

Teilweise Vorspannung:
Spannglieder in Kunststoffhüllrohren
unter Betriebsbeanspruchung

T 2621

T 2621

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

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR TRAGWERKSBAU
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch
em.Prof.Dr.Ing;Dr.-techn.e.h. H. Kupfer

80290 München
Postfach 20 24 20
Tel.: 089/2105-3038
Fax: 089/2105-3046

1075/Mü
Tel:2105-3029

28.2.1994

Schlußbericht
zum Forschungsvorhaben

Teilweise Vorspannung:

**Spannglieder in Kunststoffhüllrohren
unter Betriebsbeanspruchung**

(IfBt. IV 1-5-474/86)

erstattet von

H.H.Müller

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.
Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung
bedarf der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls für Massivbau

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorgang	3
2. Einführung	4
3. Versuchsprogramm, Versuchskörper, Versuchsdurchführung	5
3.1 Versuchsprogramm	5
3.2 Versuchskörper	6
3.3 Versuchsdurchführung	7
4. Versuchsmaterial	8
4.1 Spannstähle	8
4.1.1 Spanndrahtlitzen	8
4.1.2 Vergüteter Spanndraht, rund, glatt	8
4.1.3 Wasservergüteter Spannstahl mit Gewinderippung	9
4.2 Hüllrohre	10
4.2.1 PVC Hüllrohre	10
4.2.2 PE Hüllrohre	10
4.2.3 PP Hüllrohre	10
4.2.4 Stahlblechhüllrohre	10
5. Versuchsergebnisse	11
5.1 PVC Hüllrohre	11
5.2 PE Hüllrohre	12
5.3 PP Hüllrohre	13
5.4 Stahlblechhüllrohre mit Mörtelfüllung	14
5.5 Stahlblechhüllrohre ohne Mörtelfüllung	15
6. Zusammenfassung	16
Literatur	17
Anlagen	0 bis 33

1. Vorgang

Der Forschungsantrag mit dem Kurztitel

"Spannglieder in Kunststoffhüllrohren"

wurde im Jahr 1985 beim Institut für Bautechnik, Berlin, gestellt. Es sollte das Verhalten von Spanngliedern aus den verschiedenen handelsüblichen Spannstählen in Kunststoffhüllrohren untersucht werden.

Als Betreuergruppe wurden im Oktober 1988 vom IfBt. die Herren

RBD Engelke	Bundesverkehrsministerium
Dipl.-Ing. Schröter	Deutscher Betonverein
Dir. Prof. Pfohl	Bundesanstalt für Straßenwesen
Dr. Wölfel	Deutsches Institut für Bautechnik

benannt. Ihnen sei herzlich gedankt, daß sie bereit waren, diese Aufgabe zu übernehmen.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist für die Finanzierung der vorliegenden Forschungsarbeit zu danken.

Eine große Hilfe bei der Durchführung der Versuche war die Unterstützung der folgenden Firmen, welche kostenlos Versuchsmaterial zur Verfügung stellten:

ALLSPAN, München,
Drossbach, Rain am Lech,
SIGMA-Spannstahl, Rheinhausen,
Stahlwerk Annahütte, Hammerau,
TREFIL UNION, Köln,
VSL, Bern.

Der vorliegende Abschlußbericht enthält die Ergebnisse der durchgeführten Versuche.

2. Einführung

In Deutschland werden im Spannbetonbau mit nachträglichem Verbund für die Hüllrohre der Spannglieder bisher ausschließlich gefalzte oder längs verschweißte Stahlblechhüllrohre verwendet. Für diese gilt die Norm DIN 18 553: "Hüllrohre aus Stahlband für Spannglieder", welche als Werkstoff "mindestens Kaltband nach DIN 1624" verlangt.

Kunststoffhüllrohre sind nur bei Vorspannung ohne Verbund zugelassen. Die häufigste Anwendung finden sie bei "den Spanndrahtlitzen mit Korrosionsschutzsystem", den als "Fettlitzen" bezeichneten Spanngliedern. Das Korrosionsschutzsystem besteht aus einem Korrosionsschutzmittel ("Fett") und einem umhüllenden, aufextrudierten PE-Mantel. Dieser ist ein glattes Rohr mit 1,5 mm Wandstärke.

Für Spannglieder mit nachträglichem Verbund sind Kunststoffhüllrohre bisher nicht zugelassen, denn es fehlten die Eignungsnachweise für

- ausreichende Stabilität und Dauerhaftigkeit unter den Beanspruchungen im Bauwerk und
- sichere Überleitung der Verbundkraft vom Einpreßmörtel in den Beton.

Das erstgenannte Problem wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht.

Wegen der genannten ungeklärten Fragen wurden die Vorteile von Kunststoffhüllrohren gegenüber solchen aus Stahlblech bisher nicht genutzt. Als Vorteile sind anzusehen:

- Kunststoffhüllrohre sind gasdicht, d.h. sie verhindern die Karbonatisierung des Einpreßmörtels und die Oxidation des Spannstahls. Sie stellen deshalb einen zuverlässigen Korrosionsschutz dar. Diese Tatsache hat bei der Zulassung der Fettlitzen gerechtfertigt, für den Spannstahl höhere Spannungen zu erlauben.
- Kunststoffhüllrohre sind diffusionsdicht gegenüber dem Eindringen von Betonporenwasser, welches möglicherweise durch gelöste Chloride verseucht ist. Mit Korrosionsschäden infolge eines schädlichen Chloridgehalts des Betons muß deshalb nicht gerechnet werden.
- Kunststoffhüllrohre vermeiden Reiboxidation des Spannstahls. Damit erhöhen sie die Dauerschwingfestigkeit des so eingebetteten Spannstahls.

Voraussetzung für diese Vorteile der Kunststoffhüllrohre ist, daß sie sowohl beim Einbau, wie auch später im Bauwerk keine Verletzungen, wie Risse oder Perforation erleiden.

Risse könnten unter den harten Baustellenbedingungen beim Einbau auftreten.

Perforationen könnten durch Abrieb beim Einbau oder durch Gleitbewegungen des Spannstahls infolge wechselnder Belastung des Bauteils verursacht werden.

In Bezug auf die Reiboxidation ist jedoch zu klären, welchen Einfluß der Reibkontakt des Spannstahls mit dem Einpreßmörtel hat. Dieser Kontakt tritt auch bei der Verwendung von Kunststoffhüllrohren in gleicher Weise wie bei Stahlblechhüllrohren auf. Positiv ist in diesem Zusammenhang jedoch die vermutlich geringere Verbundqualität der Kunststoffhüllrohre im umgebenden Bauwerksbeton. Dadurch werden die Gleitwege des Spannstahls, welche in der Umgebung von Rissen im Beton unvermeidlich auftreten reduziert, indem die Verlängerung des Spannstahls auf eine größere Spanngliedlänge verteilt wird.

3. Versuchsprogramm, Versuchskörper, Versuchsdurchführung

3.1 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm umfaßte die beim Studium der Reibkorrosion relevanten Parameter:

- Spannstahlart

Es kann davon ausgegangen werden, daß verschiedene Spannstähle je nach ihrer Oberflächenbeschaffenheit unterschiedlich auf Reibkorrosionsbeanspruchung reagieren. [41 CB, 69 F]. Deshalb wurden alle wesentlichen in der Praxis vorkommenden Spannstähle in das Versuchsprogramm einbezogen:

- Spannstahlitzen
- herkömmlich vergüteter Spannstahl, rund, glatt
- wasservergüteter Spannstahl mit Gewinderippung

- Hüllrohrmaterial

Nach Angaben der Literatur [43 D] war zu befürchten, daß Kunststoffe, ausgenommen PTFE ("Teflon") als Reibpartner einen starken Angriff auf den Stahl bewirken. Deshalb wurden die wesentlichen im Handel befindlichen Kunststoffrohre untersucht.

Das waren:

- Polyethylen (PE, HDPE)
- Polypropylen (PP)
- Polyvinylchlorid hart (PVC-U)

Zum Vergleich wurden auch Versuche mit Stahlblechhüllrohren durchgeführt.

- Gleitweg zwischen Spannstahl und Hüllrohr

Der Gleitweg wurde bei den einzelnen Versuchen zwischen 0,05 und 1,00 mm variiert.

- Anpreßkraft

Die Anpreßkraft wurde spannstahlspezifisch gewählt je nach dem kleinsten in den Zulassungen der Spannverfahren zugelassenen Krümmungsradius. Das Bild 3 auf der Anlage 2 zeigt die bei der zulässigen Vorspannkraft von $0,55 \cdot R_m$ und den zugelassenen kleinsten Krümmungsradien auftretenden Anpreßkräfte eines einzelnen Spannstahls auf die Hüllrohrwand. Dabei wurden die mit den hier verwendeten Spannstählen für die Praxis vorgesehenen Spanngliedgrößen berücksichtigt.

Die für die Versuche gewählten Anpreßkräfte decken Bündelspannglieder bis zu einer Größe von 5 Litzen bzw. Spanndrähten ab. Dies entspricht den derzeit zur Zulassung beantragten Spanngliedgrößen mit Kunststoffhüllrohren.

- Einpreßmörtel

Um den Einfluß der Reibung des Spannstahls an einem Stahlblechhüllrohr bzw. am Einpreßmörtel getrennt zu erfassen, wurden Stahlblechhüllrohre mit bzw. ohne Mörtelfüllung geprüft.

Einen Überblick über die durchgeführten Versuche gibt die Tabelle 2, Anlage 1.

3.2 Versuchskörper

Die geprüften Proben bestanden aus etwa 1.2 m langen Spannstahlabschnitten, an denen etwa in der Mitte der freien Prüflänge ein Rahmen mit einer festen und einer beweglichen Klemme angebracht war. Diese Prüfkörperform wurde zum ersten mal von Cornelius 1941 [41 CB], später von Funk [69 F] und in der Folge von einer Reihe weiterer Forscher angewendet und hat sich inzwischen für derartige Versuche durchgesetzt. Eine schematische Skizze zeigt das folgende Bild 1. Die für die hier beschriebenen Versuche verwendete Apparatur zeigt Bild 2.

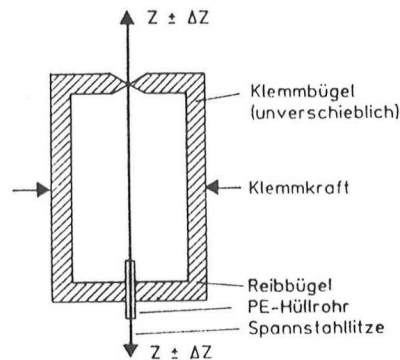


Bild 1: Versuchseinrichtung für Reibversuche, schematisch nach [41 C]

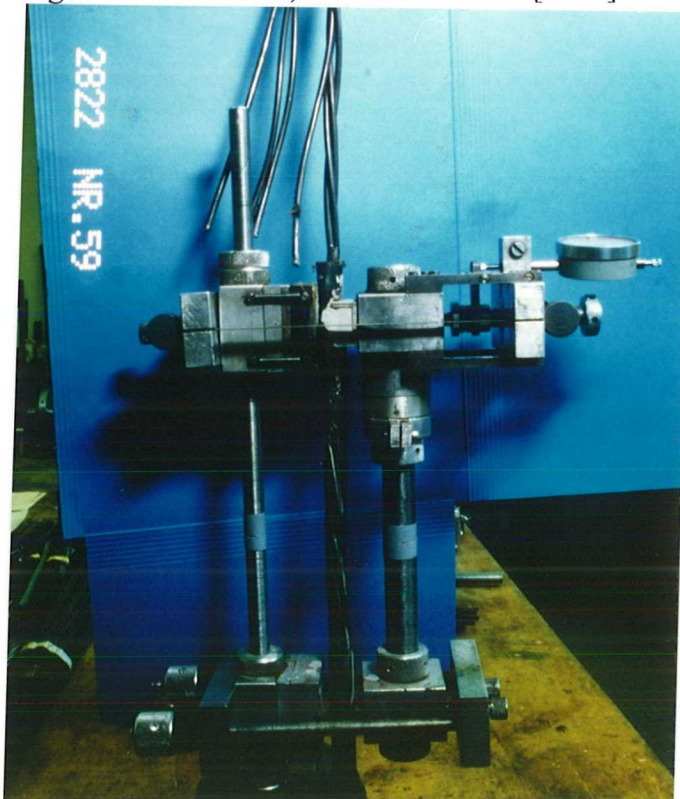


Bild 2: Spannstahlprobe mit Reibapparatur, in die Prüfmaschine eingespannt

Bereits früher hier durchgeführte, ähnliche Versuche an Fettlitzen haben gezeigt, daß mit dieser Versuchseinrichtung praxisgerecht geprüft werden kann. Gegenüber der Prüfung von Spannungsgliedern in einbetoniertem Zustand hat diese Versuchsart den Vorteil, daß sowohl die Spannstahlspannung, wie auch der Reibweg und die Anpreßkraft beliebig vorgegeben und am Versuchskörper direkt gemessen werden können.

3.3 Versuchsdurchführung

Die für die Prüfungen ausgewählten Spannstahlabschnitte (vgl. Abschnitt 4) von etwa 1.2 m Länge wurden an den Enden in Stahlrohre eingeklebt, um Brüche im Bereich der Einspannung in die Prüfmaschine zu vermeiden.

Aus den als Reibpartner gewählten Hüllrohren (vgl. Abschnitt 4) wurden kurze Abschnitte herausgesägt, mit einem Schrumpfschlauch umhüllt und auf dem Spannstahl mit Hilfe des Reibrahmens festgeklemmt.

Die gewünschte Anpreßkraft wurde durch Anspannen der Federn des Reibbügels aufgebracht. Der Federweg war vorher in Abhängigkeit von der Federkraft ermittelt worden. Beim Anspannen des Reibbügels wurde er durch eine Meßuhr mit einer Genauigkeit von 1/100 mm gemessen. Die gewählte Anpreßkraft entsprach der Umlenkraft, welche sich im Spannglied beim kleinsten in der Zulassung des Spannverfahrens zugelassenen Krümmungsdurchmesser des Spannglieds ergibt. Bei Spannstählen, welche auch für Bündelspannglieder verwendet werden können wurde zudem berücksichtigt, daß sich durch die Anordnung von mehreren Spannstählen im Bündel auf die an der Krümmungsinnenseite des Hüllrohrs anliegenden Spannstähle eine entsprechend größere Anpreßkraft ergibt.

Bei dieser Anpreßkraft wurde der Spannstahl dann 100 mm durch den Reibbügel gezogen. Damit wurden die beim Anspannen eines Spannglieds im Bauwerk vorliegenden Verhältnisse nachgeahmt.

Durch Erwärmen des Schrumpfschlauches an einem Ende wurde der Hohlraum um den Spannstahl auf dieser Seite abgedichtet. Auf der offenen Seite wurde Einpreßmörtel eingefüllt, der nach den Anforderungen der DIN 4227, Teil 5 hergestellt war (vgl. Abschnitt 4.3). Nach einer Erhärtungszeit des Mörtels von 3 bis 28 Tagen wurde durch Erwärmen des Schrumpfschlauches auch das andere Ende des Mörtelkörpers luftdicht verschlossen. Anschließend wurde die Probe in die Dauerschwingprüfmaschine eingespannt, mit der gewählten Unter- und der Oberlast des Dauerschwingversuchs belastet und dabei der Reibweg des Spannstahls an der Reibstelle gemessen. Daraufhin wurde der Dauerschwingversuch begonnen. Bei ausgewählten Lastwechselzahlen wurde der Reibweg erneut gemessen. Die Dauerschwingversuche wurden bei konstanter Lastschwingbreite bis zum Bruch des Spannstahls oder bis zur Grenzlasterlastspielzahl von 2 Millionen Belastungen, in Einzelfällen auch noch weiter fortgeführt. Falls dann noch kein Bruch eingetreten war, wurde die Lastschwingbreite so wesentlich erhöht, daß bei dieser zweiten Laststufe der baldige Bruch eintrat.

Die gebrochenen Proben wurden vorsichtig zerlegt und alle wesentlichen Beobachtungen durch Fotografieren dokumentiert.

Zur Charakterisierung des Versuchsmaterials wurden stets auch Dauerschwingversuche an freien Spannstahlproben ohne Reibeinfluß durchgeführt.

4. Versuchsmaterial

4.1 Spannstähle

4.1.1 Spanndrahtlitzen

Die verwendete Spannstahllitze stammte von der Firma Trefil ARBED, Köln. Es handelte sich um eine Litze St 1570/1770 der Abmessung 0,60" (Querschnittsfläche 140 mm²) von sehr niedriger Relaxation. Der Zulassungsbescheid der Litze trägt die Nummer Z-12.1-II.6. Die wesentlichen, im Zulassungsbescheid angegebenen Daten sind auf den Anlagen 3 und 4 wiedergegeben. Demnach weist die Litze für eine Versuchsoberspannung von $0,55 \cdot R_m$ eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_a = 260 \text{ N/mm}^2$ auf. In Anbetracht der Wichtigkeit der tatsächlichen Dauerschwingfestigkeit des Versuchsmaterials wurden etwa 20 Dauerschwingversuche an freien Litzenproben durchgeführt. Diese Versuche ergaben eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_{a,2\text{mio},50\%} = 238 \text{ N/mm}^2$, was nahezu dem im Zulassungsbescheid genannten Wert entspricht. Die aus diesen Versuchen abgeleitete Wöhlerkurve ist in Bild 4 auf der Anlage 5 dargestellt.

