfachbefestigung ergeben sich zunächst die Verhältnisse wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben. Bei einem ausreichend großen Überstand der Ankerplatte über die äußeren Dübel hinaus wird sich die Platte bei zunehmender Schiefstellung jedoch an der Ecke des Dübels 1 gegen den Beton abstützen. Dadurch ändern sich die Kräfteverhältnisse (Bild 3). Das Gleichgewicht der Momente um die Punkte A und B liefert

$$F = 2 \frac{\alpha + 1}{\alpha + 2} \cdot F_3 + 2 \frac{1}{\alpha + 2} \cdot F_1 + F_2 + F_4 \quad (4)$$

$$A = \frac{\alpha}{\alpha + 2} (F_3 - F_1) \quad (5)$$

mit: $\alpha = a/\bar{u}$
 a = Achsabstand
 \bar{u} = Überstand der Ankerplatte
 F = zentrische Zugkraft
 A = Abstützkraft am Beton

Aus Gleichgewichtsgründen ($\sum M = 0$) müssen die sich diagonal gegenüberliegenden Dübel 2 und 4 gleich große Kräfte aufnehmen ($F_2 = F_4$). Diese ergeben sich aus der Last-Verschiebungskurve dieser Dübel für eine Verschiebung

$$v_2 = v_4 = 0,5 (v_1 + v_3) \quad (6)$$

Berücksichtigt man, daß

$$v_3 = (1 + \alpha) v_1 \quad (7)$$

beträgt, erhält man

$$\begin{aligned} v_2 = v_4 &= \frac{2 + \alpha}{2(1 + \alpha)} \cdot v_3 \\ &= \frac{5}{8} v_3 \quad \text{für } \alpha = 3 \end{aligned} \quad (8)$$

Die Dübel 2 und 4 sind deshalb geringer beansprucht als Dübel 3. Die Gesamtlast F beträgt für $\alpha = 3$

$$F = 0,4 F_1 + 1,6 F_3 + 2 F_2 \quad (9)$$

Die Höchstlast der Gruppe wird im vorliegenden Fall bei sprödem Versagen von Dübel 3 erreicht (Bild 3 c), da im dann geänderten System die Gesamtlast von den restlichen Dübeln nicht mehr aufgenommen werden kann. Sie beträgt bei den angenommenen Last-Verschiebungskurven $F_u \sim 4 F_{uR}$ (F_{uR} = Bruchlast eines Dübels im Riß). Sie ist also etwas größer als bei fehlender Abstützung am Beton (vgl. Abschnitt 2.2.1).

Nimmt man andere Last-Verschiebungskurven an, ist eine Laststeigerung nach Ausfall des höchst beanspruchten Dübels (bei geändertem statischen System) denkbar. Weiterhin kann bei einem Verhältnis

$$v_{uR} / v_{uN} > \alpha + 1$$

mit v_{uN} = Bruchverschiebung des Dübels im ungerissenen Beton

v_{uR} = Bruchverschiebung des Dübels im Riß

der zwischen Rissen liegende Dübel 1 bruchauslösend sein. Dabei kann bei besonders großen Steifigkeitsunterschieden die Bruchlast geringer sein als bei fehlender Abstützung. Dieser Fall tritt jedoch bei den dieser Untersuchung zugrundeliegenden Last-Verschiebungskurven und praxisgerechten Werten für das Verhältnis $\alpha = a/\bar{u}$ nicht auf.

2.2.3 Drehsteif gelagerte Platte mit 3 Dübeln im Riß

Bei einer drehsteif gelagerten Platte (Bild 4) wird allen Dübeln die gleiche Verschiebung aufgezwungen. Die Lastaufnahme der Einzeldübel richtet sich dann nach deren Last-Verschiebungskurven. Im vorliegenden Fall nimmt der Dübel 1 die höchste Last auf, während die Lastaufnahme der Dübel 2 bis 4 geringer ist (Bild 4 c). Die Höchstlast der Gruppe wird erreicht, wenn Dübel 1 spröde versagt. Sie beträgt dann

$$F_u = F_{uN} + 3 F_2 \quad (10)$$

mit F_{uN} = Bruchlast des Dübels im ungerissenen Beton

F_2 = Last des Dübels 2 bei einer Verschiebung $v_2 = v_{uN}$.

Die von den Dübeln im Riß aufgenommene Last F_2 ist geringer als deren mögliche Bruchlast. Je nach Last-Verschiebungskurve der Dübel im Riß kann die Bruchlast der Gruppe kleiner sein als die n-fache Bruchlast der Dübel im Riß.

2.3 Untersuchungsergebnisse

Das in Abschnitt 2.2 erläuterte Verfahren läßt sich sinngemäß leicht auf andere Lagen der Ankergruppen im Rißbild (1, 2 und 4 Dübel im Riß) übertragen. Mit dieser Untersuchungsmethode wurden in /1/ auf theoretischem Wege die Bruchlasten von Zwei- und Vierfachbefestigungen ermittelt. Variiert wurden die Lage der Ankergruppe im Rißbild und der Achsabstand ($a = 1,5 t$ und $a \geq 3,5 t$). Den Untersuchungen wurden wirklichkeitsnahe Last-Verschiebungskurven der Einzeldübel zugrundegelegt. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) Bei Vierfachbefestigungen ergibt sich die niedrigste Bruchlast, wenn 3 Dübel im Riß und 1 Dübel im ungerissenen Beton liegen. Sie kann je nach Lagerung der Ankerplatte (gelenkig bzw. drehsteif) bis zu 10 % niedriger sein als der Wert $4 F_{uR}$ (F_{uR} = Bruchlast eines Einzeldübeln im Riß). Sind alle Dübel im Riß verankert, beträgt die Trag-

kraft $4 F_{uR}$. Die höchste Bruchlast erhält man bei Verankerung von nur einem Dübel im Riß. Sie ist bei engem bzw. weitem Achsabstand ca. 20 % bzw. 50 % höher als der Wert $4 F_{uR}$.

