

Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens
für Reibungsuntersuchungen mit
Spannstahllitzen

T 2073

T 2073

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

B e r i c h t Nr.: 29/88

Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungsunter-
suchungen mit Spannstahllitzen

- S C H L U S S B E R I C H T -

erstattet von: Dipl.-Ing. Heinz **BÖKAMP**

Dr.-Ing. Heiner **CORDES**

Professor Dr.-Ing. Dr.h.c. Heinrich **TROST**

Dieser Bericht umfaßt: 37 Seiten Text

3 Seiten Anlagen

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

1. Veranlassung und Zielsetzung	1
2. Überblick über den Stand der Kenntnisse zur Untersuchung von Reibungskennwerten	3
3. Entwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungs- untersuchungen bei Spannstahlilitzen	7
4. Funktionsüberprüfung und Grundsatzversuche	15
5. Reibungsuntersuchungen an Litzen und Hüllrohr- proben bei Vorlagerung im Klimaraum	20
5.1 Verwendete Materialien	20
5.2 Versuchsprogramm	21
5.3 Ergebnisse der Versuche und Diskussion	26
6 Zusammenfassung	35
7. Literatur	37

Anlagen

1. Veranlassung und Zielsetzung

Für den Ansatz von Reibungskennwerten zur Ermittlung des Spannkraftverlustes während des Vorspannvorganges stehen umfangreiche Ergebnisse zur Verfügung. Forschungsvorhaben zu diesem Thema wurden unter anderem am Institut für Massivbau in Aachen /1/ und am Institut für Baustatik und Meßtechnik der Universität in Karlsruhe /2/ durchgeführt. Ausgehend von verschiedentlichen Schwierigkeiten beim Vorspannen von Litzenspanngliedern sollte durch Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungsuntersuchungen die Möglichkeit geschaffen werden, vermutliche Ursachen näher zu bestimmen. Insbesondere die Erkenntnis, daß der Gebrauchszustand und damit die Dauerhaftigkeit der Bauwerke in den letzten Jahren an Stellenwert gewonnen haben, bestärkt die Forderung nach einer einwandfreien planmäßigen Eintragung und Kontrolle der Vorspannung. Hierzu gehört eine möglichst exakte Vorausbestimmung der zu erwartenden Reibungsverluste. Insbesondere fehlen bislang ausreichende Erkenntnisse über die Produktabhängigkeit sowie über den Einfluß von lagerungsbedingten Oberflächenveränderungen bei Litzen und Hüllrohren.

Ziel des Forschungsvorhabens war daher die Entwicklung einer Prüfeinrichtung zur einfachen Überwachung der für das Reibungsverhalten von Litzen maßgebenden Parameter. Durch einen einfachen Aufbau der Prüfeinrichtung sollte ein sinnvoller Einsatz unter anderem in der Spannstahlfertigung gewährleistet werden.

Grundlage für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens war die Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens, das in seinen Grundzügen bei Untersuchungen für glatte Stähle nach /2/ bereits mit Erfolg eingesetzt wurde, für Litzen und gerippte Stähle jedoch nur bedingt verwendbar war.

Schwierigkeiten bei der Überprüfung des Reibungsverhaltens von Litzenspanngliedern entstehen aus dem mehrdrähtigen Aufbau der Einzellitze und der sich daraus ergebenden umlaufenden Rippung. Diese Rippung erzwingt ohne zusätzliche Maßnahmen eine Drehung der Litze während der Prüfung. Da auf der Baustelle jedoch die Spannglieder am Verdrehen gehindert sind

entspricht diese Drehung nicht den Verhältnissen beim Vorspannvorgang und ist somit bei der Prüfung auszuschließen. Das Ergebnis dieser Weiterentwicklung des Prüfverfahrens für Reibungsuntersuchungen an Litzenspanngliedern wird in den Abschnitten 3 und 4 des vorliegenden Berichtes vorgestellt. Anschließend wird in Abschnitt 5 über Tastversuche zu den Auswirkungen einer Vorlagerung von Litzen- und Hüllrohrproben bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf das Reibungsverhalten berichtet.

2. Überblick über den Stand der Kenntnisse zur Untersuchung von Reibungskennwerten

In der Methodik zur Untersuchung der Reibungsverluste verschiedener Spannverfahren sind außer der direkt auf der Baustelle durchgeführten Messung zwei verschiedene Verfahrenswege möglich. Sie unterscheiden sich im wesentlichen in der Größe der zum Einsatz kommenden Spannstahlprobe.

Bei der Methode der Großmodellversuche nach in /1/ werden Spannstahlproben mit einer Länge von bis zu 12,0 m auf ihr Reibungsverhalten überprüft. Das Verfahren mittels Kleinmodellversuchen nach /2/ beschränkt sich dagegen auf Spannstahlproben bis ca. 1,0 m Länge.

Diese drei Verfahren besitzen jedoch eine unterschiedliche Aussagekraft im Hinblick auf die Güte des Ergebnisses. Bei dem Verfahren zur Ermittlung von Reibungskennwerten durch Baustellenmessung ist die Aussagekraft stark von der erzielbaren Meßgenauigkeit abhängig. Tatsächlich waren die Ergebnisse in der Vergangenheit stets durch starke Streuungen gekennzeichnet. Mit diesem Verfahren ist eine Aussage über etwaige Abhängigkeiten der Reibungskennwerte von bestimmten Einflußgrößen nur eingeschränkt möglich. Ein umfangreiches Verzeichnis über bislang durchgeführte Baustellenmessungen ist in /1/ enthalten.

Ursache für die Fehleranfälligkeit der Baustellenmessung ist die Tatsache, daß der gemittelte Reibungskennwert im wesentlichen durch die Kraftdifferenz zweier Meßstellen bestimmt wird, und somit der Genauigkeit der Kraftmessung eine große Bedeutung zukommt. Da die zu messenden Differenzen zwischen den großen Kräften relativ klein sind, führen schon kleine Meßfehler zu großen Abweichungen. Die Baustellenmessung besitzt eine zweite Schwachstelle in der Ermittlung des Gesamtumlenkwinkels. Dieser sich aus einem planmäßigen und einem ungewollten Anteil zusammensetzende Winkel bereitet insbesondere bei der Bestimmung des ungewollten Anteiles Schwierigkeiten, da für die Abschätzung dieses Anteiles Annahmen zu

treffen sind über

- Verlegeungenaugigkeit der Hüllrohre,
- Hüllrohrspiel,
- Biegesteifigkeit der Hüllrohre.

Nähere Hinweise zur Bestimmung des ungewollten Umlenk winkels sind in /2/ enthalten.

Um die Ergebnisse im Vergleich zur Baustellenmessung zu verbessern, ist eine Minimierung der Meßungenaugigkeiten anzustreben. Außerdem sind zufällige Einflüsse möglichst weitgehend auszuschließen. Aus diesen Forderungen heraus ergab sich die Entwicklung von Großmodellversuchen. Bei den im Großmodellversuchsstand ausgeführten Reibungsuntersuchungen kann die Kraft- und Wegmessung direkt mit induktiven Wegaufnehmern und elektrischen Kraftmessdosen unter Laborbedingungen erfolgen. Bei dem in Bild 1 dargestellten Versuchsstand ist die Kraft- und Wegüberwachung für die in /1/ angesprochenen Versuche dargestellt. Eine Messung der Kraftgrößen erfolgt dort sowohl an den beiden Spanngliedenden als auch im Scheitelpunkt des Bogens.

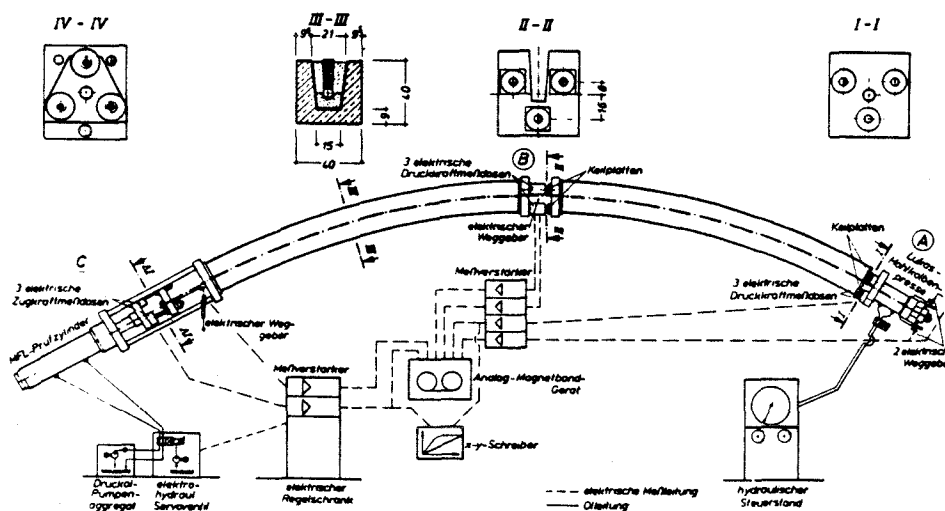
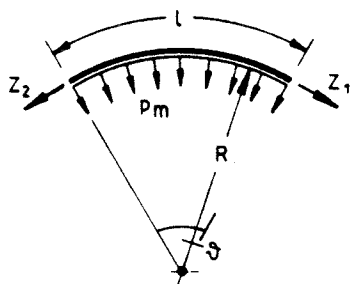


Bild 1: Großmodellversuchsstand /1/

Mit diesem Versuchsaufbau ist ein planmäßiger Verlauf des Spanngliedes im Vergleich zu Baustellenversuchen mit größerer Genauigkeit herzustellen. Die Größe des ungewollten Umlenk- winkels ist hier ebenfalls auf ein Minimum reduziert. Die Verwendung der elektrohydraulischen Steuereinrichtung an beiden Spanngliedenden ermöglicht darüber hinaus eine Ver- längerung des auftretenden Ziehweges und damit die Simulation von beliebig langen Spanngliedern.

Für die Auswertung der Versuche und Bestimmung des Reibungs- beiwertes werden die in Bild 2 angegebenen Beziehungen ver- wendet.



$$\mu = \frac{z_1 - z_2}{p_m \cdot l}$$

$$\mu = \frac{(z_1 - z_2) \cdot R}{0,5(z_1 + z_2) \cdot l}$$

$$\mu = 2 \frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \cdot \frac{1}{\vartheta}$$

Bild 2: Grundlagen zur Auswertung der Versuche in /1/

Die einzelnen Ergebnisse ermöglichen eine Aussage über den qualitativen Verlauf des Reibungsbeiwertes über den Ziehweg in Abhängigkeit folgender Einflußgrößen

- Querpressung,
- Verschiebungsweg,
- Änderung der Ziehrichtung.

Ferner kann bei der Verwendung von Spannstählen, die bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen vorgelagert werden, auch der Einfluß der Korrosion untersucht werden.

Die Anwendung von Großmodellversuchen ist jedoch gerade im Hinblick auf die Untersuchung des Korrosionseinflusses un- wirtschaftlich. Die große Zahl dafür notwendiger Versuche läßt den Zeit- und Kostenaufwand stark ansteigen. Hier ist die Anwendung der nachfolgend näher beschriebenen Versuche

mit dem Kleinmodell eindeutig im Vorteil. Diese Methode erlaubt die Erhöhung der Versuchsanzahl bei nur geringem Mehraufwand, sowohl im Hinblick auf die benötigte Zeit, als auch für notwendige Umbaumaßnahmen zwischen den einzelnen Versuchen.

Reibungsuntersuchungen mit Hilfe von Kleinmodellversuchen sind unter anderem in /2/ und /3/ beschrieben. Mit den dort vorgestellten Versuchseinrichtungen sind bereits verschiedene Reibungsuntersuchungen ausgeführt worden. Dies trifft insbesondere für Spannstähle mit glatten Oberflächen zu. Bei Spannstahllitzen ist jedoch eine Anwendung der dort genannten Verfahren nicht möglich.

Das Prinzip der Versuchseinrichtung aus /2/ ist in Bild 3 dargestellt.

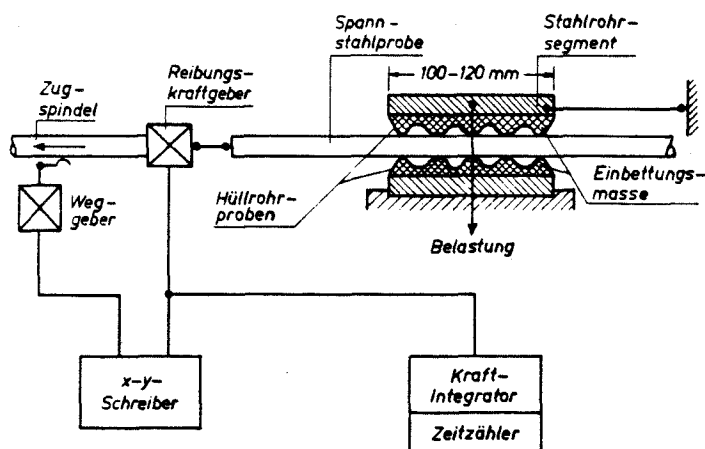


Bild 3: Kleinmodellversuchsstand aus /2/

Hierbei wird eine Spannstahlprobe zwischen 2 liegenden Hüllrohrsegmenten mit einer konstanten Kraft auf Querdruck belastet. Während der Versuchsdurchführung wird der Spannstahl mit Hilfe einer Ziehvorrichtung in Längsrichtung durch die Hüllrohrsegmente gezogen. Dabei wird die zur Aufrechterhaltung der Gleitbewegung erforderliche Ziehkraft, sowie der zurückgelegte Verschiebungsweg gemessen. Durch die Kontrolle der Ziehkraft bei konstanter Anpreßkraft ist eine Aussage über den auftretenden Reibungskennwert μ möglich.