Zum quantitativen Vergleich der Wöhlerlinien, die ohne bzw. mit Reibeinfluß ermittelt wurden kann die Gleichung der normierten Wöhlerlinie herangezogen werden. Die Grundlagen hierzu sind in [88 CEB] erläutert. Mit dem aus den Versuchsergebnissen ohne Reibeinfluß ermittelten Steigungsfaktor k ergeben sich für die verwendeten Spanndrahtlitzen die folgenden Gleichungen der normierten Wöhlerlinie

im Zeitfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen kleiner als 2 Millionen : $2\sigma_a^{5,3} \cdot N = \text{const}$

im Dauerfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen größer als 2 Millionen : $2\sigma_a^{9,6} \cdot N = \text{const}$

4.1.2 Vergüteter, glatter Spannstahl

Der verwendete Spannstahl stammte von der Firma SIGMA Spannstahl, Rheinhausen. Es handelte sich um St 1420/1570, rund, glatt der Abmessung 12,2 mm. Der Zulassungsbescheid dieses Spannstahls trägt die Nummer Z-12.1-I.4. Die wesentlichen, im Zulassungsbescheid angegebenen Daten sind auf den Anlagen 6 und 7 wiedergegeben. Demnach weist dieser Spannstahl für eine Versuchsoberspannung von $0,55 \cdot R_m$ eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_a = 335 \text{ N/mm}^2$ auf. In Anbetracht der Wichtigkeit der tatsächlichen Dauerschwingfestigkeit des Versuchsmaterials wurden 16 Dauerschwingversuche an freien Proben durchgeführt. Diese Versuche ergaben eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_{a,2\text{mio},50\%} = 298 \text{ N/mm}^2$. Der Wert liegt innerhalb des aus der Erfahrung anzusetzenden Streubereichs. Die aus diesen Versuchen abgeleitete Wöhlerkurve ist in Bild 5 auf der Anlage 8 dargestellt. Die Gleichungen der normierten Wöhlerlinie lauten

im Zeitfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen kleiner als 2 Millionen: $2\sigma_a^{12,3} \cdot N = \text{const}$

im Dauerfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen größer als 2 Millionen : $2\sigma_a^{23,6} \cdot N = \text{const}$

4.1.3 Wasservergüteter Spannstahl mit Gewinderippung

Der verwendete Spannstahl stammte von der Firma Stahlwerk Annahütte, Hammerau. Es handelte sich um St 900/1100, rund, mit Gewinderippen der Abmessung 20 mm. Der Zulassungsbescheid dieses Spannstahls trägt die Nummer Z-12.1-XXI.3. Die wesentlichen, im Zulassungsbescheid angegebenen Daten sind auf den Anlagen 9 und 10 wiedergegeben. Demnach weist dieser Spannstahl für eine Versuchsoberspannung von $0,55 \cdot R_m$ eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_a = 220 \text{ N/mm}^2$ auf. In Anbetracht der Wichtigkeit der tatsächlichen Dauerschwingfestigkeit des Versuchsmaterials wurden 9 Dauerschwingversuche an freien Proben durchgeführt. Diese Versuche ergaben eine Dauerschwingfestigkeit von $2\sigma_{a,2\text{mio},50\%} = 238 \text{ N/mm}^2$. Die aus diesen Versuchen abgeleitete Wöhlerkurve ist in Bild 6 auf der Anlage 11 dargestellt. Die Gleichungen der normierten Wöhlerlinie lauten

im Zeitfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen kleiner als 2 Millionen: $2\sigma_a^{18} \cdot N = \text{const}$

im Dauerfestigkeitsbereich für Lastwechselzahlen größer als 2 Millionen: $2\sigma_a^{35} \cdot N = \text{const}$

Der Wert für den Steigungsfaktor k , welcher für gerippten Spannstahl mit etwa 5 zu erwarten ist, ergab sich mit $k = 18$ ungewöhnlich groß, d.h. die Steigung der Wöhlerlinie ist unerwartet klein.

4.2 Hüllrohre

4.2.1 PVC Hüllrohre

Von der Firma Drossbach, Rain am Lech, wurden gewellte PVC Ankerrohre (NW 55; 65 bzw. 80 mm) zur Verfügung gestellt. Die Wandstärke der Hüllrohre betrug 1,5 mm. Der Abstand der sinusförmigen Wellen betrug 11 mm. Die Wellen bildeten geschlossene Kreise, waren also nicht schraubenlinienförmig ausgebildet. Aufgrund der Formgebung kann davon ausgegangen werden, daß zumindest im Bereich von Verschiebungen, die größer als etwa 0,3 bis 0,5 mm sind eine innige Verzahnung mit dem umgebenden Beton entsteht. Dies bestätigen in anderem Zusammenhang durchgeführte Versuche.

4.2.1 PE Hüllrohre

Ebenfalls von der Firma Drossbach, Rain am Lech, wurden gewellte HDPE Ankerrohre (NW 80 mm) geliefert. Die Wandstärke dieser Rohre betrug 1,5 mm. Die Formgebung entsprach derjenigen der PVC Ankerrohre.

Für die Versuche an Spannstahl mit Gewinderippen wurden von der Firma ALLSPANN, München Puchheim, die zu diesen Spanngliedern gehörenden Übergangrohre aus PE zur Verfügung gestellt. Die Wandstärke dieser Rohre betrug 1,5 mm.

Hinsichtlich der Überleitung der Spanngliedkräfte in den Bauwerksbeton durch Verbund kann für die PE Rohre das für die PVC Hüllrohre angegebene Verhalten angenommen werden.

4.2.3 PP Hüllrohre

PP Hüllrohre wurden von der Firma VSL, Bern, zur Verfügung gestellt. Sie stammten vom Litzen-Spannverfahren dieser Firma, welches unter dem Namen PT-PLUS in der Schweiz eingesetzt wird. Die Zulassung dieser Hüllrohre in Deutschland ist beantragt. Die Querschnittsform der für die Versuche verwendeten Hüllrohre war oval. Die Rohre werden für das Litzen-spannglied $4 \text{ } \varnothing \text{ } 0,62''$ eingesetzt, bei dem die vier Spanndrahtlitzen in einer Ebene nebeneinander liegen. Die Wandstärke dieser Rohre beträgt 2 mm. Jede Rippe liegt in einem Querschnitt senkrecht zur Stabachse, d.h. die Rippen sind nicht schraubenlinienförmig angeordnet. Zwischen den im Abstand von 40 mm liegenden Rippen liegt jeweils ein 30 mm langer ungewellter Abschnitt. Deshalb liegen die Spanndrahtlitzen an Umlenkstellen der Spannglieder auf eine relativ große Länge an der PP Umhüllung an, sodaß sich die Anpreßkraft gegenüber Hüllrohren mit der üblichen, wellenförmigen Profilierung auf eine erheblich größere Länge verteilt. Die mechanische Beanspruchung der Hüllrohrinnenseite ist deshalb bei dieser Formgebung wesentlich reduziert. Die von der Firma VSL angegebenen Daten für diesen Hüllrohrtyp sind dem Firmen-Datenblatt zu entnehmen, welches auf der Anlage 12 wiedergegeben ist.

4.2.4 Stahlblech Hüllrohre

Zum Vergleich wurden auch Versuche mit gefalzten Stahlblech Hüllrohren nach DIN 18553 mit 60 mm lichtem Innendurchmesser durchgeführt. Dieser Innendurchmesser ist der größte für 5-Litzen-Spannglieder zugelassene, d.h. er stellt den ungünstigsten Fall dar. Die Blechdicke betrug 0,2 mm. Im Gegensatz zu den Kunststoff Hüllrohren waren die Rippen, bedingt durch die Herstellungart, schraubenlinienförmig umlaufend.

5. Versuchsergebnisse

5.1 PVC Hüllrohre

Die insgesamt 12 Versuche mit PVC Hüllrohren wurden je zur Hälfte mit Spanndrahtlitzen bzw. mit Spannstahl 1420/1570, vergütet, rund, glatt durchgeführt.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 3 Anlage 13 zusammengestellt.

Spannstahllitzen

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 7 und 8 auf der Anlage 14 dargestellt.

Die 6 Versuche an Spanndrahtlitzen wurden bei Spannungsschwingbreiten im Bereich von 85 bis 100 % der Dauerschwingfestigkeit der Litzen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Reibbeanspruchung eine Abminderung der mittleren Dauerschwingfestigkeit der Litzen von 238 [N/mm²] auf etwa 160 [N/mm²], d.h. um etwa 30 % bewirkte.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß zwei der sechs Proben nach mehr als 2 Millionen Lastwechseln brachen. Dies bestätigt die Erfahrung, daß die Wöhlerlinie bei Reibdauerbeanspruchung auch noch bei hohen Lastwechselzahlen geneigt ist, daß also zumindest bei 2 Millionen Lastwechseln noch nicht die Dauerschwingfestigkeit erreicht ist, sofern eine solche bei dieser Beanspruchungsart überhaupt existiert.

Die Variation des Reibwegs zwischen 0,20 und 0,40 mm hatte keinen Einfluß auf die Lebensdauer der Litzen.

Die Reibstellen an der Innenseite der Hüllrohre waren deutlich erkennbar. Sie ergaben eine Reduzierung der Wanddicke der Hüllrohre um höchstens etwa 0,4 mm.

Das Bild 24 auf der Anlage 26 zeigt eine geöffnete Reibstelle mit Blick auf die gebrochene Spanndrahtlitze mit Reibkorrosion und das abgeklappte PVC Hüllrohr.

Bild 25 auf Anlage 26 zeigt das Detail der 0,3 mm tiefen Reibstelle am Hüllrohr.

Vergüteter, glatter Spannstahl

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 9 und 10 auf der Anlage 15 dargestellt.

Die sechs Versuche wurden mit Spannungsschwingbreiten von 200 bzw. 250 [N/mm²] durchgeführt. Diese Beanspruchung lag in der unteren Hälfte des Streubereichs des Wöhlerfeldes der freien Spanndrähte. Trotzdem brachen alle Proben und zwar im Mittel bei etwa einer Million Lastwechseln. Daraus folgt eine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der glatten Spanndrähte infolge der Reibbeanspruchung um etwa 30 %.

Die Variation des Reibwegs zwischen 0,20 und 0,40 mm hatte keinen Einfluß auf die Lebensdauer der Spanndrähte.

Die Hüllrohre waren an den Reibstellen bis zu etwa 0,4 mm tief eingedrückt.

Bild 26 auf Anlage 27 zeigt den Drahtbruch und die Reibstelle mit abgeklapptem Hüllrohr.

Bild 27 auf Anlage 27 zeigt das Detail der Reibstelle am Hüllrohr.

In diesem Fall war die Dicke des Hüllrohrs an der Reibstelle um etwa 0,4 mm reduziert.

5.2 PE Hüllrohre

Die insgesamt 12 Versuche mit PE Hüllrohren wurden je zur Hälfte mit Spanndrahtlitzen bzw. mit Spannstahl 900/1100 der Abmessung 20 mm mit Gewinderippen durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 4 Anlage 16 zusammengestellt.

Spannstahllitzen

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 11 und 12 auf der Anlage 17 dargestellt. Die 6 Versuche an Spanndrahtlitzen wurden einheitlich bei einer Spannungsschwingbreite von $2\sigma_A = 200 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ durchgeführt. Diese Schwingbreite entsprach etwa 85 % der bei den Nullversuchen festgestellten, mittleren Dauerschwingfestigkeit der Litzen. Trotzdem brachen alle 6 Proben, wobei die mittlere Lebensdauer bei 1,7 Millionen Lastwechseln lag. Aus diesen Ergebnissen ist zu schließen, daß die Reibbeanspruchung eine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der Litzen von 238 $\text{[N/mm}^2\text{]}$ auf etwa 193 $\text{[N/mm}^2\text{]}$, d.h. um etwa 20 % bewirkte.

Bild 28 Anlage 28 zeigt den leicht korrodierten Bruch einer Litze an der Reibstelle.

Die Variation des Reibwegs zwischen den Grenzwerten 0,05 und 0,33 mm hatte keinen Einfluß auf die Lebensdauer der Litzen.

Die Reibstellen an der Innenseite der Hüllrohre waren zwar deutlich erkennbar, ergaben aber keine merkliche Reduzierung der Wanddicke der Hüllrohre.

Spannstahl mit Gewinderippen

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 13 und 14 auf der Anlage 18 dargestellt. Die Lebensdauer der Proben wurde durch die Reibbeanspruchung nicht beeinträchtigt.

Ein Einfluß des Reibwegs, der zwischen 0,5 mm und 1,0 mm variiert wurde war ebenfalls nicht zu erkennen.

Die Reibstellen an der Innenseite der Hüllrohre hatten bereits nach dem Durchziehen des Spannstahls vor dem Dauerschwingversuch etwa dasselbe Aussehen, wie nach dem Versuch. Die Tiefe der Eindrückung in die Hüllrohrwand betrug etwa 0,3 mm. Eine wesentliche Abschürfung des Hüllrohrmaterials an der Auflagestelle des Spannstahls war nicht festzustellen. Dabei war der Spannstahl im Hüllrohr so orientiert, daß der glatte Umfangsbereich, also nicht die Gewinderippen an der Hüllrohrwand anlagen. Diese Lage entspricht der im Zulassungsbescheid in Zusammenhang mit der Angabe des Reibungskoeffizienten beim Spannen vorausgesetzten Lage des Spannstahls im Hüllrohr.

Das Bild 29 auf der Anlage 28 zeigt die geöffnete Reibstelle einer nicht gebrochenen Probe.

5.3 PP Hüllrohre

Die insgesamt 8 Versuche mit PP Hüllrohren wurden je zur Hälfte mit Spanndrahtlitzen bzw. mit Spannstahl 1420/1570, vergütet, rund, glatt durchgeführt.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 5 Anlage 19 zusammengestellt.

Spannstahllitzen

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 15 und 16 auf der Anlage 20 dargestellt.

Die 4 Versuche an Spanndrahtlitzen wurden einheitlich mit einer Spannungsschwingbreite von 200 [N/mm²] durchgeführt. Obwohl diese Beanspruchung in der unteren Hälfte des Streubereichs des Wöhlerfeldes der freien Spanndrähte lag brachen drei der vier geprüften Proben. Zwei davon brachen kurz vor Erreichen der 2 Millionen-Grenze, während die dritte nur etwa 160000 Lastwechsel erreichte. Dieses Versuchsergebnis kann nur durch den gegenüber den restlichen Versuchen auf das Doppelte erhöhten Anpreßdruck erklärt werden, mit welchem diese Probe geprüft wurde. Es ist anzumerken, daß für diese Versuchsserie die PT-PLUS Hüllrohre der Firma VSL verwendet wurden, welche durch ihre besondere Form die Umlenkraft besser über die Länge der Berührungslinie zwischen Spannstahl und Hüllrohr verteilen, als die üblichen kreisförmigen Hüllrohre mit sinusförmiger Rippenform (vgl. Anlage 12).

Die in diesem Fall angewendete Anpreßkraft, nämlich 120 N/lfmm tritt bei einem Bündelspannglied aus 9 Litzen auf (vgl. Bild 3, Anlage 2). Für derart große Spannglieder werden Kunststoffhüllrohre jedoch vorerst nicht in Erwägung gezogen. Das Ergebnis legt jedoch die Vermutung nahe, daß ab einer vorerst noch unbekanntem Grenze der Anpreßdruck einen deutlichen, negativen Einfluß auf die Dauerschwingfestigkeit des Spannstahls ausübt.

Aus dem Ergebnis der drei übrigen Versuche ergibt sich eine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der Litzen durch die Reibbeanspruchung von 238 [N/mm²] auf etwa 200 [N/mm²], d.h. um etwa 15 %.

Die Bilder 30 und 31 Anlage 29 zeigen Litzenbrüche mit geöffneter Reibstelle bzw. im Detail.

Der Reibweg wurde bei dieser Versuchsreihe nicht variiert, er betrug stets 0,20 mm.

Die Reibstellen an der Innenseite der Hüllrohre waren wegen der besonderen Form des flachen Hüllrohrs zwar erkennbar, ergaben aber keine Reduzierung der Wanddicke der Hüllrohre. Auch die mit erhöhter Anpreßkraft geprüfte Probe zeigte keine Beschädigung des Hüllrohrs.

Die Bilder 32 und 33 Anlage 30 zeigen die Reibstellen je einer Probe mit normaler bzw. auf das Doppelte erhöhter Anpreßkraft:

Vergüteter, glatter Spannstahl

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 17 und 18 auf der Anlage 21 dargestellt.

Die vier Versuche wurden mit Spannungsschwingbreiten von 200 bzw. 257 [N/mm²] durchgeführt. Diese Beanspruchung lag in der unteren Hälfte des Streubereichs des Wöhlerfeldes der freien Spanndrähte. Trotzdem brachen alle Proben vor dem Erreichen der 2 Millionen-Grenze. Daraus folgt eine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der glatten Spanndrähte infolge der Reibbeanspruchung um etwa 40 %.

Die Variation des Reibwegs zwischen 0,30 und 0,60 mm läßt einen negativen Einfluß des zunehmenden Reibwegs auf die Lebensdauer der Spanndrähte vermuten. Dies ist jedoch nicht statistisch gesichert, da nur ein Versuch mit großem Reibweg durchgeführt wurde.

Die Hüllrohre waren an den Reibstellen nicht nennenswert beschädigt.

Die Bilder 34 und 35 Anlage 31 zeigen einen Spanndrahtbruch mit geöffneter Reibstelle und das Detail der Reibstelle am Hüllrohr.

5.4 Stahlblech Hüllrohre mit Mörtelfüllung

Mit dem Ziel eines durch ausreichende Versuchsanzahlen gesicherten Vergleichs der Kunststoffhüllrohre mit konventionellen Stahlblech Hüllrohren wurde 22 Versuche mit injizierten Stahlblech Hüllrohren durchgeführt. Für 5 Versuche wurden Spanndrahtlitzen verwendet. Das Hauptgewicht wurde jedoch auf den vergüteten, glatten Spannstahl gelegt, da erfahrungsgemäß die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit beim glatten Stahl größer ist. Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 6 Anlage 22 zusammengestellt.

Spannstahllitzen

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 19 und 20 auf der Anlage 23 dargestellt.

Die 5 Versuche an Spanndrahtlitzen wurden mit Schwingbreiten von 175 bis 225 [N/mm²] durchgeführt. Diese Beanspruchung lag in der unteren Hälfte des Streubereichs des Wöhlerfeldes der freien Spanndrahtlitzen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Reibbeanspruchung eine Abminderung der mittleren Dauerschwingfestigkeit der Litzen von 238 [N/mm²] auf etwa 175 [N/mm²], d.h. um etwa 25 % bewirkte.

Es überrascht, daß die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der Spanndrahtlitzen in Stahlblech Hüllrohren nur etwa gleich groß war, wie in Kunststoffhüllrohren aus PVC oder PE.

Die Variation des Reibwegs zwischen 0,05 und 0,15 mm hatte keinen Einfluß auf die Lebensdauer der Litzen.

Angrenzend an die Reibstellen zwischen den Spanndrahtlitzen und den Stahlblech Hüllrohren waren Spuren von rotem Rost als loses Pulver vorhanden. Einzelne Partikel dieses Rosts hatten sich in die der Spannstahloberfläche eingepreßt. Die Stahlblech Hüllrohre waren bis auf geringfügige Eindrücke an den Reibstellen unbeschädigt, wiesen dort jedoch ebenfalls Korrosionsstellen auf.

Die Bilder 36 und 37 Anlage 31 zeigen die geöffnete Reibstelle mit aufgeklapptem Stahlblechhüllrohr bzw. ein Detail der Reibstelle auf der Spanndrahtlitze.

Vergüteter, glatter Spannstahl

Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 21 und 22 auf der Anlage 24 dargestellt.

