

# Dauerschwingverhalten von Spanngliedern ohne Verbund

**T 2528**

T 2528

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III  
**LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU**  
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER  
Nr. 1260/Mü/K

8000 MÜNCHEN 2  
Arcisstraße 21  
Postfach 2024 20  
Tel. (089) 2105-3029  
Telefax 2105-3057  
Telex 522854

München, September 1992

**Schlußbericht**  
**zum Forschungsvorhaben**

**Dauerschwingverhalten**  
**von Spanngliedern ohne Verbund**

(IfBt IV 1-5-432/85)

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	9
4. Versuchsmaterial	15
5. Versuchsergebnisse	16
5.1    Spanndrahtlitze	16
5.1.1    Prüfung von freien Fettlitzen	16
5.1.2    Prüfung einbetonierter Fettlitzen	17
5.2    PE-Mantel	18
5.2.1    Prüfung von freien Fettlitzen	18
5.2.2    Prüfung einbetonierter Fettlitzen	19
6. Zusammenfassung	21
Literatur	23
Anlagen	1 – 12

## 1. Vorgang

Der Forschungsantrag mit dem Kurztitel

"Vorspannung ohne Verbund"

wurde im Jahre 1984 beim Institut für Bautechnik, Berlin, gestellt. Es sollte das Verhalten von Spanngliedern ohne Verbund unter praxisnahen Beanspruchungen untersucht werden. Der Antrag wurde noch im selben Jahr bewilligt. Dabei wurden jedoch die beantragten Mittel auf 60% reduziert.

Als Betreuergruppe wurden vom IfBt die Herren

Prof. Dr. Jungwirth

Prof. Dr. Rehm

Prof. Dr. Trost

Dr. Wölfel

benannt. Ihnen sei für ihr Interesse an diesem Versuchsprogramm herzlich gedankt.

Der vorliegende Abschlußbericht enthält alle Ergebnisse der durchgeführten Versuche. Dabei mußte der Umfang des Versuchsprogramms entsprechend den reduzierten Mitteln ebenfalls eingeschränkt werden.

Dem Institut für Bautechnik ist für die Finanzierung dieser Forschungsarbeit zu danken.

Besonders bedankt sich der Verfasser schließlich für die Anregungen und die konstruktive Kritik welche Herr Professor Kupfer dieser Arbeit zuteil werden ließ.

## 2. Einführung

Die Vorspannung ohne Verbund bietet gegenüber der Vorspannung mit Verbund der Spannglieder eine Reihe von Vorteilen [80 W,90 W].

- Der Korrosionsschutz der Spannstähle ist durch die Ummantelung – meist aus Polyethylen (PE) – unabhängig von der Betondeckung (Dicke, Qualität, Karbonatisierung, Risse) stets gegeben.
- Der Spannstahl kann aus dem Hüllrohr herausgezogen werden. So kann die Spannkraft kontrolliert und korrigiert werden und auch der Spannstahl entfernt (zum Zweck der Begutachtung) bzw. ersetzt werden.
- Im Spannglied ohne Verbund treten infolge Verkehrslast geringere Spannungsschwingbreiten auf, als bei Vorspannung mit Verbund, da die Dehnungen im Spannstahl nur dem Mittelwert der Dehnungen in hoch bzw. in niedrig beanspruchten Bereichen des Bauteils entsprechen.

Diesen Vorteilen in Bezug auf die Dauerhaftigkeit stehen auch Nachteile gegenüber.

- Der Spannstahl leistet keinen Beitrag zur Rißverteilung im Beton, d.h. zur Beschränkung der Rißbreite. Die gewünschte, enge Rißverteilung muß allein durch Betonrippenstahl gewährleistet werden.
- Die Spannungsschwingbreite infolge Verkehrslast muß in voller Größe von der Endverankerung aufgenommen werden, da im Spannglied kein Spannungsabbau durch Verbund auftritt.
- Die Spannstahlspannung beim Bruch bleibt unterhalb der Zugfestigkeit, da die Spannstahldehnung nur der über die Spanngliedlänge gemittelten Dehnung der Zugzone entspricht.

Die bisherige Forschung beschränkte sich auf die genannten Nachteile und damit auf eine zutreffende Bemessung.

In den Arbeiten von Rüschi, Kordina, Zelger [59 R], Kordina [84 K], Trost [84 T] und Weller [88 W] werden Versuchsergebnisse an Einfeld- und Zweifeldträgern mitgeteilt. Ivanyi [81 I, 81 IB] untersuchte Platten mit Vorspannung ohne Verbund. Die von den Verfassern daraus entwickelten Rechen- und Bemessungsmodelle waren Grundlage der Einführung der Vorspannung ohne Verbund durch die DIN 4227, Teil 6 [82 DIN].

Als wesentlicher Unterschied gegenüber den bei Spannbeton mit Verbund geforderten Nachweisen ergibt sich bei Bauteilen mit Vorspannung ohne Verbund, daß die Aufnahme der Schnittgrößen unter Beachtung der Relativverschiebungen zwischen Spannglied und Beton auf ganzer Länge nachzuweisen ist. Wegen des umhüllenden, mit Korrosionsschutzfett gefüllten Kunststoffhüllrohrs muß nicht mit Korrosionsangriff auf den Spannstahl gerechnet werden. Deshalb ist der Rißnachweis nur im Hinblick auf die Korrosionsgefahr für den Betonstahl zu führen.

Von einer Reihe von Forschern wurden weitere Versuchsergebnisse veröffentlicht [56 S, 69 P, 71 M, 75 R, 77 T, 78 B, 81 T, 83 I, 85 I, 85 D, 87 K, 87 KH, 90 V] in denen Detailfragen zum Tragverhalten behandelt werden.

Durch Auswertung fremder Versuche stellte eine Reihe von Verfassern eigene Bemessungsmodelle auf [79 H, 80 M, 80 W, 81 W, 83 B, 85 W, 88 Z, 89 Z, 90 H, 90 E, 91 H] bzw. erstellte Kommentare zu den Besonderheiten der Bemessung [81 W].

Außer in Deutschland wird die Vorspannung ohne Verbund auch in anderen Ländern durch Vorschriften [85 ASTM] bzw. Richtlinien [80 FIP, 83 ACI 83 PCI, 85 PTI, 86 ACI, 86 FIP] geregelt.

Über ausgeführte Bauwerke, Erfahrungen mit dieser Bauweise und zweckmäßige Einsatzmöglichkeiten der Vorspannung ohne Verbund finden sich ebenfalls wichtige Veröffentlichungen [80 W, 82 K, 85 S, 86 A, 87 M, 88 C, 90 W]. Darin wird am häufigsten auf die Vorteile von Flachdecken, Fahrbahnplatten und Behältern mit Vorspannung ohne Verbund hingewiesen.

Die Einführung der teilweisen Vorspannung machte es erforderlich, auch das Materialverhalten der Spannglieder ohne Verbund zu untersuchen. Zwar war das Bauverhalten unter statischer Belastung durch die o.g. Arbeiten bereits

ausreichend geklärt. Die unter Dauerbeanspruchung auftretenden materialtechnischen Besonderheiten waren jedoch noch nicht erforscht:

Sowohl zwischen Spannstahl und PE-Hüllrohr wie auch zwischen PE-Hüllrohr und Beton (Rißflanken) treten Verschiebungen auf. Dazu waren folgende Fragen zu klären:

- Wird die Dauerschwingfestigkeit des Spannstahls durch die Reibung im umgebenden, fettgefüllten PE-Rohr beeinflusst?
- Wird das PE-Rohr durch die Anpreßkraft des Spannstahls in Krümmungen und dessen Hin- und Hergleiten beschädigt, so daß die Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzes durch das Hüllrohr in Frage gestellt wird?
- Wird das PE-Rohr an Rißstellen des Betons durch die Reibung an den Rißufern beschädigt?

Diese genannten Fragen sollten durch das im Folgenden beschriebene Versuchsprogramm geklärt werden.

Die aus der Literatur bekannten Versuche an Stahl und verschiedenen Reibpartnern beschränken sich meist auf die Gegebenheiten des Maschinenbaus [52 W, 54 C, 56 F, 68 F]. Dabei stellte sich neben dem Einfluß des Materials des Reibpartners der Anpreßdruck als wesentlicher Parameter für die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit heraus. Der Reibweg war demgegenüber von untergeordneter Bedeutung. Daneben spielte auch das umgebende Medium eine deutliche Rolle. Schmierung wirkte sich erwartungsgemäß positiv aus. Das Vorhandensein von Feuchtigkeit oder CO<sub>2</sub> erwies sich als negativ.

Aus Versuchen an Spannstählen unter den Gegebenheiten von Endverankerungen [77 R] bzw. im Hüllrohr [84 C, 86 B, 86 M] ist bekannt, daß insbesondere glatte Einzeldrähte – ausgehend von ursprünglich hohen Dauerschwingfestigkeiten – eine große Abminderung der Dauerschwingfestigkeit durch Reibkorrosion erfahren. Rippenstähle werden durch Reibeffekte wenig beeinflusst, da die Reibstellen am Rippenkopf liegen, von dem jedoch keine Daueranrisse ausgehen können, da die Kerbwirkung am Rippenfuß den Anrißpunkt verursacht. Litzen aus gezogenen Drähten weisen wegen der grundsätzlich zwischen Kerndraht und Außendrähten herrschenden hohen

Querpressung und ebenfalls an diesen Berührungslinien auftretenden geringen Gleitwegen gegenüber den Einzeldrähten eine um 40% abgeminderte Ermüdungsfestigkeit auf. Die zusätzlichen Reibeffekte im Hüllrohr sind deshalb weniger gravierend. Erzeugt man auf den Außendrähten der Litzen durch Anpressen eines Reibpartners auch dort Reibstellen, so beginnen die Dauerrisse trotzdem etwa zur Hälfte an den Berührungslinien zwischen Kerndraht und Außendrähten. Die Dauerschwingfestigkeit fällt dabei nur noch um weitere 20% ab [86 M].