Aufbauend auf dieser Versuchseinrichtung wird nachfolgend die Weiterentwicklung dieses Prüfverfahrens für die Untersuchung von Reibungskennwerten bei Litzenspanngliedern beschrieben.

3. Entwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungsuntersuchungen bei Spannstahllitzen

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines Prüfverfahrens unter Beachtung der speziellen Randbedingungen bei der Ermittlung von Reibungskennwerten für Litzenspannglieder. Insbesondere die bei den bisher bekannten Verfahren aufgetretenen Schwierigkeiten, hervorgerufen durch die besondere Querschnittsstruktur der Litze, sollten kompensiert werden. In Vorversuchen zur Ermittlung der auftretenden Randbedingungen konnte während des Ziehvorganges eine sich periodisch wiederholende Auslenkung der Hüllrohrsegmente beobachtet werden. Diese Horizontalbewegung hatte ihre Ursache in der durch den Schlag der Litze entstehenden regelmäßigen Querschnittsaufweitung.

Als weiteres Ergebnis ergab sich während des Ziehvorganges eine schraubenartige Drehbewegung der Litze, die der Wickelung des Einzeldrahtes der Litze folgte.

Diese Beobachtungen liefern auch eine Erklärung für die in /2/ genannten Schwierigkeiten bei Reibungsuntersuchungen mit Litzenspanngliedern. Durch die dynamische Anregung der lastaufbringenden Massen infolge der Querschnittsaufweitung durch den Litzenschlag konnte es dort in Zusammenhang mit der Federwirkung der Versuchseinrichtung zu Schwankungen in der Größe der Anpreßkraft kommen. Da eine Messung der Anpreßkraft in dem dargestellten Versuchsaufbau nicht vorgesehen war, ist eine genaue Aussage über die Größenordnung der Schwankungen nicht möglich.

Unter Beachtung der aus der Literatur bekannten Probleme bei Reibungsuntersuchungen mit Litzenspanngliedern und der durch Vorversuche ergänzten Beobachtungen wurden folgende Kriterien für die Entwicklung des neuen Verfahrens festgelegt

- Möglichkeit der ständigen Kontrolle der Anpreßkraft,
- Vermeidung der Drehbewegung der Litze während des Versuchsvorganges,

- Aufbau der Prüfeinrichtung mit einfachen Mitteln,
- Möglichkeit der stufenlosen Steigerung der Anpreßkraft,
- Schaffung bauwerksähnlicher Verhältnisse durch Einbettung der Hüllrohre in Zementmörtel.

Mit diesen Vorgaben wurde eine Variante A der Prüfeinrichtung hergestellt (Bild 4).

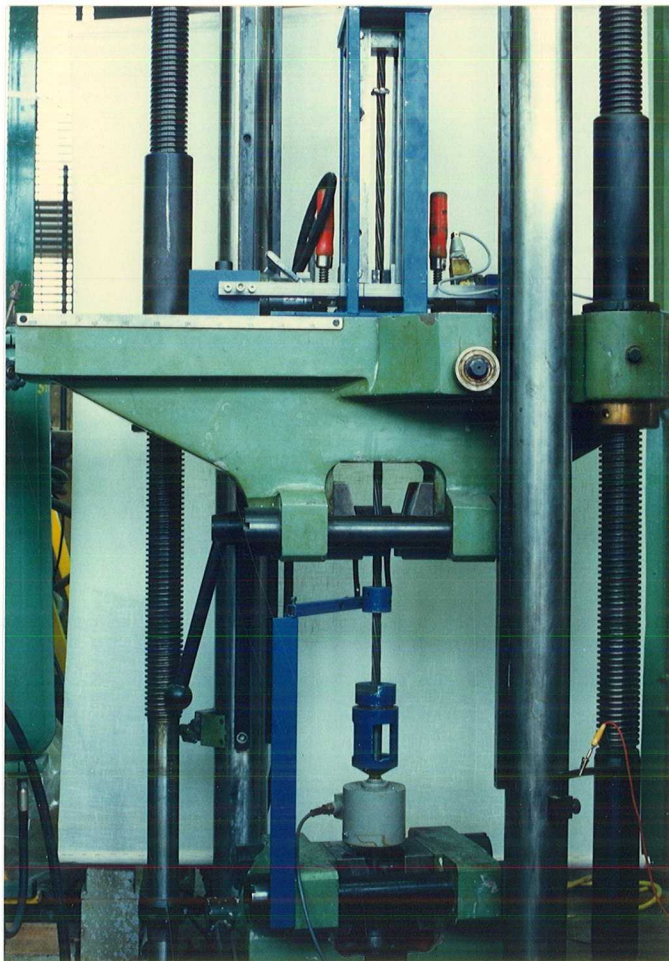


Bild 4: Variante A der Versuchseinrichtung

Die Funktionsüberprüfung dieser Anlage ergab jedoch verschiedene Mängel, die in der Fortführung des Forschungsvorhabens zu beheben waren. Insbesondere ergaben sich unzulässige Reibungsverluste im Druckzylinder für die Anpreßkraft. Diese

resultierten aus dem Ausgleich der durch die Querschnittscharakteristik der Litze verursachten Zylinderbewegungen. Zusätzlich entstand durch geringe exzentrische Lasteintragung der Anpreßkraft eine unzulässig hohe Streuung der Meßergebnisse.

Da mehrere an der Versuchseinrichtung ausgeführte Korrekturen nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führten, war es zur Erfüllung der genannten Kriterien erforderlich, eine Variante B zu entwerfen und herzustellen. Bei dieser Ausführung wurden zusätzlich die Hüllrohrsegmente soweit verlängert, daß beim Prüfvorgang mindestens 3 Punkte der Litze Kontakt mit dem Hüllrohr hatten. Diese neue Versuchseinrichtung ist in Bild 5 dargestellt.

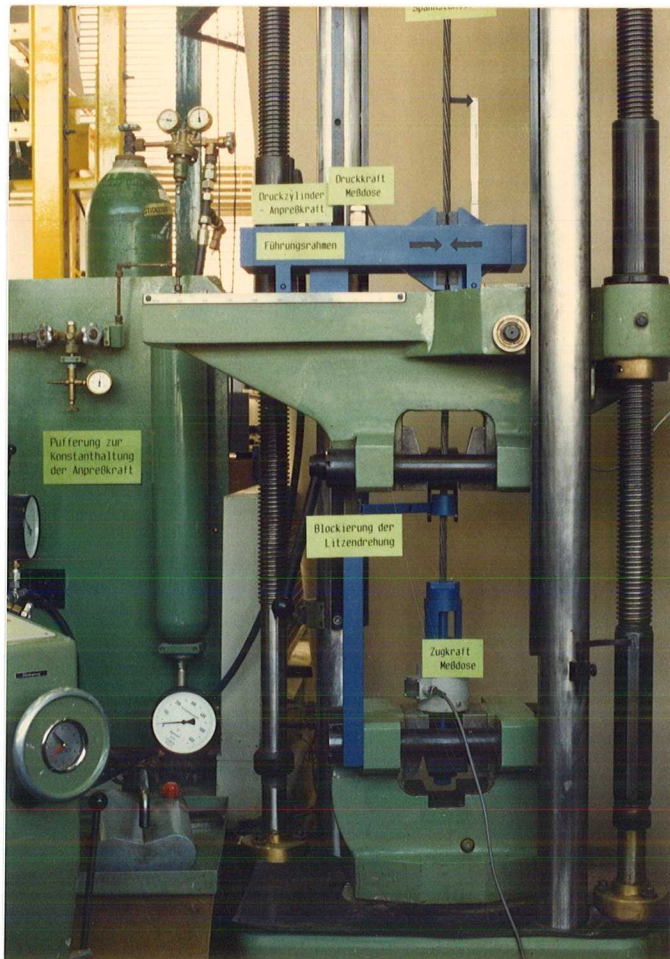


Bild 5: Variante B der Versuchseinrichtung

Die Basis für den Versuchsaufbau stellt eine Universal - Prüfmaschine UPD 60 dar. Ihre Steuereinrichtung erlaubt eine

stufenlose Weg- und Geschwindigkeitssteuerung der Prüfvorrichtung. Sie dient während des Ziehvorganges zur Aufbringung der für die Überwindung der Reibung erforderlichen Ziehkraft. Als maximaler Ziehweg steht eine Strecke von 200 mm zur Verfügung. Dieser Wert ist abhängig von der Konstruktion der Prüfmaschine.

Der Aufbau der neuen Versuchseinrichtung setzt sich aus folgenden Teilen zusammen (Bild 6 + Konstruktionszeichnung in der Anlage):

Die zu prüfende Litze ist über eine Keilverankerung an dem feststehenden Sockel der Prüfmaschine angeschlossen. Zur Kontrolle der beim Ziehvorgang auftretenden Kraft ist eine Zugkraftmeßdose zwischengeschaltet.

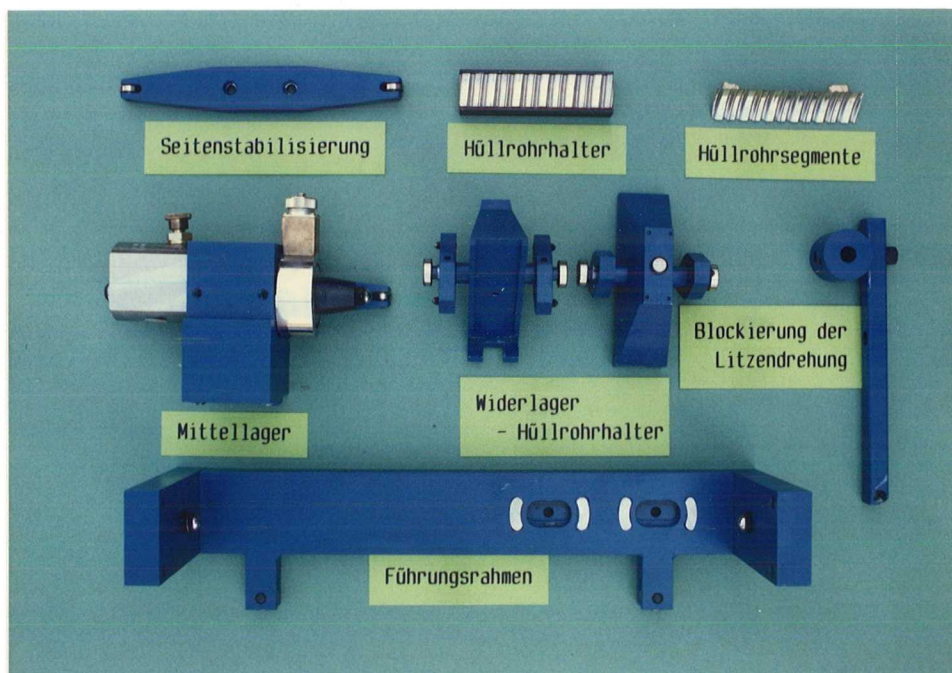


Bild 6: Einzelteile Versuchseinrichtung

Die Aufbringung der horizontal wirkenden Anpreßkraft erfolgt über eine übliche Zylinderpresse, bei der als Dichtungselemente PTFE-Materialien zur Verringerung der Reibungsverluste eingesetzt wurden. Diese Anpreßkraft bewirkt die Simulation der Umlenkpressungen aus der Wirkung einer gekrümmten Spanngliedführung. Die Messung der Kraft übernimmt hier ebenfalls eine Druckkraftmeßdose. Sowohl die eingebaute Zylinderpresse als auch die Druckkraftmeßdose sind an einem Mittelager unverschieblich befestigt und besitzen hierdurch eine

starre Verbindung mit dem Prüfmaschinenquerhaupt. Die einzu-
leitende Horizontalkraft wird einerseits über einen geschlos-
senen Führungsrahmen auf die äußere Hüllrohrhalterung über-
tragen und andererseits über die Kraftmeßdose auf die innen
liegende Hüllrohrhalterung abgegeben, wodurch der Kraftfluß
geschlossen wird (Bild 7).

