Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 60 (1990)

Artikel: Verhalten von Kopfbolzen und Kühlrohren zur Linienverankerung
Autor: Ramm, Wieland / Scheele, Joachim
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-46508

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Verhalten von Kopfbolzen und Kühlrohren zur Linerverankerung

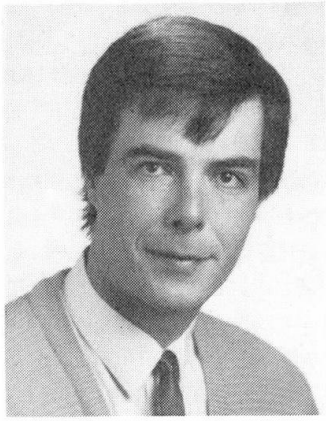
Behaviour of Headed Studs and Cooling Pipes in Liner Anchorage

Comportement de goujons et de tuyaux de refroidissement pour l'ancrage de tôles d'étanchéité

Wieland RAMM
Prof. Dr.-Ing.
Universität Kaiserslautern
Kaiserlautern, BRD

Prof. Ramm, geb. 1937, studierte Bauingenieurwesen an der TH Darmstadt und promovierte ebenda. Nach mehreren Jahren Tätigkeit im Ingenieurbüro und in einer großen Baufirma leitet er nun das Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion an der Univ. Kaiserslautern.

Joachim SCHEELE
Dipl.-Ing.
Universität Kaiserslautern
Kaiserlautern, BRD



J. Scheele, geb. 1960, studierte Bauingenieurwesen in München und arbeitet zur Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion der Universität Kaiserlautern.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wird über Versuche zur Ermittlung von Last-Verformungskennlinien von Verankerungsmitteln unter für Liner spezifischen Bedingungen berichtet. Das duktile Verhalten der untersuchten Verankerungen — einzelne Kopfbolzen, Gruppen von Kopfbolzen und Gruppen von Kopfbolzen und Kühlrohren — macht diese für die Aufnahme der formschlüssigen Beanspruchungen besonders geeignet.

SUMMARY

In this paper the results of experimental studies on the load-deformation-behaviour of liner anchorages under conditions specific for liners are described. The ductile behaviour of the examined anchorages—single headed studs, groups of headed studs and groups of studs and cooling pipes—makes them suitable for deformation controlled loading.

RÉSUMÉ

Cet article décrit les résultats d'essais effectués en vue de déterminer les lignes caractéristiques charge-déformation d'éléments d'ancrage sous des conditions spécifiques aux tôles d'étanchéité. Le comportement ductile des ancrages examinés — des goujons isolés, des groupes de goujons et des groupes de goujons et de tuyaux de refroidissement — les rend aptes à absorber tout particulièrement les sollicitations avec déformation contrôlée.

1. Einführung

Großbehälter, die mit nennenswerten Innendrücken beansprucht werden und die aus Sicherheitsgründen zugleich ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Dichtigkeit aufweisen müssen, lassen sich wirtschaftlich als Spannbetonbehälter ausführen. Beispiele hierfür sind Reaktordruckbehälter und Containments. Zur Gewährleistung der erforderlichen Dichtigkeit werden solche Behälter in der Regel mit einer innenliegenden Dichthaut aus Stahlblech, einem sogenannten Liner, ausgerüstet.

Normalerweise werden Liner über Kopfbolzendübel oder Rippenanker mit der Betonstruktur verbunden. Bei Reaktordruckbehältern sind zusätzlich oft betonseitig Stahlrohre auf den Liner aufgeschweißt, die primär zur Kühlung dienen. Sie können jedoch rechtwinklig zu ihrer Laufrichtung auch Lasten übernehmen, wenn in ihrer Nähe Anker angeordnet sind, die ein Herausziehen der Kühlrohre aus dem Beton verhindern.

Zur Auslegung des Liner-Anker-Systems werden die Last-Verformungskurven der Verankerungsmittel benötigt.

Nachfolgend soll über die beiden an der Universität Kaiserslautern durchgeführten Forschungsprojekte /1, 2/ zur Ermittlung der Last-Verformungskennlinien an einzelnen Kopfbolzendübeln und an Ankergruppen berichtet werden.