Die 17 Versuche wurden mit Spannungsschwingbreiten von 200 bis 320 [N/mm²] durchgeführt. Diese Beanspruchungen erstreckten sich vom Gebiet knapp unterhalb der unteren Grenze des Streubereichs bis knapp über den Mittelwert der Dauerschwingfestigkeit der glatten Spanndrähte. Sämtliche Proben brachen vor Erreichen von 2 Millionen Lastwechseln oder sehr kurz danach. Die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit der glatten Spanndrähte infolge der Reibbeanspruchung lag im Mittel bei etwa 35 %. Wiederum war die Abminderung etwa von derselben Größe, wie bei Kunststoffhüllrohren.

Die Variation des Reibwegs zwischen 0,05 und 0,35 mm läßt keinen Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer der Spanndrähte erkennen.

Wiederum war angrenzend an die Reibstellen zwischen den Spanndrähten und den Stahlblech Hüllrohren roter Rost als loses Pulver vorhanden. Die Verrostung war intensiver, als bei den Litzen, da offenbar die Walzhaut der Spanndrähte im Bereich der Reibstelle fast vollständig in Rost umgewandelt war. Ebenfalls hatten sich einzelne Partikel dieses Rosts in die sonst blanke Reibstelle der Spannstahloberfläche eingepreßt. Die Stahlblech Hüllrohre waren bis auf geringfügige Eindrücke an den Reibstellen unbeschädigt jedoch erheblich korrodiert.

Die Bilder 38 und 39 Anlage 32 zeigen den Spanndrahtbruch in einer geöffneten Reibstelle und das Detail der Spannstahloberfläche. Bemerkenswert ist die starke Korrosion der Reibstelle.

5.5 Stahlblech Hüllrohre ohne Mörtelfüllung

Wie die Versuche mit Kunststoffhüllrohren gezeigt hatten, war die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit infolge der Reibbeanspruchung etwa ebenso groß wie bei den Versuchen mit Stahlblech Hüllrohren. Deshalb war die Frage gestellt, ob diese Abminderung nicht im Wesentlichen eine Folge der Reibbeanspruchung des Spannstahls durch den Einpreßmörtel sein könnte.

Deshalb wurden 7 Dauerschwingversuche mit Stahlblech Hüllrohren ohne Mörtelinjektion durchgeführt. Wegen der größeren Anzahl von Vergleichsversuchen wurde für diese Versuche

vergüteter, glatter Spannstahl

verwendet. Die Dauerschwingbeanspruchung lag etwa in derselben Höhe wie bei den Versuchen mit Mörtelinjektion. Wie die Zusammenstellung der Einzelergebnisse in der Tabelle 7 und auf Bild 23 auf Anlage 25 zeigt, trat jedoch überraschenderweise in keinem Fall ein Bruch des Spannstahls auf. Aufgrund einer selbst bei der Spannungsschwingbreite von 320 [N/mm²], d.h. etwas höher als der mittleren Dauerschwingfestigkeit der in freiem Zustand geprüften Spanndrähte auch nach 3,36 Millionen Lastwechseln noch nicht gebrochenen Probe darf angenommen werden, daß bei dieser Art der Prüfung keine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit auftritt. Dabei ist zwar die Einschränkung zu machen, daß bei dieser Prüfungsart der Luftzutritt zur Reibstelle nicht durch den Mörtel behindert wurde sodaß hinsichtlich Reibkorrosion andere Verhältnisse vorlagen. Trotzdem legt dieses Ergebnis die Vermutung nahe, daß der schädigende Reibeinfluß in erster Linie vom Einpreßmörtel ausgeht und nicht vom Hüllrohr, gleichgültig aus welchem Material es besteht. Da auch bei diesen Versuchen geringe Mengen von rotem Rost an der Reibstelle entstanden, kann der Einfluß der Mörtelumgebung schon darin begründet sein, daß dadurch das Rostpulver an der Stahloberfläche festgehalten wird. Bei den Versuchen ohne Mörtelinjektion fiel dieses Rostpulver herab und konnte somit keine Reibeffekte an der Stahloberfläche bewirken.

6. Zusammenfassung

Für die Vorspannung mit nachträglichem Verbund sind in Deutschland derzeit nur Hüllrohre aus Stahlblech zugelassen. Hüllrohre aus Kunststoff bieten hinsichtlich des Korrosionsschutzes für den Spannstahl Vorteile gegenüber Hüllrohren aus Stahlblech.

Das Verhalten von Kunststoffhüllrohren wurde unter betriebsähnlichen Beanspruchungen in Dauerschwingversuchen erforscht. Zu klären waren die Fragen der Haltbarkeit der Kunststoffhüllrohre und des Einflusses auf die Spannstähle.

In das Versuchsprogramm waren alle wesentlichen Kunststoffarten (PVC, PE und PP) einbezogen. Vergleichsversuche wurden an Stahlblechhüllrohren durchgeführt. Es wurden alle typischen Spannstahlsorten geprüft (Spanndrahtlitzen; vergütete, glatte Spanndrähte; Spannstähle mit Gewinderippung).

Unter den für die Versuchsparameter

- Anpreßkraft des Spannstahls an das Hüllrohr,
- Reibweg,
- Spannungsschwingbreite des Spannstahls

praxisnah gewählten Versuchsbedingungen ergab sich, daß die Hüllrohre keine wesentlichen Beschädigungen erlitten. Die Dauerschwingfestigkeit der Spannstähle war bei der Verwendung von Kunststoffhüllrohren gegenüber der Dauerschwingfestigkeit im freien Zustand etwa in gleichem Maß abgemindert, wie bei der Verwendung von Stahlblechhüllrohren. Offenbar ist dabei der wesentliche schädigende Einfluß die Reibung des Spannstahls im Einpreßmörtel, welche unabhängig vom Material des Hüllrohrs ist. Die erreichten mittleren Dauerschwingfestigkeiten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

(Tabelle 2) Dauerschwingfestigkeit der Spannstähle in verschiedenen Hüllrohren:

$2\sigma_{A,2mio;50\%}$ in N/mm^2 für eine Oberspannung von $0,55 \cdot R_m$

Hüllrohr	Mörtelfüllung	Spannstahlart		
		Litze St 1570/1770 Ø 15,3 mm	vergütet, glatt St 1420/1570 Ø 12,2 mm	wasservergütet Gewinderippung St 900/1100 Ø 20 mm
ohne	ohne	240	300	240
PVC	mit	160	210	
PE	mit	190		240
PP	mit	200	180	
Stahlblech	mit	175	155	
Stahlblech	ohne		300	

Literaturverzeichnis (Literaturhinweise in chronologischer Reihenfolge)

- 41 CB Cornelius,H; Bollenrath,F.:
Einfluß von Einspannungen auf die Wechselfestigkeit von unlegiertem Stahl.
Archiv Eisenhüttenwesen 14, 1941, Nr.7, S. 335.
- 43 D Dies, K.:
Die Reiboxidation als chemisch-mechanischer Vorgang.
Archiv Eisenhüttenwesen, 16 (1943) 10, S.399.
- 69 F Funk, W.:
Ein Prüfverfahren zur Untersuchung des Einflusses der Reibkorrosion auf die
Dauerhaltbarkeit.
Materialprüfung 11, 1969, Nr.7, S.221
- 76 IfBt Richtlinien für die Eignungsprüfung von Spannverfahren mit nachträglichem
Verbund - Fassung Februar 1976 -
Mitteilungen des Institut für Bautechnik, Berlin, 5/1976, S.146.
- 84 CL Cordes, H., Lapp-Emden, M.:
Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Spanngliedern für die besonderen
Bedingungen der teilweisen Vorspannung.
Techn. Hochsch. Aachen, Institut für Massivbau, Bericht Nr. 18/84
- 86 M Müller, H.H.:
Dauerschwingfestigkeit von Spanngliedern.
Betonwerk+Fertigteil-Technik, 1986, H.12, S.804.
- 88 CEB Fatigue of Concrete Structures, State of the Art Report,
Bulletin d'information no. 188, Juin 1988

Anlagen

Verzeichnis der Anlagen

Anlage

- | | | | |
|--------|---|----------------------------|-----------------------|
| 1 | Tab.2 : Versuchsprogramm | | |
| 2 | Bild 3: Anpreßkräfte von Bündelspanngliedern | | |
| 3 | Kennwerte von Spanndrahtlitzen St 1570/1770 | | |
| 4 | " | | |
| 5 | Bild 4: Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen (Nullversuche) | | |
| 6 | Kennwerte von 12,2mm-Spanndrähten St 1430/1570, vergütet, rund, glatt | | |
| 7 | " | | |
| 8 | Bild 5 : Dauerschwingversuche 12,2 mm Spanndrähten vergütetet, glatt (Nullversuche) | | |
| 9 | Kennwerte der 20mm-Spannstähle St 900/1100, wasservergütet mit Gewinderippen | | |
| 10 | " | | |
| 11 | Bild 6: Dauerschwingversuche an 20 mm-GewinderippenSpannstählen (Nullversuche) | | |
| 12 | VSL Daten für PP Hüllrohre "PT-PLUS" | | |
| 13 | Tab 3: PVC Hüllrohre | Litze + glatter Spannstahl | |
| 14 | Bild 7: PVC Hüllrohre | Litze | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 8: " | Litze | Einfluß Reibweg |
| 15 | Bild 9: PVC Hüllrohre | glatter Spannstahl | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 10: " | glatter Spannstahl | Einfluß Reibweg |
| 16 | Tab 4: PE Hüllrohre | Litze + Gewindespannstahl | |
| 17 | Bild 11: PE Hüllrohre | Litze | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 12: " | Litze | Einfluß Reibweg |
| 18 | Bild 13: PE Hüllrohre | Gewindespannstahl | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 14: " | Gewindespannstahl | Einfluß Reibweg |
| 19 | Tab 5: PP Hüllrohre | Litze + glatter Spannstahl | |
| 20 | Bild 15: PP Hüllrohre | Litze | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 16: " | Litze | Einfluß Reibweg |
| 21 | Bild 17: PP Hüllrohre | glatter Spannstahl | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 18: " | glatter Spannstahl | Einfluß Reibweg |
| 22 | Tab 6: Stahlblech Hüllrohre mit Mörtelfüllung | Litze + glatter Spannstahl | |
| 23 | Bild 19: Stahlblech Hüllr. | Litze | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 20: " | Litze | Einfluß Reibweg |
| 24 | Bild 21: Stahlblech Hüllr. | glatter Spannstahl | Einfluß Schwingbreite |
| | Bild 22: " | glatter Spannstahl | Einfluß Reibweg |
| 25 | Tab 7: Stahlblech Hüllrohre ohne Mörtelfüllung | glatter Spannstahl | |
| | Bild 23: " | glatter Spannstahl | Einfluß Schwingbreite |
| 26 | Bild 24: Fotos von Proben nach der Prüfung | | |
| bis 33 | Bild 39 | | |

Tab.2: Versuchsprogramm

Hüllrohr	Mörtelfüllung	Spannstahlart		
		Litze St 1570/1770 Ø 15,3 mm	vergütet, glatt St 1420/1570 Ø 12,2 mm	wasservergütet Gewinderippung St 900/1100 Ø 20 mm
ohne	ohne	+	+	+
PVC	mit	+	+	
PE	mit	+		+
PP	mit	+	+	
Stahlblech	mit	+	+	
Stahlblech	ohne		+	

Die durchgeführten Versuche sind mit "+" gekennzeichnet.

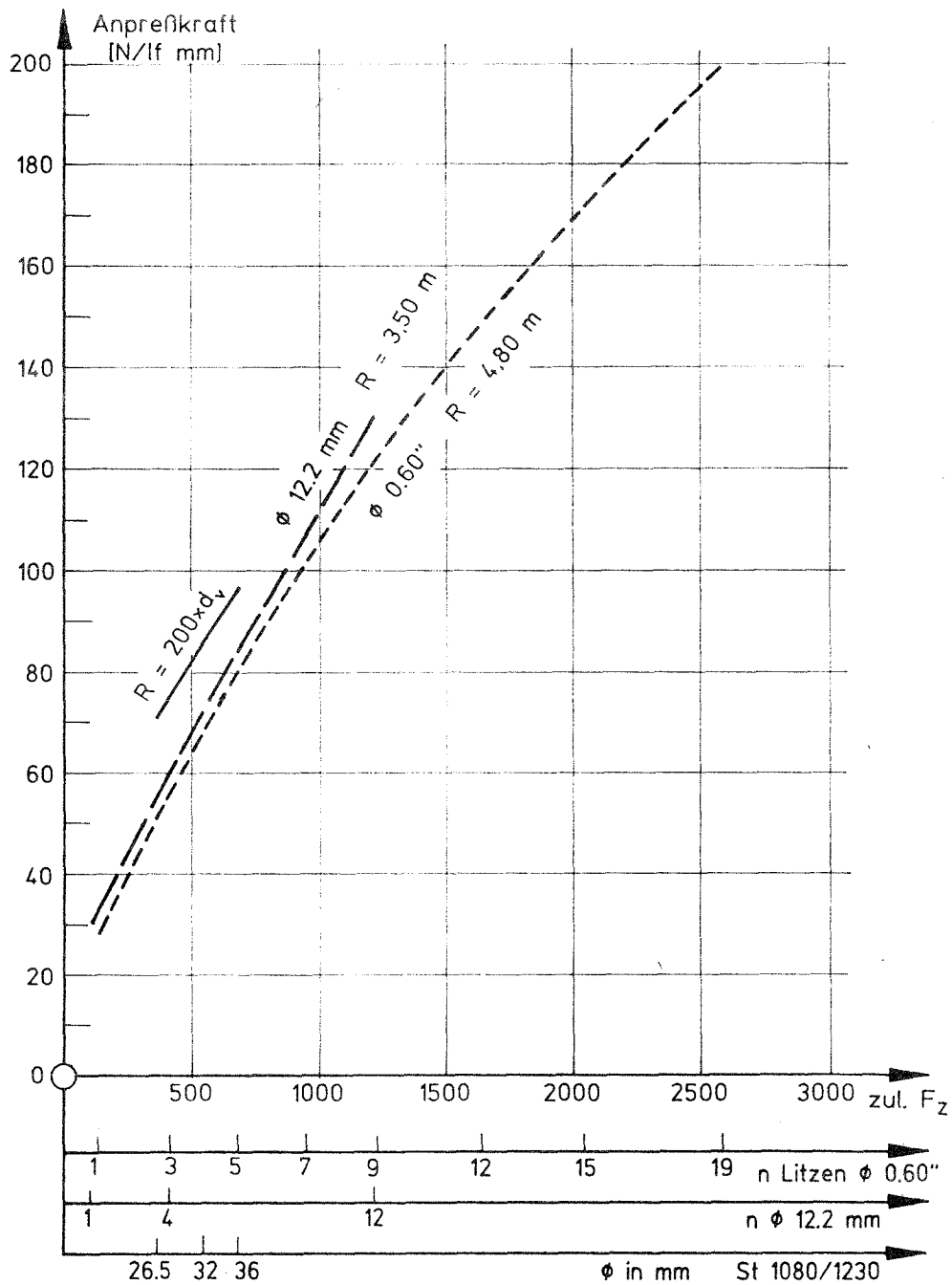


Bild 3: Anpreßkraft der Einzelstäbe im Umlenkbereich von Bündelspanngliedern aus

- Spanndrahtlitzen St 1570/1770 $\phi 15,3 \text{ mm}$
- vergüteten, glatten Spanndrähten St 1420/1570 $\phi 12,2 \text{ mm}$

und von Einzelspanngliedern aus

- Spannstahl St 900/1100 mit Gewinderippung $\phi 26,5; 32$ bzw. 36 mm

TrefliARBED Drahtwerk Köln GmbH	SPANNDRAHTLITZEN aus 7 glatten Einzeldrähten	Anlage Blatt 2
------------------------------------	---	-------------------



Anlage zum Zulassungsbescheid
 X-12.1- II.6 vom 31. Dez. 1984

Institut für Bautechnik
 in Berlin

Tabelle 2 : Festigkeits- und Verformungseigenschaften

1	Stahlsorte Relaxationsklasse	St 1570/1770 (160/180)	
		normal	sehr niedrig
	Durchmesserbereich mm	9,3 - 18,3	9,3 - 15,3
2	Elastizitätsgrenze $\beta_{0,01}$ N/mm ²	1150	1350
3	Streckgrenze $\beta_{0,2}$ N/mm ²	1570	
4	Zugfestigkeit β_Z N/mm ²	1770	
5	Bruchdehnung am Einzeldraht δ_{10} %	6	
6	Gleichmaßdehnung δ_{G1} %	2	
7	Biegezahlen am Einzeldraht Dorndurchmesser = $5 \cdot d_e$ n	3	
8	Schwingbreite $2 \cdot \sigma_A$ ($2 \cdot 10^6$) N/mm ² bei $\sigma_0 = 0,55 \beta_Z$	260	

Tabelle 3 Rechenwerte für Spannungsverluste $\Delta\sigma_x$, in % der Anfangsspannung σ_i

σ_i/β_Z	für kaltgezogene Spannstähle (Drähte bzw. Litzen) mit													
	normaler Relaxation							sehr niedriger Relaxation ⁺⁾						
	Zeitspanne nach dem Vorspannen in Stunden													
	1	10	1000	5000	$5 \cdot 10^5$	10^6	1	10	200	1000	5000	$5 \cdot 10^5$	10^6	
0,45	unter 1 %				1,7	2,0	unter 1 %							
0,50	'			1,7	4,5	5,0	'							
0,55	'		2,5	3,4	7,3	8,0	'					1,0	1,2	
0,60	'	1,2	4,2	5,5	10,0	11,0	'				1,2	2,5	2,8	
0,65	'	2,0	5,8	7,4	13,0	13,5	"			1,3	2,0	4,5	5,0	
0,70	1,2	2,7	7,5	9,5	16,0	17,0	"		1,0	2,0	3,0	6,5	7,0	
0,75	1,6	3,2	9,0	11,5	19,0	21,0	'	1,2	2,5	3,0	4,5	9,0	10,0	
0,80							1,0	2,0	4,0	5,0	6,5	13,0	14,0	

+) nur für \varnothing 9,3 bis 15,3

TrefilARBED Drahtwerk Köln GmbH	Spanndrahtlitze aus 7 glatten Einzeldrähten	Anlage Blatt 3
------------------------------------	--	-------------------

Bildliche Darstellung der Festigkeitswerte
 St 1570/1770 (160/180)

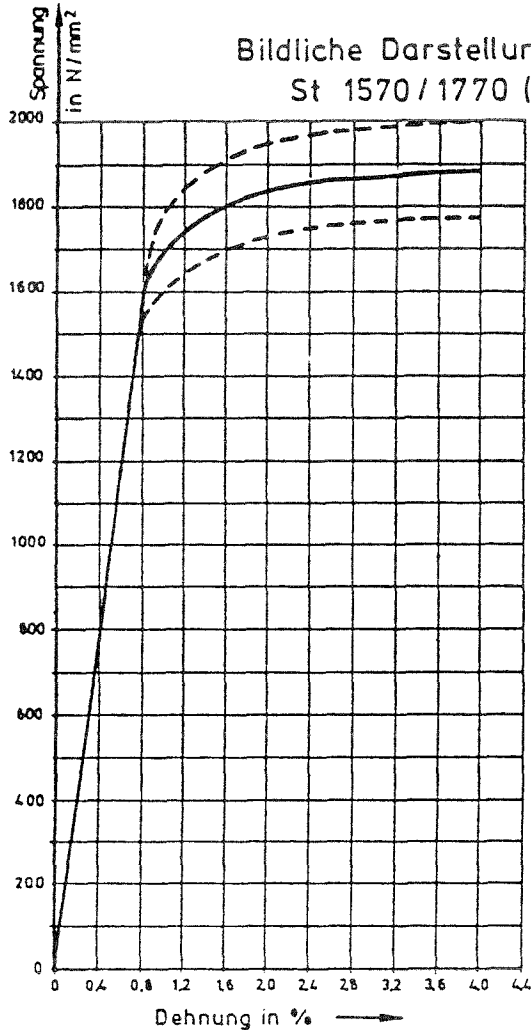


Bild 1:
Spannungs-Dehnungs Linie

Die gestrichelten Linien zeigen die Differenzen an, die in der Spannungs - Dehnungs Linie auftreten können.