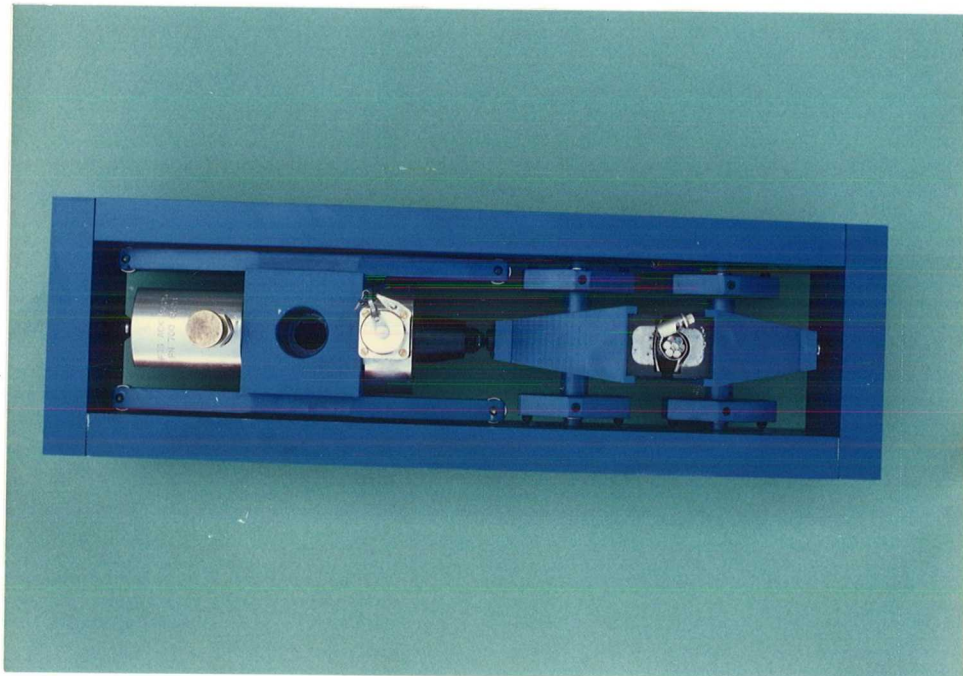
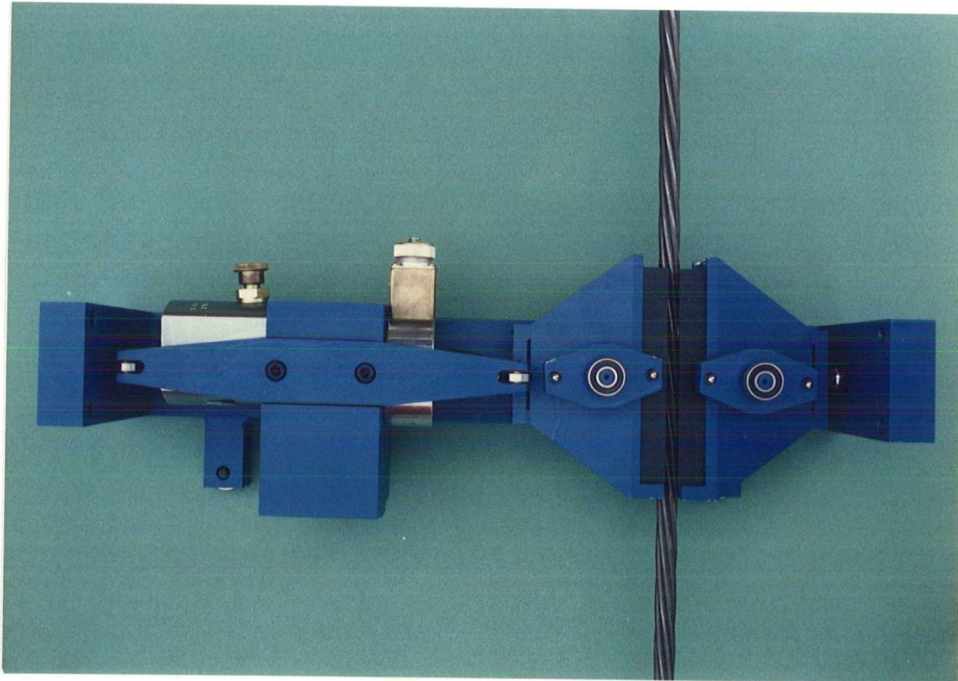


Bild 7: Ansicht und Draufsicht Führungsrahmen
vgl.: Anlage 1: Konstruktionszeichnung

Die Krafteinleitung über den Führungsrahmen wurde gewählt, um Reibungsverluste durch Verkanten des Zylinders in der Presse weitgehend auszuschließen. Bereits eine geringfügig exzentrische Lasteinleitung führte zu Reibungsverlusten in der Zylinderpresse durch Anlegen des Kolbens an die Zylinderwandung. Um Reibungsverluste in der Zylinderpresse noch weiter abzubauen, wurde als Dichtungsmaterial für die Zylinderpresse ein PTFE-Material verwendet, welches eine fast reibungsfreie Führung des Zylinders erlaubt.

Um bei der Versuchsdurchführung ein Klemmen oder Verkeilen der Horizontalführung zu vermeiden, wurden alle Teile über Kugellagerungen gelenkig angeschlossen.

Als Reibpartner für die Litze wurden Ausschnitte aus handelsüblichen Hüllrohren verwendet. Diese Teile wurden mit einer Mörtelmischung in U-förmigen Hüllrohrhaltern eingebettet, die nach Erhärtung des Mörtels lose in die beidseitigen Widerlager (Bild 8) eingelegt wurden. Damit wurde ein leichtes Auswechseln der Hüllrohrsegmente nach jeder Versuchsdurchführung möglich. Die Länge der einzelnen Hüllrohrsegmente ist so gewählt, daß während des Ziehvorganges stets mindestens 3 Kontaktstellen zwischen Hüllrohr und Litze vorhanden sind.

Die Hüllrohrhalter besitzen weiterhin die Aufgabe, die beim Ziehvorgang in vertikaler Richtung auftretende Reibkraft aufzunehmen und an die Widerlager abzuleiten.

Als letztes Detail ist die Vorrichtung zur Blockierung der Litzendrehung zu nennen. Diese schraubenartige Drehbewegung folgt dem Schlag der Litze und wählt somit den Weg des geringsten Widerstandes. Die ermittelten Reibungskennwerte liegen bei möglicher Drehung der Litze wesentlich niedriger als bei Prüfung unter Ausschluß der Litzendrehung. Da der Ausschluß der Drehung der Litze den Verhältnissen beim Vorspannvorgang auf der Baustellen am besten entspricht, wurden die Versuche mit behinderter Litzendrehung ausgeführt. Die Festlegung der Litze geschieht über die in den Bildern 5 und 6 gezeigte Vorrichtung.

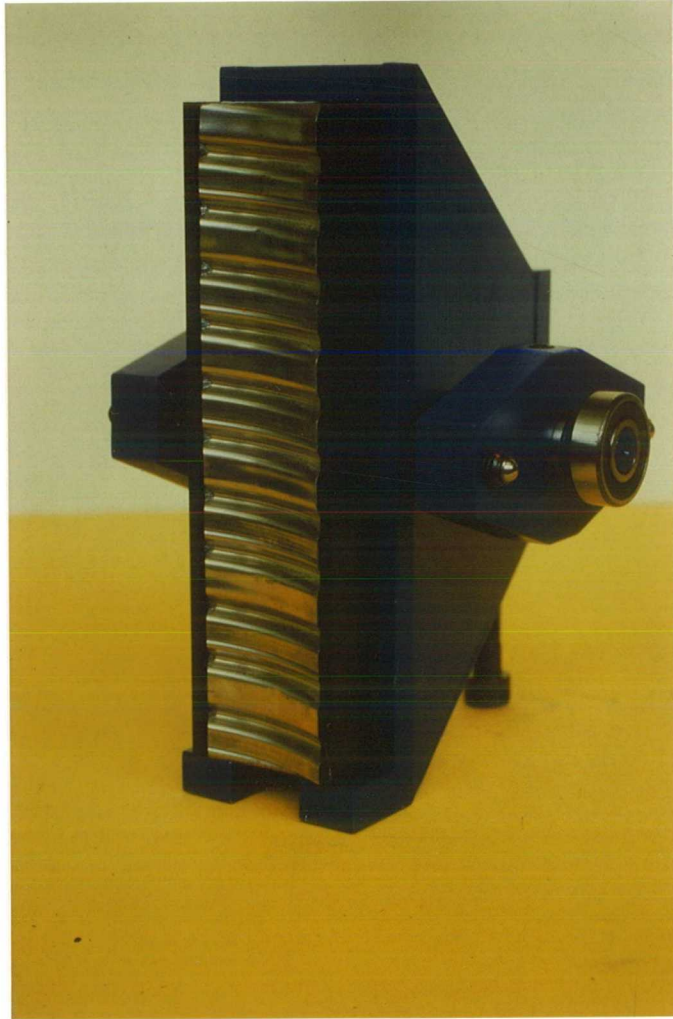


Bild 8: Hüllrohrsegment einschließlich Halterung

Als Meßgrößen dienen bei dem Versuch die Anpreßkraft A und die Ziehkraft Z . Der Reibungskennwert ergibt sich dann mit der Beziehung $\mu = Z / 2A = Z / p_m l$, wobei p_m die Größe der Pressung zwischen Litze und Hüllrohr darstellt.

Für die exakte Versuchsdurchführung ist die sichere Einleitung bzw. Kontrolle der auftretenden Kräfte erforderlich.

Insbesondere die Gewährleistung einer konstanten Anpreßkraft war nicht ohne zusätzliche Maßnahmen möglich. Der in Längsrichtung veränderliche Querschnitt der Litze verursachte beim Ziehvorgang nicht unbedeutende Bewegungen im Druckzylinder. Um im Zylinder eine Kraftänderung während dieser Bewegung zu verhindern, wurde der Hydraulikzylinder mit einer Puffereinrichtung gekoppelt. Diese Vorrichtung, die im einzelnen aus einem Stickstoffpuffer und den notwendigen Steuerventilen be-

steht, sorgt für einen Ausgleich der durch die Bewegung hervorgerufenen Druckerhöhung. Als Ergänzung der entwickelten Prüfeinrichtung existiert an dieser Stelle die Möglichkeit durch Einbau eines Steuerventiles die Anpreßkraft stufenlos aufzubringen. Dies entspricht auch den auf der Baustelle vorliegenden Verhältnissen beim Anspannvorgang.

4 Funktionsüberprüfung und Grundsatzversuche

Mit der in Bild 5 und in der beigefügten Konstruktionszeichnung dargestellten Versuchsanlage wurde mit Hilfe entsprechender Grundsatzversuche eine Funktionsüberprüfung vorgenommen. Hierbei konnte eine einwandfreie Arbeitsweise der Anlage festgestellt werden, wobei die innerhalb der Versuchseinrichtung auftretenden Reibungsverluste einen vernachlässigbaren Wert aufweisen.

Der Durchführung der Versuche lagen folgende Arbeitsschritte zugrunde:

- 1) Einbau der Hüllrohrproben mit Zementmörtel in die Hüllrohrhalterung (mit entsprechendem zeitlichen Vorlauf für die Erhärtungsphase des Mörtels),
- 2) Einbau und Anschluß der Litze an die Zugkraftmeßdose mittels Keilverankerung,
- 3) Blockierung der Litzendrehung,
- 4) Einlegen der Hüllrohrsegmente,
- 5) Aufbringen der Anpreßkraft und Koppelung mit der Puffereinrichtung,
- 6) Beginnen des Ziehvorganges durch Kraftaufbringung über die Prüfmaschine und gleichzeitig beginnender Registrierung der Anpreßkraft A und der Ziehkraft Z.
- 7) Nach Erreichen des maximalen Ziehweges Aufheben der aufgebrauchten Kräfte,
- 8) Auswechseln bzw. Ausbau der Litzen- und Hüllrohrproben.

Für den nächsten Versuch waren diese Arbeitsschritte jeweils zu wiederholen. Die einfache Ausführung und Bedienung der Versuchseinrichtung gestattet die Durchführung größerer Versuchszahlen in relativ kurzer Zeit.

Die Aufbereitung und Registrierung der ermittelten Meßergebnisse erfolgt mit der in Bild 9 gezeigten Meßeinrichtung.

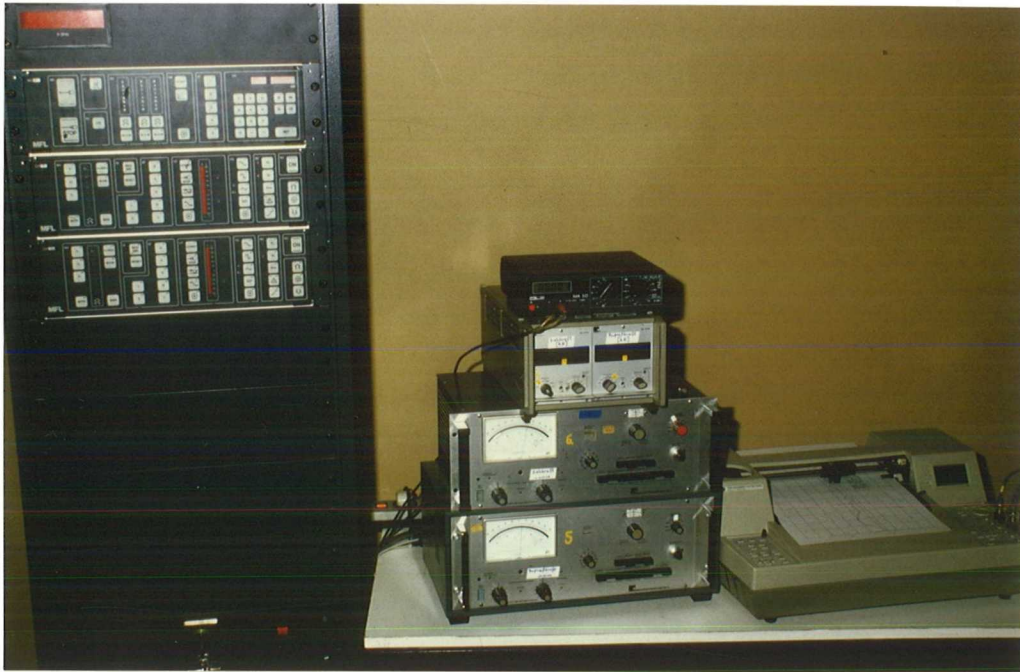


Bild 9: Aufzeichnungs- und Registrierungseinrichtung

Dabei wurden die auftretenden Kraftgrößen mittels Digitalvoltmeter zur Anzeige gebracht und gleichzeitig in die Speichereinrichtung des Aufzeichnungsgerätes übertragen. Dieser Plotter HP 7090 der Fa. Hewlett-Packard wies drei Kanäle zur Aufzeichnung analoger Eingangssignale auf, deren Werte getrennt für jeden Eingangskanal in einem Pufferspeicher abgelegt wurden. Mit Hilfe eines Plot-Befehls konnten die 3 Pufferspeicher anschließend abgerufen werden. Die Aufnahme des Ziehweges erfolgte mit Hilfe eines induktiven Wegaufnehmers.