Die Reibkorrosion erweist sich normalerweise als chemisch-mechanischer Vorgang. Die mechanische Schädigung erfolgt durch Versprödung der Oberfläche an der Reibstelle durch Reibschweißeffekte. Die aus der Reibkraft resultierende Schubbeanspruchung der Randzone des Stahls überlagert sich der Zugschwellbeanspruchung. Sie erleichtert die Bildung von Ermüdungsanrissen, welche in diesem Fall um 45° gegenüber der Spanndrahtoberfläche geneigt sind. Treffen sich solche Mikrorisse unter der Stahloberfläche, so werden kleine Stahlpartikel herausgerissen. Der chemische Vorgang der Oxidation verursacht eine Volumenvergrößerung und Aufhärtung dieser Partikel. Dadurch wird wiederum ihr schädigender Reibeinfluß vergrößert.

Ahnliche Effekte, wenn auch in wesentlich abgeschwächtem Ausmaß, sind denkbar, wenn als Reibpartner statt Stahl oder Einpreßmörtel ein Kunststoffhüllrohr zur Verfügung steht.

Versuche mit verschiedenen Kunststoffen als Reibpartner führte Dies bereits 1943 [43 D] durch. Er stellte einen deutlich negativen Einfluß der meisten Kunststoffe mit Ausnahme von Polytetrafluorethylen (PTFE = "Teflon") auf die Dauerschwingfestigkeit des Stahls fest.

Für die Vorspannung ohne Verbund werden üblicherweise "Fettlitzen", d.h. in fettgefüllte PE-Rohre eingebettete Spannstahllitzen verwendet, die von einer Reihe von Herstellern angeboten werden, z.B. [90 Zul.]. Der schädigende Einfluß der Reibkorrosion ist in diesem Fall erheblich vermindert, da der weiche Reibpartner, das PE-Rohr sehr günstige Bedingungen schafft und auch die Korrosionsmedien Feuchtigkeit und Sauerstoff fehlen. Dafür ist in diesem Fall jedoch auch die Dauerhaftigkeit des Hüllrohrs zu beachten. Es kann durch die Reibung des Stahls, den Anpreßdruck der Litze in Krümmungsbereichen und die Reibung im umgebenden Beton insbesondere an Betonrissen Schaden nehmen. Mit diesen Besonderheiten befaßten sich ebenfalls eine Reihe von Forschern [78 S, 84 P, 84 C, 84 T, 86 B, 88 F]. Die mitgeteilten Versuchsergebnisse führten zu entsprechenden Empfehlungen hinsichtlich der Ausführung dieses Korrosionsschutzsystems für die Litzen [82 CUR, 86 FIP] bzw. in Zulassungen für "Fettlitzen" festgelegten Bestimmungen, z.B. [90 Zul.]. Dabei wird das zu verwendende Korrosionsschutzfett und auch das PE-Material in deutschen Zulassungen einheitlich und sehr genau spezifiziert. Auf die unterschiedliche Qualität verschiedener Korrosionsschutzfette, welche nicht alle in gleicher Weise feuchtigkeitsundurchlässig sind, wird in [82 CUR] hingewiesen. Aus diesen Feststellungen ergibt sich, daß das Korrosionsschutzfett weniger die aktive Aufgabe hat, den Zutritt von Feuchtigkeit zu verhindern, sondern eher die passive Aufgabe, den Hohlraum im Innern des PE-Rohrs als korrosionsneutrales Medium auszufüllen. Der eigentliche Korrosionsschutz muß durch das dichte, d.h. unverletzte PE-Rohr gegeben sein.

Einen umfassenden Überblick über die Literatur zum Thema Vorspannung ohne Verbund geben die Literaturzusammenstellungen [89 ICO, 89 IRB].

### 3. Versuchsprogramm, Versuchskörper, Versuchsdurchführung

Die Spannverfahren für Vorspannung ohne Verbund verwenden fast ausschließlich "Fettlitzen", d.h. Spanndrahtlitzen St 1570/1770, die in PE-Rohren eingezogen sind, wobei der Hohlraum mit einem Korrosionsschutzfett gefüllt ist. Bei der Herstellung im Stahlwerk wird der PE-Mantel auf die Spanndrahtlitze aufextrudiert.

Da sowohl das PE-Material, wie auch das Korrosionsschutzfett in den Zulassungen der Herstellerwerke der Art nach einheitlich spezifiziert sind, mußten beim Versuchsprogramm keine Materialvarianten berücksichtigt werden.

Die verwendeten "Spanndrahtlitzen mit Korrosionsschutzsystem" stammten von der Fa. Trefil ARBED und waren unter Verwendung

des Korrosionsschutzfetts	NONTRIBOS MP-2 und
des PE-Mantels aus	Vestolen A 5041 R

hergestellt.

Diese Materialien sind denen anderer Litzenhersteller gleichwertig. Dort werden auch verwendet:

Korrosionsschutzfett	MARSON B 4851
PE-Mantel	ELTEX B 3003 LUPOLEN 5021 DX

In Bezug auf die Besonderheiten dieser Spanngliedtypen aus Fettlitzen bestand das Versuchsziel in der Ermittlung der folgenden zwei Materialkennwerte:

- Dauerschwingfestigkeit der Spanndrahtlitze
- Dauerhaftigkeit der PE-Ummantelung.

Dabei war zu berücksichtigen, daß in Spanngliedkrümmungen durch die Umlenkkräfte der PE-Mantel erhebliche Querpressungen erfährt. Nach den Spannverfahrenszulassungen beträgt der zulässige Krümmungsdurchmesser  $D = 5,0 \text{ m}$ .

Beim Vorspannen wird die Spanndrahtlitze gegenüber dem PE-Mantel verschoben, wobei Vorspannwege von mehreren Dezimetern auftreten können. Während der Verschiebung der Litze übt diese in Krümmungsbereichen gleichzeitig eine Querpressung auf den PE-Mantel aus, die beim Vorspannen von Null bis zum vollen Wert der maximalen Umlenkpressung zunimmt.

Um diesen Gegebenheiten gerecht zu werden, wurden

- Dauerschwingversuche an freien Spanndrahtlitzen mit einer Reibapparatur und
- Dauerschwingversuche an einbetonierten Spanndrahtlitzen mit Spannbetonbalken

durchgeführt.

#### Dauerschwingversuche mit einer Reibapparatur

Mit einer einfachen Apparatur, welche schematisch in Bild 1 gezeigt ist, wurden Reihenversuche mit systematischer Variation folgender Parameter durchgeführt:

- dynamischer Verschiebungsweg
- Spannungsschwingbreite für die Litzen
- Anpreßkraft der Spanndrahtlitze an das fettgefüllte PE-Rohr.

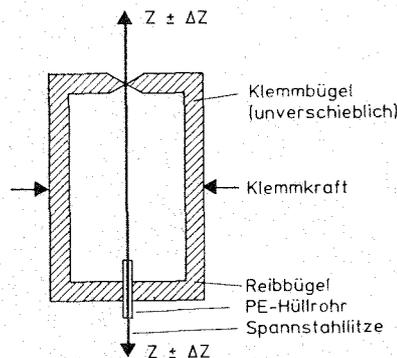


Bild 1: Prüfverfahren für Reibversuche an freien Proben

Zum Vergleich wurden auch Versuche mit den gleichen Spanndrahtlitzen, jedoch mit anderen Reibpartnern durchgeführt.

Es wurden PE-Rohre mit Zementmörtelfüllung bzw. Stahlblech-Hüllrohre mit Zementmörtelfüllung verwendet.

Vor Beginn des Dauerschwingversuchs wurde der Reibbügel mit dem PE-Hüllrohr bei voller Anpreßkraft um etwa 100 mm auf der Spanndrahtlitze verschoben. Erst in der Endlage wurde auch der unverschiebliche Klemmbügel auf der nackten Spanndrahtlitze angeklemt. Während dieses Vorgangs war das PE-Rohr bei der Prüfung von Fettlitzen mit Fett gefüllt. Bei den Vergleichsversuchen mit Zementmörtelfüllung wurde diese erst nach dem Verschieben der Litze eingebracht. Die Herstellung der Proben entsprach also den Gegebenheiten einer Baustelle.

Eine Litze mit angeklemmter Reibapparatur zeigt das folgende Bild 2.