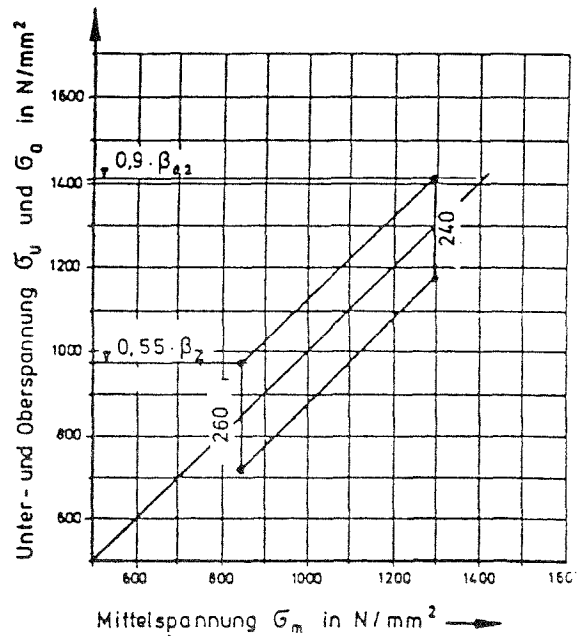
Anlage zum Zulassungsbescheid

D-12.1-III.6 vom 31. Dez. 1984



Institut für Bautechnik
 in Berlin

Dauerfestigkeitsschaubild
 nach Smith



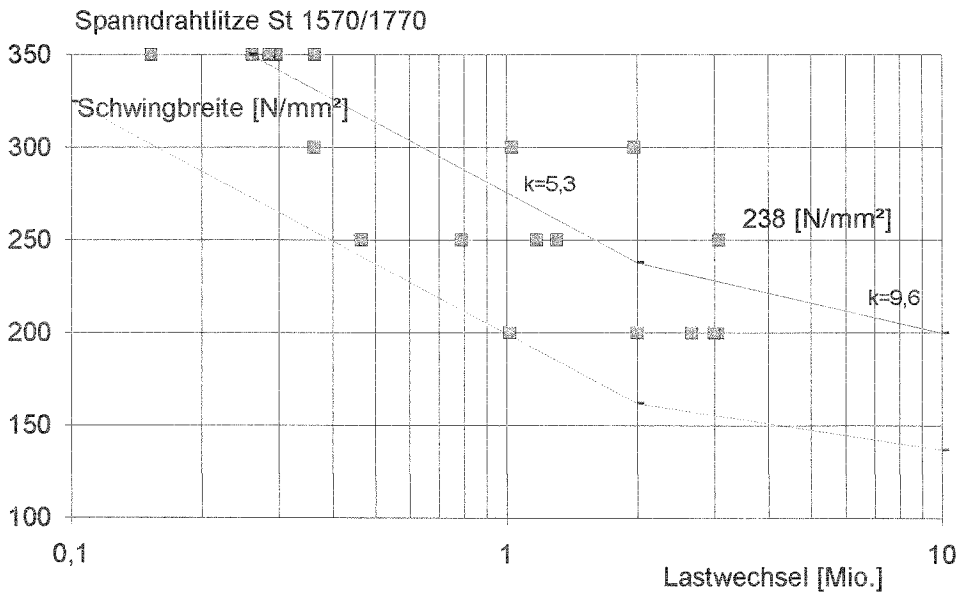


Bild 4: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an der Spanndrahtlitze des Programms
Hersteller Trefil ARBED (Zulassung Z-12.1-II6)
Prüfoberspannung $\sigma_0 = 0,55 \cdot R_m$

KRUPP STAHL AG Werk Rheinhausen	Vergüteter Spannstahl St 1420/1570 rund, glatt	Anlage Blatt 2
------------------------------------	--	-------------------

Anlage zum Zulassungsbescheid
 Z-12.1-I.4 vom 1. März 1986

Institut für Bautechnik
 in Berlin

Tabelle 2

1	Stahlsorte	St		1420/1570
2	Streckgrenze	$\beta_{0,2}$	N/mm ²	1420
3	Zugfestigkeit	β_Z	N/mm ²	1570
4	Elastizitätsgrenze	$\beta_{0,01}$	N/mm ²	1220
5	Bruchdehnung	δ_{10}	%	6
6	Gleichmaßdehnung	δ_{G1}	%	2
7a	Biegezahlen für Hin- und Herbiegeversuche bei $\pm 12,2$ mm Dmr. um D = 5 d			3
7b	Faltversuch bei 14 mm Dmr. um D = 4 d			150° (bleibend)
8	Schwingbreite $2 \sigma_A$ ($2 \cdot 10^6$) bei $\sigma_0 = 0,55 \beta_Z / 0,9 \beta_{0,2}$		N/mm ²	335 / 295

Tabelle 3

Rechenwerte für die Spannungsverluste $\Delta \sigma_{z,t}$ in % der Anfangsspannung σ_1 für vergüteten Spannstahl							
1	2	3	4	5	6	7	8
σ_1	Zeitspanne nach dem Vorspannen in Stunden						
	1	10	200	1000	5000	500.000	10 ⁶
0,50 β_Z		unter 1 %					
0,55 β_Z						1,0	1,2
0,60 β_Z					1,2	2,5	2,8
0,65 β_Z				1,3	2,0	4,5	5,0
0,70 β_Z			1,0	2,0	3,0	6,5	7,0
0,75 β_Z		1,2	2,5	3,0	4,5	9,0	10,0
0,80 β_Z	1,0	2,0	4,0	5,0	6,5	13,0	14,0

KRUPP STAHL AG Werk Rheinhausen	Vergüteter Spannstahl St 1420 / 1570 rund, glatt	Anlage Blatt 3
------------------------------------	---	-------------------

Bildliche Darstellung der Festigkeitswerte

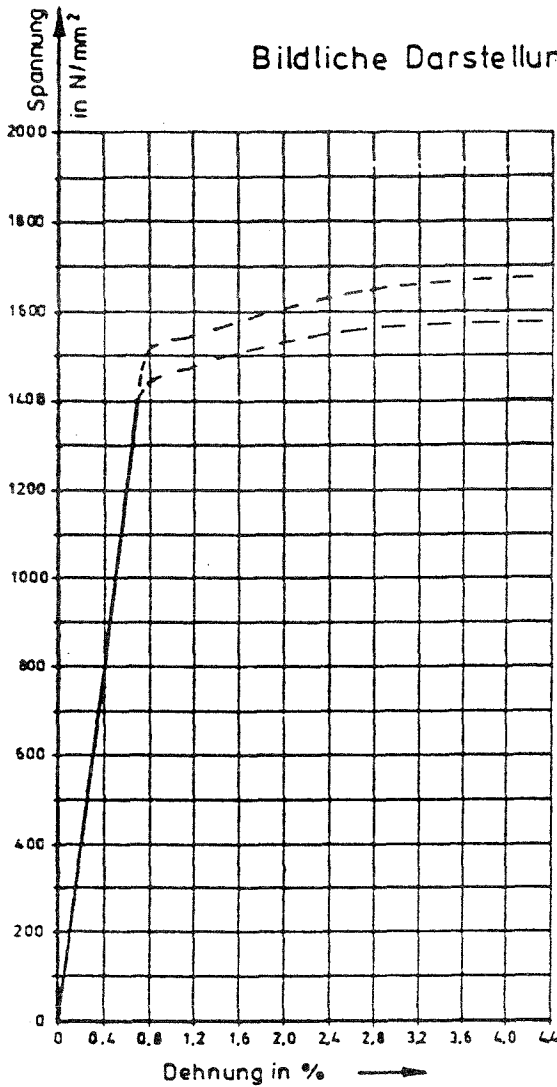
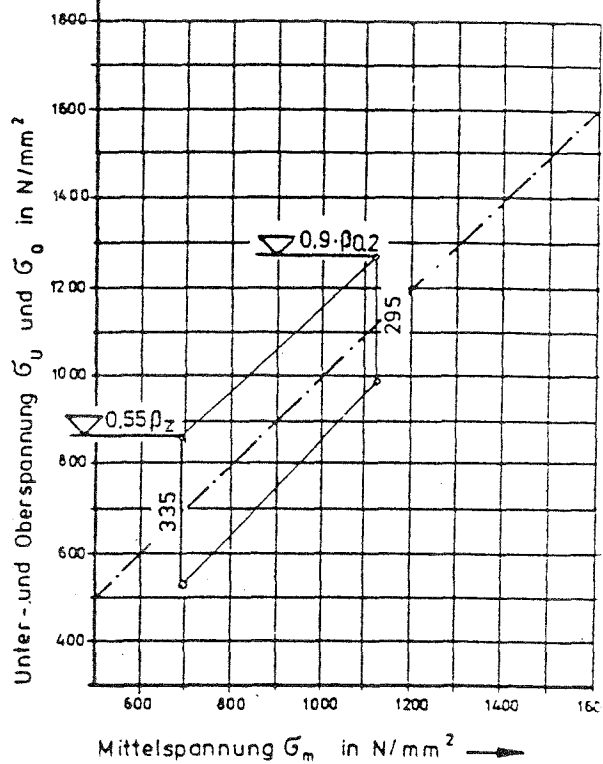
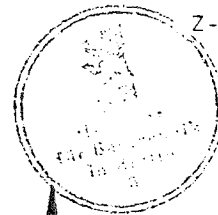


Bild 1:
Spannungs-Dehnungs-Linie

Die gestrichelten Linien zeigen die Differenzen an, die in der Spannungs-Dehnungslinie auftreten können.

Anlage zum Bericht Nr. 1075
 Z-12.1-I.4 vom 1. März 1986

Institut für Bautechnik
 in Berlin



Dauerfestigkeitsschaubild
 nach Smith

Versuche an Spannstahl $\phi 14$ mm

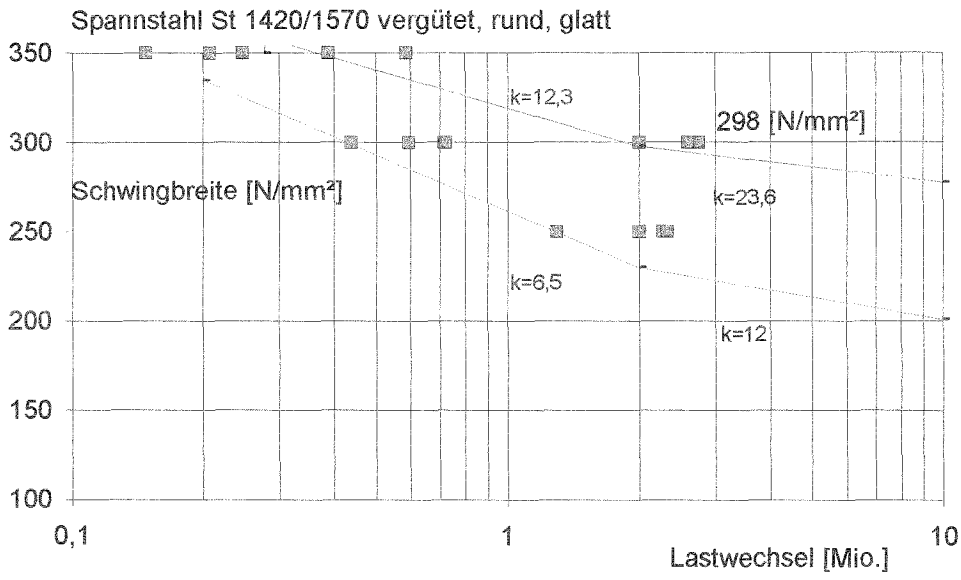


Bild 5: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergütetem Spannstahl des Programms
Hersteller SIGMA Spannstahl (Zulassung Z-12.1-I.4)
Prüfoberspannung $\sigma_0 = 0,55 \cdot R_m$

STAHLWERK ANNAHÜTTE	WARMGEWALZTER SPANNSTAHL WASSERVERGÜTET ST 900 / 1100	ANLAGE BLATT 3
------------------------	---	-------------------

1	Stahlsorte rund mit Gewinde- bzw. Schrägrippen	Anlage zum Zulassungsbescheid 12.1-20.3 vom 1. Sept. 1955 Institut für Bautechnik in Berlin		St 900/1100	Quantilwerte * (%)
2	Streckgrenze	$R_{0,2}$	N/mm ²	900	5
3	Zugfestigkeit	R_z	N/mm ²	1100	5
4	Elastizitätsgrenze	$R_{0,01}$	N/mm ²	800	5
5	Bruchdehnung	ϵ_{10}	%	7	5
6	Gleichmaßdehnung	ϵ_{G1}	%	5	5
7	Dorndurchmesser für Faltversuch Biegewinkel 180°			6 d _v	5
8	Schwingbreite 2 · $\sigma_A (2 \cdot 10^6)$ bei $\sigma_0 = 0,55 R_z / 0,9 R_{0,2}$		N/mm ²	220/200	10

Tabelle 1: Festigkeits- und Verformungseigenschaften

*) Mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von W = 0,95

σ_i / R_z	Zeitspanne nach dem Vorspannen in Stunden						
	1	10	200	1000	5000	500000	10 ⁶
0.45							
0.50		unter 1%					
0.55					1,0	1,1	1,2
0.60			1,5	1,8	2,3	3,5	3,7
0.65		1,6	3,1	3,9	5,2	7,8	8,2
0.70	1,4	2,5	4,7	6,0	8,0	12,0	12,6

Tabelle 2:
 Rechenwerte für die Spannungsverluste $\Delta \sigma_{z,t}$ (Relaxation) in % der
 Anfangsspannung σ_i für wasservergüteten Spannstahl

STAHLOWERK ANNAHÜTTE	WARMGEWALZTER SPANNSTAHL WASSERVERGÜTET ST 900 / 1100	ANLAGE BLATT 4
-------------------------	---	-------------------

Bildliche Darstellung der Festigkeitswerte

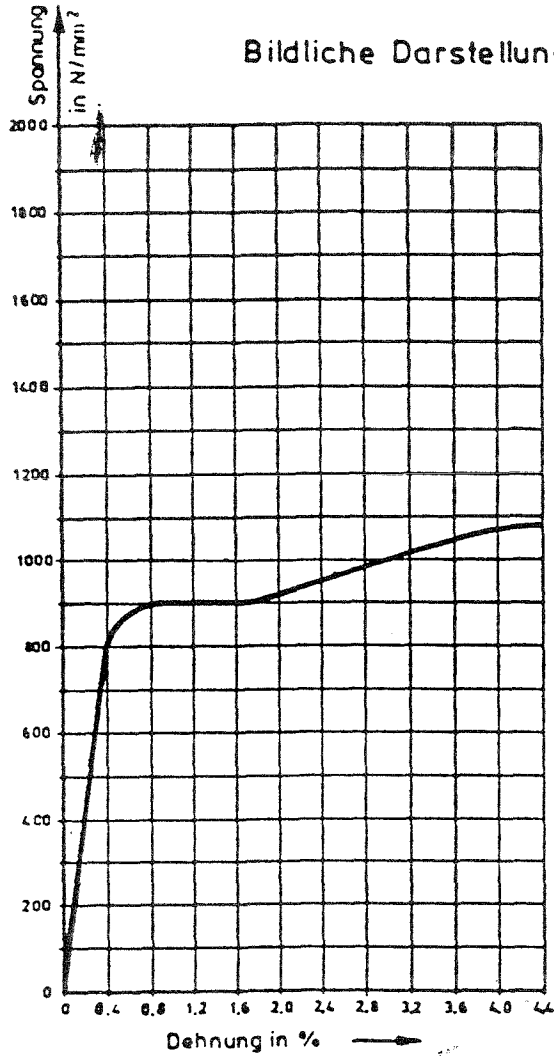
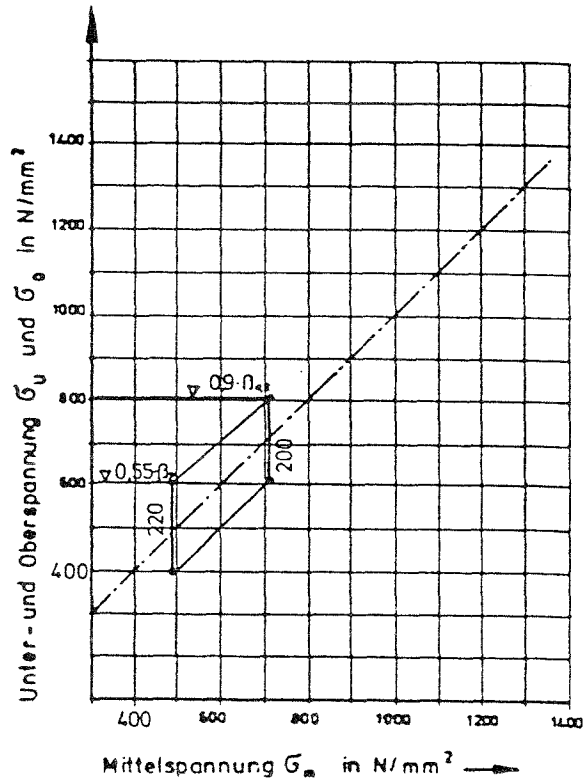


Bild 1:
Spannungs-Dehnungs-Linie



Anlage zum Zulassungsbescheid
 Z-121-XII, 3 vom 1. Sept. 1988
 Institut für Bautechnik
 in Berlin