- b) Zweifachbefestigungen sind als Sonderfall einer Vierfachbefestigung mit symmetrischer Lage der Einzeldübel in Rissen anzusehen. Die Höchstlast entspricht in allen Fällen mindestens der 2fachen Bruchlast eines Einzeldübels im Riß.
- c) Bei Anordnung von Ankergruppen mit engem Achsabstand in der Betonzugzone muß der Einfluß von Rissen (Beiwert χ_w) sowie derjenige des Achsabstandes (Beiwert χ_a) multiplikativ ($\chi_a \cdot \chi_w$) überlagert werden. Ermittelt man den Einfluß des Achsabstandes auf die Bruchlast von Ankergruppen in Versuchen im ungerissenen Beton, liegt dieser Ansatz auf der sicheren Seite.

2.4 Einfluß von Dübelschlupf auf die Bruchlast von Mehrfachbefestigungen

In Rissen verankerte kraftkontrolliert verspreizende Dübel können bei ungünstigem Nachspreizverhalten bei Aufbringen einer äußeren Zuglast, die größer ist als die wirksame Vorspannkraft, im Bohrloch schlupfen, bevor sie wieder Last aufnehmen. Der Einfluß dieses Dübelschlupfes auf die Bruchlast einer Vierfachbefestigung wird in Bild 5 untersucht. Für die im Riß liegenden Dübel werden bei gleichen Werten für Bruchlast und Bruchverschiebung unterschiedliche Verläufe der Last-Verschiebungskurven angenommen. Dabei entspricht Kurve a dem Normalfall. Bei Kurve c schlupft der Dübel etwa bei Aufbringen der Gebrauchslast, und Kurve b liegt zwischen diesen Extremen. Nimmt man an, daß alle Dübel im Riß ein normales Last-Verschiebungsverhalten aufweisen, beträgt die Bruchlast der Gruppe ca. 94 % der 4fachen Bruchlast eines Dübels im Riß ($\chi_{LV} = 0,94$). Die Bruchlast fällt um ca. 1/3 ab, wenn Dübel 2 und/oder Dübel 4 der Kurve c folgen ($\chi_{LV} = 0,64$). Schlupft der Dübel bei einer höheren äußeren Last, ist der Einfluß des Dübelschlupfes auf die Bruchlast der Gruppe naturgemäß geringer. Ähnlich große Unterschiede in der Bruchlast ergeben sich auch bei drehsteifer Lagerung der Platte bzw. bei anderer Lage der Dübelgruppe im Rißbild.

Aus diesem Grunde ist es erforderlich, daß Dübel, die in der Zugzone von Stahlbetonbauteilen eingesetzt werden sollen, für diesen Anwendungsfall geeignet sein müssen. Dies bedeutet, daß sie ein normales, möglichst gleichmäßiges Last-Verschiebungsverhalten aufweisen müssen und kein unkontrollierter Schlupf bzw. Gleiten des Dübels im Bohrloch auftritt. Die Eignung eines Dübels ist in speziellen Eignungsversuchen zu überprüfen^{5/}.

3. VERSUCHE

Zur Überprüfung der theoretischen Überlegungen wurde das Verhalten von Ankergruppen im gerissenen Beton experimentell untersucht.

3.1 Versuchsbeschreibung

Es wurden Vierfachbefestigungen mit gelenkiger Lagerung der Ankerplatte geprüft, wobei Dübeltyp (2 kraftkontrolliert spreizende Dübel, 1 Hinterschnittanker, Verankerungstiefe jeweils $v \approx 80$ mm), Achsabstand ($a = 120$ mm und 240 mm) und Lage der Dübel zu Rissen (1 bis 4 Dübel in Rissen) variiert wurden. Die Betonfestigkeit ($f_w \approx 37,5$ N/mm²) und die Rißbreite ($\Delta w \approx 0,35$ mm) wurden möglichst konstant gehalten. Insgesamt wurden 26 Ankergruppen geprüft. Zusätzlich wurden Vergleichsversuche mit Einzeldübel und Ankergruppen im ungerissenen Beton sowie Einzeldübel in Rissen durchgeführt.

In den Versuchen wurde die Verschiebung der Ankerplattenmitte mit konstanter Geschwindigkeit gesteigert. Gemessen wurden Last und Verschiebung der Einzeldübel sowie der Ankergruppe. Bild 6 zeigt den Bewehrungsplan des Versuchskörpers und die Lage der zur Rißerzeugung eingelegten Rißbleche. In Bild 7 ist die Belastungsvorrichtung für die Dübel dargestellt.

3.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsauswertung läßt die folgenden Schlußfolgerungen zu:

1. Das Versagen der Befestigungen wurde in allen Fällen durch kegelförmigen Betonausbruch hervorgerufen, wobei auch bei einem Achsabstand entsprechend der 3fachen Verankerungstiefe sich ein gemeinsamer Ausbruchkegel bildete. Trotz dieser Bruchart fiel die aufnehmbare Last nach Überschreiten der Höchstlast nicht plötzlich auf Null ab, sondern sie nahm mit zunehmender aufgezwungener Verformung stetig ab (siehe Bild 8 und Bild 9) /4/. Dieses Verhalten wurde auch in Versuchen mit einbetonierten Kopfbolzen beobachtet und kann durch die Rißvorgänge im Beton erklärt werden /3/.
2. Die Tragkraft von Vierfachbefestigungen war nur relativ wenig abhängig von der Lage der Dübelgruppe im Rißbild. Die niedrigste Traglast ergab sich, wenn drei Dübel im Riß und ein Dübel im ungerissenen Beton lagen. Sie war jedoch nur um maximal etwa 15 % geringer als bei anderen möglichen Lagen der Gruppe im Rißbild (Bild 10).
3. Die Tragkraft von Ankergruppen betrug unabhängig vom Achsabstand der Einzeldübel mindestens etwa das n -fache ($n =$ Zahl der Dübel einer Gruppe) der Tragkraft eines Einzeldübels im Riß. Allerdings ist der Einfluß von Rissen und derjenige des Achsabstandes auf die Höchstlast multiplikativ zu überlagern (Bild 11). Dies gilt nach den durchgeführten ergänzenden theoretischen Untersuchungen auch für drehsteif gelagerte Ankerplatten.
4. Die Versuche bestätigen im wesentlichen die Richtigkeit der theoretischen Überlegungen. Jedoch ist der Einfluß der Lage der Ankergruppen im Rißbild nach den Versuchen geringer als nach den theoretischen Untersuchungen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den theoretischen Untersuchungen ein spröder Bruch angenommen wurde, während nach den Versuchen die aufnehmbare Last mit zunehmender aufgezwungener Verformung stetig abnahm.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, mit Hilfe von Last-Verschiebungskurven für Einzeldübel Bruchlasten von Zwei- und Vierfachbefestigungen mit gelenkig bzw. drehsteif gelagerter Ankerplatte zu ermitteln. Es konnte sowohl theoretisch als auch durch Versuche gezeigt werden, daß die Höchstlast von Ankergruppen im gerissenen Beton mindestens etwa das n-fache ($n =$ Zahl der Dübel einer Gruppe) eines Einzeldübels im RiB trägt. Dies gilt für Dübel, die für Anwendungen in der Zugzone geeignet sind. Werden dagegen ungeeignete Dübel eingesetzt, die bei Verankerung im RiB unter Last unkontrolliert schlupfen, sind wesentlich niedrigere Bruchlasten zu erwarten.

Es wird vorgeschlagen, auf zentrischen Zug beanspruchte Zwei- und Vierfachbefestigungen mit großen Randabständen nach Gleichung (11) zu bemessen.

$$\text{zul } F_{\text{Ankergruppe}} = n \cdot \kappa_{a1} \cdot \kappa_{a2} \cdot \kappa_w \cdot \text{zul } F_N \quad (11)$$

mit

n = Zahl der Dübel einer Gruppe

$$\kappa_{ai} = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{a_i}{a_{\text{krit}}}\right) \geq 1,0$$

a_1, a_2 = Achsabstand der Dübel der Gruppe in Richtung 1 und 2

$$a_{\text{krit}} \approx 3,5 \cdot t \quad (t = \text{Verankerungstiefe})$$

κ_w = Beiwert zur Berücksichtigung des Einflusses von Rissen sowie von Zugspannungen im Beton infolge der Tragwerkswirkung

$\text{zul } F_N$ = zulässige maximale Last eines Einzeldübels im gerissenen Beton

Der Beiwert κ_a kann vereinfachend aus Versuchen mit Ankergruppen im ungerissenen Beton und der Beiwert κ_w aus Versuchen mit Einzeldübeln in der gerissenen Zugzone abgeleitet werden. Dieses Vorgehen liegt auf der sicheren Seite.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Eligehausen, R. und Mayer, B.: Mehrfachbefestigungen mit kraftkontrolliert spreizenden Dübeln in der Betonzugzone; Bericht Nr. 1/3-83/13 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen vom Oktober 1983
- /2/ Eligehausen, R. und Pusill-Wachsmuth, P.: Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau; IABSE Surveys, S-19/82, IABSE Periodica 1/1982, Zürich, Febr. 1982
- /3/ Eligehausen, R. und Sawade, G.: Rißausbreitung im Beton; Bericht Nr. 3/3-84/10 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen vom Juni 1984
- /4/ Eligehausen, R. und Mayer, B.: Ankergruppen mit Dübeln in der Betonzugzone; Bericht über durchgeführte Versuche Nr. 1/4-84/8 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen vom Juli 1984
- /5/ Eligehausen, R. und Lehmann, R.: Verankerungen mit Metallspreizdübeln in der aus Lastspannungen erzeugten Zugzone von Stahlbetonteilen - Einflüsse auf das Tragverhalten und Vorschlag für Zulassungsversuche; Bericht Nr. 1/4-84/1 des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, Jan. 1984