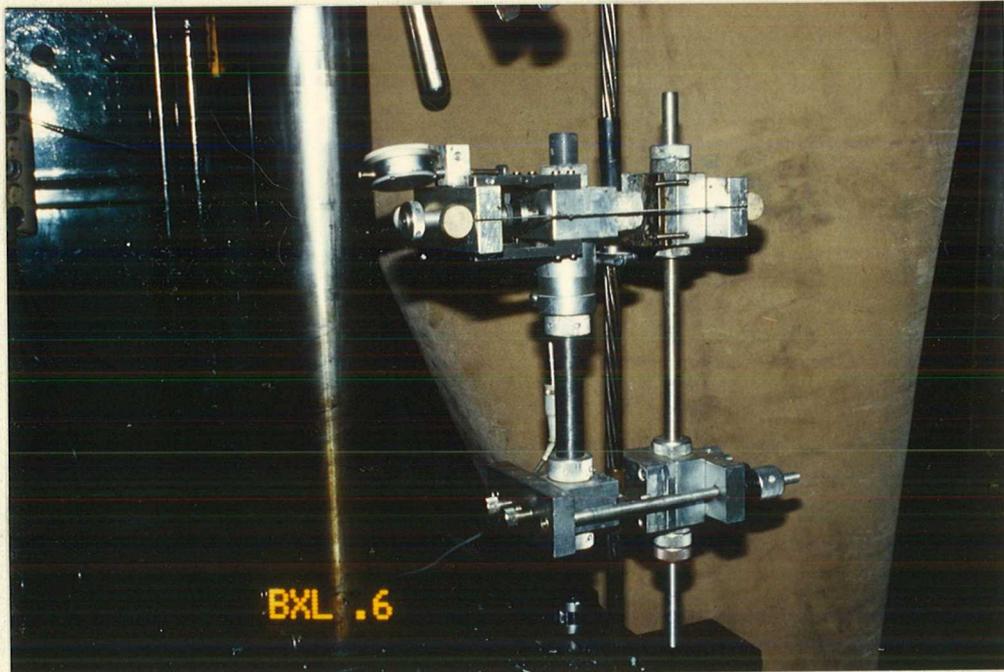


Bild 2: Freie Spannbeton-Fettlitze mit Reibapparatur im Dauerschwingversuch

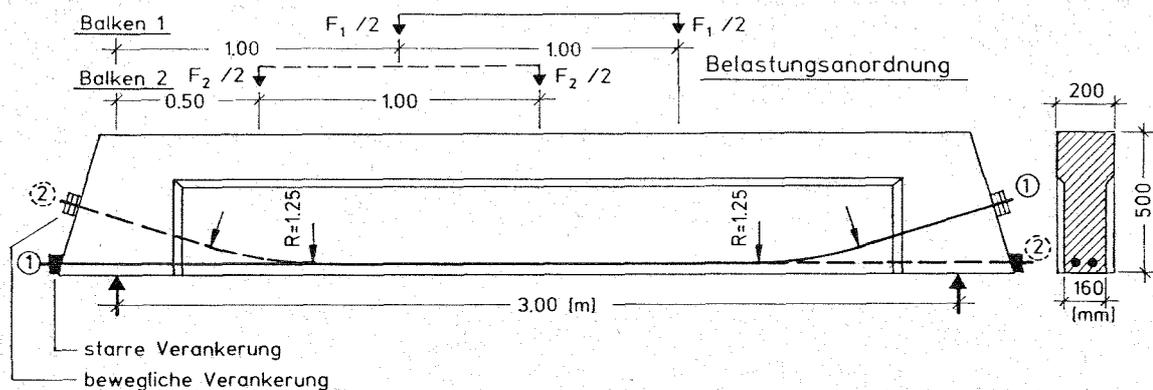
Die Konstruktionsart der Reibapparatur ermöglichte

- die freie Wahl der Anpreßkraft an der Reibstelle (Kraftmessung durch Messung des Federwegs von Tellerfedern über welche die Kraft aufgebracht wurde)
- die Variation des Reibwegs  
durch Variation des Abstands zwischen Reibstelle und Klemmstelle sowie  
durch Variation der Spannungsschwingbreite in der Spanndrahtlitze.

Dauerschwingversuche an Balken mit Vorspannung ohne Verbund

Die Form der Balken entsprach der in einem früheren IfBt-Versuchsprogramm verwendeten [86 M]. Geändert waren demgegenüber jedoch die Spanngliedführung, der Krümmungsdurchmesser der Spanngliedumlenkung und in einem Fall auch die Belastungsanordnung. Der für die Versuchsbalken gewählte Krümmungsradius der Spannglieder war mit  $R = 1,25$  m nur halb so groß, wie der in den Zulassungsbescheiden der Spannverfahren angegebene Mindestwert von  $R \geq 2,5$  m.

Die Anordnung der Spanngliedkrümmungen in möglichst großer Entfernung von der festen Verankerung, d.h. nahe dem gegenüberliegenden Balkenende hatte das Ziel, einen möglichst großen Reibweg zu erzielen. Dazu wurde an diesem Auflager die Beweglichkeit der Endverankerung durch die Anordnung von Tellerfedern unter der Auflagerplatte gewährleistet. Eine schematische Skizze der Versuchskörper zeigt das folgende Bild.



**Bild 3:** Spannbetonversuchsbalken mit Vorspannung ohne Verbund

Spannglieder 1 und 2 : Spanndrahtlitze St 1570/1770,  
 $\phi$  15,2 mm ( $A_z = 140$  mm<sup>2</sup>)

Krümmungsradius  $R = 1,25$  m, Umlenkwinkel  $\alpha = 16^\circ$

Die Balken enthielten zur Rißverteilung in der vorgedrückten Zugzone eine Betonstahlbewehrung bestehend aus 4  $\phi$  16. Als Schubbewehrung waren 8 mm-Bgel im Abstand von 10 cm eingelegt.

Das folgende Bild 4 zeigt einen Blick auf den halbseitig bereits eingeschalteten Bewehrungskorb mit den Spanngliedern.

Die Bewehrung ist in Bild 7, Anlage 7, dargestellt.

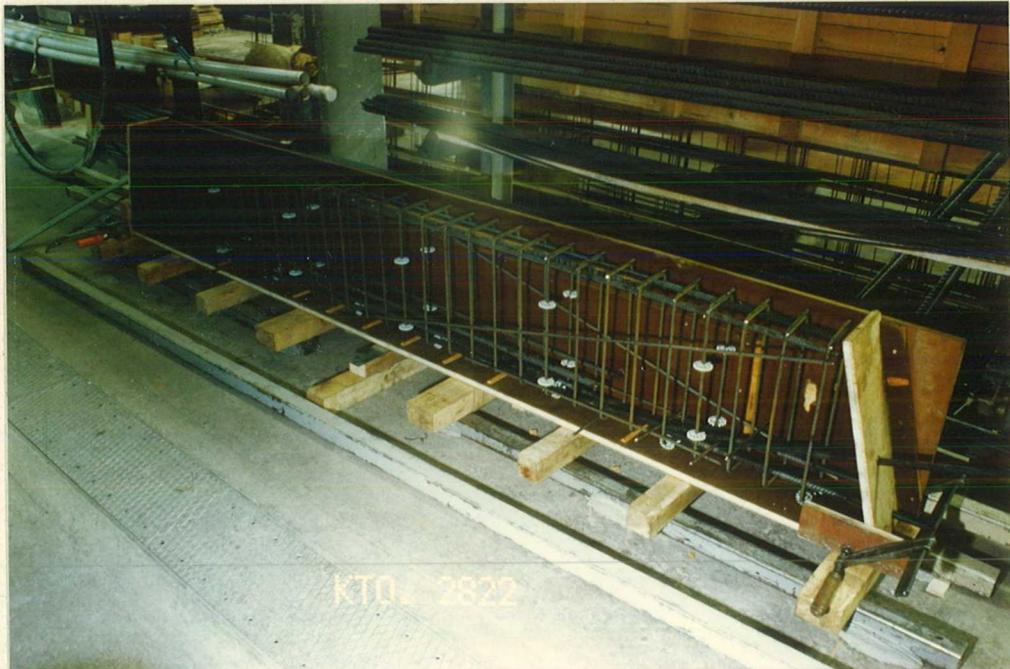


Bild 4: Bewehrungskorb der Versuchsbalken

Der Balken war so konzipiert, daß die beiden eingelegten Spannglieder unabhängig voneinander ge- und entspannt und damit getrennt geprüft werden konnten. An jedem Spannglied wurde die Zugkraft gemessen. Dazu waren jeweils am Spanngliedende auf der Umlenkseite Tellerfedern angeordnet, deren Federkennlinie vorher bestimmt worden war. Aus der Verformungsmessung der Federn ergab sich die Spanngliedkraft. Die Spannkraft wurde auf der geraden Seite mechanisch durch Anspannen von je 4 Schrauben aufgebracht. Während der Prüfung eines der beiden Spannglieder war das andere jeweils nahezu ungespannt.

Die Anordnung der Tellerfedern bot außer der Kraftanzeige den Vorteil, daß diese Endverankerung bei geringen Kraftänderungen größere Endverschiebungen und damit Gleitwege der Litze im Hüllrohr ermöglichte, als bei einer festen Verankerung aufgetreten wären.

Das folgende Bild 5 zeigt ein Balkenende mit den Spannschrauben am Ende des Spannglieds 1 (festes Ende) und den Tellerfedern mit Meßuhren am Spannglied 2 (bewegliches Ende).



Bild 5: Balkenende mit Spanngliedverankerungen  
Spannglied-Ende mit Spannschrauben, Spannglied 1  
Spannglied-Ende mit Tellerfedern und Meßuhren, Spannglied 2

Die Belastungsanordnung war so gewählt, daß beim Balken 1 Biegerisse nur im mittleren Bereich auftraten, welche jedoch extrem breit waren. Beim Balken 2 waren die beiden Einzellasten gegenüber Balken 1 um 0,5 m zum Auflager hin versetzt. Durch diese Exzentrizität der Lastanordnung konnten ohne Überlastung des Betonquerschnitts Betonrisse auch im Krümmungsbereich der Spannglieder erzeugt werden.

#### 4. Versuchsmaterial

Die für alle Versuche verwendete "Fettlitze" stammte von der Firma Trefil ARBED, Köln. Sie ist mit dem Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 bauaufsichtlich zugelassen [90 Zul.].

Die Spanndrahtlitze St 1570/1770, sehr niedrige Relaxation, mit Korrosionsschutzsystem besteht aus 7 glatten, kaltgezogenen Drähten. Verwendet wurde eine Litze vom Durchmesser 15,3 mm, d.h. eine Litze mit 140 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche. Das im Werk aufgebraute Korrosionsschutzsystem bestand aus dem Korrosionsschutzmittel Nontribos MP 2 und dem aufextrudierten PE-Mantel. Die entsprechenden Daten, aus dem Zulassungsbescheid sind auf den Anlagen 1 bis 6 zusammengestellt.

Zur Kontrolle der Dauerschwingfestigkeit auf Übereinstimmung mit dem Zulassungsbescheid wurden 6 Dauerschwingversuche als Nullversuche durchgeführt.

## 5. Versuchsergebnisse

### 5.1 Spanndrahtlitze

#### 5.1.1 Prüfung von freien Fettlitzen

Ohne Reibeinfluß wurden an Nullproben 6 Dauerschwingversuche durchgeführt. Es ergab sich die im folgenden Bild 6 dargestellte Wöhler-Linie. Die Daten der einzelnen Versuche sind in der Tabelle 3, Anlage 8, zusammengestellt.

Die im Bild 6 nach Augenschein, d.h. ohne statistische Auswertung gezeichnete Wöhler-Linie ergibt eine Dauerschwingfestigkeit von  $\Delta\sigma_{2m10} \approx 225 \text{ N/mm}^2$ .

Die Breite des Streubereichs beträgt etwa  $\pm 20 \text{ N/mm}^2$ .

Die normierte Wöhler-Linien-Gleichung  $\Delta\sigma^k \cdot N = \text{const}$  hat im Zeitfestigkeitsbereich einen relativ steilen Abfall mit einem Steigungsfaktor  $k = 4,5$ .