Dauerfestigkeitsschaubild
 nach Smith

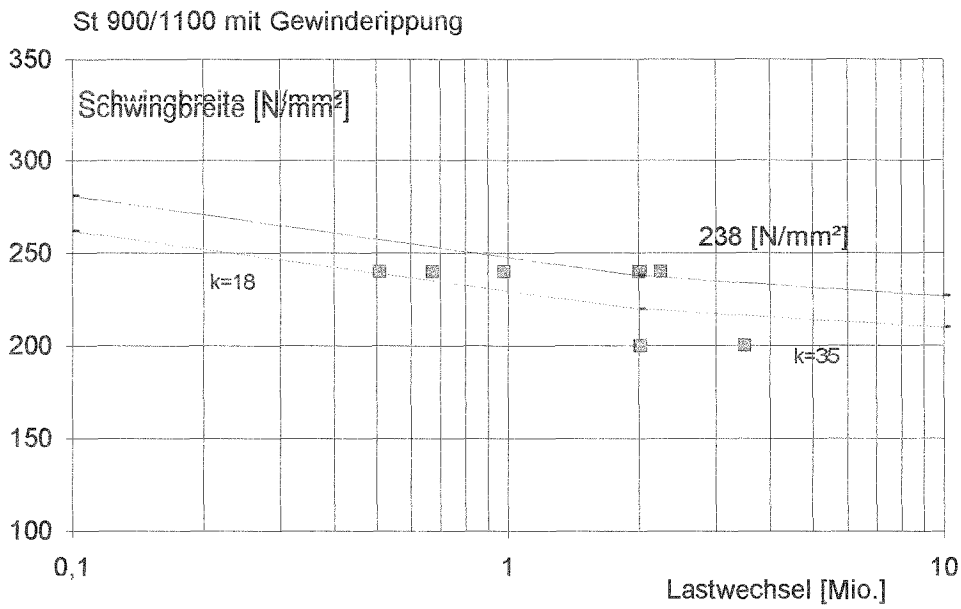
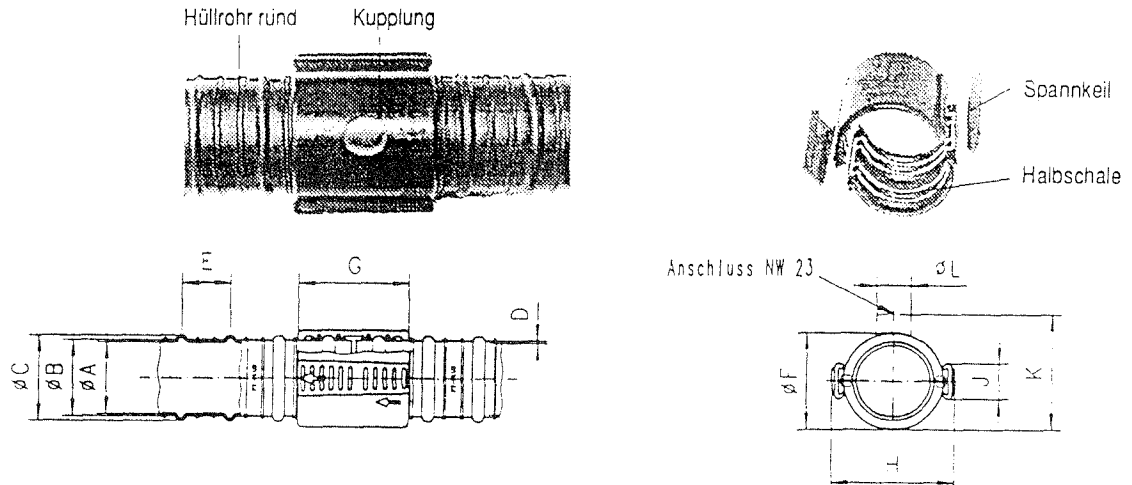


Bild 6: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an wasservergütetem Spannstahl mit Gewinderippen des Programms
Hersteller Stahlwerk Annahütte (Zulassung Z-12.1-XXI.3)
Prüfoberspannung $\sigma_0 = 0,55 \cdot R_m$

VSL Daten für PP Hüllrohre "PT-PLUS"

PT-PLUS System - Hüllrohre

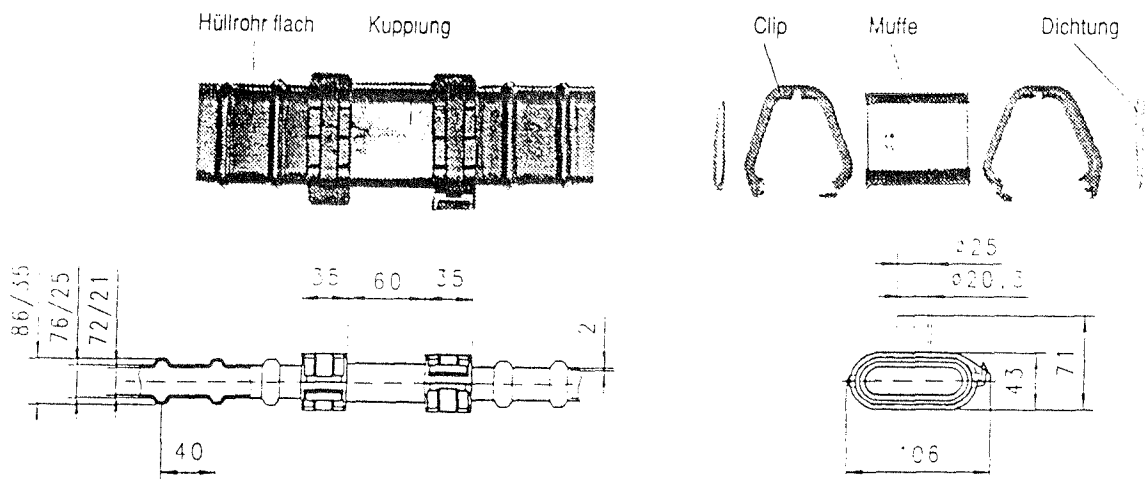
Bei erhöhten Anforderungen an den Korrosionsschutz und die Ermüdungsfestigkeit der Spannglieder wird die Verwendung des VSL PT-PLUS Systems mit gerippten Polyäthylen-Hüllrohren empfohlen. Das PT-PLUS System eignet sich insbesondere für Eisenbahnbrücken, Quervorspannung von Brückenplatten, Garagen und andere Fälle mit ausgeprägtem Korrosionsangriff oder hoher Ermüdungsbeanspruchung.



TYP	Kabeleinheit		ØA	ØB	ØC	D	E	ØF	G	H	J	K	ØL	Gewicht	
	0.5"	0.6"												Hüllrohr kg / m	Kupplung kg / Stk
59	5 - 12	6 - 7	59	63	73	2.0	42	82	108	106	38	104	34		
76	5 - 19	6 - 12	76	81	91	2.5	52.5	100	116	124	38	121.5	34		
100	5 - 31	6 - 19 / 22	100	106	116	3.0	60	123	126	147	38	145	35	0.930	0.270
72/21	5 - 4	6 - 4	Dimensionen siehe Zeichnung unten										0.460	0.110	

Dimensionen in mm

Änderungen vorbehalten



Material : Hüllrohre aus Polyäthylen : Halbschalen, Spannkeile und Clips aus Polypropylen	
Reibungsbeiwerte : $\mu = 0.14$ $k = 1.0 \cdot 10^{-3}$ pro Meter	Kabelhalterabstand : 0.8 m - 1.0 m

Tab 3: Versuche mit PVC Hüllrohren

Bezeichnung	Spannungsschwingbreite	Reibweg	Anpreßkraft	Lastwechsel	Bemerkungen
	$2\sigma_A$ N/mm ²	Δ mm	p N/lf mm	N Mio.	
Spanndrahtlitze St 1570/1770 \varnothing 15,3 mm (140 mm²)					
PV-M-L 1	243	0,32	60	0,300	Bruch an Reibstelle
PV-M-L 2	230	0,05	60	0,545	Bruch an Reibstelle
PV-M-L 3	200	0,10	60	2,000	kein Bruch
PV-M-L 4	200	0,25	60	2,000	kein Bruch
PV-M-L 5	200	0,33	60	1,331	Bruch an Reibstelle
PV-M-L 6	200	0,25	60	0,400	Bruch an Reibstelle
Spanndraht St 1420/1570, vergütet, rund, glatt \varnothing 12,2 mm					
PV-M-G 1	250	0,50	50	1,230	Bruch an Reibstelle
PV-M-G 2	250	0,40	50	0,789	Bruch an Reibstelle
PV-M-G 3	250	0,10	50	0,744	Bruch an Reibstelle
PV-M-G 4	200	0,55	50	1,573	Bruch an Reibstelle
PV-M-G 5	200	0,10	50	0,564	Bruch an Reibstelle
PV-M-G 6	200	0,15	50	0,989	Bruch an Reibstelle

Bezeichnung: PV = PVC-Hüllrohr
 M = mit Mörtelfüllung
 L = Spanndrahtlitze
 G = Glatter Spanndraht, vergütet

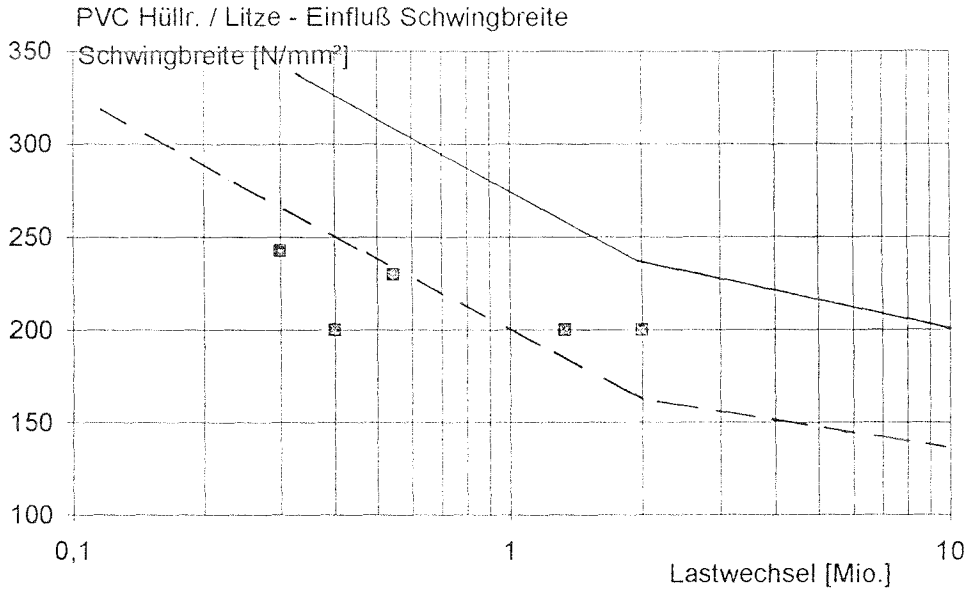


Bild 7: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PVC Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

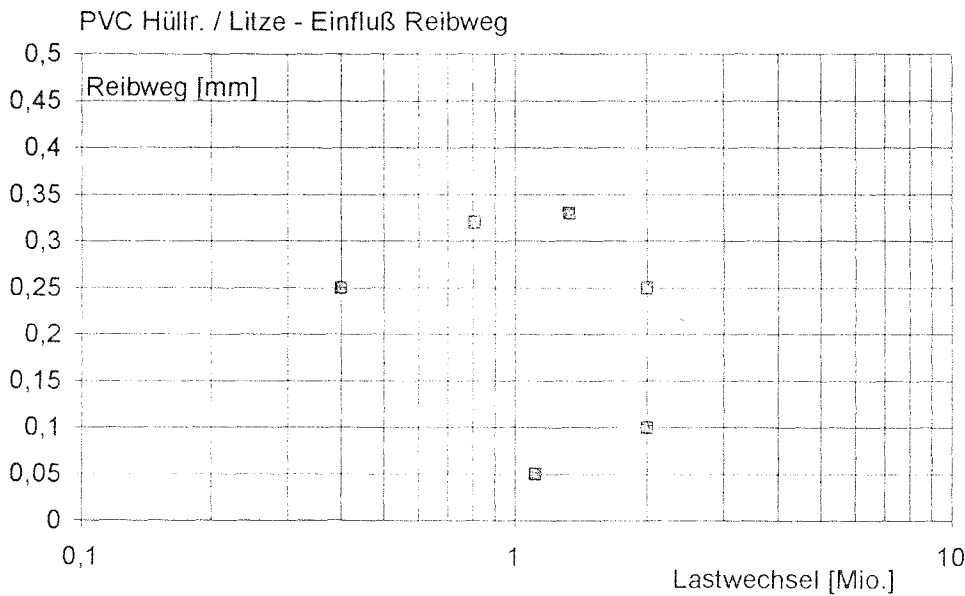


Bild 8: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PVC Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Lebensdauer umgerechnet auf Spannungshorizont $\Delta\sigma = 200 \text{ N/mm}^2$

Anmerkung: Hier und auf den folgenden Anlagen sind in den Bildern 9 bis 23 (nur ungerade) stets die Wöhlerlinien (Mittelwert, untere Grenze) zum Vergleich mit den Ergebnissen der Reibversuche eingezeichnet.

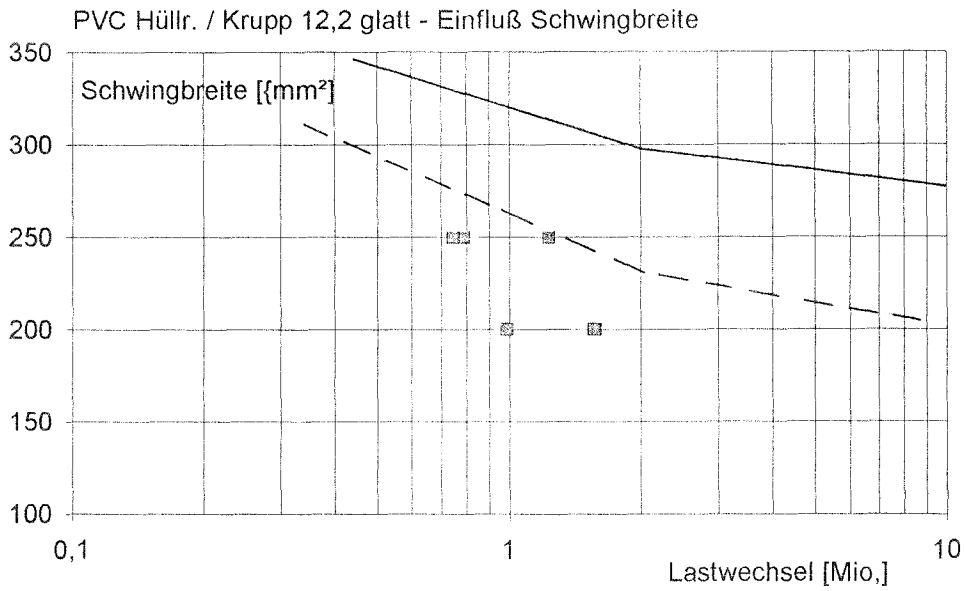


Bild 9: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in PVC Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

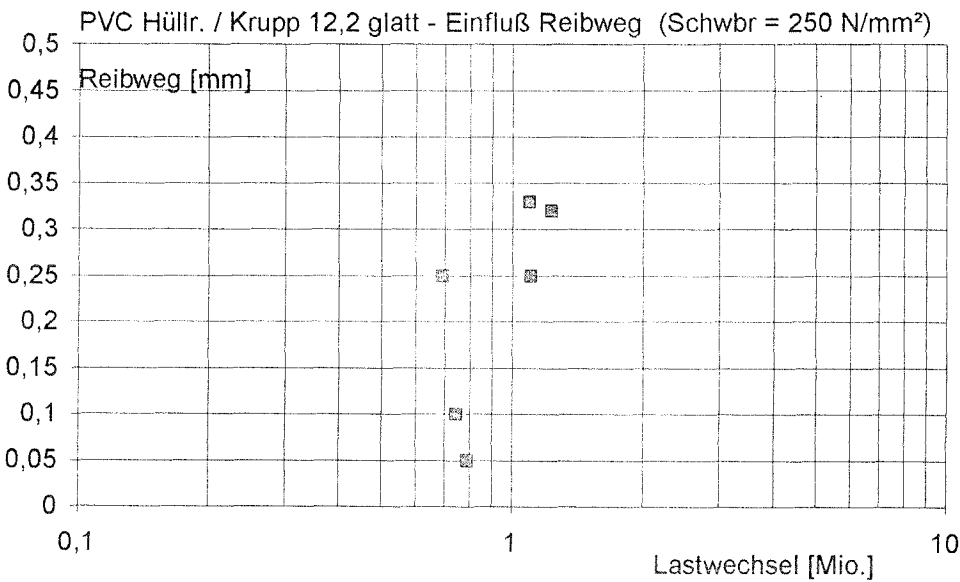


Bild 10: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in PVC Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Lebensdauer umgerechnet auf Spannungshorizont $\Delta\sigma = 250 \text{ N/mm}^2$

Tab 4: Versuche mit PE Hüllrohren

Bezeichnung	Spannungsschwingbreite	Reibweg	Anpreßkraft	Lastwechsel	Bemerkungen
	$2\sigma_A$ N/mm ²	Δ mm	p N/lf mm	N Mio.	
Spanndrahtlitze St 1570/1770 \varnothing 15,3 mm (140 mm²)					
PE-M-L 1	200	0,20	60	1,254	Bruch an Reibstelle
PE-M-L 2	200	0,20	60	1,602	Bruch an Reibstelle
PE-M-L 3	200	0,30	60	1,350	Bruch an Reibstelle
PE-M-L 4	200	0,30	60	1,731	Bruch an Reibstelle
PE-M-L 5	200	0,20	60	2,635	Bruch an Reibstelle
PE-M-L 6	200	0,40	60	2,045	Bruch an Reibstelle
Spannstahl St 900/1100, wasservergütet, Gewinderippung					
PE-M-R 1	250	0,50	100	1,364	Bruch außerh. Reibstelle
PE-M-R 2	250	0,50	100	1,772	Bruch außerh. Reibstelle
PE-M-R 3	250	1,00	100	2,000	kein Bruch
PE-M-R 4	200	1,00	100	2,000	kein Bruch
PE-M-R 5	200	1,00	100	2,000	kein Bruch
PE-M-R 6	200	1,00	100	2,000	kein Bruch

Bezeichnung: PE = PE-Hüllrohr
 M = mit Mörtelfüllung
 L = Spanndrahtlitze
 R = Spannstahl mit GewindeRippen