Als Ergebnis entstand ein Diagramm, in dem die Größe der Anpreßkraft A und der infolge der Reibung geweckten Ziehkraft Z in Abhängigkeit vom Ziehweg grafisch dargestellt wurden. Der untersuchte Reibungsbeiwert ergab sich anschließend zu $\mu = Z/2A$. Bei konstanter Anpreßkraft stellt der Verlauf des Reibungsbeiwertes eine parallele Linie zum Verlauf der Ziehkraftkurve dar. In Bild 10 wird das Ergebnis eines Versuches mit einer Anpreßkraft von 5 KN gezeigt.

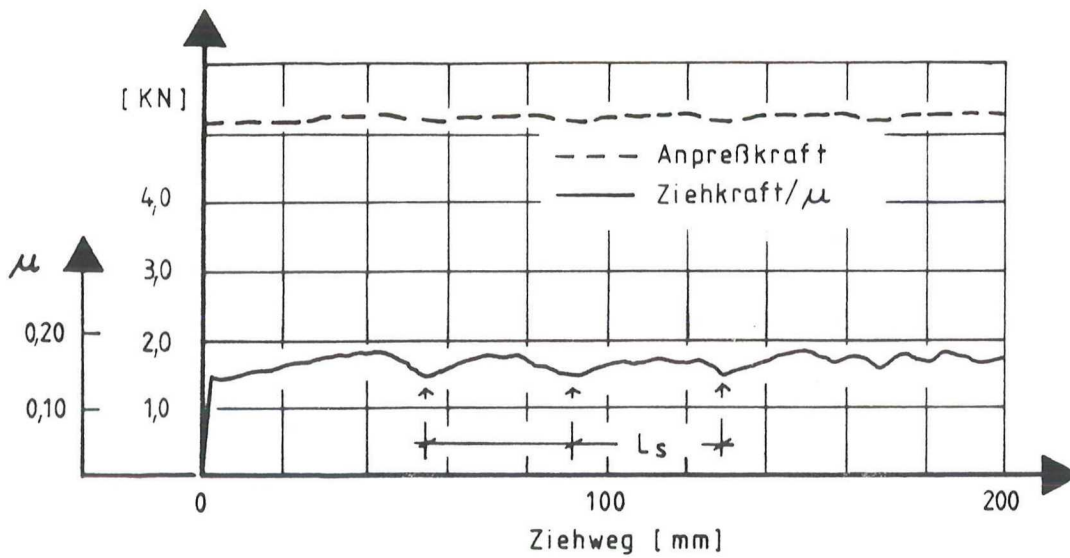


Bild 10: Grundsatzversuch mit einer Anpreßkraft von 5 kN

Deutlich ist hierbei die gelungene Konstanthaltung der Anpreßkraft zu erkennen. Im Verlauf der Ziehkraftkurve zeigt sich der in Abhängigkeit von der Schlaglänge L_s der Litze auftretende jeweilige Anstieg der Ziehkraft.

Bild 11 gibt die bei diesem Versuch benutzten Hüllrohrsegmente wieder.



Bild 11: Reibspuren Grundsatzversuch

Der Ziehvorgang hat hier zu einer gleichmässigen Reibspur im Hüllrohr geführt. Im Vergleich dazu ist bei fehlender Behinderung der Litzendrehung die Reibspur entsprechend dem Verseilungswinkel der Litzendrähte geneigt (Bild 12).



Bild 12: Reibspur bei Drehung der Litze

Zusammenfassend ergab die Funktionsüberprüfung ein einwandfreies Arbeiten der Versuchseinrichtung. Im Anschluß daran war es daher möglich, die in Abschnitt 5 erläuterte Versuchsserie auszuführen.

Zuvor soll jedoch noch kurz in einer Übersicht die mögliche Bandbreite der mit der entwickelten Versuchseinrichtung zu untersuchenden Parameter vorgestellt werden. Bekanntlich ist die Größenordnung der beim Spannvorgang auftretenden Reibungsverluste von einer Vielzahl möglicher Einflußgrößen abhängig. Die Übersicht in Bild 13 umfaßt daher nur die wichtigsten Einflußgrößen. Die Versuchseinrichtung erlaubt es nun, den Einfluß ausgewählter Parameter auf das Reibungsverhalten zu untersuchen.

Als Beispiel wird in Abschnitt 5 die Auswirkung einer Probenvorlagerung bei 20-50°C und gleichzeitig wirkender Luftfeuchtigkeit von ca. 95% vorgestellt.

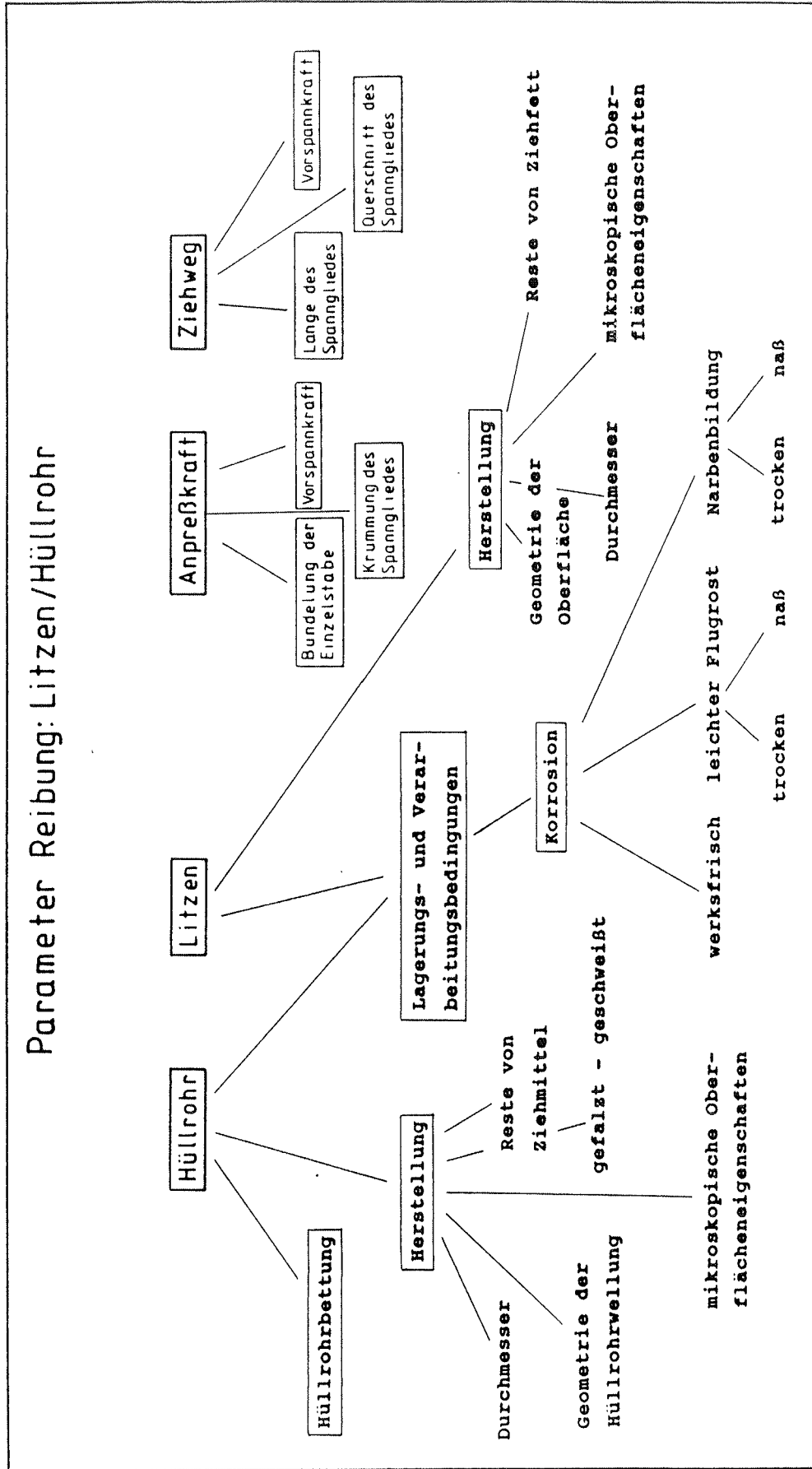


Bild 13: Parameterübersicht Reibung - Litzen Spannglieder

5. Reibungsuntersuchungen an Litzen und Hüllrohren bei

Vorlagerung im Klimaraum

5.1 Angaben zu den verwendeten Spannstählen und Hüllrohren sowie den gewählten Anpreßkräften und dem Ziehweg

Um die Anwendung der Prüfeinrichtung zu demonstrieren, wurden in dieser Untersuchung nur Einzellitzen mit einem Durchmesser von 0,6" verwendet. Ihre Verankerung in der Prüfeinrichtung wurde mittels Keilverankerung in speziell angefertigten Keilträgern sichergestellt. Die Abmessungen und Festigkeitswerte entsprachen den in der Zulassung genannten Werten. Die verwendeten Litzenstücke wurden vor ihrer Prüfung auf erkennbare Beschädigungen ihrer Oberfläche überprüft, insbesondere auf bereits vorhandene Korrosionsprodukte. Die Auswahl der Proben erfolgte in Längen von 1,2 m aus werksfrischen Spannstahlbeständen des Instituts.

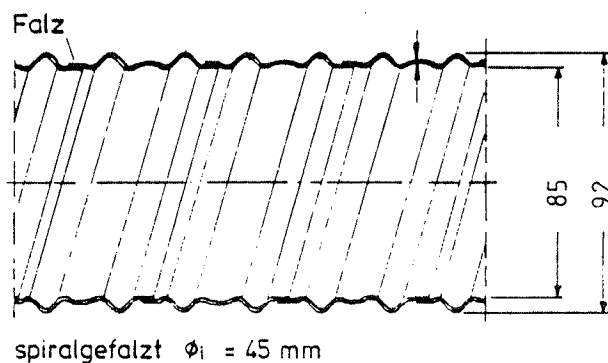


Bild 14: Längsschnitt der verwendeten Hüllrohre

Die Ausbildung und Abmessungen der verwendeten Hüllrohre geht aus Bild 14 hervor. Alle Hüllrohre wurden in einwandfreiem Zustand in einer Länge von 150 mm in die Hüllrohrhalterung eingebaut. Anschließend wurden die Hohlräume mit Zementmörtel in einem Mischungsverhältnis von 1 : 3 verfüllt. Für die Erhärtungsphase wurde ein Zeitraum von 28 Tagen gewählt. Aus Vorversuchen war bekannt, daß bei kürzeren Erhärtungsphasen

der Mörtelmischung die Eindrückungen im Mörtel und damit die Größe der Reibspuren erheblich zunehmen.

Wie bereits in der Übersicht auf Seite 19 gezeigt, besitzen neben den Materialkenngrößen die Parameter Anpreßkraft und Ziehweg einen Einfluß auf das zu untersuchende Reibungsverhalten. Die Anpreßkraft wurde für die Versuche ohne Klimabeanspruchung auf Werte von 5 , 8 und 12 KN festgesetzt. Bei den Versuchen mit Klimabeanspruchung wurde einheitlich eine Anpreßkraft von 5 KN angesetzt. Bei der vorhandenen Länge der Hüllrohrprobe von 150 mm entspricht dies einer Umlenkraft von 33,3 KN/m. Bei einer Einzellitze mit zul. $V_0 = 137$ KN ergab sich mit der Beziehung $U = V / R$ ein Krümmungsradius von 4,2 m. Dieser Wert berücksichtigt den in den Zulassungen festgesetzten Mindestradius. Die Anpreßkraft der Litze an das Hüllrohr ist jedoch nur bei der Einzellitze gleich dem Wert der Umlenkraft; bei einem Litzenbündel kann sie hingegen noch erheblich ansteigen. Auf ihre Funktionsfähigkeit wurde die Anlage daher auch bei größeren Anpreßkräften überprüft. Weitere Hinweise zur Bestimmung der Höhe der Anpreßkraft bei Litzenbündeln sind in /2/ und /4/ enthalten.

Die Länge des Ziehweges ergab sich aus dem möglichen Fahrweg der Prüfmaschine zu 200 mm. Dieser Ziehweg hat sich für die hier zu betrachtende Fragestellung als ausreichend erwiesen. Die beim Ziehvorgang erreichte Geschwindigkeit betrug 2,4 mm/sec. Dieser Wert entspricht den auf der Baustelle in der Regel verwendeten Vorspanngeschwindigkeiten. Er ist jedoch auf der Baustelle starken Schwankungen unterworfen, da er von einer Vielzahl von Einflüssen bestimmt wird (Länge des Bauwerks, Art der Vorspanneinrichtung etc.).

5.2 Versuchsprogramm

Dem Ziel der geplanten Versuche, den Einfluß einer Vorlagerung von Litze und Hüllrohr unter klimatisch wechselnden Bedingungen zu betrachten, liegt das folgende Versuchsprogramm zugrunde.