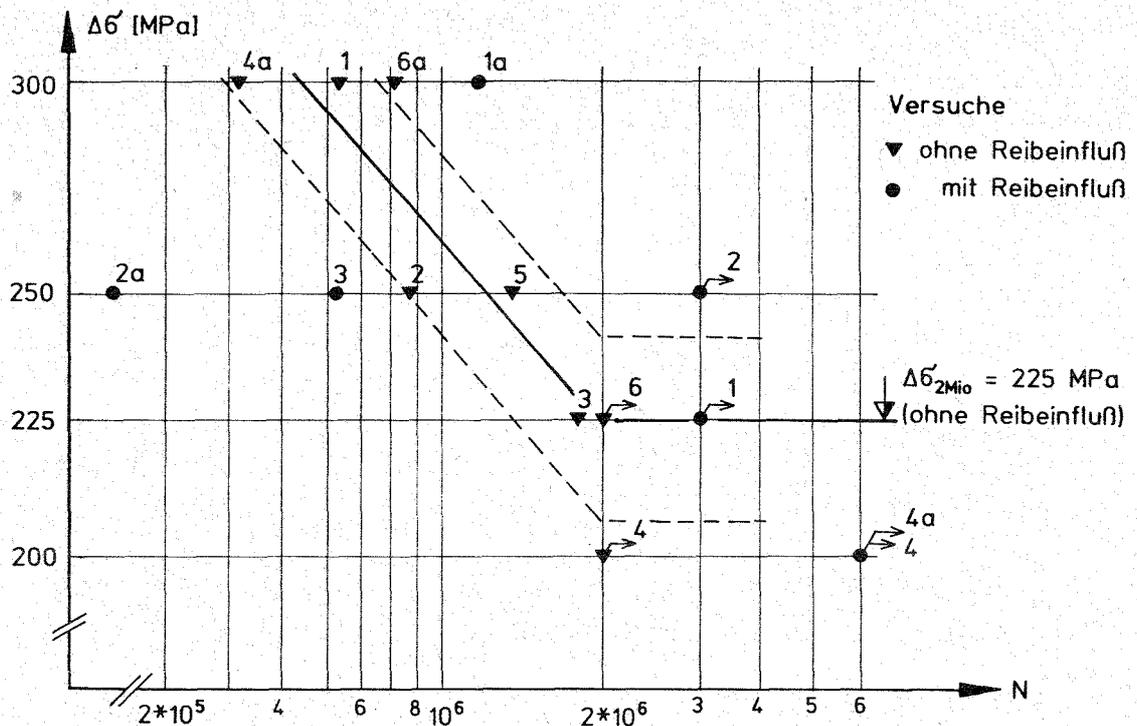


Bild 6: Dauerschwingversuche an "Fettlitzen" (Spanndrahtlitzen mit Korrosionsschutzsystem), St 1570/1770,  $\phi 15,3 \text{ mm}$  ( $A_z = 140 \text{ mm}^2$ )  
 Prüfung in umhülltem Zustand, d.h. im fettgefüllten PE-Rohr

In der Reibapparatur wurden 4 Proben im Dauerschwingversuch geprüft. Die Ergebnisse sind ebenfalls in das Diagramm Bild 6 eingetragen.

Da alle Bruchstellen außerhalb der Reibstelle, nämlich in der freien Prüflänge lagen, kann davon ausgegangen werden, daß das Dauerschwingverhalten der Spanndrahtlitzen durch die Gleitbewegung im angepreßten, fettgefüllten PE-Rohr nicht beeinflußt wurde. Dies war auch bei einem Anpreßdruck noch der Fall, der in einem um den Krümmungsdurchmesser von 3,0 m geführten Monolitzen-Spannglied unter der zulässigen Vorspannkraft auftritt. Die Zulassungen der Spannverfahren schreiben demgegenüber einen kleinsten Krümmungsdurchmesser von 5 m vor.

Einen Blick auf diejenige Stelle der Drahtoberfläche (Probe Nr. 53), von welcher der Ermüdungsanriß ausging, zeigt das Bild 8, Anlage 10. Der Bruch trat außerhalb der Reibapparatur auf. Der Ermüdungsanriß ging von der Berührungslinie des gebrochenen Außendrahts mit dem Nachbardraht aus.

#### 5.1.2 Prüfung einbetonierter Fettlitzen

Mit Spannbetonbalken können im Vergleich zu den freien Proben nur erheblich geringere Spannungsschwingbreiten erzielt werden. Die erreichbaren Werte betragen maximal  $\Delta\sigma_Z = 60 \text{ N/mm}^2$  und wurden durch die damit verbundenen großen Verformungen der Betonzugzone, d.h. durch die praxisfremd großen Werte der Rißbreiten begrenzt.

Die in den Spannbetonbalken mit Spannungsschwingbreiten von  $\Delta\sigma_Z = 20$  bis  $60 \text{ N/mm}^2$  bis zu Lastwechselzahlen von 2,5 Millionen beanspruchten Spanndrahtlitzen zeigten keine Schädigung durch diese Ermüdungsbeanspruchung. Die nach dem Ausbau aus den Balken in freiem Zustand mit einer Spannungsschwingbreite von  $\Delta\sigma = 300 \text{ N/mm}^2$  geprüften Proben aus dem Krümmungsbereich der Balkenspannglieder erreichten bis zum Bruch Lastspielzahlen zwischen 0,37 und 1,12 Millionen. Diese Werte decken sich mit dem Streubereich der Ergebnisse an den Null-Proben. Die Ermüdungsanrisse gingen dabei nicht von der Außenseite der Litzen, d.h. den Reibstellen im einbetonierten Zustand, sondern von den Berührungspunkten mit den Nachbardrähten aus. Sie zeigten damit dasselbe Bild wie die Null-Proben.

## 5.2 PE-Mantel

### 5.2.1 Prüfung von freien Fettlitzen

Die Tabelle 3 (Anlage 8) enthält die Versuchskennwerte der Dauerschwingversuche an den frei geprüften Fettlitzen. Die folgende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Systematik der Variation der Versuchsparameter.

Tabelle 1: Reibversuch an freien Fettlitzen; Parameter der Dauerschwingversuche

Reibkraft kN/cm	Reibweg mm	Lastwechsel Mio	Versuch Nr.	Bemerkungen	vgl. hierzu
1,4	0,30	3,000	51	Anpreßkraft entspricht derjenigen bei Krümmung nach Zulassung	-
"	"	3,000	52		-
"	"	6,000	54		-
"	0,50	0,617	53		Bild 10, Anl.11
2,2	0,30	0,242	52a	Anpreßkraft um 50% höher als bei Krümmung nach Zulassung	-
"	"	6,000	54a		Bild 11, Anl.11

Die PE-Hüllrohre der Fettlitzen wurden nach den Versuchen mit dem Mikroskop untersucht.

Dabei wurde festgestellt, daß das Vorbeiziehen der Litzen unter voller Anpreßkraft um eine Verschiebung von 100 mm (vgl. Abschnitt 3) nur unbedeutende Reibspuren auf der Innenseite der PE-Hüllrohre hinterlassen hatte.

Die Gleitungen während der Dauerschwingbeanspruchung erzeugten jedoch in allen Fällen auf der Innenseite der PE-Hüllrohre deutlich erkennbare Reibabdrücke von unterschiedlicher Intensität. Die Bilder 10 und 11, Anlage 11, geben das Aussehen dieser Reibstellen wieder. Die durch die angepreßten, hin- und hergleitenden Litzen beanspruchten Innenseiten der PE-Hüllrohre wiesen Eindrücke von etwa 0,1 bis 0,2 mm Tiefe auf; d.h. die Wanddicke der PE-Hüllrohre, welche einheitlich 1,5 mm war, betrug an den Reibstellen bei Versuchsende noch immer 1,3 bis 1,4 mm. Die Reibstellen wiesen eine glatte Oberfläche auf. Ein zerstörender Angriff auf die

PE-Oberfläche war nicht festzustellen. Die Vertiefungen an den Reibstellen waren ausschließlich durch die Quetschung des PE-Mantels hervorgerufen.

Die in Mörtel eingebettete Außenseite der PE-Hüllrohr zeigte nur geringe Abdruckspuren (Bild 9, Anlage 10).

### 5.2.2 Prüfung einbetonierter Fettlitzen

Die Tabelle 4 (Anlage 9) enthält die Versuchskennwerte der Prüfung der Spannbetonbalken.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Systematik der Variation der Versuchsparameter.

Tabelle 2: Versuche an einbetonierten Fettlitzen (Spannbetonbalken 1 und 2):  
 Parameter der Dauerschwingversuche

Reibkraft kN/cm	Reibweg mm	Rißbreiten- änderung $\Delta W$ mm	Last- wechsel Mio	vorhanden bei			Bemerkungen
				Versuch	Spann- glied	Last- stufe	
0	0,07	2,0	2,500	1	1	1	Keine Anpreßkraft der Litzen im gerade geführten Abschnitt der Spannglieder
	0,10	2,5	2,500	1	2	1	
	0,15	3,0	0,500	1	1	2	
2,8	0,15	(ungerissen)	2,500	1	1	1	Anpreßkraft doppelt so groß wie bei zulässiger Spanngliedkrümmung
	0,20	( " )	2,500	1	2	1	
	0,30	( " )	0,500	1	1	2	
1,7	0,3	0,5	2,5	2	1	1	Anpreßkraft um 70% größer als bei zulässiger Spanngliedkrümmung
	0,4	0,5	2,5	2	1	1	

Nach dem vorsichtigen Freistimmen der Fettlitzen in den Spannbetonbalken wurden aus den im Bereich von ausgewählten Betonrissen und den im Bereich der Spanngliedkrümmungen gelegenen PE-Hüllrohr-Abschnitten Proben entnommen. Sie wurden ebenfalls mit dem Mikroskop untersucht.

Die vom Beton umgebene Außenseite der PE-Hüllrohre zeigte nur geringe Andruck- bzw. Reibspuren. Sie war durch die Kanten der pulsierenden Betonrisse nicht erkennbar beschädigt. Diese Beobachtung gilt für

- den Balken Nr. 1, bei dem die Betonrisse nur im Bereich der gerade geführten Spannglieder lagen (Anpreßkraft des Hüllrohrs an den Beton = Null), bei dem die Rißbreitenänderung jedoch bis zu 3 mm betrug, ebenso wie für
- den Balken Nr. 2, bei dem die Betonrisse auch im Bereich der Spanngliedkrümmung lagen (Anpreßkraft des Hüllrohrs wegen der gegenüber den Zulassungsbescheiden engeren Krümmung um 70% größer als bei Einhaltung des Krümmungshalbmessers nach der Zulassung) und bei dem die Rißbreitenänderung 0,5 mm betrug also erheblich mehr, als in der Praxis vorkommen kann.