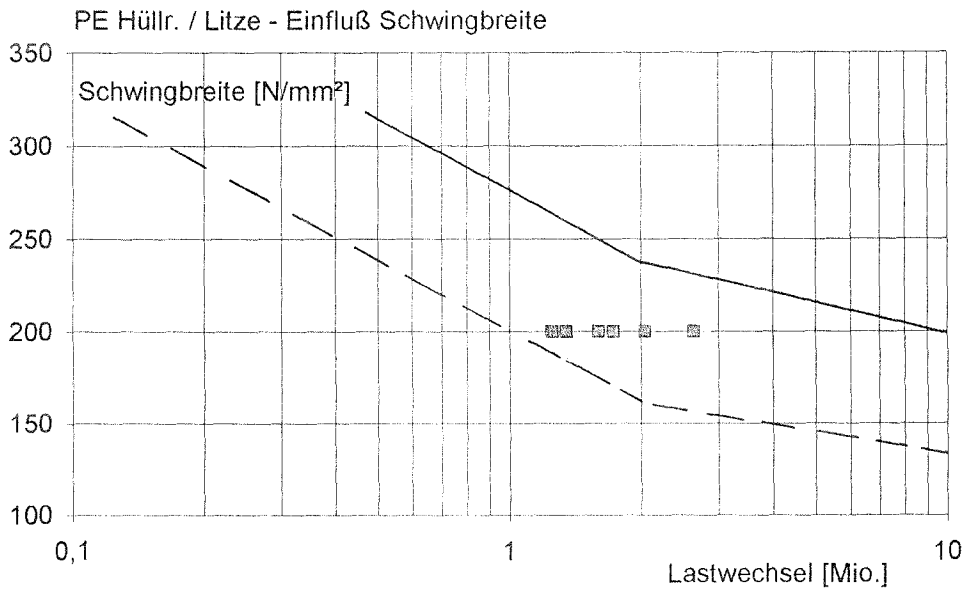


Bild 11: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PE Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

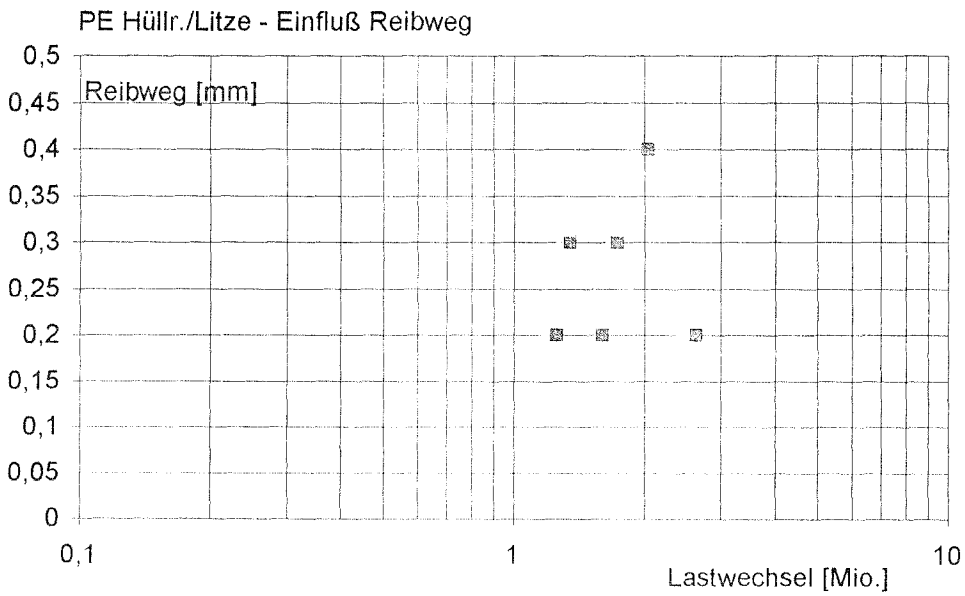


Bild 12: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PE Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Lebensdauer auf dem Spannungshorizont $\Delta\sigma = 200 \text{ N/mm}^2$

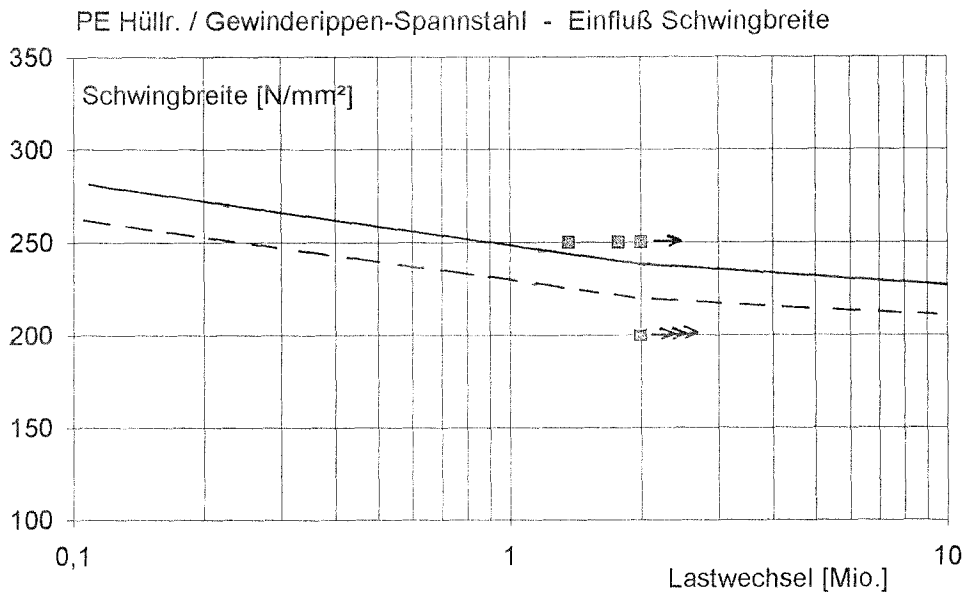


Bild 13: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Gewinderippen-Spannstahl in PE Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer
 Die Dauerbrüche lagen außerhalb der Reibstelle!

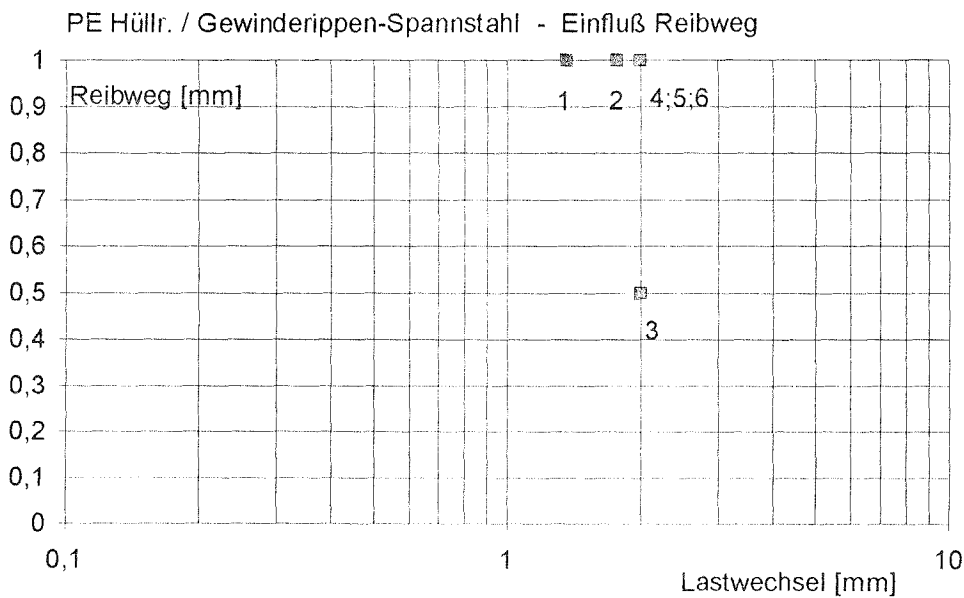


Bild 14: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Gewinderippen-Spannstahl in PE Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Belastung der Proben: Nr. 1; 2; 3 Schwingbreite 250 [N/mm²]
 Nr. 4; 5; 6 Schwingbreite 200 [N/mm²]
 Die Dauerbrüche lagen außerhalb der Reibstelle!

Tab 5: **Versuche mit PP Hüllrohren**

Bezeichng.	Spannungs- schwing- breite	Reibweg	Anpreßkraft	Lastwechsel	Bemerkungen
	$2\sigma_{\Lambda}$ N/mm ²	Δ mm	p N/lf mm	N Mio.	
Spanndrahtlitze St 1570/1770 \varnothing 15,3 mm (140 mm²)					
PP-M-L 1	200	0,23	60	1,960	Bruch an Reibstelle
PP-M-L 2	200	0,20	60	1,812	Bruch an Reibstelle
PP-M-L 3	200	0,20	60	2,000	kein Bruch
PP-M-L 4	200	0,20	120	0,162	Bruch an Reibstelle
Spanndraht St 1420/1570, vergütet, rund, glatt \varnothing 12,2 mm					
PP-M-G 1	257	0,60	60	0,380	Bruch an Reibstelle
PP-M-G 2	200	0,32	60	1,282	Bruch an Reibstelle
PP-M-G 3	200	0,35	60	1,042	Bruch an Reibstelle
PP-M-G 4	200	0,35	60	1,258	Bruch an Reibstelle

Bezeichnung: PP = **PP-Hüllrohr**
 M = mit **M**örtelfüllung
 L = Spanndraht**L**itze
 G = **G**latte Spanndraht, vergütet

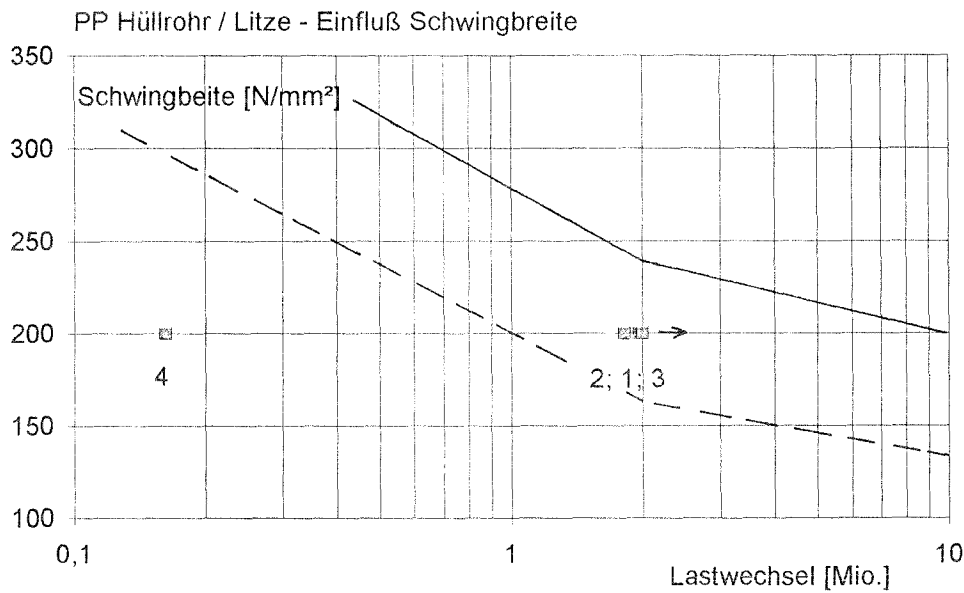


Bild 15: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PP Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer
 Anpreßkraft: Proben 1; 2; 3: 60 N/lfmm
 Probe 4 120 N/lfmm

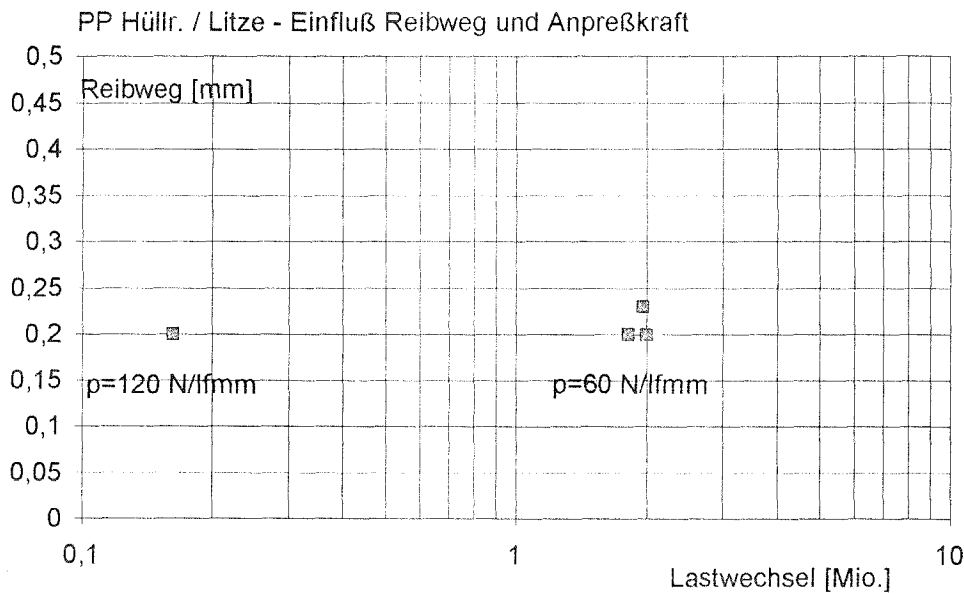


Bild 16: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in PP Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma = 200$ [N/mm²]

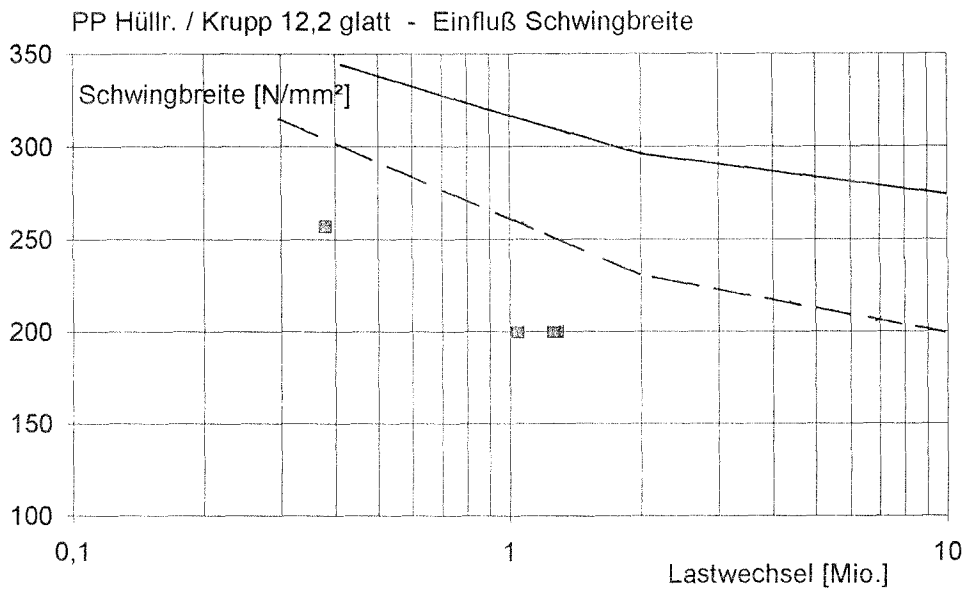


Bild 17: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in PP Hüllrohren
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

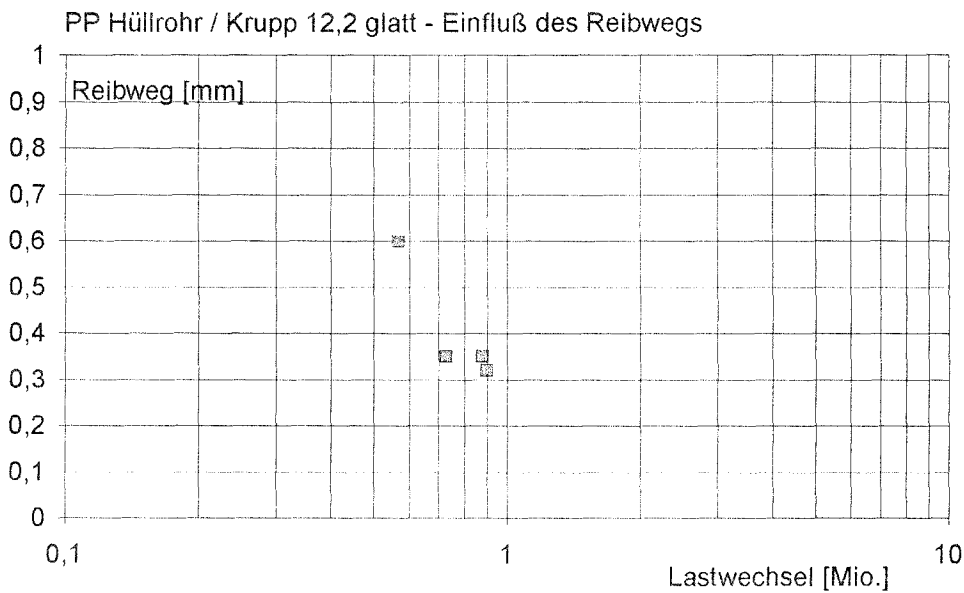


Bild 18: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in PP Hüllrohren
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Lebensdauer umgerechnet auf Spannungshorizont $\Delta\sigma = 250 \text{ N/mm}^2$

Tab 6: Versuche mit Stahlblech Hüllrohren mit Mörtelfüllung

Bezeichng.	Spannungs- schwing- breite	Reibweg	Anpreßkraft	Lastwechsel	Bemerkungen
	$2\sigma_A$ N/mm ²	Δ mm	p N/lf mm	N Mio.	
Spanndrahtlitze St 1570/1770 \varnothing 15,3 mm (140 mm²)					
ST-M-L 1	225	0,15	50	0,710	Bruch an Reibstelle
ST-M-L 2	200	0,05	50	0,740	Bruch an Reibstelle
ST-M-L 3	200	0,05	50	1,345	Bruch an Reibstelle
ST-M-L 4	200	0,10	50	1,240	Bruch an Reibstelle
ST-M-L 5	175	0,15	50	3,000	kein Bruch
Spanndraht St 1420/1570, vergütet, rund, glatt \varnothing 12,2 mm					
ST-M-G 1	320	0,25	25	0,286	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 2	320	0,35	25	0,248	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 3	250	0,05	25	0,812	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 4	250	0,15	25	0,553	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 5	250	0,05	25	0,823	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 6	250	0,15	25	0,734	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 7	250	0,15	50	0,529	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 8	250	0,10	50	0,659	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 9	250	0,10	50	0,709	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 10	250	0,30	50	0,591	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 11	250	0,20	50	1,639	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 12	250	0,20	50	1,199	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 13	250	0,10	50	0,728	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 14	250	0,10	50	0,744	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 15	200	0,05	50	1,496	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 16	200	0,10	50	1,705	Bruch an Reibstelle
ST-M-G 17	200	0,20	50	2,016	Bruch an Reibstelle

Bezeichnung: ST = Stahlblech-Hüllrohr
 M = mit Mörtelfüllung
 L = SpanndrahtLitze
 G = Glatter Spanndraht, vergütet