Die gewählten Parameter und Grenzwerte für die klimatische Beanspruchung sind in Bild 15 dargestellt. Die angesetzten Temperaturwerte orientieren sich an in der Literatur veröffentlichten Temperaturmessungen während der Erhärtungsphase

des Betons. Bei der Luftfeuchtigkeit von 95 % wird vorausgesetzt, daß die Hüllrohre im Bauwerk nicht als absolut dicht angesehen werden, sondern ein Feuchtigkeitsdurchtritt möglich ist.

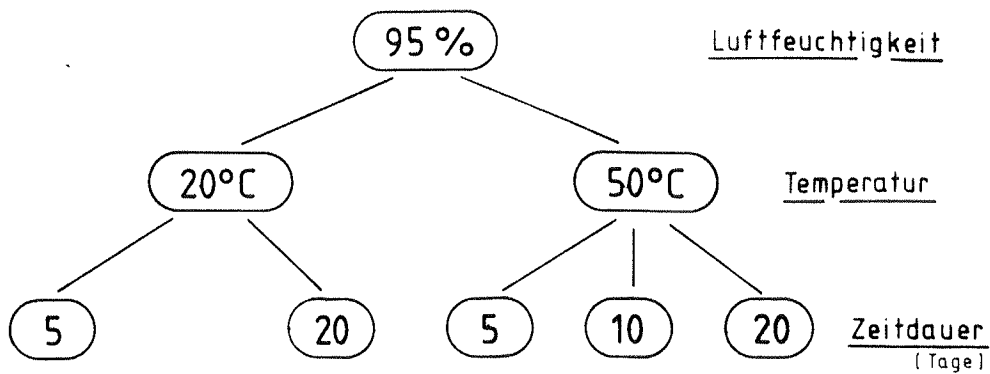


Bild 15 Parameter Klimabeanspruchung

Zur exakten Einstellung dieser Temperatur- und Luftfeuchtwerte war der Bau einer geschlossenen Klimazelle notwendig. Die angefertigte Vorrichtung ist in geöffnetem Zustand in den Bildern 16 und 17 dargestellt. Die Temperatur wird über einen am Boden der Klimazelle befestigten Heizlüfter erzeugt und konstant gehalten. Um die Heizvorrichtung nicht durch die hohe Luftfeuchtigkeit zu gefährden, wurde der feuchte Bereich zusätzlich abgetrennt. Das Feuchtigkeitsangebot konnte über zwei Zuleitungen von außen gesteuert werden. Als Meßvorrichtung dienen ein neben der Probe befestigtes Hygrometer und ein Thermometer (Bild 18).



Bild 16: Ansicht Klimazelle



Bild 17: Klimazelle im geöffneten Zustand

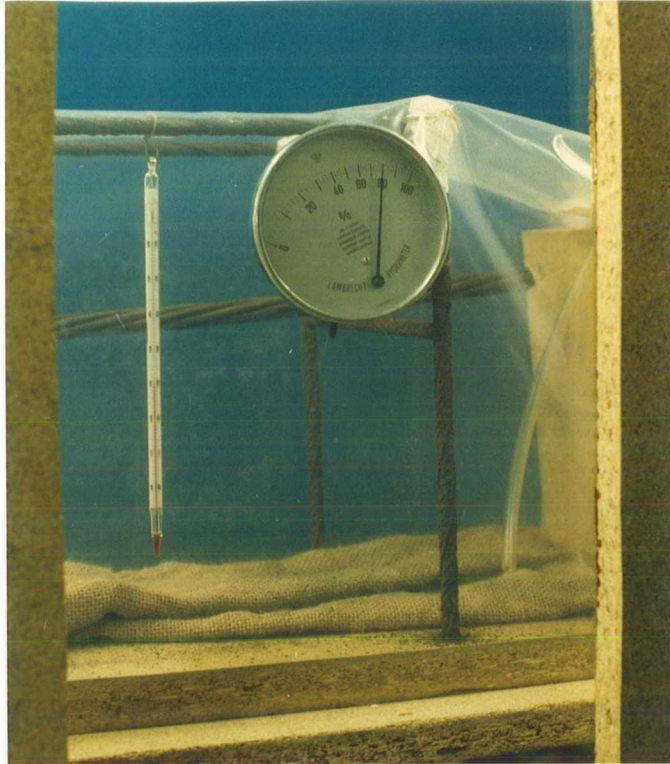


Bild 18: Temperatur- und Luftfeuchtigkeitskontrolle

Die für einzelne Versuche vorgesehene Lagerung unter wechselnden Aufheiz- und Abkühlphasen wurde durch eine Koppelung der Heizvorrichtung mit einer Zeitschaltuhr ermöglicht.

Eine Zusammenstellung des gesamten Versuchsprogrammes zeigt Bild 19.

Dabei wird in den Versuchen 1 bis 3 jeweils die Anpreßkraft verändert bei konstant gehaltenen Klimabedingungen. In den Versuchen 4 und 5 wird die Auswirkung einer erhöhten Luftfeuchtigkeit bei unterschiedlicher Einwirkungsdauer untersucht. In den Versuchen 6, 7 und 8 wird zusätzlich der Einfluß einer erhöhten Temperatur bei unterschiedlicher Einwirkungsdauer betrachtet.

Entsprechend dem Versuchsprogramm wurde vorgesehen, jeweils den Reibungsversuch mit der gleichen Probe ein zweites und drittes Mal zu wiederholen. Hiermit konnte die Auswirkung einer weiteren Aufrauung der Reibflächen ermittelt werden.

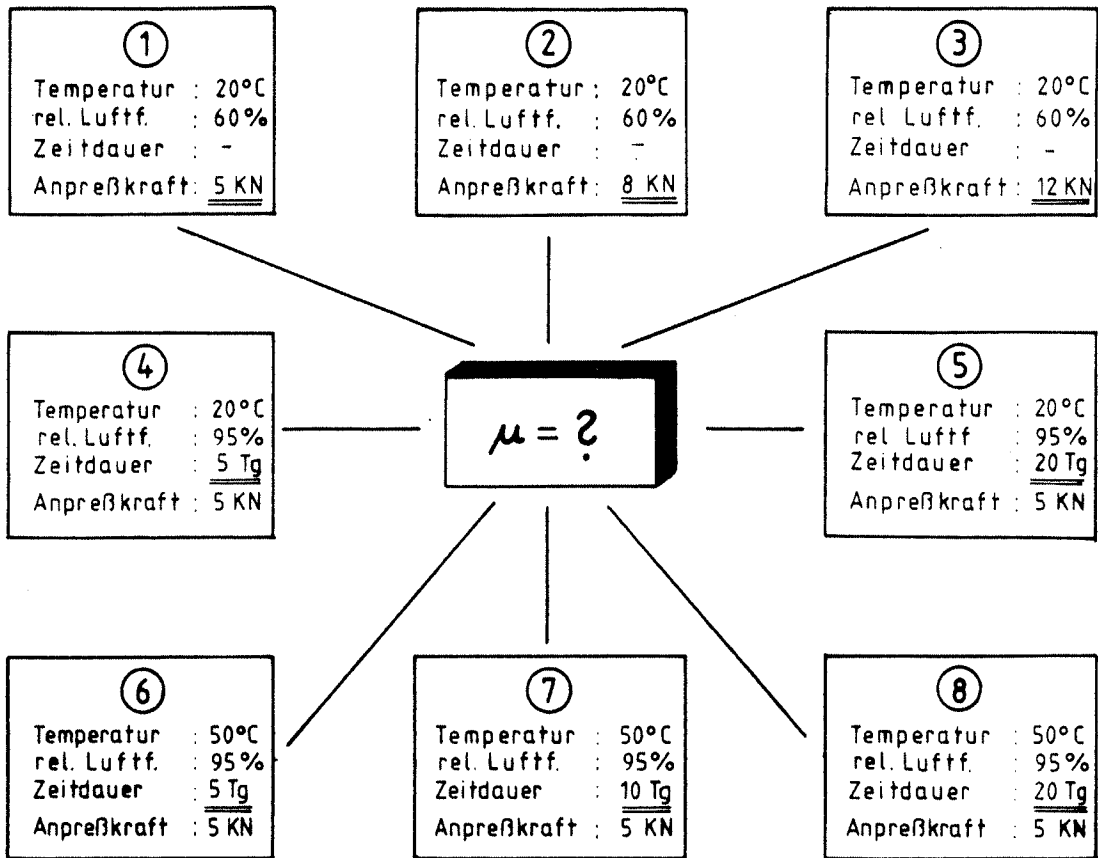


Bild 19: Ausgeführtes Versuchsprogramm

Die gewonnenen Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

5.3 Ergebnisse der Versuche und Diskussion

Das Ziel der einzelnen Versuche bestand in der zahlenmäßigen Bestimmung des jeweils auftretenden Reibungsbeiwertes μ . In der Entwicklungsphase des Prüfgerätes wurden bereits eine große Zahl von Reibungsversuchen ausgeführt. Hierbei konnten bereits erste Ergebnisse auch zum Einfluß einer Klimabeanpruchung auf das Reibungsverhalten zwischen Litze und Hüllrohr gesammelt werden. In dieser Darstellung werden nachfolgend nur die wichtigsten Versuchsergebnisse aufgeführt, die ausschließlich mit der Variante B der Versuchseinrichtung ermittelt wurden.

Für die ausgeführten Versuche sind die gemessenen μ - Werte in Tabelle 1 zusammengestellt. Eingetragen sind die für den Reibungskennwert μ sich über die Meßlänge ergebenden Mittelwerte mit Angabe der jeweiligen Streubreite.

V e r s u c h s e r g e b n i s s e					
Versuch Nr.	Anpreßkraft (KN)	Temperatur (°C)	Luftf. (%)	Zeit (t)	μ (/)
1	5	20	60	-	0.15 - 0.17
2	8	20	60	-	0.16 - 0.18
3	12	20	60	-	0.18 - 0.20
4	5	20	95	5	0.14 - 0.17
5	5	20	95	20	0.15 - 0.19
6	5	50	95	5	0.34 - 0.39
7	5	50	95	10	0.40 - 0.47
8	5	50	95	20	0.44 - 0.50

Tabelle 1 Versuchsergebnisse

Der Tabelle kann man für die Versuche 1 bis 3 entnehmen, daß mit steigender Anpreßkraft entsprechend einer Erhöhung der Umlenkpressung im Bauwerk ein leichter Anstieg der Reibungskräfte auftritt. Dies deckt sich mit der ebenfalls in /1/ bereits gezeigten Tendenz. Die hier exemplarisch untersuchten Anpreßkräfte von 5, 8 und 12 KN decken den oberen Grenzreich der im Bauwerk auftretenden Umlenkpressungen ab. Hier-

bei ist berücksichtigt, daß bei Bündelspanngliedern die örtlich wirkende Pressung ein Vielfaches der rechnerischen Umlenkpressung betragen kann.

Ausführlichere Untersuchungen wurden für die Betrachtung des Einflusses der Probenvorlagerung unter wechselnden klimatischen Bedingungen durchgeführt. Hierbei traten zum Teil signifikante Erhöhungen des Reibungsbeiwertes μ auf.

Bei einer Vorlagerung unter normalen Temperaturverhältnissen (ca. 20°C) bei gleichzeitig wirkender hoher Luftfeuchtigkeit von 95 % entsprechend Versuch 4 und 5 trat nur ein geringfügiger Anstieg des Reibungsbeiwertes auf. Dieses Ergebnis bestätigt sich auch bei den in Versuch 5 verwendeten Proben, bei denen gemäß Bild 20 nur ein geringer Korrosionsansatz vorhanden war.

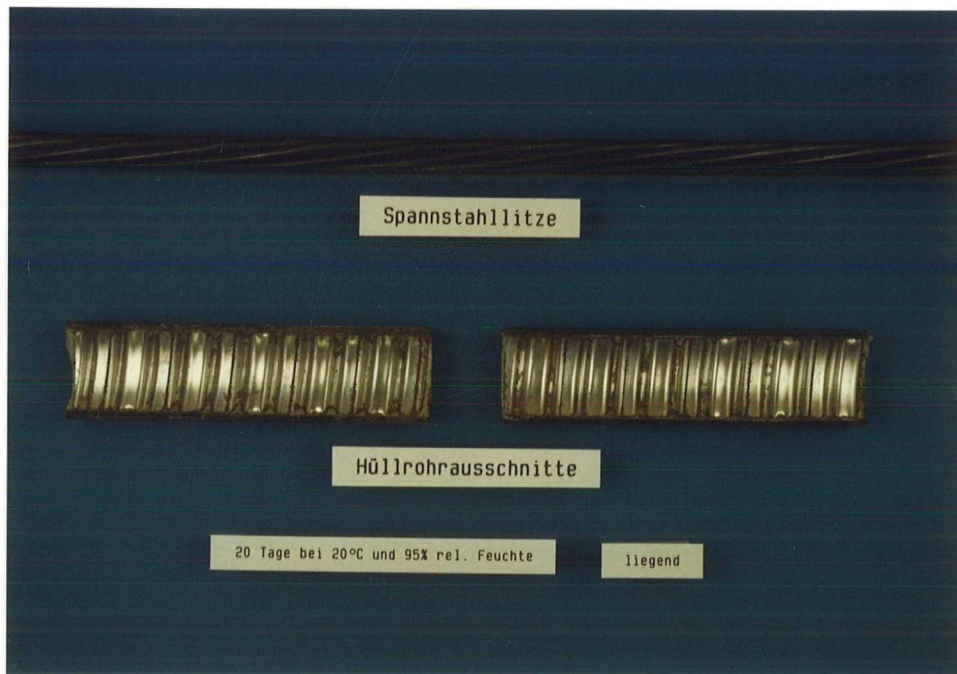


Bild 20: Vorlagerung bei 20°C und 95% Luftfeuchtigkeit

Im Gegensatz dazu trat eine erhebliche Steigerung der Korrosionsrate und damit ein wesentlich vergrößerter Reibungsbeiwert bei Vorlagerung der Proben unter erhöhten Temperaturen (hier 50°C und 95% Luftfeuchtigkeit) auf. Dies belegen die Ergebnisse der Versuche 6 bis 8 in Tabelle 1. Anschaulich dargestellt ist dieses Ergebnis ebenfalls in Bild 21. Hier wird der Verlauf des Reibungskennwertes über dem Ziehweg eines Versuches mit normalen Klimabedingungen

(Versuch 1) dem Ergebnis eines Versuches mit verstärkter Klimabeanspruchung (Versuch 8) gegenübergestellt. Der starke Anstieg der Reibungskräfte ist deutlich ablesbar. Weiterhin ist in diesem Bild die hierfür verantwortliche stärkere Aufrauung der Probenoberfläche durch den Ziehvorgang bei Proben mit stärkerer Klimabeanspruchung am Verlauf der Kurve erkennbar.