Die Innenseiten der PE-Hüllrohre wiesen Eindrücke mit etwa 0,1 bis 0,2 mm Tiefe auf und zeigten das gleiche Aussehen, wie die in den Reibversuchen mit freien Proben geprüften Hüllrohre.

Das Bild 12, Anlage 12, zeigt einen aus dem gekrümmten Spannglied des Balkens 2 an einem Betonriß entnommenen Hüllrohrabschnitt mit geringfügigen Eindrücken infolge der hin- und hergleitenden, angepreßten Spanndrahtlitze.

Bild 13, Anlage 12, zeigt den Balkenendbereich, in welchem jeweils eines der beiden Spannglieder gekrümmt geführt war. In diesem Bereich traten unter der Oberlast im Dauerschwingversuch bis zu 0,5 mm breite Risse auf.

## 6. Zusammenfassung

Unter wechselnden Verkehrslasten kommt es bei Spanngliedern ohne Verbund zum Hin- und Hergleiten des Spannstahls im Hüllrohr. Für die in der Praxis üblichen Spannglieder aus Spanndrahtlitzen mit Korrosionsschutzsystem ("Fettlitzen") wurde untersucht, ob durch diese Reibbeanspruchung der Spannstahl oder das PE-Hüllrohr geschädigt werden.

An freien Fettlitzen wurde in einer angeklebten Reibapparatur der Anpreßdruck auf das PE-Hüllrohr bzw. die darin liegende Spanndrahtlitze sowie der Reibweg zwischen PE-Hüllrohr und Litze gezielt variiert.

Zwei Balken, vorgespannt mit je zwei Spanngliedern aus Fettlitzen ergänzten das Versuchsprogramm.

Bei den Versuchen wurden gegenüber den Bestimmungen der Zulassungen (Spannglieder ohne Verbund) bzw. den Bedingungen der Praxis erheblich verschärfte Prüfbedingungen angewendet.

Die Anpreßkraft auf das PE-Hüllrohr bzw. die darin liegende Spanndrahtlitze betrug bis zum doppelten des Wertes, der bei Einhaltung des zulässigen Krümmungshalbmessers (zul  $R \geq 2,5$  m) auftritt.

Der wechselnde Gleitweg der Spanndrahtlitzen im PE-Hüllrohr betrug bis 0,4 mm.

Die Betonrisse waren im Krümmungsbereich der Spannglieder bis zu 4 mm breit und änderten sich bei jedem Lastwechsel um bis zu 3 mm.

Es wurden bis zu 6 Millionen Lastwechsel aufgebracht, welche das Hin- und Hergleiten der Spanndrahtlitzen im PE-Hüllrohr bewirkten.

Unter diesen extremen Beanspruchungen traten an den Spanngliedern keine wesentlichen Schäden auf.

Das Dauerschwingverhalten der Spanndrahtlitzen in den fettgefüllten PE-Hüllrohren zeigte sich von der Reibbeanspruchung im Hüllrohr unbeeinflusst.

Die PE-Hüllrohre wurden durch die Gleitbewegung der pulsierenden Betonrisse an ihrer Außenseite nicht beschädigt.

Die Eindrückung der Spanndrahtlitzen in die PE-Hüllrohrwandung betrug maximal 0,2 mm, d.h. das 1,5 mm dicke Hüllrohr war nur unwesentlich gequetscht.

Aus den Versuchsergebnissen ist der Schluß zu ziehen, daß das Dauerschwingverhalten von Fettlitzen durch die Bedingungen im Bauwerk gegenüber der Prüfung im freien Zustand nicht beeinträchtigt wird.

Für die Bemessung auf Dauerschwingfestigkeit ist bei Spanngliedern mit Vorspannung ohne Verbund in jedem Fall die von der Endverankerung ertragbare Spannungsschwingbreite maßgebend.

Literatur:

- [43 D]: Dies, K.:  
Die Reiboxidation als chemisch-mechanischer Vorgang.  
Archiv Eisenhüttenwesen, 16 (1943) 10. S. 399  
Für Stahlumhüllung nur Polytetrafluorethylen OK.  
Andere Kunststoffe: Angriff auf Stahl, keine  
Zerstörung des Kunststoffs
- [52 W] Wright, K.H.R.:  
An investigation of fretting corrosion.  
Proc. Inst. Mech. Eng. (B) 1952/53 Vol. 1B S. 556
- [54 C] Campbell, E.W.:  
Current status of fretting corrosion.  
Bell telephone system techn. Publications  
Monograph 2160 (1954)  
Reibkorrosion auch im Vakuum möglich
- [56 F] Feng, I.M., Rightmire, B.G.:  
An experimental study of fretting.  
Proc. Inst. Mech. Eng. 170 (1956) 34. S. 1055  
Reibkorrosion auch in CO<sub>2</sub> möglich
- [56 S] Scordelis, A.C., Pister, K.S., Lin, T.Y.:  
Strength of concrete slab prestressed in two directions.  
ACI Journal 53, 1956, S. 241-256
- [59 R] Rüschi, H., Kordina, K., Zelger, C.:  
Bruchsicherheit bei Vorspannung ohne Verbund.  
DAfStb Heft 130, 1959
- [68 F] Funk, W.:  
Über den Einfluß der Oberfläche auf die  
Entstehung von Reibkorrosion.  
Metalloberfläche 22 (1968) Heft 12, S. 362

- [69 P] Pannell, F.N.:  
The ultimate moment resistance of unbonded prestressed concrete beams.  
Magazine of Concrete Research, V. 21, No. 66, 1969, S. 43–54
- [71 M] Mattock, A.H., Yamazaki, J., Kattula, B.T.:  
Comparative study of prestressed concrete beams, with and without bond.  
ACI Journal, Proceedings, V. 68, No. 2, Febr. 1971, S. 116–125
- [75 R] Ritz, P., Marti, P., Thürlimann, B.:  
Versuche über das Biegeverhalten von vorgespannten Platten ohne Verbund.  
ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion, Bericht Nr. 7305–1, Basel: Birkhäuser, 1975
- [76 C] Copier, W.I.:  
Spannbeton ohne Verbund.  
DAfStb. Forschungskolloquium, Delft, 1976, S. 51–60
- [77 R] Rehm, G., Nürnberger, U., Patzak, M.:  
Keil- und Klemmverankerungen für dynamisch beanspruchte Zugglieder aus hochfesten Drähten.  
Bauingenieur 52 (1977), S. 287
- [77 T] Thomas, P.:  
Les câbles non adhérents dans les constructions en béton.  
CSTC Revue, No. 4, Dec. 1977, S. 2–16
- [78 B] Burns, N.H., Charney, F.A., Wines, W.R.:  
Tests on one-way post tensioned slabs with unbonded tendons.  
Journal Prestressed Concrete Institute, V. 23, No. 5, Sept. 1978, S. 66–83
- [78 S] Schupack, M.:  
A Survey of the Durability Performance of Post-Tensioning Tendons.  
Post Tensioning Institute Publication, Jan. 1978

- [79 H] Herzog, M.:  
Tragfähigkeit und Bemessung von Flachdecken  
aus Spannbeton ohne Verbund.  
Bauingenieur 54 (1979), S. 377–384
- [80 DIN] Hüllrohre aus Stahlband für Spannglieder.  
Anforderungen und Prüfungen.  
(Vornorm)
- [80 FIP] FIP–Notes 84:  
Unbonded tendons in prestressed concrete constructions.  
FIP–Notes 84, 2/1980
- [80 M] Marro P.:  
Optimal limit state design with unbonded prestressing tendons.  
Magazine of Concrete Research, V. 32, No. 113, 1980, S. 227–240
- [80 W] Wölfel, E.:  
Flachdecken mit Vorspannung ohne Verbund.  
Bauingenieur 55/1980
- [81 I] Iványi, G., Buschmeyer, W.:  
Biegerißbildung bei Plattentragwerken mit Vorspannung  
ohne Verbund.  
Beton– und Stahlbetonbau, 76, H. 9, 1981, S. 215–220
- [81 IB] Iványi, G., Buschmeyer, W.:  
Biegeversuche an Plattenstreifen mit zentrischer Vorspannung  
ohne Verbund.  
Forschungsbericht, Fachbereich Bauwesen,  
Universität–Gesamthochschule Essen, H. 16, 1981
- [81 T] Trost, H.:  
Vorspannung ohne Verbund – Versuche und deren Ergebnisse.  
Beton– und Stahlbetonbau 76 (1981), Seite 205
- [81 W] Wölfel, E.:  
Vorspannung ohne Verbund. Besonderheiten der Bemessung.  
Beton– und Stahlbetonbau 76 (1981), Nr. 9, S. 209

- [82 CUR] Corrosiebescherming bij voorspanning zonderaanhechting.  
CUR, Rapp. 105, Zoetemeer, 1982
- [82 DIN] DIN 4227, Teil 6:  
Spannbeton: Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund.  
Ausgabe Mai 1982
- [82 K] Kernbichler, K., Sparowitz, L.:  
Teilweise Vorspannung ohne Verbund im Brückenbau.  
Zement und Beton, 2/1982
- [83 ACI] ACI-ASCE Committee 423:  
Recommendations for concrete members prestressed with  
unbonded tendons.  
Concrete International; Design and Construction,  
Vol. 5, No. 7, July 1983, Seite 61  
(Report No. ACI 423.3 R-83)
- [83 B] Buschmeyer, W.:  
Vorspannung ohne Verbund – Bemessung und Konstruktion.  
Fachbereich Bauwesen der GH Essen, Bericht Heft 22, März 1983
- [83 I] Iványi, G., Buschmeyer, W.:  
Versuche an Biegetragwerken mit Vorspannung ohne Verbund.  
Forschungsberichte aus dem Bereich des Bauwesens,  
Heft 20, Mai 1983, Universität Essen
- [83 PCI] Tentative Recommendations for the Corrosion Protection of  
Unbonded Tendons.  
Journal-Prestressed Concrete Institute, 28 (1983); No. 1, S. 40-49
- [84 C] Cordes, H., Lapp-Emden, M., Trost, H.:  
Untersuchung zur Dauerschwingfestigkeit von Spanngliedern für die  
besonderen Bedingungen der teilweisen Vorspannung.  
TH Aachen, Institut für Massivbau, Bericht Nr. 18, 1984
- [84 K] Kordina, K., Hegger, J., Teutsch, M.:  
Anwendung der Vorspannung ohne Verbund.  
DAfStb, Heft 355 (1984)