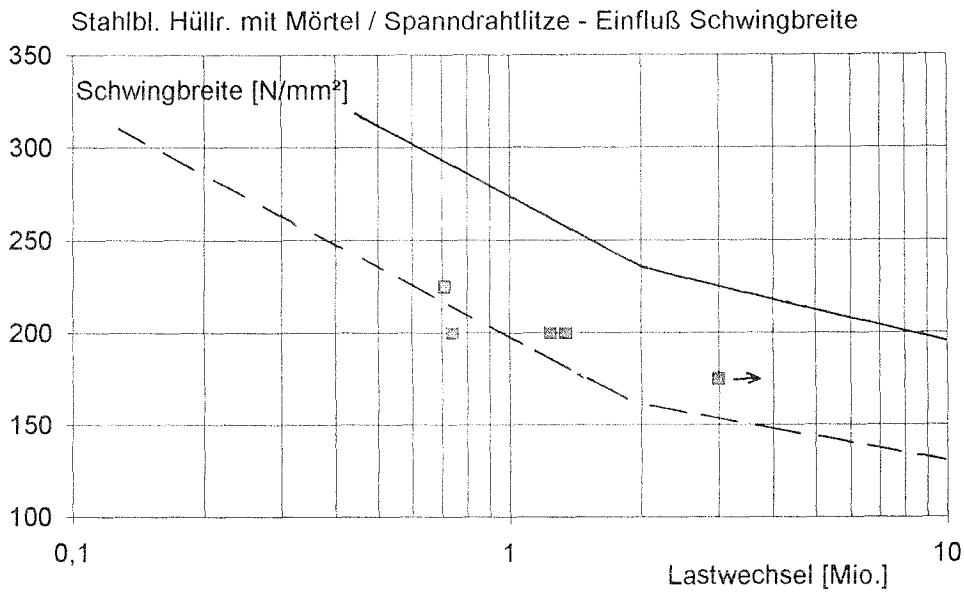


Bild 19: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in Stahlblech- Hüllrohren mit Mörtelfüllung
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

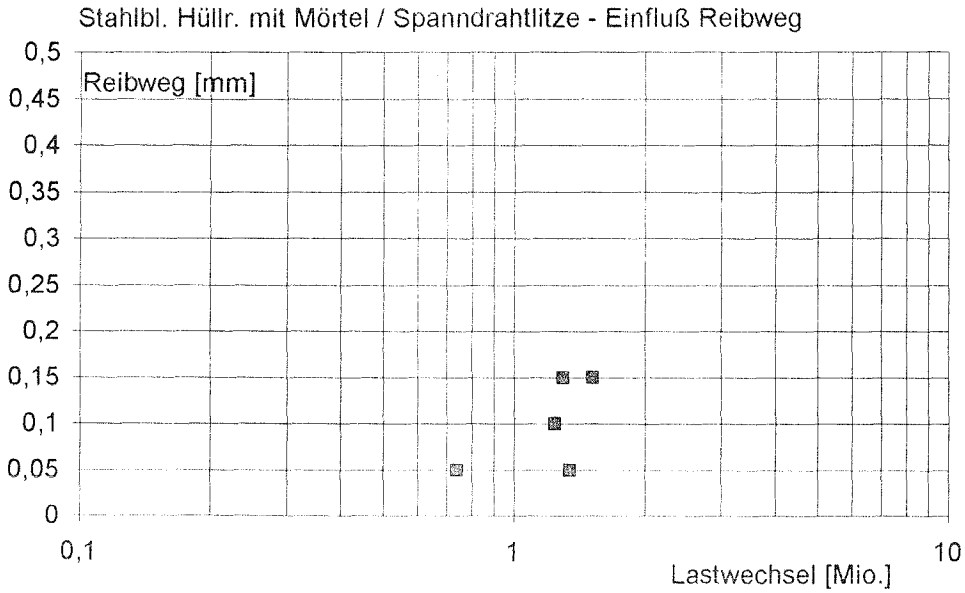


Bild 20: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an Spanndrahtlitzen in Stahlblech-Hüllrohren mit Mörtelfüllung
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma = 200$ [N/mm²]

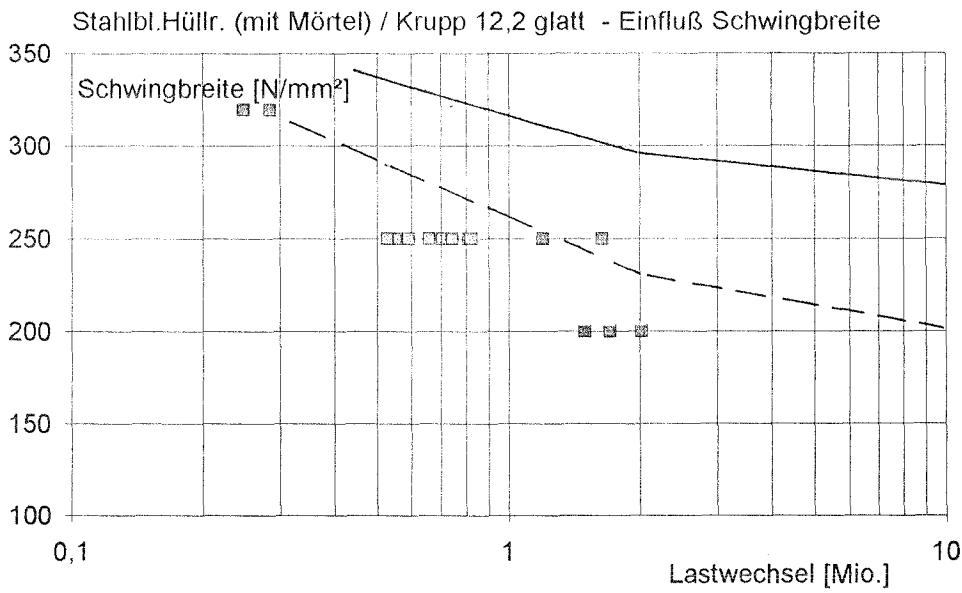


Bild 21: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in Stahlblech-Hüllrohren mit Mörtelfüllung
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

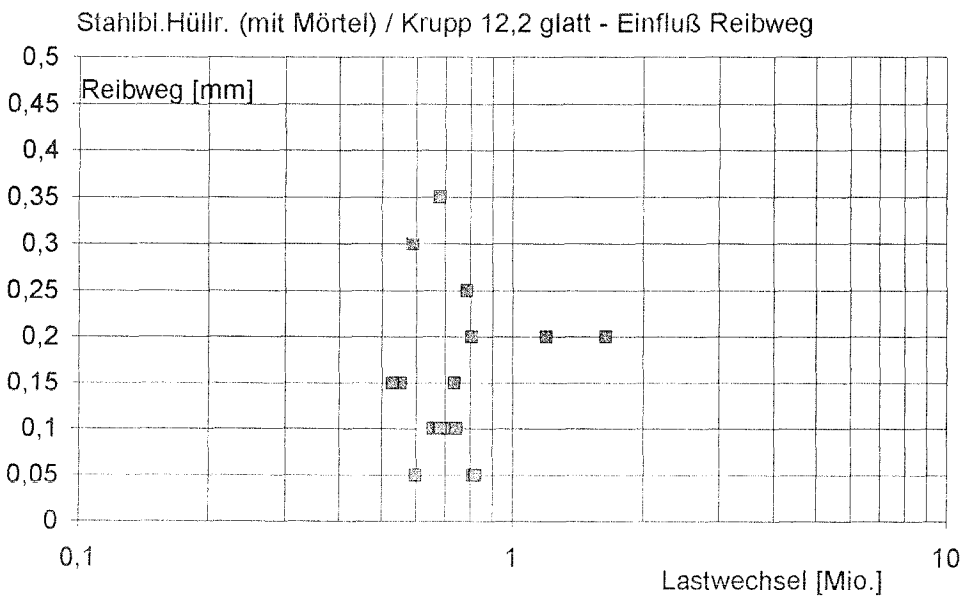


Bild 22: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in Stahlblech-Hüllrohren mit Mörtelfüllung
 Einfluß des Reibwegs auf die Lebensdauer
 Lebensdauer umgerechnet auf Spannungshorizont $\Delta\sigma = 250 \text{ N/mm}^2$

Tab 7: Versuche mit Stahlblech Hüllrohren ohne Mörtelfüllung

Bezeichng.	Spannungs- schwing- breite	Reibweg	Anpreßkraft	Lastwechsel	Bemerkungen
	$2\sigma_A$ N/mm ²	Δ mm	p N/lf mm	N Mio.	
Spanndraht St 1420/1570, vergütet, rund, glatt $\varnothing 12,2$ mm					
ST-O-G 1	320	0,30	25	3,360	kein Bruch
ST-O-G 2	265	0,25	25	2,000	kein Bruch
ST-O-G 3	210	0,15	25	2,500	kein Bruch
ST-O-G 4	200	0,17	50	3,000	kein Bruch
ST-O-G 5	200	0,16	50	2,000	kein Bruch
ST-O-G 6	200	0,10	50	2,267	kein Bruch
ST-O-G 7	200	0,15	50	2,420	kein Bruch

Bezeichnung: ST = **S**tahlblech-Hüllrohr
 O = **O**hne Mörtelfüllung
 G = **G**latter Spanndraht, vergütet

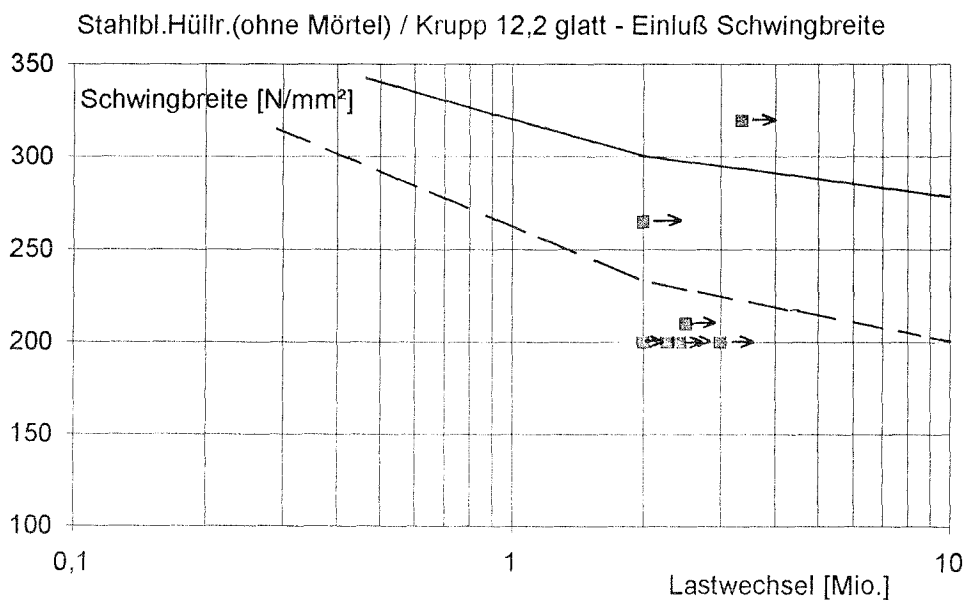


Bild 23: Ergebnisse der Dauerschwingversuche an vergüteten, glatten Spanndrähten in Stahlblech-Hüllrohren ohne Mörtelfüllung
 Einfluß der Schwingbreite auf die Lebensdauer

PVC Hüllrohre mit Spannstahllitzen

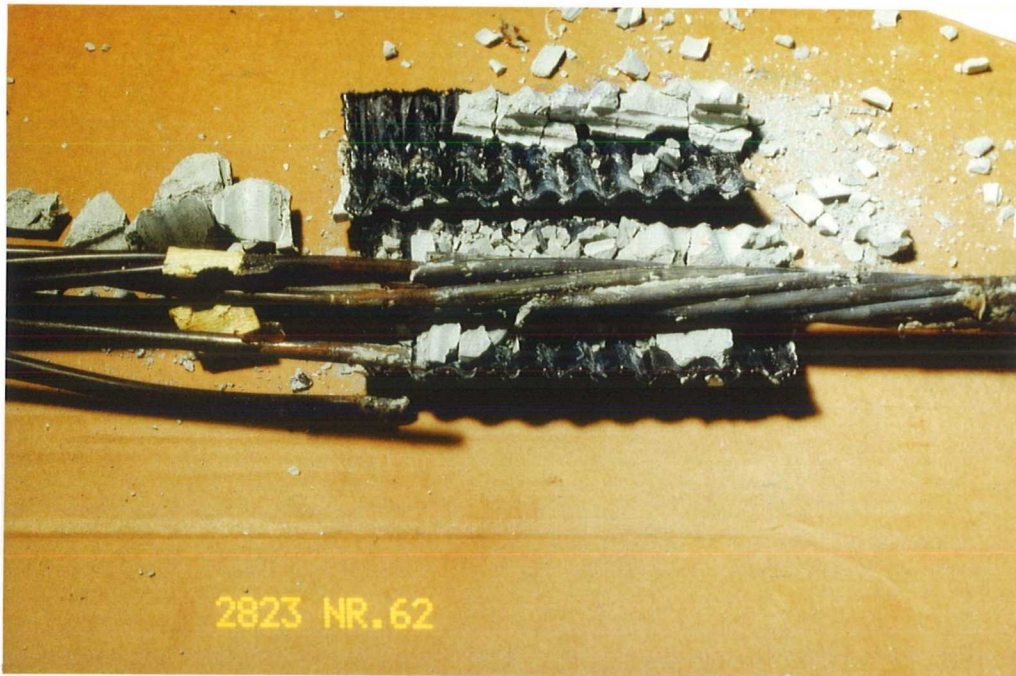


Bild 24: Bruch der Spanndrahtlitze mit geöffneter Reibstelle
Probe PV-M-L 6 : Reibweg 0,25 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm



Bild 25: Detail der Reibstelle am Hüllrohr. Eindrückung 0,3 mm tief.

PVC Hüllrohre mit glattem, vergütetem Spannstahl

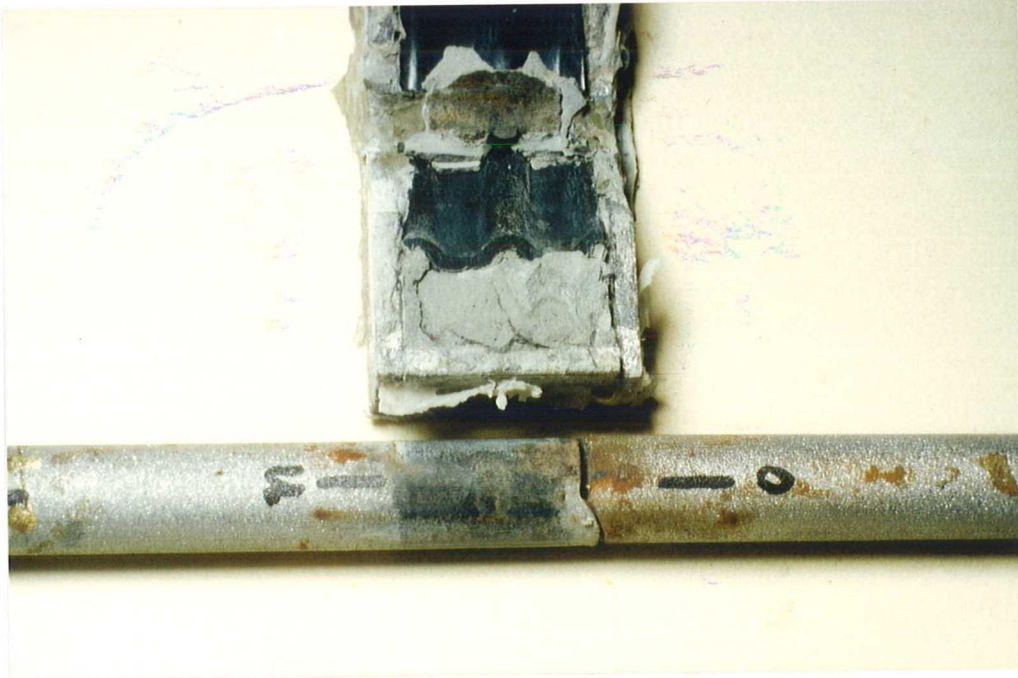


Bild 26: Bruch des Spanndrahts mit geöffneter Reibstelle
Probe PV-M-G 1 : Reibweg 0,50 mm Anpreßkraft 50 N/lfmm

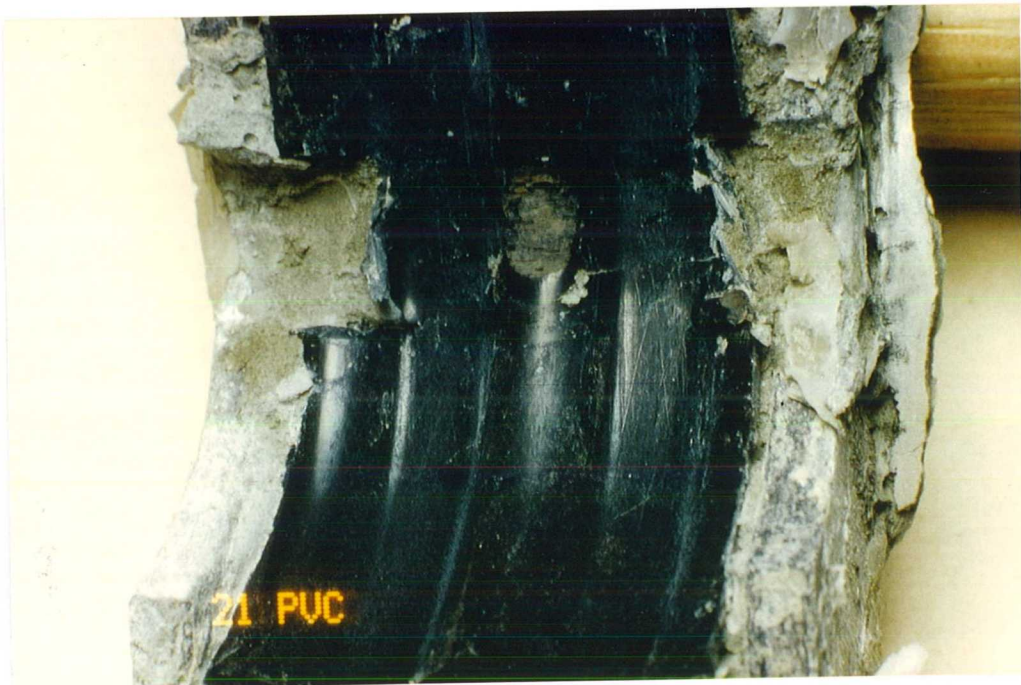


Bild 27: Detail der Reibstelle am Hüllrohr. Eindrückung 0,4 mm tief.