Die Länge der Vorlagerungszeit der einzelnen Proben macht sich in einer weiteren Erhöhung des Reibungskennwertes bemerkbar. Der Anstieg der jeweiligen Reibungskräfte verlangsamt sich jedoch bei steigender Vorlagerungszeit. In diesen Versuchen wurde als maximale Vorlagerungszeit ein Zeitraum von 20 Tagen gewählt. Den entsprechenden Vergleich der sich bei 20 Tagen Vorlagerung ergebenden Werte mit den Werten bei nur 5-tägiger Vorlagerung liefert Bild 22.

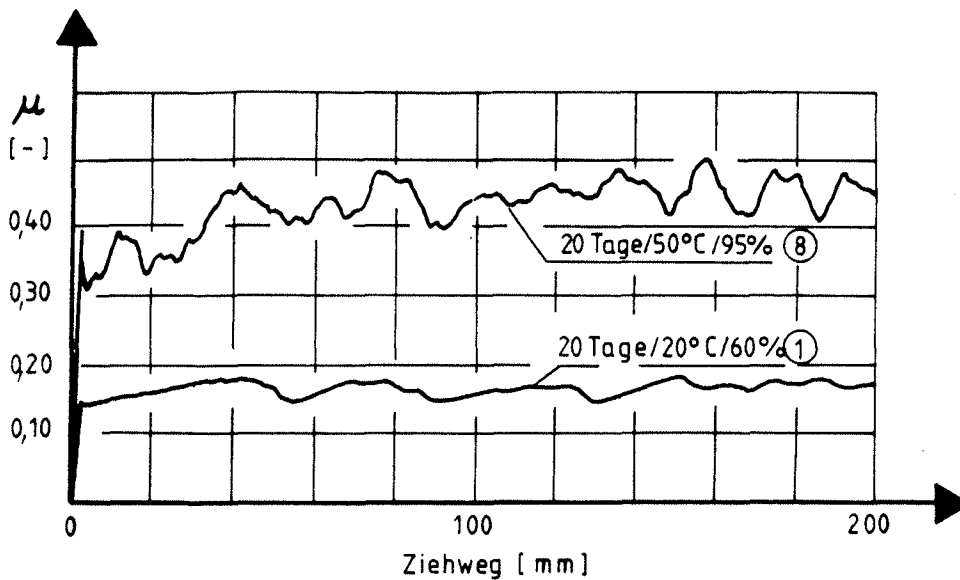


Bild 21: Versuch mit und ohne Klimabeanspruchung

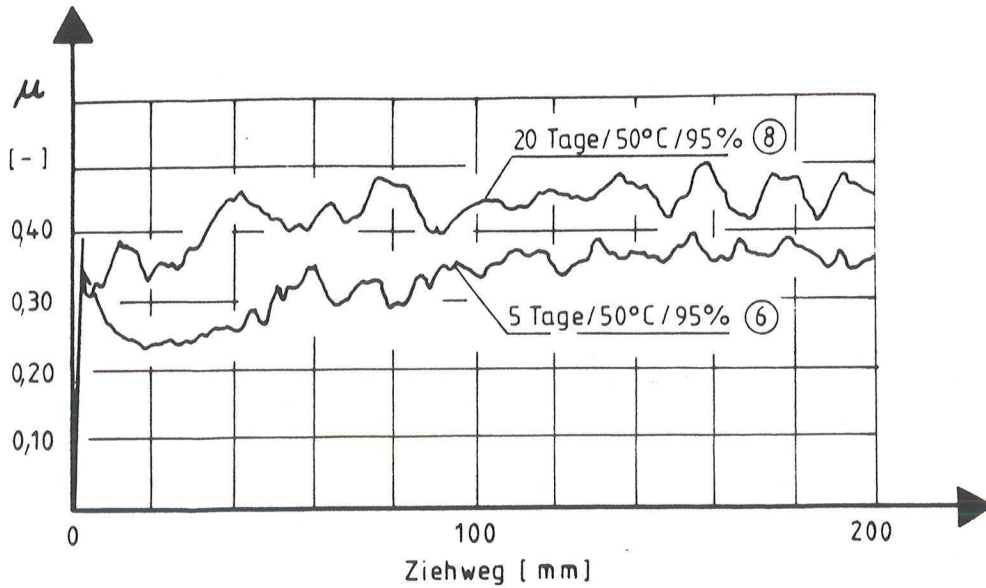


Bild 22: Ergebnis einer Vorlagerung von 5 und 20 Tagen

Bereits nach einer nur 5 Tage andauernden Vorlagerung bei erhöhten Temperaturen bei gleichzeitig wirkender hoher Luftfeuchtigkeit ist bereits ein gravierender Anstieg der Reibungskräfte festzustellen.

Der genannte starke Einfluß einer Klimabeanspruchung der untersuchte Proben wird durch die in Bild 23 gezeigten Aufnahmen unterstrichen. Die Prüfung nach Augenschein ergibt eine mit der Vorlagerungszeit ansteigende Korrosionsrate.



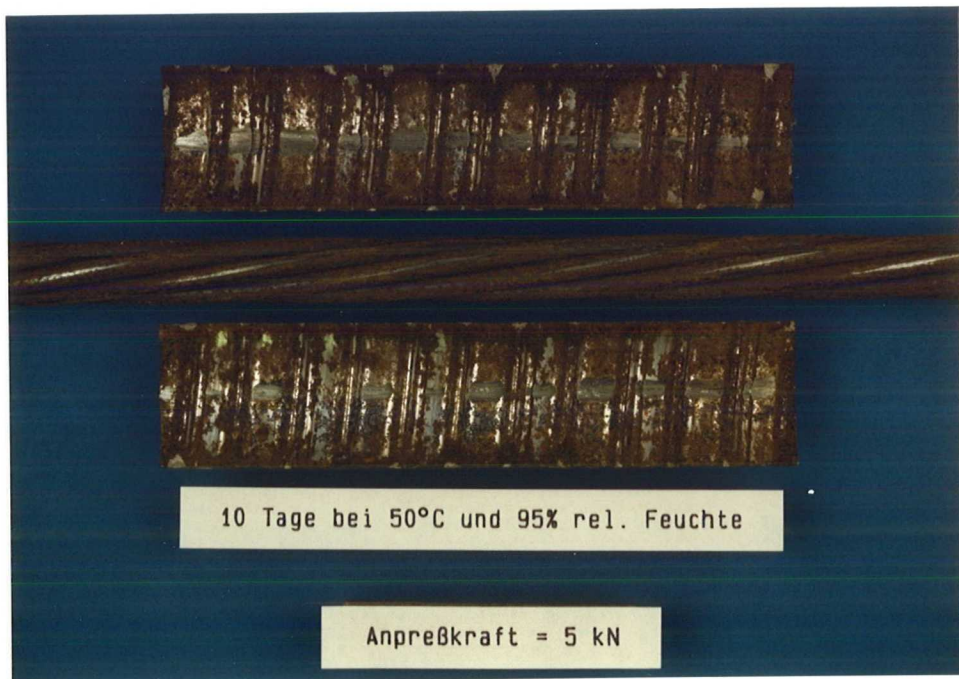


Bild 23: Korrosionsrate bei ungleicher Vorlagerungszeit

Bei der hier vorgestellten Versuchsserie wurden für die Mehrzahl der Versuche die klimatischen Bedingungen über den Vorlagerungszeitraum konstant gehalten. Einzelne zusätzliche Proben erhielten in der Vorlagerungszeit eine Wechsellagerung unter Beibehaltung der Randbedingungen aus Versuch 6. Hierbei wechselte sich bei konstant gehaltener Luftfeuchtigkeit von 95 % eine 8 stündige Aufheizperiode auf 50°C mit einer 16 stündigen Abkühlphase auf Raumtemperatur ab. Diese Veränderung der Vorlagerungsbedingungen ergab im Vergleich zur konstanten Temperaturbeanspruchung keinen signifikanten Einfluß. Die verwendete Probe mit Beanspruchung durch 5-tägige Wechsellagerung ist in Bild 24 dargestellt.



Bild 24: Wechsellagerung der Probe

Bei allen Proben konnte auch die aus den Großmodellversuchen bereits bekannte Tatsache einer Erhöhung des Reibungskennwertes bei Wiederholung des Prüfvorganges festgestellt werden. Der Anstieg des Reibungsbeiwertes betrug nach der 1. und 2. Wiederholung des Durchziehvorganges bei gleicher Probe 10 bis 15 %. Die Ursache lag auch hier nachweislich in einer fortschreitenden Aufrauung der Probenoberflächen.

5.4 Zusatzuntersuchungen - Rauhtiefenmessung

In Ergänzung des ausgeführten Versuchsprogrammes wurde an einzelnen Proben eine Rauhtiefenbestimmung der Oberflächen vorgenommen. Als Grundlage für diese Messung stand das Verfahren mittels Perthometer zur Verfügung.

Dargestellt ist jeweils das sich ergebende Rauheitsprofil R. Es stellt die Profilabweichungen der Oberfläche von einer mittleren Bezugslinie dar. Als Gesamtmeßstrecke wurde bei den Litzen ein Weg von 2,5 mm und bei den Hüllrohrproben ein Weg von 1,5 mm in der Reibspur untersucht. Bild 25 zeigt als Beispiel eine bei einer Hüllrohrprobe ausgewertete Reibspur.



Bild 25: Untersuchte Reibspur für Rauhtiefenmessung

Die ansteigende Aufrauung der Reiboberflächen mit steigender Korrosionsbeanspruchung der Proben wird durch die Ergebnisse der Perthometer - Messung in Bild 26 belegt. Die dargestellten Einflüsse decken sich mit den in Tabelle 1 bereits genannten Ergebnissen. Während bei der normal gelagerten Probe die Werte für die Rauhtiefen nur wenige 1/100 mm betragen, erreichen sie bei den unter 50° C und 95% Luftfeuchtigkeit gelagerten Proben Werte von 1/10 mm.