- [84 P] Pauser, A.:  
Verbundlose Vorspannung im Hochbau.  
Zement und Beton, 29/1984, H. 3, S. 71–78
- [84 T] Trost, H.: Cordes, H., Weller, B.:  
Untersuchungen zur Vorspannung ohne Verbund.  
DAfStb, Heft 355, 1984
- [85 ASTM] Standard Specification for Uncoated Seven–Wire Stress–Relieved  
Steel Strand for Prestressed Concrete.  
ASTM A 416–85 (US Norm für Spannstahl–Litzen)
- [85 D] Du, G., Tao, S.:  
Ultimate stress of unbonded tendons in partially  
prestressed concrete beams.  
Journal Prestressed Concrete Institute  
V. 30, No. 6, Nov. 1985, S. 72–91
- [85 I] Iványi, G., Buschmeyer, W., Müller, R.A.:  
Additional strains in unbonded tendons during loading.  
Magazine of Concrete Research,  
V. 37, No. 130, March 1985, S.39–43
- [85 PTI] Specification for Unbonded Single Strand Tendons.  
PTI Ad–hoc Committee für Unbonded Single Strand Tendons.  
Journal Prestressed Concrete Institute  
V. 30, No. 2, March–April 1985, Seite 22
- [85 S] Seltenhammer, U.:  
Spannbeton im Hochbau–vorgespannte Decken  
Österreichische Ingenieur– und Architekten–Zeitschrift 130  
(1985), Nr. 11, S. 384–389
- [85 W] Waller, J.E., Zimmermann, J.E.:  
Behaviour and design of multistory building frames of  
unbonded post–tensioned concrete.  
ACI–Journal, Mai 1985, S. 357–362

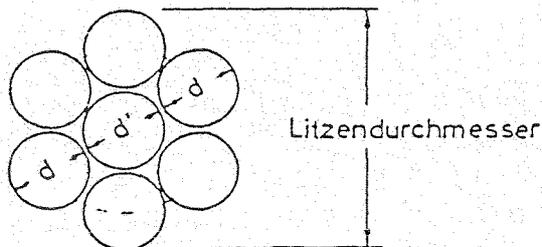
- [86 A] Andrew, A.E., Bell, G.A., Mordecai, V.S.:  
The use of unbonded tendons for prestressed and partially  
prestressed structures in Britain.  
FIP Congress, Delhi, 1986
- [86 ACI] Building Code Requirement for Reinforced Concrete.  
ACI Committee 318 (ACI 318-83, Section 18.8 und 18.19)  
Revised 1986
- [86 B] Bachmann, H.:  
Schwingungsverhalten, teilweise vorgespannter Konstruktionen aus  
Leichtbeton und Normalbeton.  
Beton- und Stahlbetonbau, Heft 7 (1986), S. 178 – 182
- [86 B] Binnekamp, D.C.:  
Korrosionsschutz von Spanngliedern ohne Verbund.  
(X. FIP Congress, Delhi 1986)  
Betonwerk + Fertigteil-Technik, H. 5, 1986, S. 312-314
- [86 FIP] FIP Recommendations:  
Corrosion protection of unbonded tendons.  
Th. Telford Ltd., London 1986
- [86 M] Müller, H.H.:  
Dauerschwingfestigkeit von Spanngliedern.  
Betonwerk + Fertigteil-Technik H. 12, 1986, S. 804-808
- [87 G] Gropp, M.:  
Tragverhalten von Betonkonstruktionen bei Vorspannung  
ohne Verbund mit Spanngliedern aus hochfesten  
Faserverbundwerkstoffen.  
Diss. Bergische Universität GH Wuppertal, 1987
- [87 K] Kordina, K., Hegger, J.:  
Zur Ermittlung der Biegebruchtragfähigkeit bei Vorspannung  
ohne Verbund.  
Beton- und Stahlbetonbau, 4/1987, S. 85-90

- [87 KH] Kordina, K., Hegger, J.:  
Schubtragverhalten von Spannbetonbauteilen mit Vorspannung  
ohne Verbund.  
DAfStb, Heft 381, 1987
- [87 M] Matt, P.:  
Vorspannung ohne Verbund –  
Beispiele und Möglichkeiten der Anwendung.  
Beton- und Stahlbetonbau 82 (1987) S. 212–215
- [88 C] Chacos, G.P.:  
Resolution of Field Problems with Unbonded Single-Strand  
Tendons.  
Concrete International, V. 10, No. 2, Feb. 1988, S. 40–44
- [88 F] Falconer, D. W.:  
Tips for Post Tensioning.  
Concrete International, V. 10, No. 2, Feb. 1988, S. 36–39
- [88 FW] Falconer, D. W., Wilson, P.W.:  
Inspection of unbonded tendons.  
Concrete International, V. 10, No. 2, Feb. 1988, S. 53–56
- [88 W] Weller, B.:  
Experimentelle Untersuchungen zum Biegetragverhalten von  
Durchlaufträgern mit Vorspannung ohne Verbund.  
DAfStb, Heft 391, 1988
- [88 Z] Biegetragverhalten und Bemessung von Trägern mit Vorspannung  
ohne Verbund.  
DAfStb, Heft 391, 1988 bzw. Diss. RWTH Aachen, 1985
- [89 ICO] Prestressed Concrete–No–Bond–Tensioning.  
A Bibliography  
ICONDA Bibliography, 28 (1989), IRB–Verlag Stuttgart
- [89 IRB] Spannbeton – Vorspannung ohne Verbund.  
IRB Literatúrauslese Nr. 794, 3. erweiterte Auflage 1989

- [89 Z] Zerna, W., Köpper, H.-D.:  
Spannstahlspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei  
Trägern mit Vorspannung ohne Verbund.  
Beton- und Stahlbeton 84 (1989), S. 11–16
- [90 E] Eibl, J., Häußler, U., Retzepis, I.:  
Zur numerischen Ermittlung der Spanngliedkräfte bei Vorspannung  
ohne Verbund.  
Bauingenieur, 65 (1990), S. 227–233
- [90 H] Harajli, M.H.:  
Effect of span–depth ratio on the ultimate steel stress in unbonded  
prestressed concrete members.  
ACI Structural Journal, 1990, S. 305–312
- [90 V] Voß, K., Kordina, K.:  
Tragverhalten von Spannbetonbiegegliedern unter praxisüblicher  
Schwellbelastung bei Berücksichtigung von Vorspanngrad,  
Verbundart und Durchlaufwirkung.  
TU Braunschweig 1990
- [90 W] Wölfel, E.:  
Die heutige Anwendung und künftige Anwendungsmöglichkeiten der  
Vorspannung ohne Verbund.  
Festschrift Dischinger, Springer Verlag, 1990, S. 155–163
- [90 Zul] Zulassungsbescheid: Spanndrahtlitzen St 1570/1770  
aus sieben kaltgezogenen glatten Einzeldrähten  
und ein Korrosionsschutzsystem.  
Trefil ARBED, Drahtwerk Köln GmbH,  
Nr. Z–12.1–II.6, Febr. 1990
- [91 H] Hofbauer, E., Hou, Ch.B.:  
Rechnerische Untersuchungen von Spannbetonbalken mit  
Spanngliedern ohne Verbund unter besonderer Berücksichtigung  
des Schubtragverhaltens.  
25. DAfStb Forschungskolloquium, Bochum Okt. 1991

TrefilarBED Drahtwerk Köln GmbH	kalt gezogener Spannstahl 7- drähtige Litze	Anlage Blatt 1
------------------------------------	--	-------------------

Tabelle 1:  
Abmessungen und Gewichte



d = Außendrahtdurchmesser  
 d' = d + 0,02 bis 0,04 · d = Kerndrahtdurchmesser

Schlaglänge: 12- bis 16- fache des Litzendurchmessers



1	2	3	4	5	6	7	8	9
Festigkeits- klasse	Litze				Einzeldraht			
	Nenn- durch- messer = 3d	Nenn- quer- schnitt	Toleranz	Gewicht	Durchmesser			
					Außen	Toleranz	Kern	
N/mm <sup>2</sup> (kp/mm <sup>2</sup> )	mm	Zoll	mm <sup>2</sup>	%	kg/m	mm	mm	mm
St 1570/1770 (160/180)	9,3	3/8"	52	-2 +4	0,408	3,05	{ -0,03 +0,04 }	3,22
	11,0	7/16"	70		0,550	3,55	{ -0,03 +0,04 }	3,7
	12,5	1/2"	93		0,730	4,1	{ -0,03 +0,04 }	4,25
	12,9	1/2"	100		0,785	4,25	{ -0,04 +0,08 }	4,35
	15,3	0,6"	140		1,099	5,0	{ -0,04 +0,06 }	5,2
	15,7	0,6"	150		1,180	5,2	{ -0,04 +0,06 }	5,35
	18,3	0,7"	200		1,57	6,0	{ -0,04 +0,06 }	6,24

Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 vom 28. Februar 1990  
 Institut für Bautechnik in Berlin

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

Tabelle 2: Festigkeits- und Verformungseigenschaften

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



Tabelle 3 Rechenwerte für Spannungsverluste  $\Delta\sigma_z$  in % der Anfangsspannung  $\sigma_1$

$\sigma_1/\beta_Z$	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	

Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 vom 28. Februar 1990  
 Institut für Bautechnik in Berlin