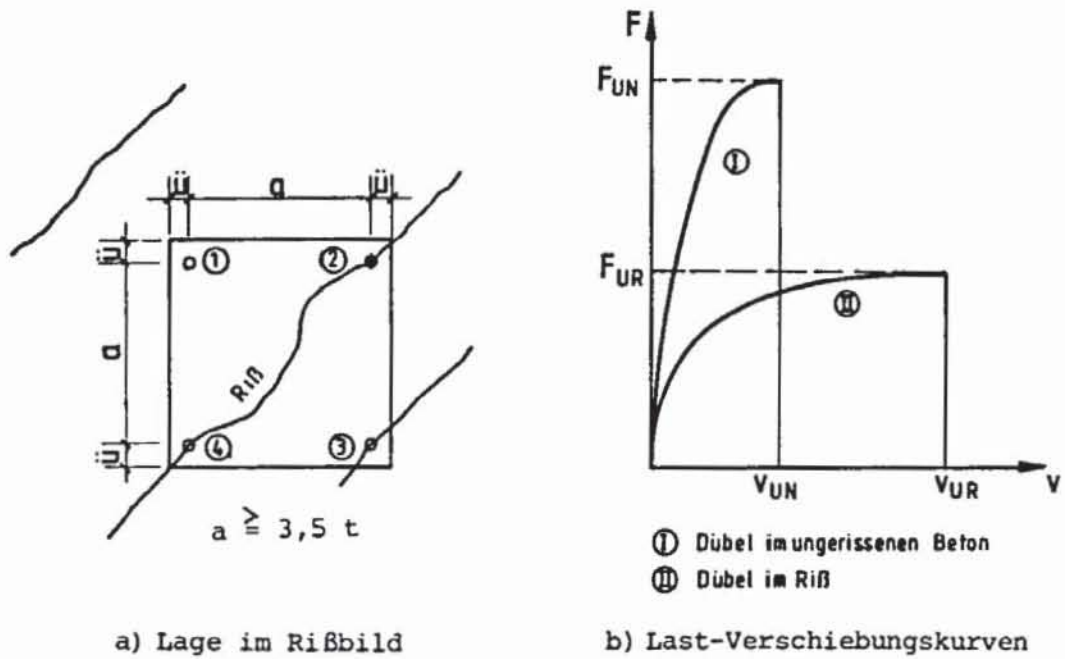


Bild 1 : Ankergruppe in der gerissenen Zugzone eines Stahlbetonbauteils.

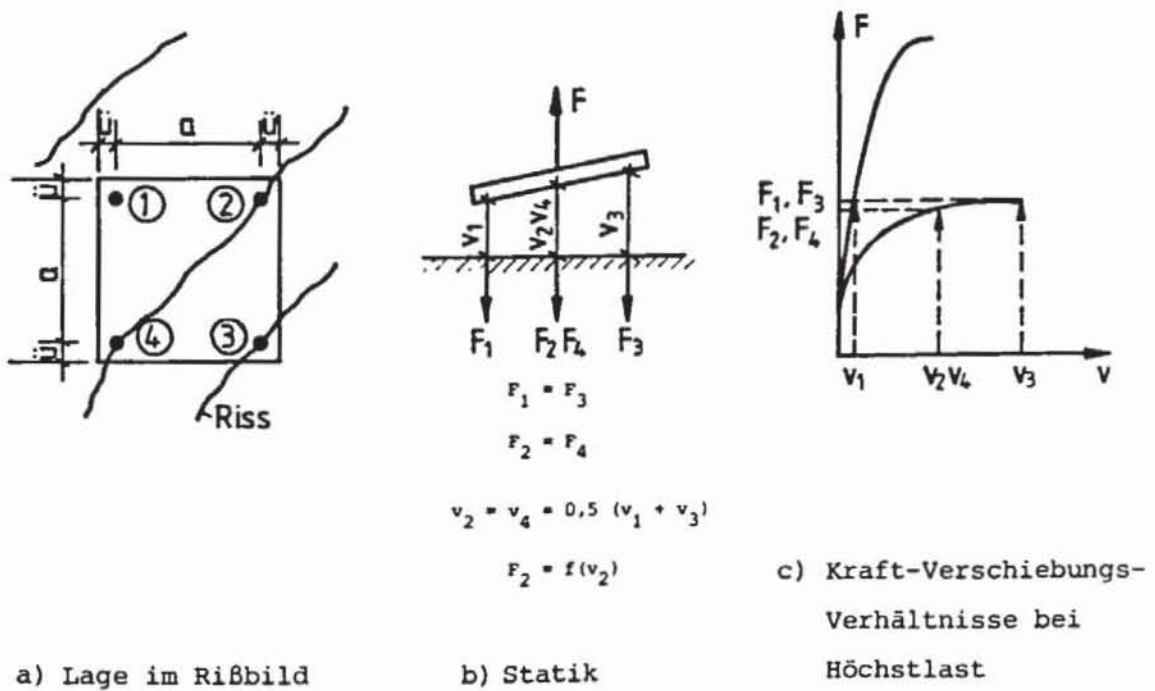


Bild 2 : Gelenkig gelagerte Ankerplatte ohne Abstützung am Beton.