In mehr als einhundertfünfzig Versuchen zur Linerverankerung wurden dabei im wesentlichem folgende Punkte untersucht:

1. Das Verhalten von einzelnen Kopfbolzendübeln unter den für Liner spezifischen Bedingungen (Hochfester Beton, Vorspannung, Temperaturbelastung und zyklische Belastungen mit großen Amplituden) bei Belastung auf Abscheren.
2. Der Einfluß der Ankerabstände in einer Gruppe von Kopfbolzen
3. Das Verhalten von Ankergruppen aus Kopfbolzendübeln und Kühlrohren und die Einflüsse von Ankerabstand, Ankermuster und Vorspanngrad bei Belastung auf Abscheren.
4. Das Verhalten von Gruppen aus Kopfbolzendübeln unter kombinierter Schub-Zugbelastung, worüber jedoch an dieser Stelle nicht berichtet werden soll.

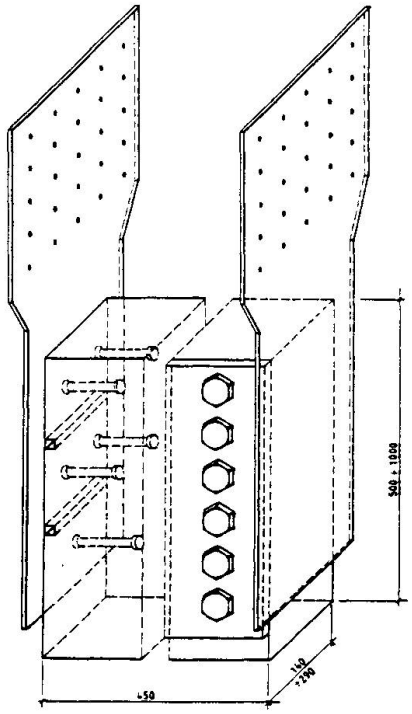


Bild 1: Versuchskörper

2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Versuchskörper bestanden aus quaderförmigen Betonteilen, mit denen auf zwei Seiten ein Linerblech mittels der zu untersuchenden Anker verbunden war (Bild 1). Die Betonkörper wurden in beiden zum Linerblech parallelen Richtungen mit 20 N/mm^2 vorgespannt. In den Versuchen, in denen nur Bolzen untersucht wurden, wurde die obere Lasteinleitungsplatte, wie in Bild 2 dargestellt, direkt bis an das Linerblech herangeführt, während bei den Versuchen mit Kühlrohren ein Spalt zwischen Linerblech und Stahlplatte offen blieb, um dadurch den Effekt nachzubilden, den das im Bauwerk an dieser Stelle angeordnete nächste Kühlrohr haben würde.

Nach Aufbringung der Vorspannung wurden die Versuchkörper in einen Versuchsrahmen eingebaut. Durch schrittweises Erzeugen einer Relativverschiebung zwischen Beton und Linerstahl wurden die Anker auf Abscheren bis zum Bruch belastet.