PE Hüllrohre mit Spannstahlilitzen bzw. Spannstahl mit Gewinderippung



Bild 28: Spanndrahtlitze mit Drahtbrüchen an der Reibstelle
Probe PE-M-L 4 : Reibweg 0,20 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm

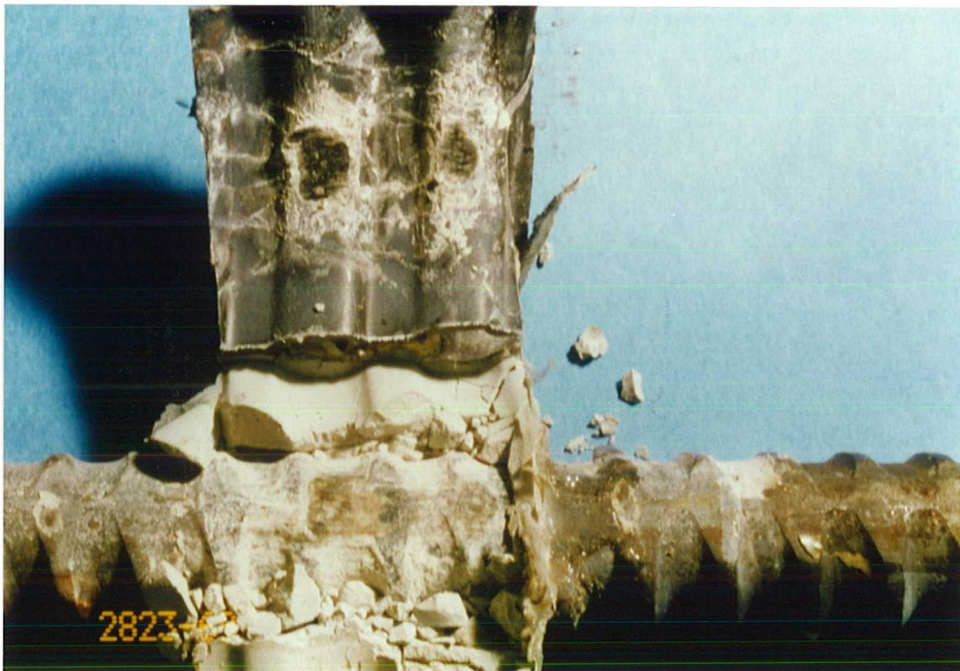


Bild 29: Spannstahl mit Gewinderippung an der geöffneten Reibstelle
Probe PE-M-R 3 : Reibweg 1,00 mm Anpreßkraft 100 N/lfmm

PP Hüllrohre mit Spanndrahtlitze



Bild 30: Bruch einer Spanndrahtlitze mit geöffneter Reibstelle
Probe PP-M-L 1 : Reibweg 0,23 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm



Bild 31: Detail des Bruchs einer Spanndrahtlitze
Probe PP-M-L 4: Reibweg 0,20 mm Anpreßkraft 120 N/mm (!)

PP Hüllrohre mit Spanndrahtlitze

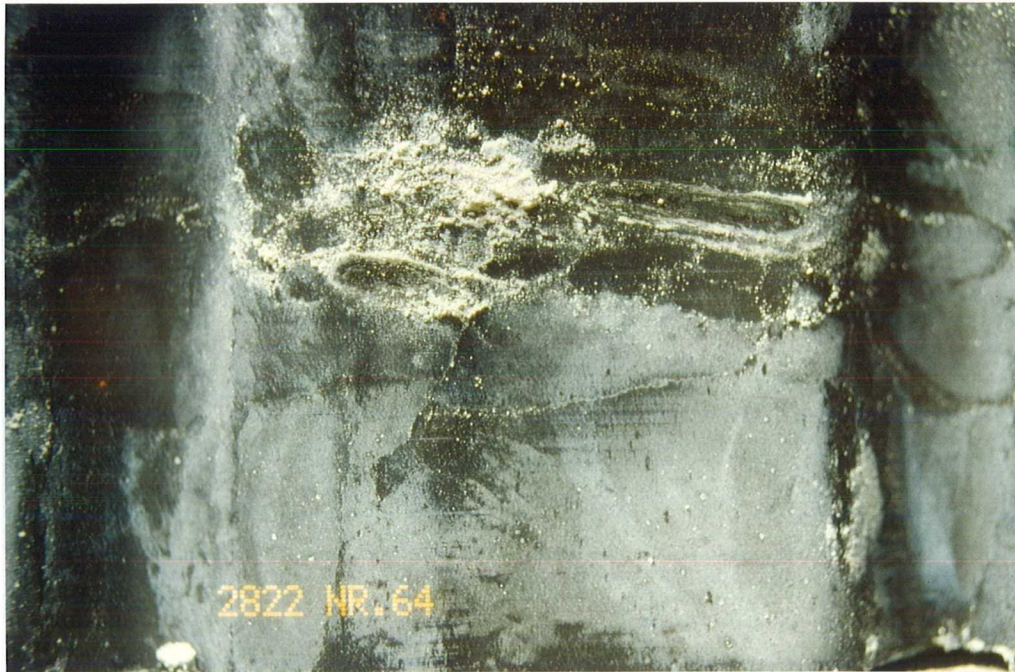


Bild 32: Detail einer Reibstelle am PP Hüllrohr
Probe PP-M-L 2 : Reibweg 0,20 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm



Bild 33: Detail einer Reibstelle am PP Hüllrohr
Probe PP-M-L 4: Reibweg 0,20 mm Anpreßkraft 120 N/mm (!)

PP Hüllrohr mit glattem, vergütetem Spanndraht

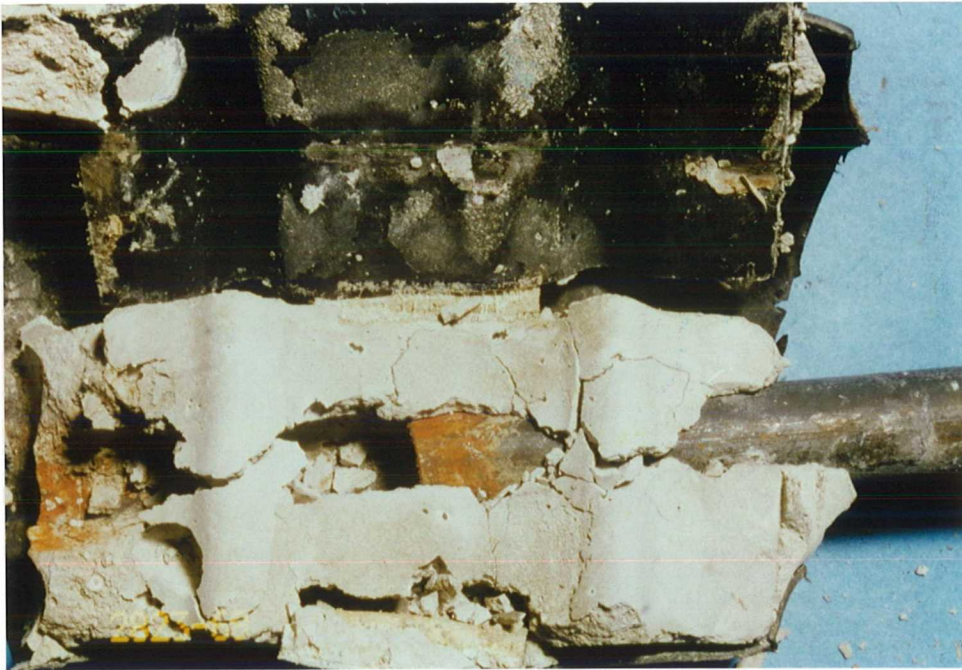


Bild 34: Bruch eines glatten Spanndrahts mit geöffneter Reibstelle
Probe PP-M-G 1 : Reibweg 0,60 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm

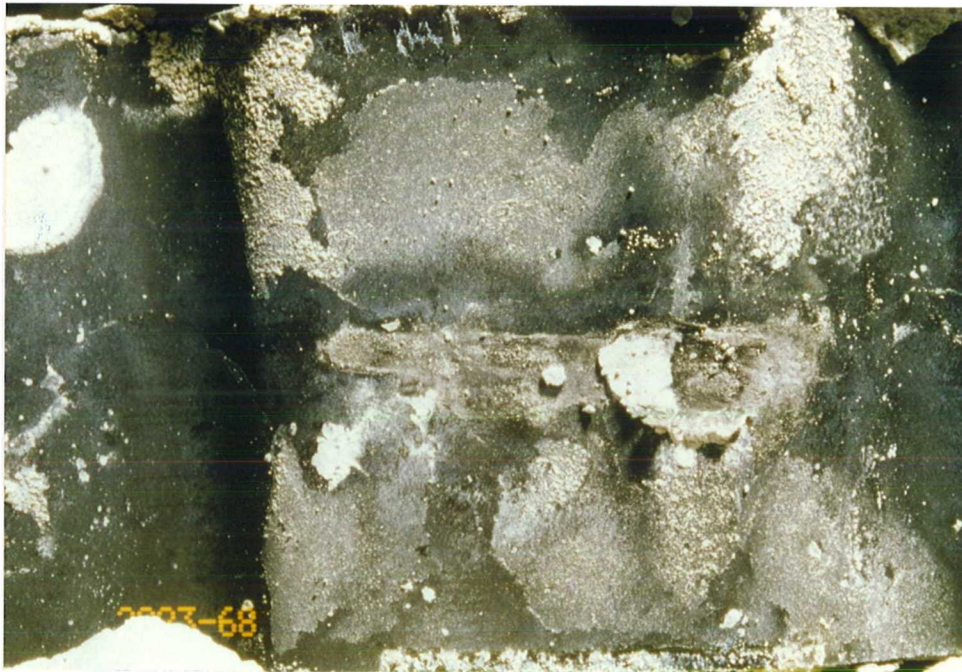


Bild 35: Detail einer Reibstelle am PP Hüllrohr
Probe PP-M-G 1 : Reibweg 0,60 mm Anpreßkraft 60 N/lfmm

Stahlblech Hüllrohre mit Mörtelfüllung mit Spanndrahtlitzen

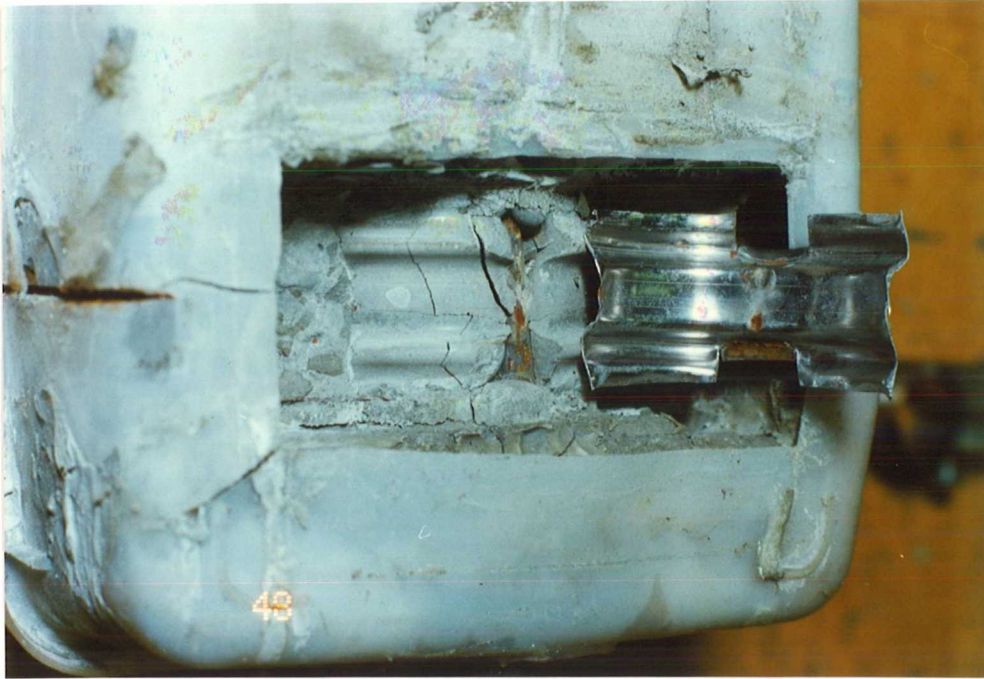


Bild 36: Geöffnete Reibstelle einer nicht gebrochenen Spanndrahtlitze
Probe ST-M-L 5: Reibweg 0,15 mm Anpreßkraft 50 N/lfmm
Reibkorrosion an der Litze und dem Stahlblechhüllrohr

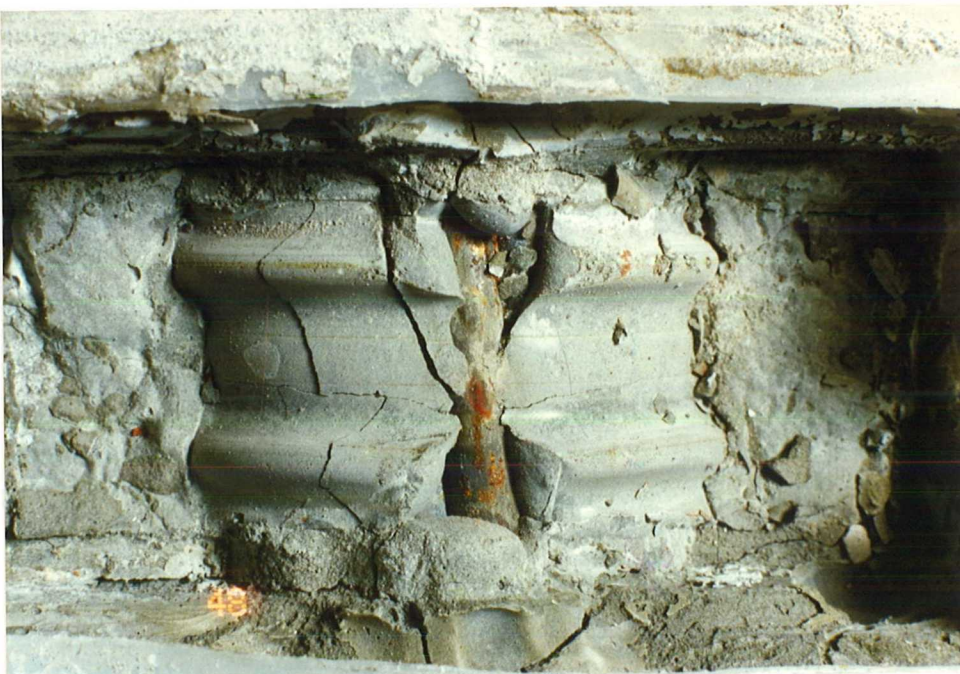


Bild 37: Detail der Reibstelle an der Spanndrahtlitze
Probe ST-M-L 5: Reibweg 0,15 mm Anpreßkraft 50 N/lfmm

Stahlblech Hüllrohre mit Mörtelfüllung mit glattem, vergütetem Spanndraht



Bild 38: Bruch eines glatten Spanndrahts mit geöffneter Reibstelle
Probe ST-M-G 16 : Reibweg 0,10 mm Anpreßkraft 50 N/lfmm



Bild 39: Detail der Reibstelle des Spanndrahts mit Bruchstelle und starker Korrosion

Résumé du rapport de recherche:

Câbles de précontrainte gainés de plastique sous chargement de service

par Prof. Dr. H. Kupfer
 TU München

avec le soutien du
 Deutsches Institut für Bautechnik (Az. IV 1-5-474/86)

En Allemagne, l'utilisation de gaines de plastique pour les câbles de précontrainte n'est pas autorisée. Pourtant, de telles gaines assureraient une protection efficace contre la corrosion.

Des tests en fatigue ont été menés dans des conditions de service afin d'estimer la durabilité de telles gaines ainsi que leur influence sur le câble de précontrainte. Différents aciers et gaines plastique (PVC, PE, PP) mais aussi différents types de câbles (torons, fils trempés, barres à pas de vis) ont été testés. Des valeurs réalistes ont été considérées pour la pression latérale entre câble de précontrainte et gaine, pour la distance du glissement entre câble et mortier et pour l'amplitude de contrainte appliquée au câble.

Il a été trouvé que les diverse gaines sont d'égale qualité et sont peu endommagées. La limite de fatigue du câble de précontrainte est peu modifiée par l'emploi de gaines plastiques. En fait, le frottement entre mortier et câble est beaucoup plus important que le matériau utilisé pour la gaine.

Les limites de fatigue $2 \cdot A_{2mio;50\%}$ (en N/mm^2) mesurées pour une contrainte maximale de traction $0.55 R_m$ sont reportées ci-dessous.

Gaine	Mortier	Câble de précontrainte		
		toron St 1570/1770 Ø 15,3 mm	file trempé St 1420/1570 Ø 12,2 mm	trempé avec pas de vis St 900/1100 Ø 20 mm
sans	sans	240	300	240
PVC	avec	160	210	
PE	avec	190		
PP	avec	200	180	
tôle	avec	175	155	
tôle	sans		300	

T 2621

Summary
 of Research work

**Behaviour of post tensioning tendons with plastic ducts
 under practice conditions.**

By Prof. Dr.-Ing. H. Kupfer
 TU München

supported by the
 Deutsches Institut für Bautechnik (Az. IV 1-5-474/86)
 (Az. IV 1-5-474/86)

In Germany ducts for post tensioning tendons shall be made of steel sheet only. On the other hand ducts of plastic material provide a few advantages, e.g. corrosion protection, tightness, less friction.

The behaviour of plastic ducts was tested under fatigue loading with conditions similar to practice. Questions of durability of the plastic ducts and their influence on the prestressing steel was investigated.

Different types of plastics (PVC, PE, PP) and steel sheet ducts, as well as different types of prestressing steels (strands, quenched wires, thread bars) were tested.

The parameters of the tests were

- lateral pressure between prestressing steel and grouted duct,
- extent of slip between prestressing steel and grouted duct,
- stress range of prestressing steel.

Under conditions similar to practice the plastic ducts showed no significant damage. The fatigue strength of the prestressing steel was equal for plastic ducts and for steel sheet ducts. Obviously the material of the ducts was unimportant in comparison with the friction effect between pc steel and mortar grout.

The fatigue strength values obtained for the variations of the parameters are shown in the following table.

stress range $2\sigma_{A,2mio,50\%}$ [N/mm²] for a maximum stress of $0,55 \cdot f_{uk}$
 (f_{uk} = characteristic tensile strength)

duct	mortar grout	prestressing steel		
		strand St 1570/1770 Ø 15,3 mm	quenched, smooth St 1420/1570 Ø 12,2 mm	water quenched thread bar St 900/1100 Ø 20 mm
without	without	240	300	240
PVC	with	160	210	
PE	with	190		240
PP	with	200	180	
steel sheet	with	175	155	
steel sheet	without		300	