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

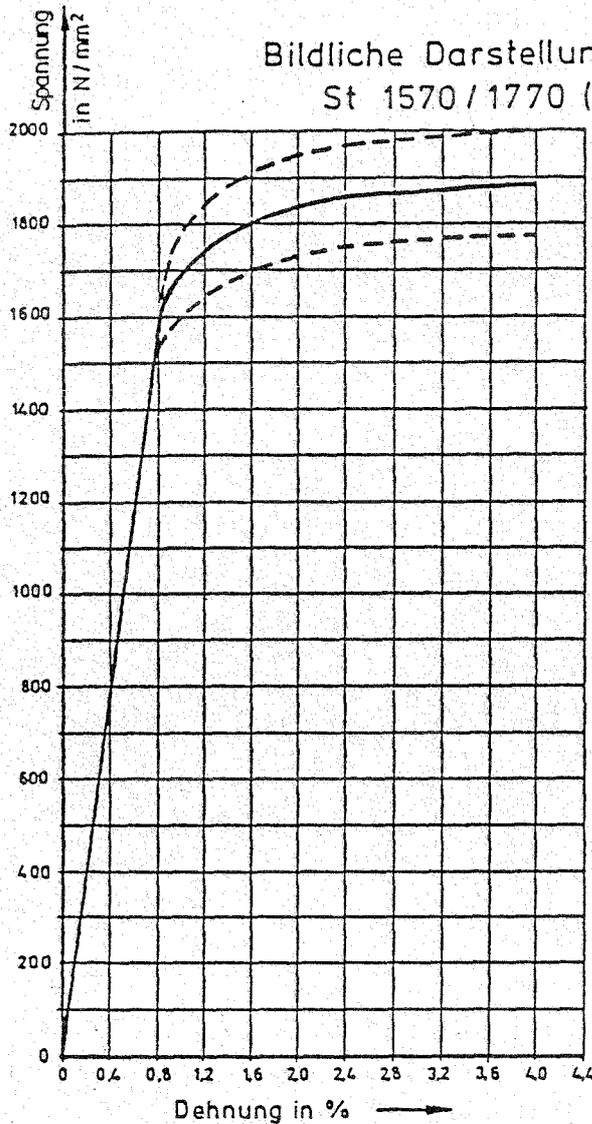
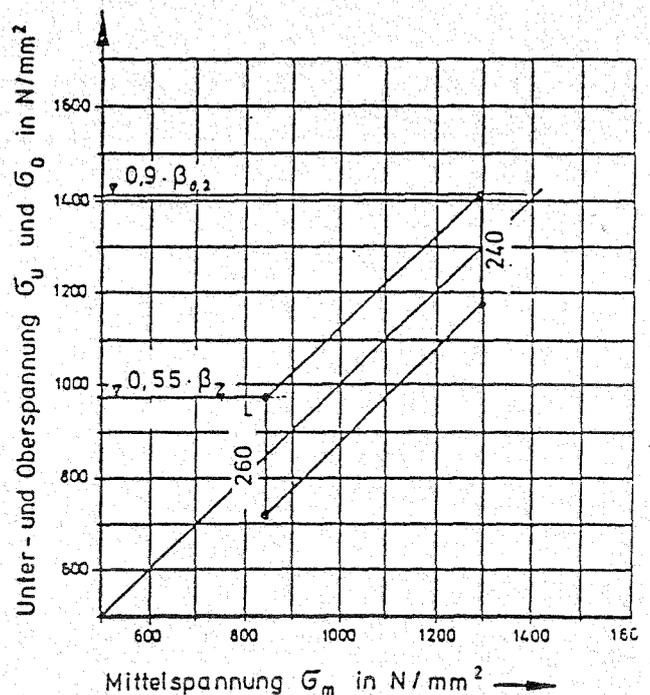


Bild 1:  
Spannungs-Dehnungs Linie

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

Bild 2:  
Dauerfestigkeitsschaubild  
nach Smith



Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 vom 28. Februar  
 Institut für Bautechnik in Berlin



Anlage Blatt 4

TrefilarBED  
 Drahtwerk Köln GmbH

Spezifikation des Korrosionsschutzmittels  
 für ummantelte Litzen

Bezeichnung des Korrosionsschutzmittels: Nontribos MP-2

Zusammensetzung: Calcium-Blei-verseiftes  
 Komplexfett auf Mineralölbasis  
 Naturfarben-glatt-salbig

Aussehen:

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften bewegen sich  
 in folgenden Bereichen:

Eigenschaft	Meßmethode	Einheit	Wert	Prüffehler	+) )
Grundölanteil	DIN 51 816	Gew. %	80 - 85	0,5 Gew. %	1
Grundölvisko- sität bei 50 °C	DIN 51 562	est	min. 36	0,7 abs.	1
Tropfpunkt	DIN 51 801	°C	min. 95 °C	2 °C abs.	1, 2
Walkpenetration 60 DT	DIN 51 804	0,1 mm	280 - 300	1,5 mm abs.	1, 2
Ölabscheidung 7 Tg. 40 °C	DIN 51 817	Gew. %	max. 4,2 %	20 % abs.	1
Verhalten ge- genüber Wasser bei 20 °C bei 50 °C	DIN 51 807		1 a 1 b	entfällt	1
Korrosions- schutzverhalten	DIN 51 802	-	Korrosions- grad 0	1 Korro- sionsgrad	1
Oxidations- stabilität	DIN 51 808	bar	max 0,5	0,2	1
Gesamtschwefel n. Schöniger	DIN 51 400	Gew. %	max. < 0,15	± 0,05	1
Gehalt an:					
SO <sub>3</sub> -Ion	mikroanalyt.	Gew. %	< 0,005	entfällt	1
SO <sub>4</sub> -Ion	"	Gew. %	< 0,001	"	1
S -Ion	"	Gew. %	0	"	1
NO <sub>2</sub> -Ion	"	Gew. %	0	"	1
NO <sub>3</sub> -Ion	"	Gew. %	0	"	1
Cl <sup>-</sup> -Ion	"	Gew. %	< 0,005	"	1
Gleitförder- verhalten	Shell-De Léman Rheometer		leicht förderbar gutes Gleitförderverhalten		1

+) 1 Eigenüberwachung bzw. garantierte Eigenschaftswerte  
 der Hersteller

2 Fremdüberwachung

Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 vom 28. Februar  
 Institut für Bautechnik in Berlin



Anlage Blatt 5

TrefilarBED  
 Drahtwerk Köln GmbH

Spezifikation des PE-Mantels aus Formmasse

DIN 16 776 - PE - P - 45 - 005 - CB

für ummantelte Litzen

Bezeichnung: Vestolen A5041 R schwarz

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften bewegen sich in folgenden Bereichen:

Eigenschaft	Meßmethode	Einheit	Wert	+) )
Dichte 23 °C	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	0,954 - 0,958	1
Dichte Rohr	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	0,940 - 0,950	1, 2
Schmelzindex MFI 190/5	DIN 53 735	g/10'	0,40 - 0,60	1, 2
Viskositätszahl J	DIN 53 728	cm <sup>3</sup> /g	300 - 360	1
Mittleres Molgewicht		10 <sup>3</sup>	126 - 157	1
Vicat A	DIN 53 460	°C	> 120	1
B	DIN 53 460	°C	> 70	1
Schlagzähigkeit (n. Charpy)	DIN 53 453	mJ/mm <sup>2</sup>	ohne Bruch	1
Kerbschlagzähigkeit (n. Charpy) 23 °C	DIN 53 453	mJ/mm <sup>2</sup>	ohne Bruch	1
-50 °C			ohne Bruch	1
Kerbschlagzähigkeit (n. Izod)	ISO/R 180 Methode A	J/m Kerbe	> 400	1
Schlagzugzähigkeit	DIN 53 448	mJ/mm <sup>2</sup>	> 600	1
Streckspannung Preßpl.	DIN 53 455	N/mm <sup>2</sup>	23 - 26	1
Rohr	DIN 53 455	N/mm <sup>2</sup>	19 - 23	1
Reißfestigkeit Preßpl.	DIN 53 455	N/mm <sup>2</sup>	> 20	1
Rohr	DIN 53 455	N/mm <sup>2</sup>	> 20	1
Reißdehnung Preßpl.	DIN 53 455	%	> 600	1
Rohr	DIN 53 455	%	> 600	1
Kugeldruckhärte	DIN 53 456	N/mm <sup>2</sup>	42 - 45	1
Spannungsrißbeständigkeit	ASTM-D-1693-70	h	> 1000	1
Rußgehalt		%	> 2	1
GKR-Richtlinie R 1.3.2 Abschnitt 3.1.1.3 Homogenität				1, 2

- +) 1 Eigenüberwachung bzw. garantierte Eigenschaftswerte der Hersteller  
 2 Fremdüberwachung

Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6 vom 28. Februar 1990  
 Institut für Bautechnik in Berlin



TrefilarBED  
Drahtwerk Köln GmbH

Anlage  
Blatt 6

Spezifikation der ummantelten Litze

+) )

Minstdicke des PE-Mantels 1,5 mm 1, 2  
Mindestmenge des Korrosionsschutzmittels:

Nenn Durchmesser

mm	g/m	
12,5	35	1, 2
12,9	40	1, 2
15,3	45	1, 2
15,7	50	1, 2

Maximale Ausziehungskraft an einer 1 m langen Probe bei ca. 20 °C:

bei Nenn Durchmessern 12,5 mm und 12,9 mm 50 N 1, 2  
bei Nenn Durchmessern 15,3 mm und 15,7 mm 60 N 1, 2

+) 1 Eigenüberwachung  
2 Fremdüberwachung

Anlage zum Zulassungsbescheid Z-12.1-II.6  
vom 28. Februar 1990  
Institut für Bautechnik in Berlin