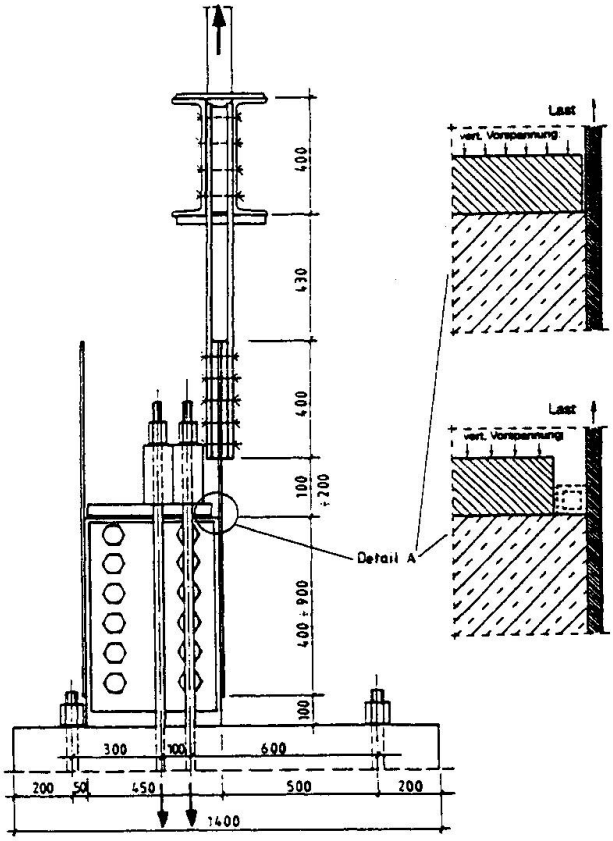


Bild 2: Versuchsaufbau

Die beiden Parameter Betondruckfestigkeit und Vorspanngrad waren schon in einer Serie von Vorversuchen zwischen 45 N/mm^2 und 65 N/mm^2 bzw. zwischen 20 N/mm^2 und Null variiert worden. Wegen der relativ geringen Einflüsse auf das Bolzenverhalten wurde in beiden Versuchsprogrammen durchgehend ein B55 verwendet. Die Vorspannung wurde aus dem gleichen Grunde nur in Verbindung mit der Untersuchung von kombinierten Ankergruppen variiert. Weiterhin wurde auf Grund der hinsichtlich der Bruchverschiebung nicht ganz zufriedenstellenden Ergebnisse der Vorversuche als Bolzenmaterial für alle weiteren Versuche anstatt des üblichen St 37-3 K ein St 37-3 K+N gewählt. Dies hatte bei nur geringen Verlusten in der Bruchlast einen deutlichen Gewinn bei der Bruchverschiebung zur Folge.

3. Ergebnisse der Versuche an einzelnen Kopfbolzen

Einen wesentlichen Bestandteil der Untersuchungen bildeten die Versuche bei erhöhten Temperaturen. Hierbei zeigte sich, daß mit einer Temperaturerhöhung eine Abnahme der Bolzensteifigkeit und der Bruchlast einherging (Bild 3). Entgegen den Erwartungen zeigte sich, insbesondere bei den Versuchen mit T=250^{0}C, eine deutliche Abnahme der Bruchverschiebung mit steigender Temperatur. Der Grund für dieses Verhalten dürfte unter anderem im Einfluß der Temperatur auf das Bolzenmaterial zu suchen sein. Hierzu sind jedoch noch weitere Untersuchungen nötig.

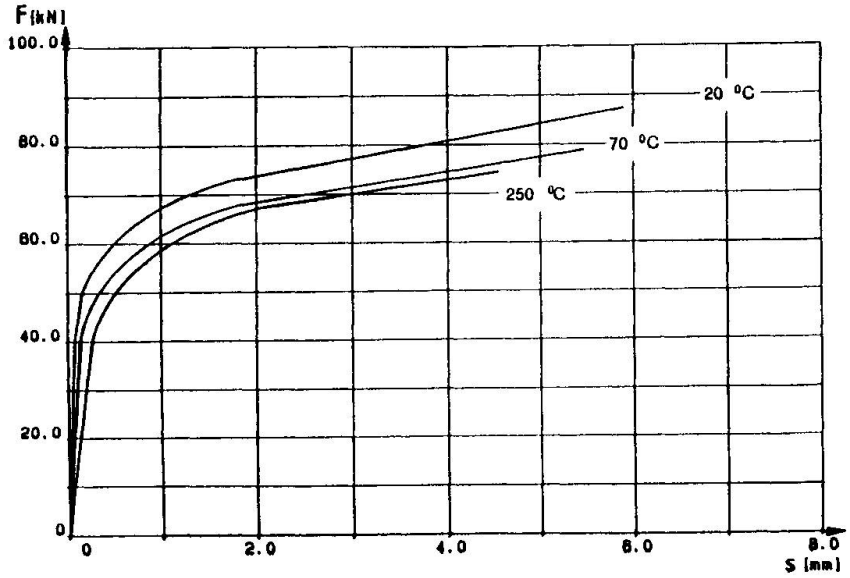


Bild 3: Einfluß der Temperatur auf die Kennlinie eines Bolzens

Weiterhin wurden zyklische Vorbelastungen und deren Einfluß auf das Bolzenverhalten untersucht. Bei den entsprechenden Versuchen wurden die Kopfbolzen zunächst bis zur nach DIN 25459 zulässigen Verschiebung (0.25 s_u) belastet und anschließend einer zyklischen Belastung unterzogen. Dabei wurden sowohl reine Schwellbelastungen als auch Zyklen mit wechseln-