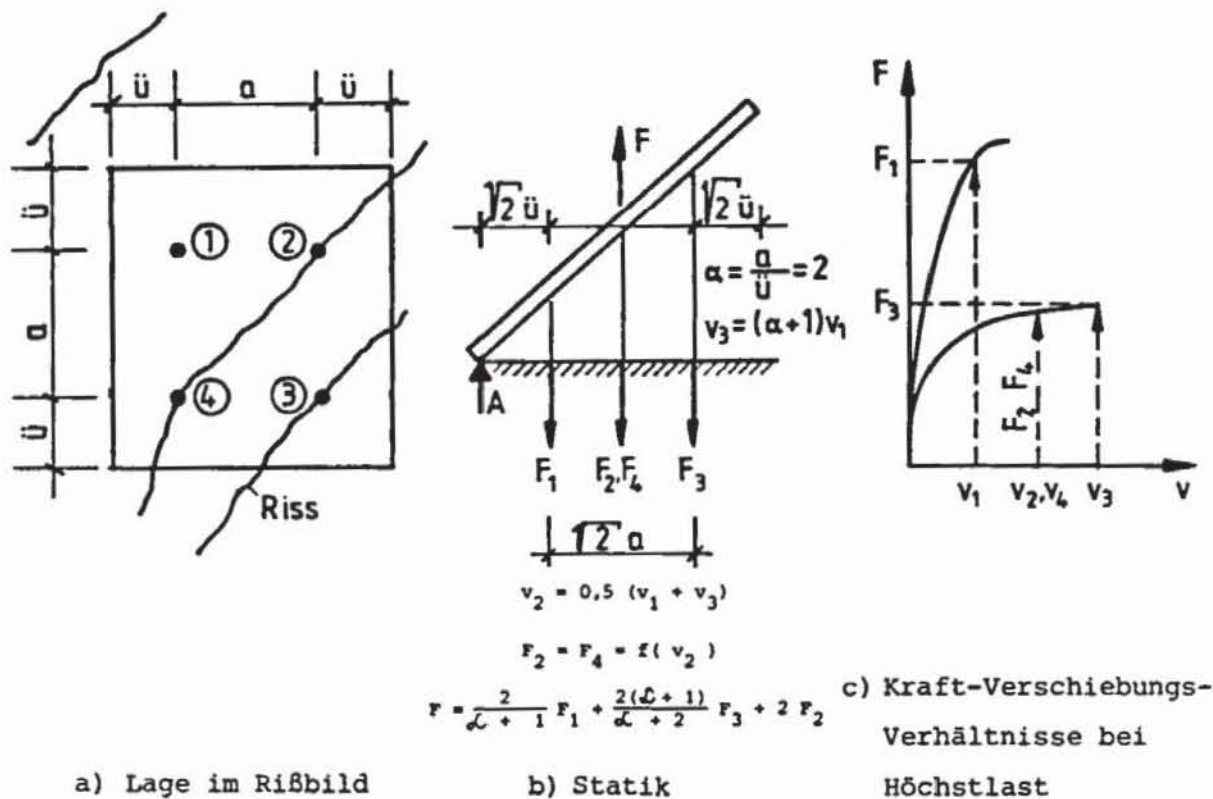


Bild 3 : Gelenkig gelagerte Ankerplatte mit Abstützung am Beton.

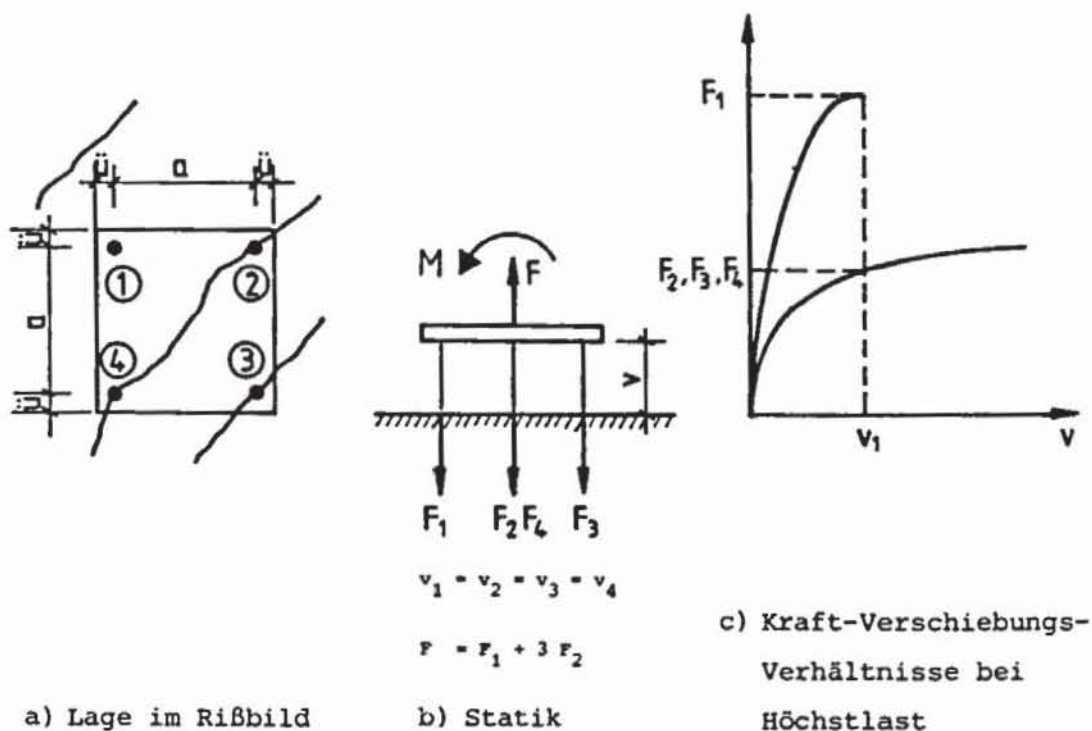


Bild 4 : Drehsteif gelagerte Ankerplatte.