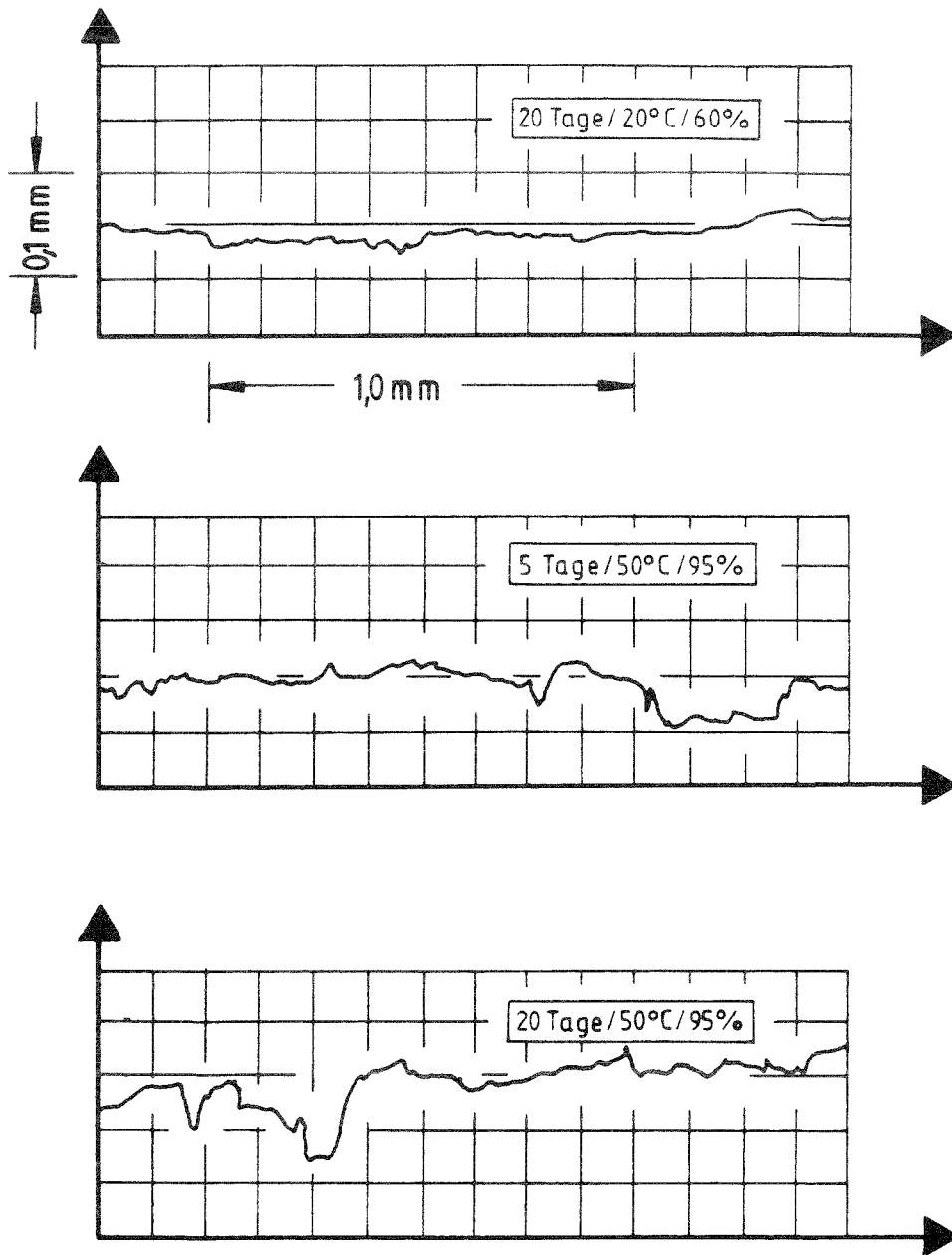


Bild 26a: Rauhtiefenmessungen bei einer Litzenprobe in der Reibspur

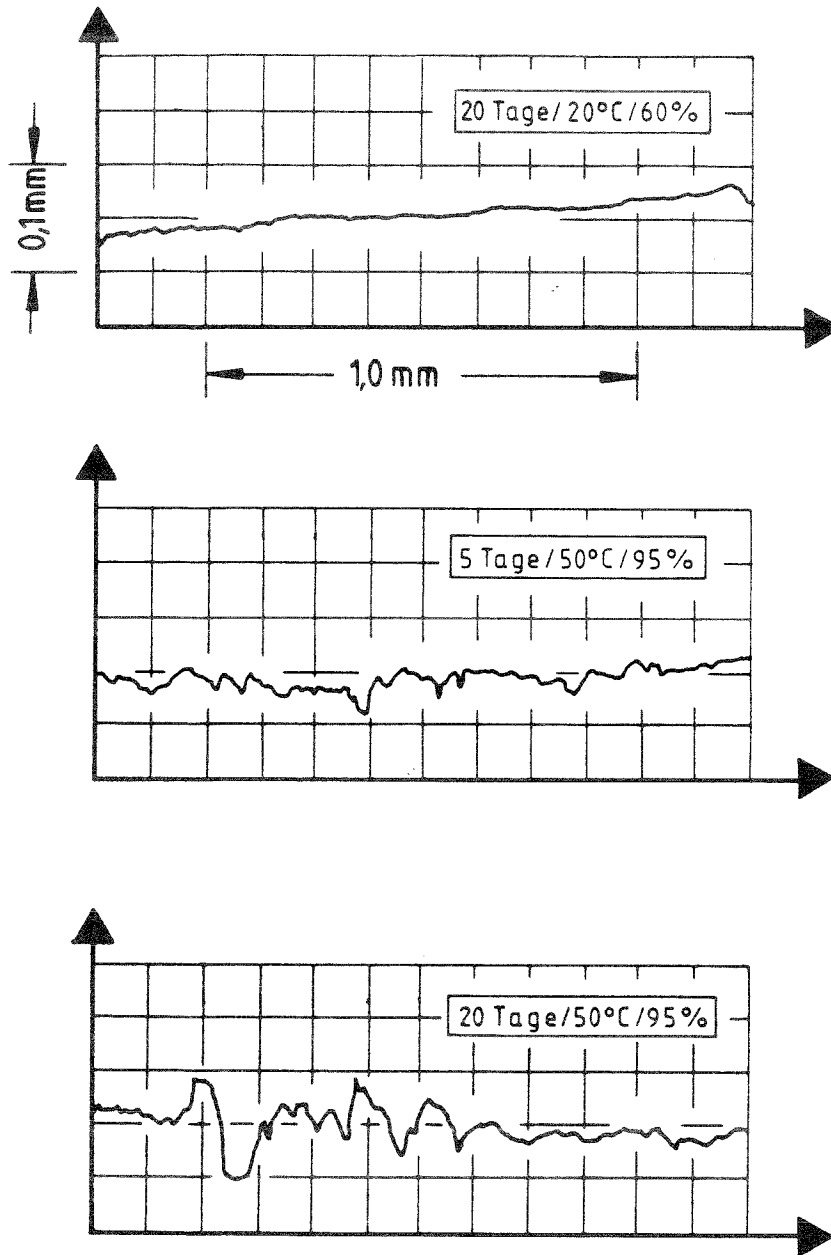


Bild 26b: Rauhtiefenmessung bei einer Hüllrohrprobe in der Reibspur

6. Zusammenfassung

Die Forderung nach einer einwandfreien planmäßigen Eintragung und Kontrolle der Vorspannung setzt die sorgfältige Bestimmung der auftretenden Reibungsverluste voraus. Durch Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungsuntersuchungen wird die Möglichkeit geschaffen, vermutliche Ursachen für unerwartete Reibungsverluste näher zu bestimmen. Insbesondere fehlen bislang ausreichende Erkenntnisse über die Produktabhängigkeit sowie über den Einfluß von lagerungsbedingten Oberflächenveränderungen bei Litzen und Hüllrohren. In dem ersten Teil des vorliegenden Berichtes wird über die Entwicklung einer geeigneten Prüfeinrichtung berichtet. Beim Entwurf und bei der Herstellung der Versuchseinrichtung sind die speziellen Randbedingungen von Reibungsuntersuchungen mit Litzenspanngliedern besonders berücksichtigt. Hierbei haben insbesondere die sich aus der besonderen Querschnittsstruktur der Litze sowie dem Litzenaufbau resultierenden Schwierigkeiten die Herstellung einer zweiten Variante der Prüfeinrichtung erforderlich gemacht. Diese Variante B erlaubt eine Blockierung der Litzendrehung sowie eine einwandfreie Aufnahme der sich aus der Querschnittsstruktur der Litze beim Prüfvorgang ergebenden Bewegungen. Die durchgeführte Funktionsüberprüfung anhand einzelner Grundsatzversuche ergab eine fehlerfreie Arbeitsweise der Prüfeinrichtung.

Im zweiten Teil dieses Berichtes wird über Tastversuche zu den Auswirkungen einer Vorlagerung von Litzen- und Spannstahlproben bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf das Reibungsverhalten berichtet. Als Ergebnis ist ein starker Anstieg der auftretenden Reibungskräfte bei Vorlagerung der Proben unter erhöhten Temperaturen und gleichzeitig wirkender hoher Luftfeuchtigkeit zu beobachten. Als oberer Grenzwert für die Temperaturbeanspruchung wird ein Wert von 50° C angenommen. Dieser Wert entspricht durchaus Temperaturen, die in der Erhärtungsphase des Betons im Bauwerk auftreten können. Im Hinblick auf die hohe Luftfeuchtigkeit wird angenommen, daß die Hüllrohre bzw. ihre Verbindungen einen Wasserdurchtritt nicht gänzlich verhindern, also nicht als absolut dicht angesehen werden können. In der Untersuchung wird der jeweils auftretende Reibungskennwert μ für unter-

schiedliche klimatische Bedingungen ermittelt und erläutert. Ergänzend dazu wird das Ausmaß der auftretenden Korrosionserscheinungen in Bildern festgehalten und dokumentiert. Da die Ursache des Anstiegs des Reibungskennwertes in der ansteigenden Aufrauung der Reiboberflächen begründet ist, sind als Abschluß zusätzliche Rauhtiefenmessungen bei unterschiedlichen Proben durchgeführt worden.

Der vorliegende Bericht liefert als Ergebnis eine starke Abhängigkeit des Reibungskennwertes von den klimatischen Bedingungen während der Vorlagerungszeit der Proben. Die klimatische Beanspruchung der Proben führt zu einer Erhöhung des Reibungskennwertes auf mehr als den doppelten Wert. Hiermit lassen sich die verschiedentlich aufgetretenen Schwierigkeiten beim Vorspannen insbesondere von Litzenspanngliedern erklären.

Zur Absicherung der gewählten klimatischen Bedingungen ist eine nähere Untersuchung der im Bauwerk tatsächlich vorliegenden Klimabedingungen erforderlich. Ebenfalls erscheint eine ausführlichere Untersuchung von Spannstählen verschiedener Hersteller unter Ansatz der ermittelten Klimabedingungen auf ihr Reibungsverhalten notwendig. Ein entsprechender Forschungsantrag wird zur Zeit am Institut für Massivbau der RWTH Aachen vorbereitet.