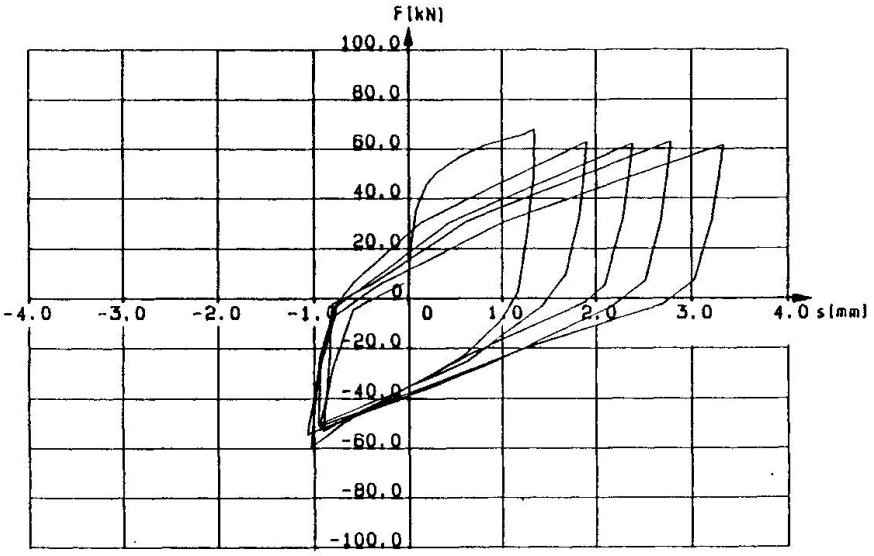


Bild 4: Kennlinie eines 5/8" Kopfbolzens bei zyklischer Belastung mit wechselndem Vorzeichen

dem Vorzeichen gefahren.
Bei der Schwellbelastung wurden bis zu 5000 Lastwechsel mit einer Amplitude von bis zu 75% der Bruchlast gefahren. Anschließend wurden die Versuchskörper kontinuierlich bis zum Bruch belastet. Abgesehen von einer während der zyklischen Belastung aufgetretenen relativ geringfügigen Verformungszunahme waren kaum Einflüsse der Schwellbelastung auf das Tragverhalten der Bolzen festzustellen.

Für die zyklische Belastung mit wechselndem Vorzeichen wurde die Amplitude auf etwa die 1,5fache Bruchlast vergrößert. Bei diesen Versuchen brachen die Bolzen schon nach wenigen Lastzyklen (Bild 4). Der Grund hierfür liegt darin, daß durch die konstant gehaltene Kraftamplitude die plastischen Verformungen des Bolzens sehr schnell zunahmen und so der Bruch eingeleitet wurde. Belastungen mit wechselndem Vorzeichen und derartig großer Amplitude sind daher unbedingt zu vermeiden. Jedoch lassen zyklische Beanspruchungen mit konstanten Verformungsamplituden eine sehr viel größere Anzahl von ertragbaren Lastwechseln erwarten. Dies soll in weiteren Versuchen noch geklärt werden, da konstante Verformungsamplituden auch der wirklichen Belastung eines Liners besser entsprechen.

In einer weiteren Serie von Versuchen wurde der Einfluß einer länger anstehenden Dauerbelastung in Kombination mit einer Temperaturbelastung untersucht. Dazu wurden die Versuchskörper zunächst auf die entsprechende Temperatur (70° C oder 120° C) aufgeheizt und anschließend innerhalb von zwei Wochen in vier Laststufen auf etwa 85% der zu erwartenden Bruchlast belastet. Diese Laststufe wurde ungefähr für weitere zwei Wochen gehalten. Danach wurde die Belastung bis zum Bruch gesteigert. Auch diese Belastungsweise brachte keine wesentlichen Veränderungen im Tragverhalten der Kopfbolzen.

4. Ergebnisse der Versuche an Verankerungsgruppen

In der ersten Serie der Versuche an Verankerungsgruppen wurde der Einfluß der Ankerabstände sowohl parallel als auch rechtwinklig zur Last auf eine Gruppe von Kopfbolzen untersucht. Die untersuchten Bolzenabstände betrugen 70 mm, 100 mm und 130 mm bei einem Bolzendurchmesser von 22 mm. Es zeigte sich, daß das Bolzenverhalten so lange unbeeinflusst blieb, wie sich die vor dem Bolzenfuß liegende Zone der Betonschädigung unbeeinflusst ausbilden konnte. Normalerweise erstreckt sich diese Zone auf etwa den 1,5fachen Bolzendurchmesser oberhalb und seitlich des Bolzens. In den Versuchen mit einem Bolzenabstand von nur 70 mm dehnte sich dieser Bereich

jedoch über den gesamten Bolzenzwischenraum aus, was eine merkbare Reduzierung der Bruchlast zur Folge hatte. Auch bei sehr kleinen Bolzenabständen rechtwinklig zur Lastrichtung ist eine solche Beeinflussung in Form einer Überschneidung der Betonschädigungszonen denkbar. In den durchgeführten Versuchen, die einen minimalen Bolzenabstand von 70 mm aufwiesen, trat dieser Effekt jedoch nicht auf.
Einflüsse auf die Größe der Bruchverformung wurden in den Versuchen nicht festgestellt.