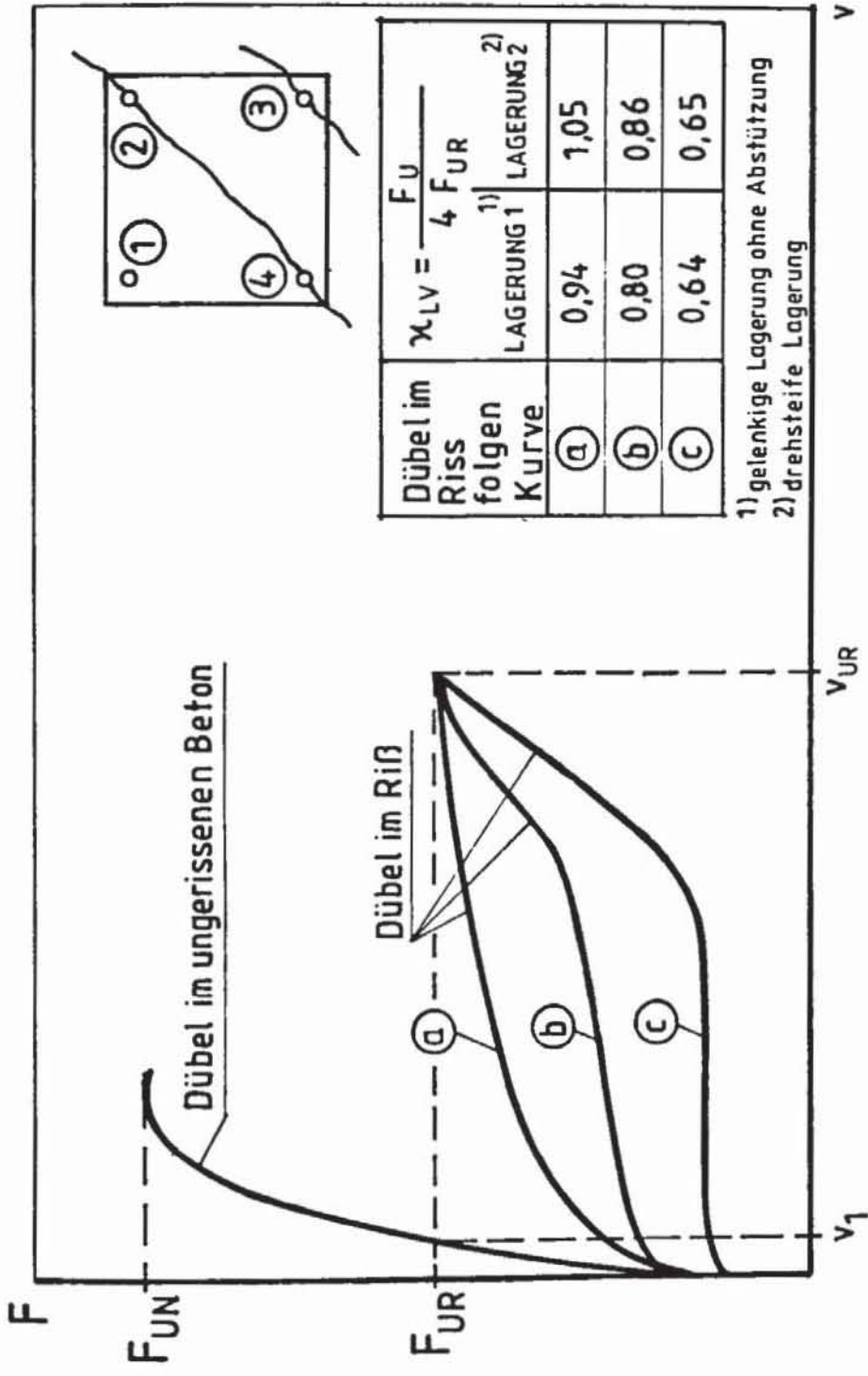


Bild 5 : Einfluß von Dübelschlupf auf die Tragfähigkeit einer Ankergruppe

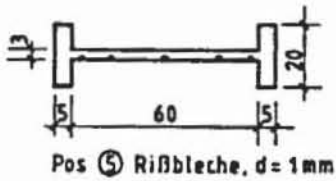
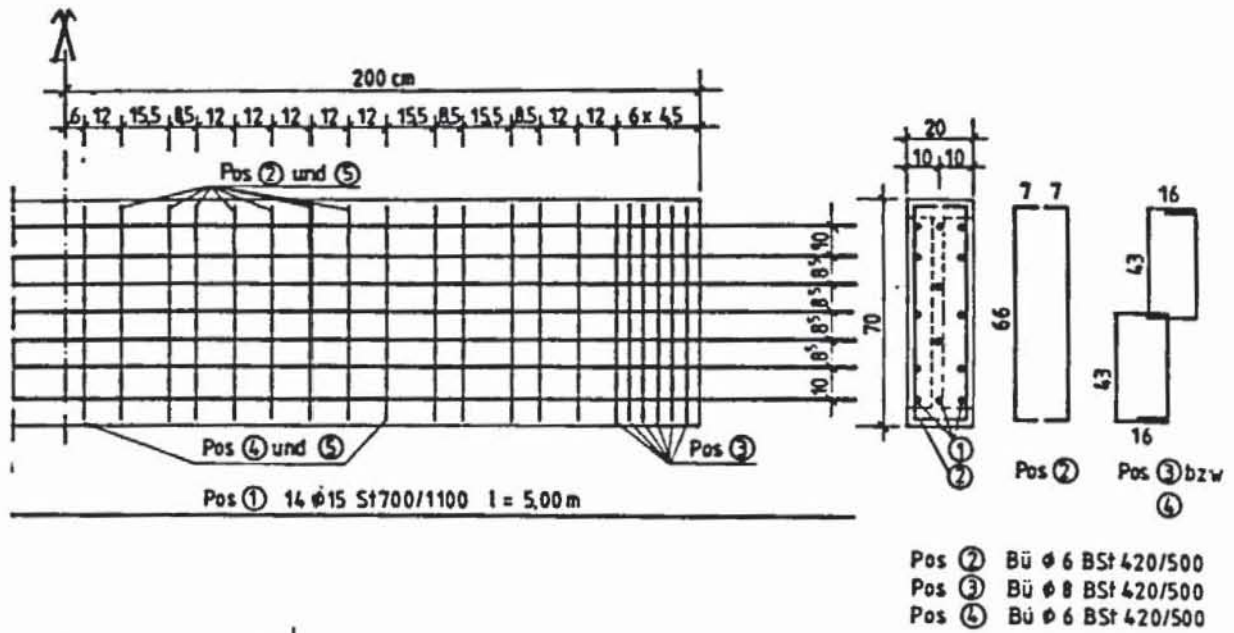