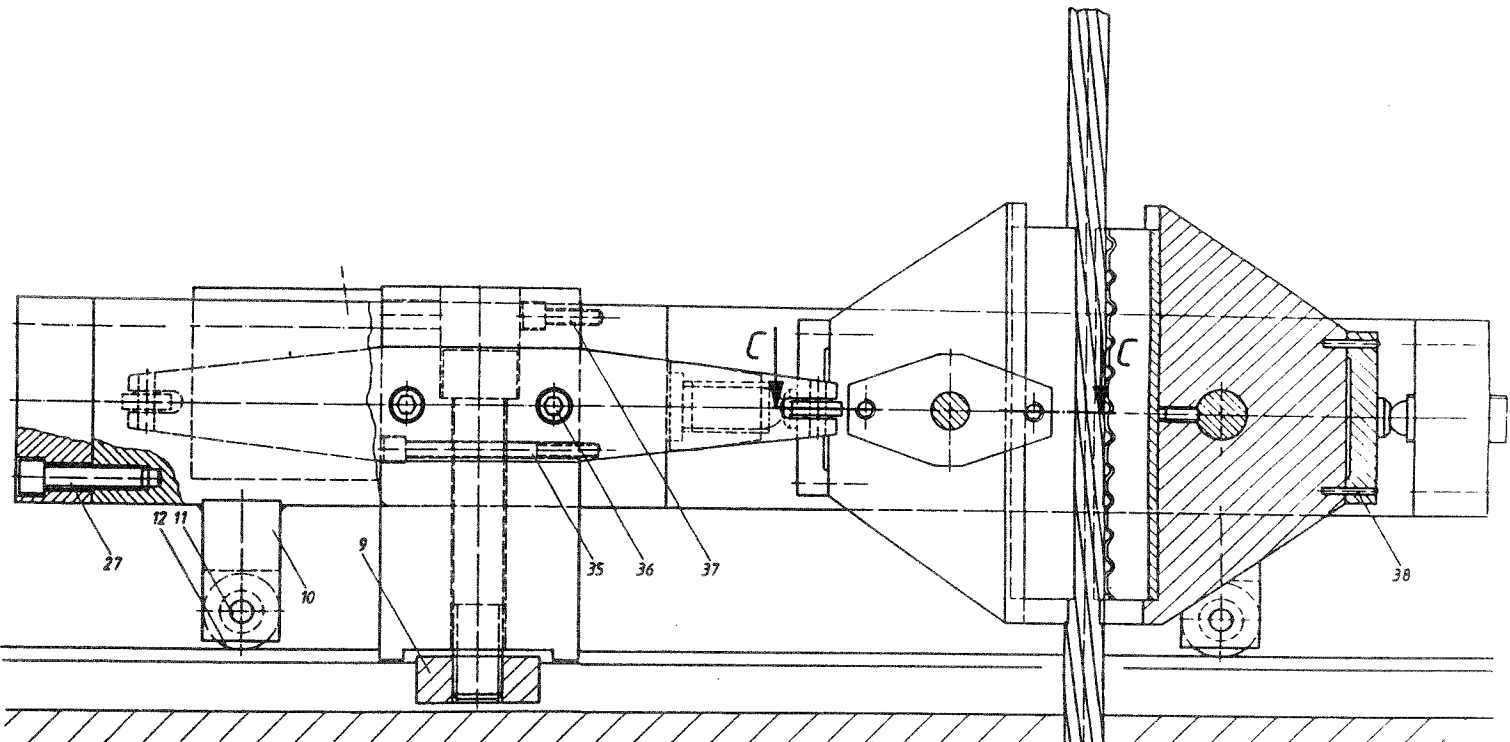
Cordes

Börsing

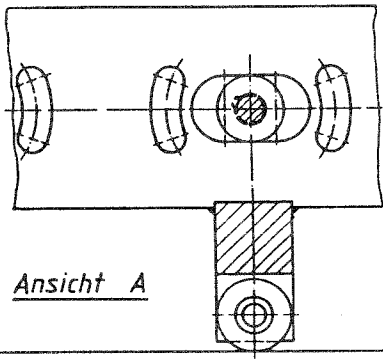
Vrost

7. Literatur

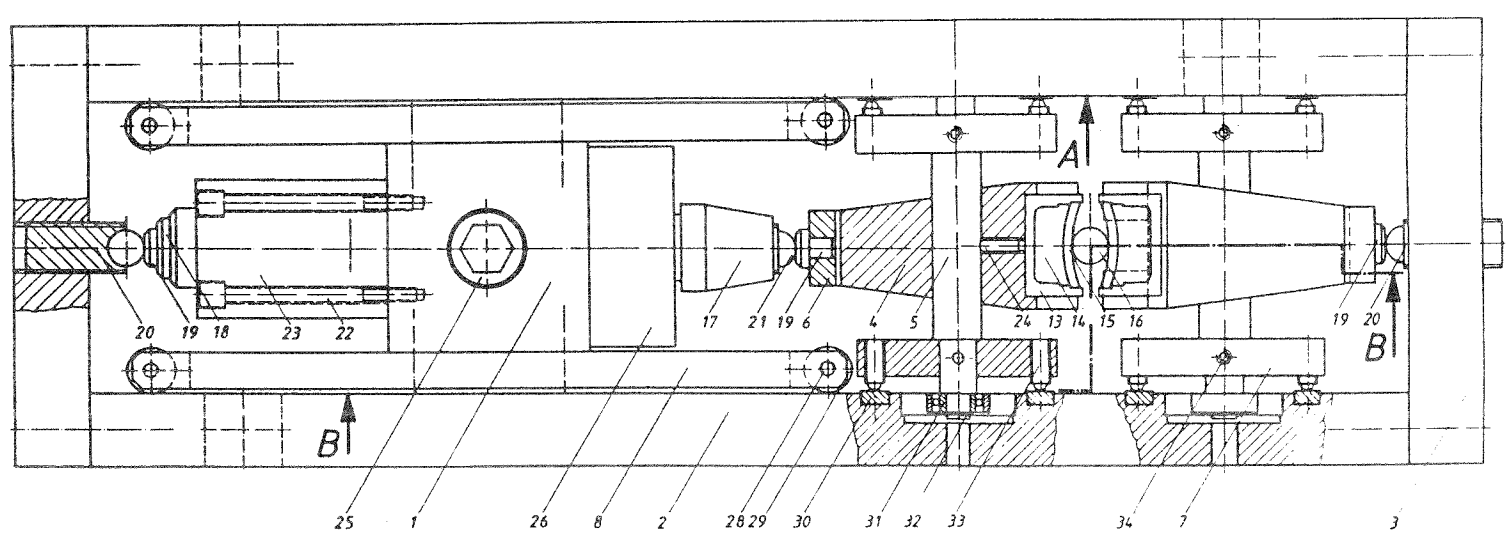
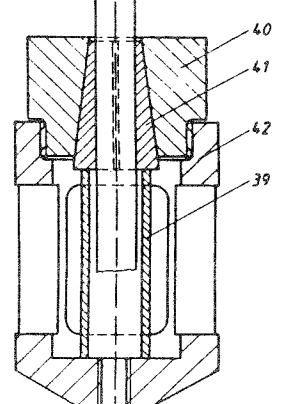
- /1/ CORDES, H.; SCHÜTT, K.; TROST, H.: Großmodellversuche zur Spanngliedreibung, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 325, Berlin 1981
- /2/ WALTER, R.; UTESCHER, G.; SCHRECK, D.: Vorausbestimmung der Spannkraftverluste infolge Dehnungsbehinderung, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 282, Berlin 1977
- /3/ LEONHARDT, F.; MÖNNING, E.: Reibung von Vorspanngliedern für Spannbeton, Beton- und Stahlbeton, 1952, S. 42-45
- /4/ HAVERESCH, K.H.: Prüfung des Reibungsverhaltens von Litzenpanngliedern, Diplomarbeit am Institut für Massivbau, 1987, unveröffentlicht.



Seitenansicht mit Schnitt B-B



Ansicht A



Draufsicht mit Schnitt C-C

RHEIN-WESTF. TECHN. HOCHSCHULE AACHEN INSTITUT FÜR MASSIVBAU PROF. DR.-ING. DR. H.C. HEINRICH TROST	
Prüf- und Anfertigung für Reibungsuntersuchungen an Spannstahlstützen IBI-Forschungsvorhaben IV 1-5-St/07	
Material und Ausführung siehe Stücklisten Blatt 1 und 2	
bearbeitet: Vogt, Beckamp gezeichnet: Heinecke Pfl. A 1 1 7	1 7

1	2	3	4	5
Lfd. Nr.	Stck Zahl	Benennung	Halbzeug	Werkstoff
1	1	Mittellager		St-37
2	2	Führungsrahmen	- Seitenteile	St-37 k
3	2		- Kopfteile	St-37 k
4	2	Widerlager		St-37
5	2	Achsen		C115 W2
6	2	Kraftverteiler		36 Cr Ni Mo 4
7	4	Stützbleche		St-37
8	2	Seitenstabilisatoren		St-37
9	1	Befestigungsschuh		
10	4	Rahmen - Füße		St-37 k
11	4	Zylinderstifte	DIN 7-10h8 x 30	
12	4	Rillenkugellager	FAG 6200.2RSR	
13	20	Hüllrohrhalter	U-Profil-40x35	St-37
14		Mörtelbett		
15		Hüllrohrausschnitt		
16		Spannstahllitze		
17	1	Druckstück DMS		C115 W2
18	1	Druckstück Zylind.		C115 W2
19	3	Auflagebolzen	DIN 6321 gehärtet	
20	2	Kugeldruckschrauben	M 20 x 40	12.9
21	1		M 20 x 40	12.9

RHEIN-WESTF. TECHN. HOCHSCHULE AACHEN
 INSTITUT FÜR MASSIVBAU
 PROF. DR.-ING. DR. h.c. HEINRICH TROST

Prüfeinrichtung für
 Reibungsuntersuchungen
 an Spannstahllitzen

Stückliste Blatt 1

Anlage 2

Bearbeitet Vogt, Boekamp
 Aachen, den 10. Oktober 1988

Blattgröße DIN A 4
 Maßstab 1:1

1	2	3	4	5
Lfd. Nr.	Stck Zahl	Benennung	Halbzeug	Werkstoff
22	2	Inbusschrauben	DIN 912 M6x75	8.8
23	1	Lukas - Kurzhub - Druckzylinder 90KN /ACK 9/25		
24	2	Gewindestifte	DIN 914 M6x12	8.8
25	1	Inbusschraube	DIN 912 M20x120	8.8
26	1	Druckmeßdose	DMS C2M 100KN	
27	8	Inbusschrauben	DIN 912 M10x40	8.8
28	4	Zylinderstifte	DIN 7 6h8x20	
29	4	Rillenkugellager	FAG 626.2RSR	
30	8	Segmente 60°	FAG WS.81111	
31	4	Rillenkugellager	FAG 6000.2RSR	
32	4	Seegerringe	DIN 471	
33	8	Kugeldruckschrauben	M8x20	12.9
34	4	Gewindestifte	DIN 914 M6x16	8.8
35	2	Inbusschrauben	DIN 912 M6x74	8.8
36	4	Inbusschrauben	DIN 912 M8x20	8.8
37	1	Inbusschraube	DIN 912 M6x20	8.8
38	8	Zylinderstifte	DIN 7 4h8x22	
39	1	Distanzrohr	3/4" x 75	St-37
40	1	Litzenaufnahme		St-50
41		Spannkeile		
42	1	Verbindungsstück		St-50

RHEIN.-WESTF. TECHN. HOCHSCHULE AACHEN
 INSTITUT FÜR MASSIVBAU
 PROF. DR.-ING. DR.h.c. HEINRICH TROST

Prüfeinrichtung für
 Reibungsuntersuchungen
 an Spannstahllitzen

Stückliste Blatt 2

Anlage 3

Bearbeitet Vogt, Boekamp
 Aachen, den 10 Oktober 1988

Blattgröße
 DIN A 4

Maßstab
 1:1

Kurzfassung

Durch Weiterentwicklung eines Prüfverfahrens für Reibungsuntersuchungen wird die Möglichkeit geschaffen, vermutliche Ursachen für unerwartete Reibungsverluste näher zu bestimmen. In dem ersten Teil des vorliegenden Berichtes wird über die Entwicklung einer geeigneten Prüfeinrichtung berichtet. Beim Entwurf und bei der Herstellung der Versuchseinrichtung sind die speziellen Randbedingungen von Reibungsuntersuchungen mit Litzenspanngliedern besonders berücksichtigt. Die Prüfeinrichtung erlaubt eine Blockierung der Litzendrehung sowie eine einwandfreie Aufnahme der sich aus der Querschnittsstruktur der Litze beim Prüfvorgang ergebenden Bewegungen. Im zweiten Teil dieses Berichtes wird über Tastversuche zu den Auswirkungen einer Vorlagerung von Litzen- und Spannstahlproben bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf das Reibungsverhalten berichtet. Als Ergebnis ist ein starker Anstieg der auftretenden Reibungskräfte bei Vorlagerung der Proben unter erhöhten Temperaturen und gleichzeitig wirkender hoher Luftfeuchtigkeit zu beobachten. Als oberer Grenzwert für die Temperaturbeanspruchung wird ein Wert von 50° C angenommen. Dieser Wert entspricht durchaus Temperaturen, die in der Erhärtungsphase des Betons im Bauwerk auftreten können. Im Hinblick auf die hohe Luftfeuchtigkeit wird angenommen, daß die Hüllrohre bzw. ihre Verbindungen einen Wasserdurchtritt nicht gänzlich verhindern, also nicht als absolut dicht angesehen werden können. In der Untersuchung wird der jeweils auftretende Reibungskennwert μ für unterschiedliche klimatische Bedingungen ermittelt und erläutert. Ergänzend dazu wird das Ausmaß der auftretenden Korrosionserscheinungen in Bildern festgehalten und dokumentiert. Da die Ursache des Anstiegs des Reibungskennwertes in der ansteigenden Aufrauung der Reiboberflächen begründet ist, sind als Abschluß zusätzliche Rauhtiefenmessungen bei unterschiedlichen Proben durchgeführt worden.

Der vorliegende Bericht liefert als Ergebnis eine starke Abhängigkeit des Reibungskennwertes von den klimatischen Bedingungen während der Vorlagerungszeit der Proben. Die klimatische Beanspruchung der Proben führt zu einer Erhöhung des Reibungskennwertes auf mehr als den doppelten Wert.

Summary

The development of a method of testing for friction tests creates the possibility to define more closely presumable reasons for unexpected frictional losses. The first part of this report informs about the development of an appropriate testing apparatus. When the testing apparatus was planned and built, special conditions for the friction tests with tendons of strands have been particularly taken into consideration. During the test procedure, the structure of the testing apparatus allows a perfect performance of the movements resulting from the section structure of the strand.

The second part of this report informs about first tests that have been performed to find out about the effects a previous storage of strand samples has on the frictional behaviour under different climatic conditions.

The result is a strong increase in the forces due to friction, when the samples have been in previous storage with increased temperatures and high humidity at the same time. 50 degrees centigrade are assumed to be an upper limit for temperature strain.

This limit value corresponds definitely to those temperatures that may appear in the process of the setting of concrete.

With regard to the high humidity, it is assumed that ducts, or rather the parts where they are connected, cannot completely prevent water to come through. In the test the characteristic value of friction, μ , is found out and explained for different climatic conditions at any one time.

In addition the extent of possible corrosion is photographed and documented.

Since the increase of the characteristic value of friction is a result of the growing roughness of the striking surface, additional measuring of different samples has been carried out with the perthometer.

As a result this report presents a strong dependency of the characteristic value of friction on climatic conditions during the time of previous storage of the samples.

The climatic strain of the samples leads to an increase of the characteristic value of friction, which is more than twice as high.

Résumé

Le développement d'une méthode d'essai pour l'analyse du frottement permet une détermination plus exacte des raisons présumées pour la réduction de la force de précontrainte par suite de frottement. Dans la première partie du présent rapport, on est informé du développement d'une installation d'expérimentation appropriée. En projetant et produisant l'installation d'expérimentation, on a particulièrement pris en considération les conditions spéciales pour analyser la force de frottement des torons. La qualité de l'installation d'expérimentation permet une réalisation correcte des mouvements au cours de l'essai qui sont déterminés par la structure de la coupe du toron.

Dans la deuxième partie de ce rapport, on est informé des essais premiers, qui ont été effectués pour donner une idée des effets qu'un stockage précédent des échantillons de torons et d'acier précontraint a sur les forces de frottement dans les conditions climatiques différentes.

Comme résultat, une montée assez grande des forces de frottement devient manifeste en cas d'un stockage précédent des échantillons qui sont influencés par des températures élevées en même temps que par une humidité atmosphérique très haute.

50 degrés Celsius sont pris comme valeur limite supérieure pour les charges e thermiques.

Cette valeur correspond en général aux températures qui peuvent apparaître pendant la phase de l'endurcissement du béton dans une construction.

Pour ce qui est de l'humidité atmosphérique très haute, on suppose que les gaines ou leurs jonctions n'empêchent pas complètement une infiltration d'eau, ce qui veut dire, qu'elles ne sont pas absolument étanches.

Dans l'analyse du frottement, on détermine et on explique la valeur caractéristique de frottement, μ , suivant les diverses conditions climatiques différentes. En outre la mesure de la corrosion est photographiée et documentée.

Comme la montée de la valeur caractéristique de frottement provient de la rugosité de la surface de frottement, on a effectué pour terminer, des mesurages supplémentaires avec le perthomètre dans les échantillons différents.

Le resultat présenté dans ce rapport montre que la valeur caractéristique de frottement dépend principalement des conditions climatiques pendant le temps du stockage des échantillons avant le essais.

La charge thermique des échantillons suscite une augmentation de la valeur caractéristique de frottement de plus de la moitié de la valeur initiale.