Insgesamt drei Versuchserien befaßten sich mit dem Verhalten von kombinierten Ankergruppen aus Kopfbolzendübeln und Kühlrohren. Obwohl dabei sowohl die Vorspannung variiert wurde als auch Versuche ohne Vorspannung in Lastrichtung gefahren wurden, um einen freien Rand zu simulieren, treffen doch die meisten Ergebnisse für alle drei Versuchserien zu.
Das Verhalten von Ankergruppen, die aus Kopfbolzendübeln und Kühlrohren bestehen, wird von dem Verhalten des in Lastrichtung jeweils vor den Kühlrohren liegenden Betons dominiert. Die Versuche versagen in den meisten Fällen durch Abscheren des Betons in einer zu dem Linerblech parallelen Ebene.

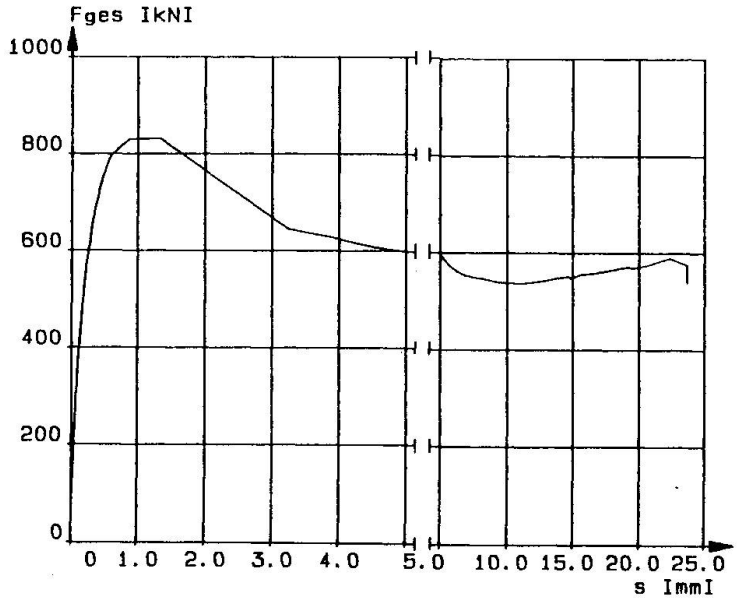


Bild 5: Typische Kennlinie einer kombinierten Verankerung

Die Kennlinie einer solchen kombinierten Ankergruppe (Bild 5) kann in vier Teile unterteilt werden:

1. Bis zu etwa 75% der Maximallast besteht eine nahezu lineare Beziehung zwischen Last und Verformung.
2. Anschließend nimmt die Krümmung mehr und mehr zu, bis die Maximallast erreicht ist.
3. Mit Erreichen der Maximallast versagt der vor den Kühlrohren liegende Beton. Dies geschieht jedoch nicht schlagartig wie bei dem Versagen eines Kopfbolzendübels, sondern spielt sich in einem Zeitraum von mehreren Sekunden ab.
4. Nach weiterer langsamer Lastabnahme stabilisiert sich die Last und die Verformungen nehmen stark zu. Bei Verformungen von bis zu 30 mm wird ein zweites Lastmaximum erreicht, das in seiner Größe vom Verhältnis der Tragfähigkeiten von Bolzen und Betonscherflächen abhängig ist. Kurz darauf versagt der erste Bolzen.

Die Tragfähigkeit einer kombinierten Ankergruppe resultiert aus verschiedenen Lastabtragungsmechanismen. Es konnte festgestellt werden, daß bei Berücksichtigung von drei verschiedenen Lastabtragungsmechanismen eine ausreichende Genauigkeit bei der Vorhersage der Maximallast erreicht werden kann. So reicht es aus, nur den Beton zwischen zwei Kühlrohren, über dem obersten Kühlrohr und die Bolzen zu berücksichtigen, während verschiedene Ankeranordungen, die Position eines Bolzens in einem Ankermuster, der Bolzenabstand und der Kühlrohrabstand nicht berücksichtigt werden müssen.