Bild 6 :
Bewehrungsplan

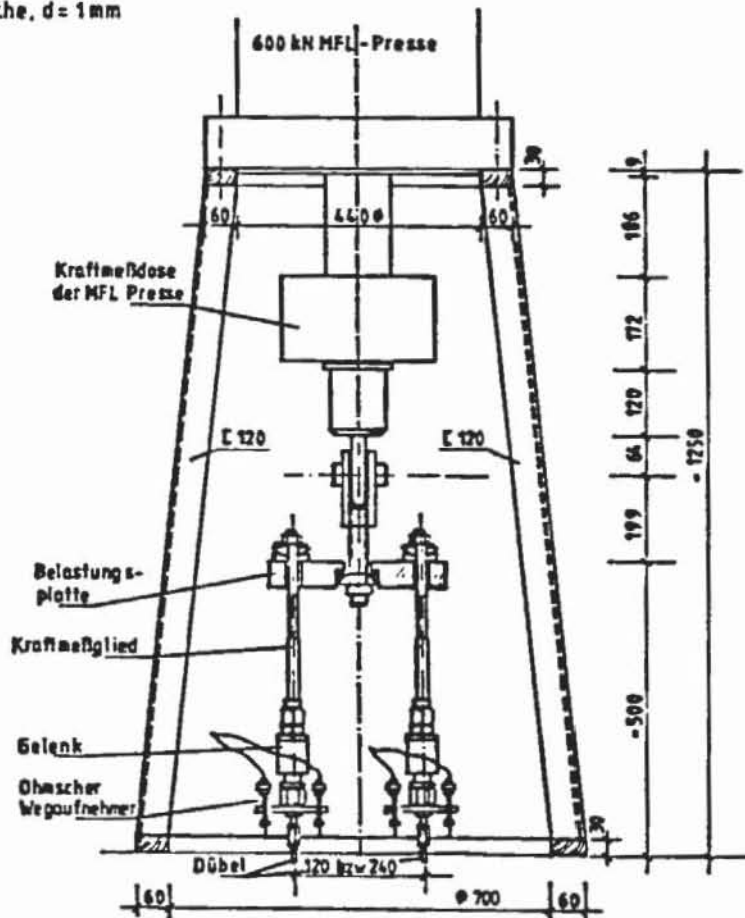


Bild 7 : Belastungseinrichtung für Dübelauszug.

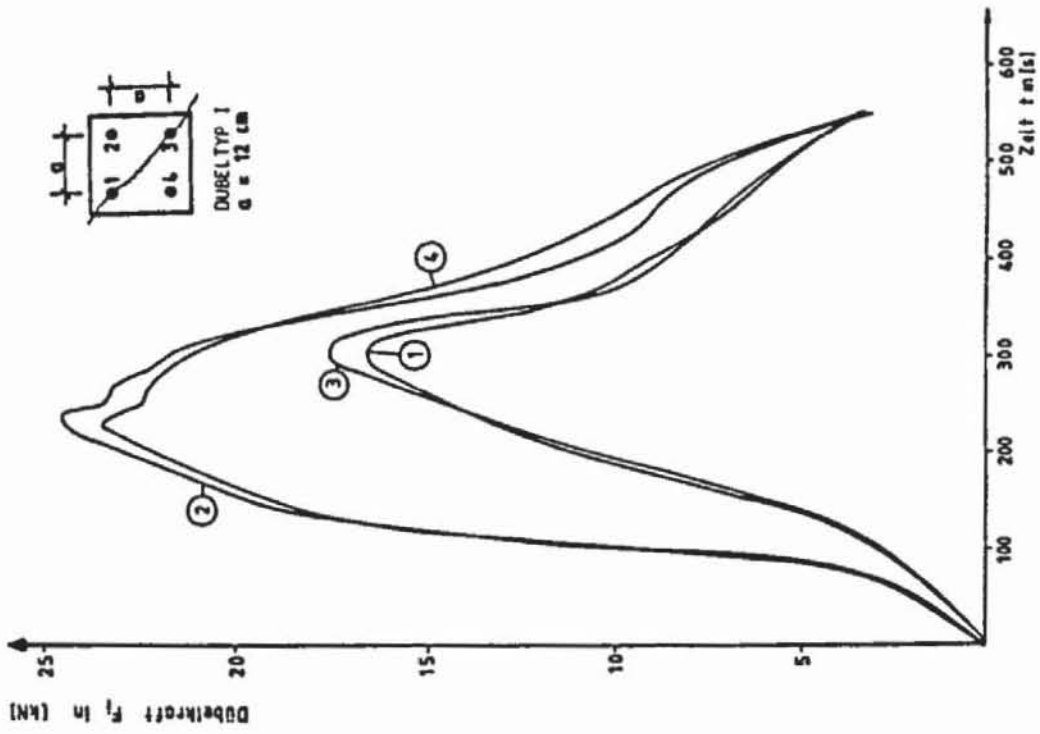


Bild 9 : Lastaufnahme der einzelnen Dübel in Abhängigkeit von der Zeit.

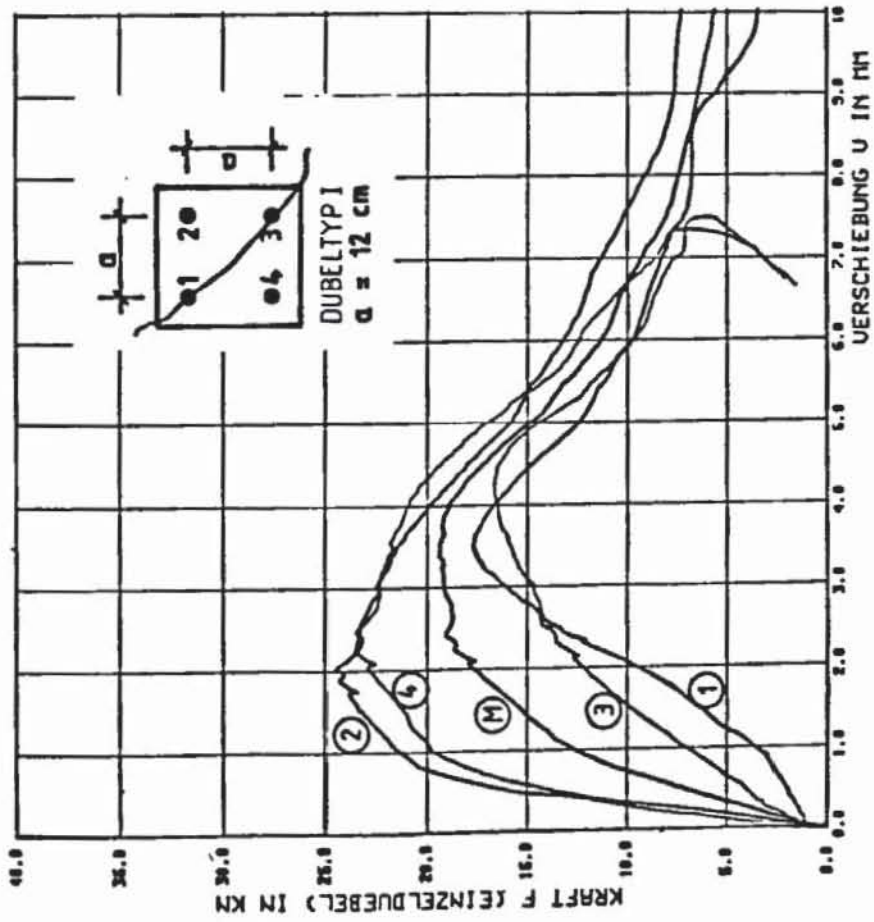
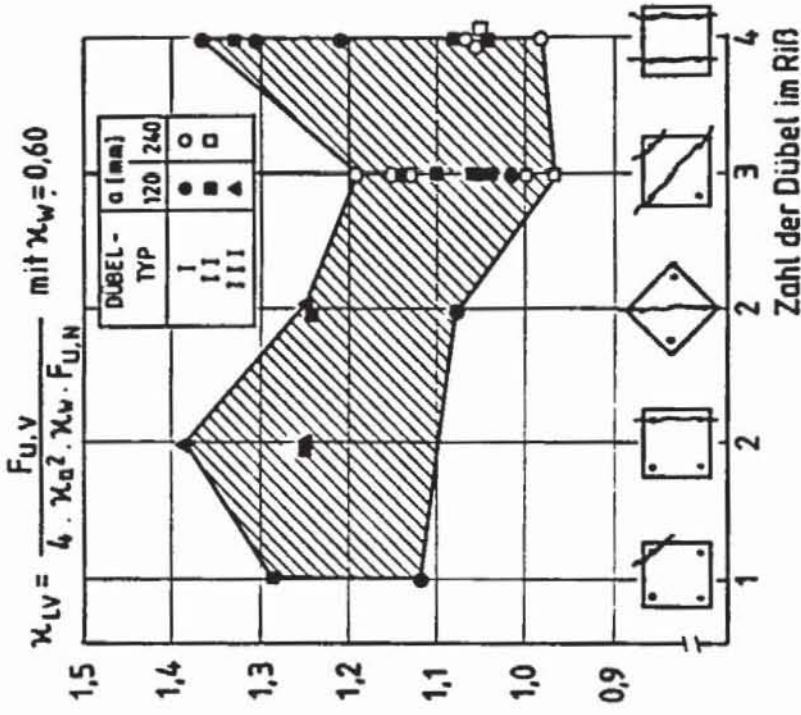


Bild 8 : Last-Verschiebungskurven der einzelnen Dübel.



F_{UV} : Höchstlast der Ankergruppe im Versuch
 F_{UN} : Höchstlast eines Einzeldübels im ungerissenen Beton nach /2/

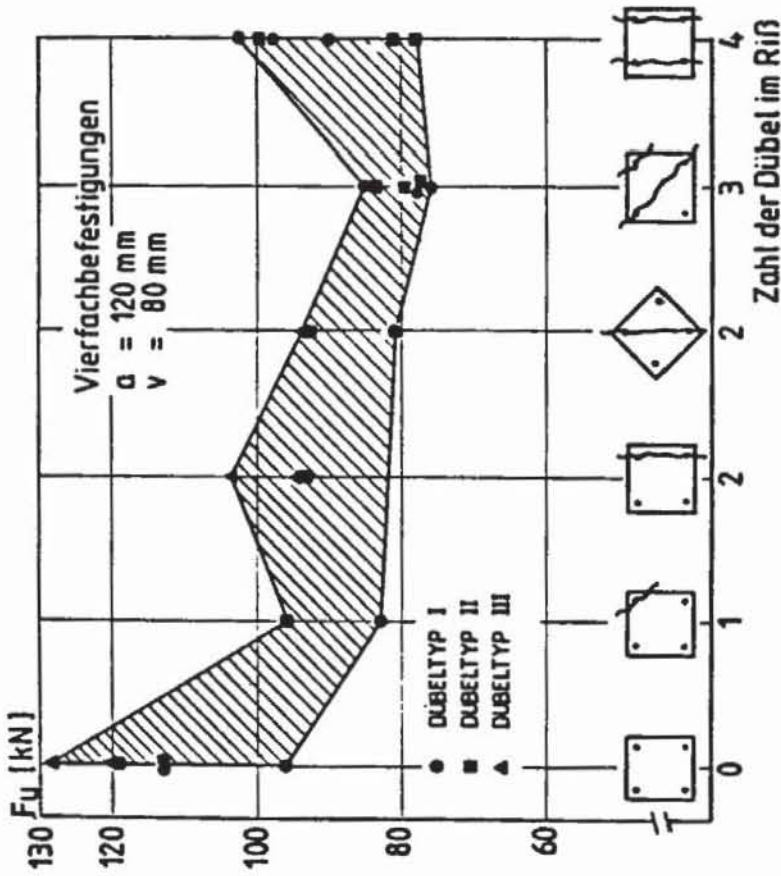


Bild 10: Höchstlasten von Ankergruppen in Abhängigkeit von der Lage der Dübel zu Rissen

Bild 11: Belwerte χ_{LV} in Abhängigkeit von der Lage der Ankergruppe im Rißbild