Zwischen zwei Kühlrohren wurde der Beton in allen Versuchen abgeschert, wobei eine maximale Scherspannung von etwa 5 N/mm^2 erreicht wurde. Waren die Versuchskörper auch in der Richtung parallel zur Last vorgespannt, so trug die Betonscherfläche oberhalb des oberen Kühlrohres die gleiche Spannung. Bei den Versuchen, in denen ein freier Rand simuliert werden sollte, konnte diese Betonscherfläche nur eine reduzierte Scherspannung von etwa 1,5 N/mm^2 übertragen. Die verwendeten Kopfbolzen mit 22 mm und 16 mm Durchmesser trugen beim ersten Lastmaximum Lasten von etwa 115 KN bzw. 68 KN.
Die Verformungen zwischen Beton und Liner lagen an dieser Stelle zwischen etwa 0,8 mm und 1,3mm, was recht gut den Werten entspricht, die in den Versuchen mit einzelnen Kühlrohren an der Ruhr-Universität Bochum /3/ gefunden wurden. Dabei hatten im wesentlichen zwei Parameter einen Einfluß auf die Größe der Verformung:

1. Bei Verwendung von 16 mm Bolzen erreichten die Verformungen beim ersten Lastmaximum nur etwa 80 % der Werte für 22 mm Bolzen.
2. Es liegt eine Tendenz vor, nach der die Verformungen beim ersten Lastmaximum bei einer Verringerung des Kühlrohrabstandes abnehmen.

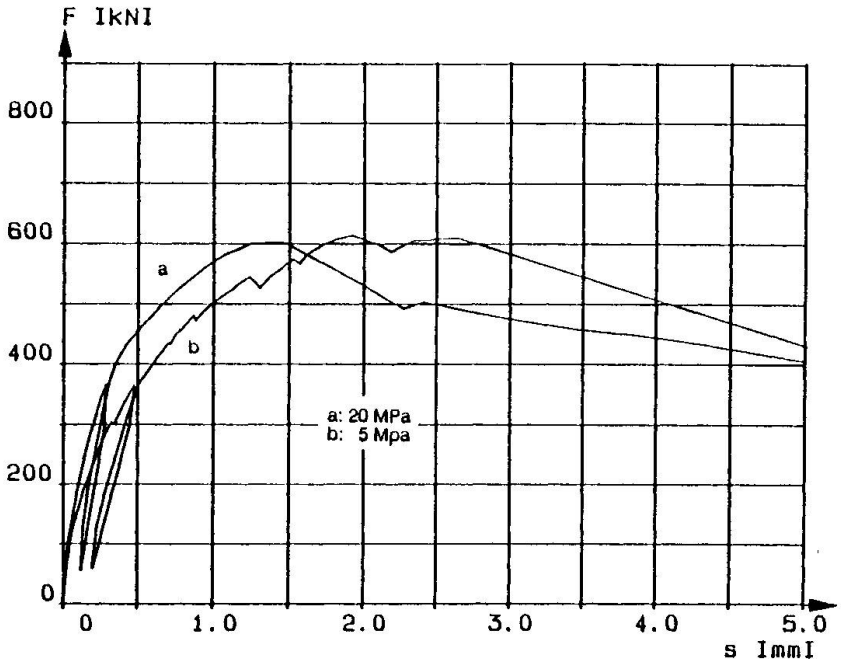


Bild 6: Einfluß der Vorspannung auf eine kombinierte Verankerung

Ein Vergleich von ansonsten identischen Versuchen mit unterschiedlicher Vorspannung, jedoch ohne Simulation eines freien Randes, zeigte, daß die Vorspannung keinen großen Einfluß auf das generelle Verhalten der Versuchskörper hat. Jedoch vergrößerten sich die Verformungen beim ersten Lastmaximum bei einer Reduzierung der Vorspannung von 20 N/mm^2 auf etwa 5 N/mm^2 um bis zu 50 %, während die Steifigkeit im Anfangsbereich auf etwa 50 % der vorherigen Werte abnahm.

5. Literatur

1. RAMM W., SCHEELE J., Ankerkennlinien zur Linerverankerung. Versuchsbericht, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion, April 1987

2. RAMM W., SCHEELE J., Ankerkennlinien-Gruppenversuche zur Linerverankerung. Versuchsbericht, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion, Mai 1989

3. STANGENBERG F., BAUSCH S., Versuche an betonverankerten Kühlrohr-Liner-Verbindungen zur Ermittlung von Ankerkennlinien. Versuchsbericht, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Stahlbeton- und Spannbetonbau, 1987