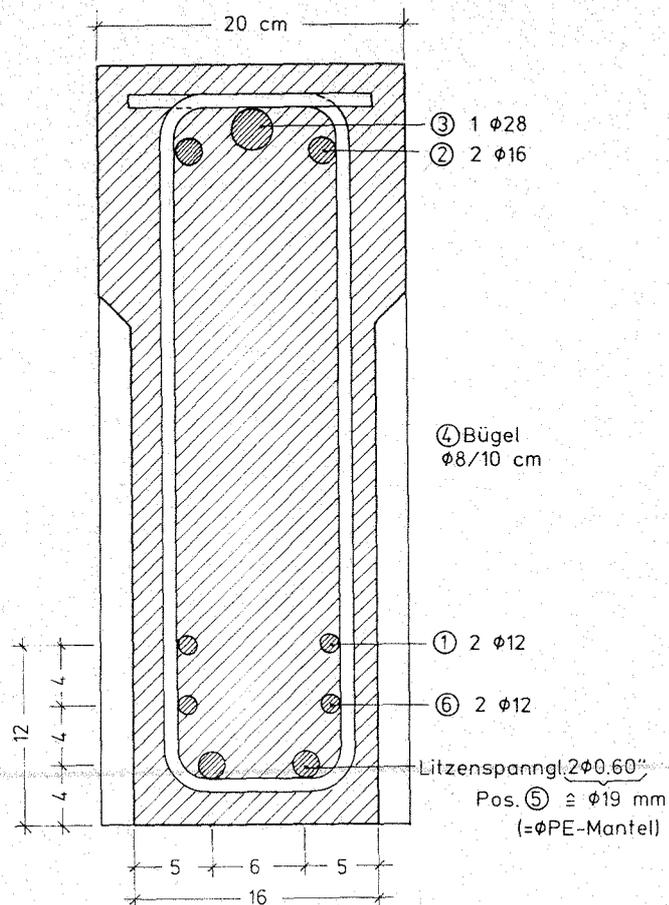
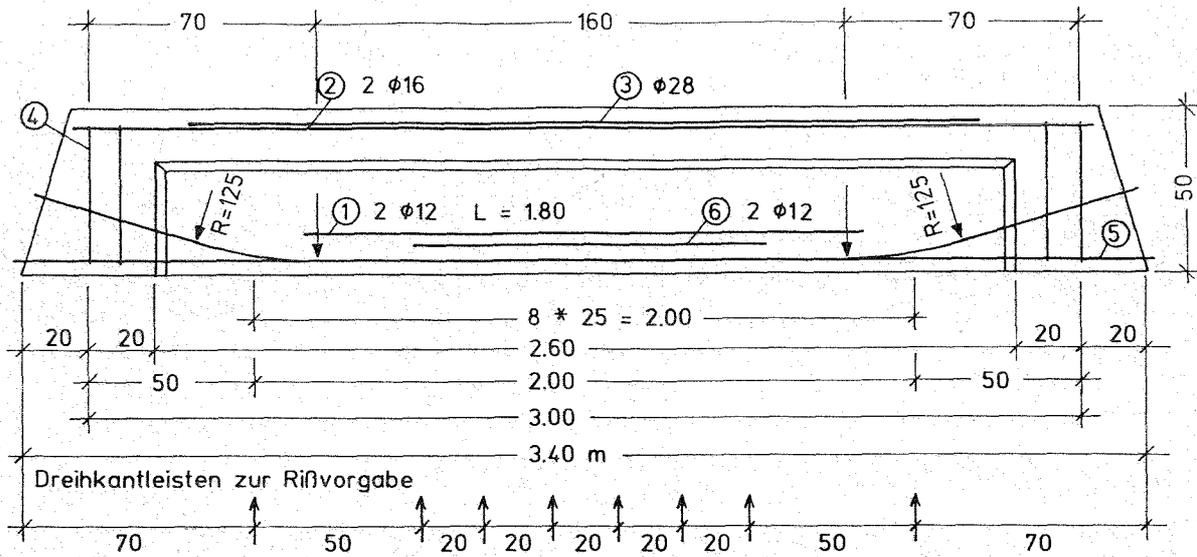


Bild 7 : Spannbetonbalken mit Vorspannung ohne Verbund  
 Abmessungen der Versuchskörper

Tabelle 3: Dauerschwingversuche an "Fettlitzen"

Prüfung im freien Zustand ohne und mit Reibeinfluß

	Vers. Nr.	Spannungen		Reibbeanspruchung			Lastwechsel Mio	Bemerkungen
		max $\sigma$ MPa	$\Delta\sigma$ MPa	Reibweg mm	Reibkraft kN	$\hat{=} D$ m		
ohne Reibbeanspruchung	1	1240	300	/			0,640	1 Außendraht
	2	"	250				0,860	2 Außendrähte
	3	"	225				1,794	1 Außendraht
	4	"	200				2,000 →	kein Bruch
	4a	"	300				0,412	1 Außendraht + Mitteldraht
	5	"	250				1,372	1 Außendraht
	6	"	225				2,000 →	kein Bruch
	6a	"	300				0,804	1 Außendraht + Mitteldraht
mit Reibbeanspruchung	51	"	225	0,30	1,4	5,0	3,000 →	kein Bruch
	51a	"	300	0,30	1,4	5,0	3,000 →	kein Bruch
	52	"	250	0,30	1,4	5,0	3,000 →	kein Bruch
	52a	"	250	0,30	2,2	3,0	0,242	1 Außendraht, außerh. Reibstelle
	53	"	250	0,50	1,4	5,0	0,617	2 Außendrähte, außerh. Reibstelle
	54	"	200	0,30	1,4	5,0	6,000 →	kein Bruch
	54a	"	200	0,30	2,2	3,0	6,000 →	kein Bruch
		$\hat{=} 0,7 \cdot R_m$				Krümmungs- durchmesser		alle Bruchstellen lagen in der freien Prüflänge

Anmerkungen:

- Die Oberspannung max  $\sigma = 1240 \text{ N/mm}^2$  entsprach der zulässigen Vorspannung nach DIN 4227, Teil 6, Mai 1982
- Mit D (Spalte 7) ist der Krümmungsdurchmesser eines Monolitzen-Spannglieds bezeichnet, welcher im Krümmungsscheitel dieselbe Umlenkpressung bewirkt. In den Zulassungsbescheiden ist ein Mindestwert  $D = 5 \text{ m}$  angegeben.

Tabelle 4: Dauerschwingversuche an Fetttitzen  
 Prüfung in einbetoniertem Zustand in Spannbetonbalken

Balken Nr.	Spannglied	Laststufe	Spannglied-Zugkraft max F/min F kN/x · F <sub>uN</sub>	Spannungs- schwingbreite $\Delta\sigma_z$ kN/mm <sup>2</sup>	End- verschiebung mm	max. Rißbreite im Beton		Lastwechsel Mio
						w mm	$\Delta W$ mm	
1	1	1	173,5 $\hat{=} 0,70 \cdot F_{uN}$ 170,7	20	0,15	3,0 1,0	2,0	2,5
		2	173,5 $\hat{=} 0,70 \cdot F_{uN}$ 167,9	40	0,30	5,0 2,0	3,0	0,5
	2	1	173,5 $\hat{=} 0,70 \cdot F_{uN}$ 169,3	30	0,20	5,0 2,5	2,5	2,5
2	1	1	150 $\hat{=} 0,60 \cdot F_{uN}$	40	0,30	3,0 2,5	0,5	2,5
	2	1	150 $\hat{=} 0,60 \cdot F_{uN}$	60	0,45	4,0 3,5	0,5	2,5

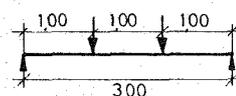
**Anmerkung:**

Beim Balken Nr. 1 wurden Betonrisse nur im geraden Bereich der Spannglieder erzeugt.

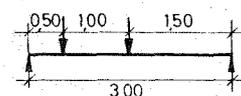
Beim Balken Nr. 2 wurden Betonrisse auch im Krümmungsbereich der Spannglieder erzeugt.

Hierfür gelten die angegebenen Rißbreiten.

Balken Nr. 1



Balken Nr. 2



Lastanordnung:

Die Zunahme der Rißbreiten bei Laststufe 2 (Balken 1) bzw. bei der Prüfung des Spannglieds 2 war eine Folge der unter der Dauerschwingbeanspruchung gebrochenen Rißverteilungsbewehrung (4  $\emptyset$  12 mm, BSt 500)

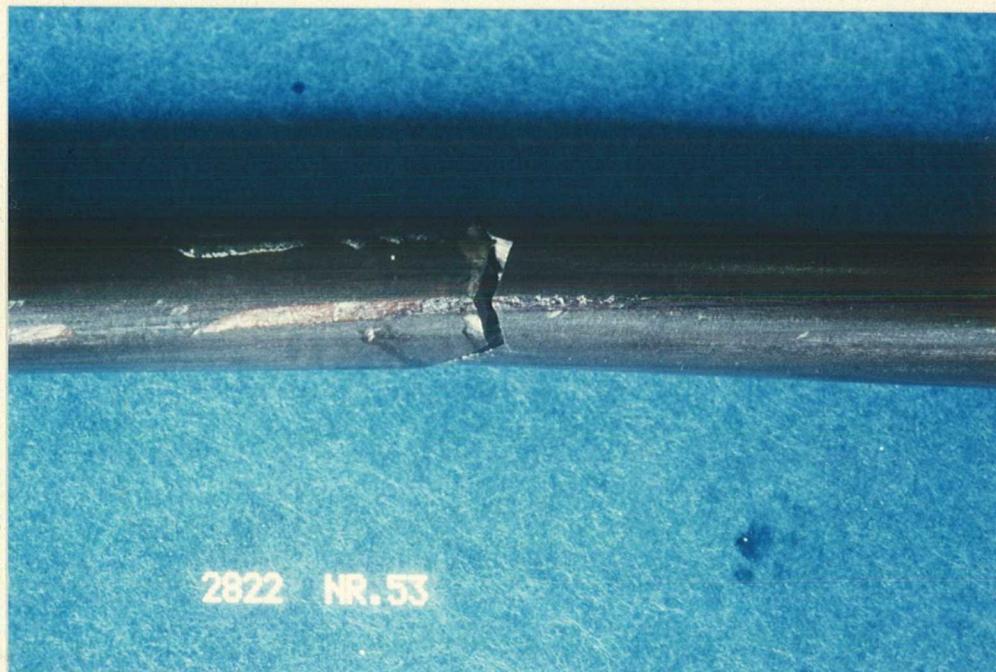


Bild 8: Drahtoberfläche am Ausgangspunkt des Ermüdungsrisses:  
Reibstelle mit dem Nachbardraht (außerhalb der Reibapparatur)  
Probe 53



Bild 9: PE-Hüllrohr, Außenseite, Anpreßstelle an das Mörtelbett  
Anpreßkraft: 1,4 kN/cm, Lastwechsel: 617 000  
Probe 53

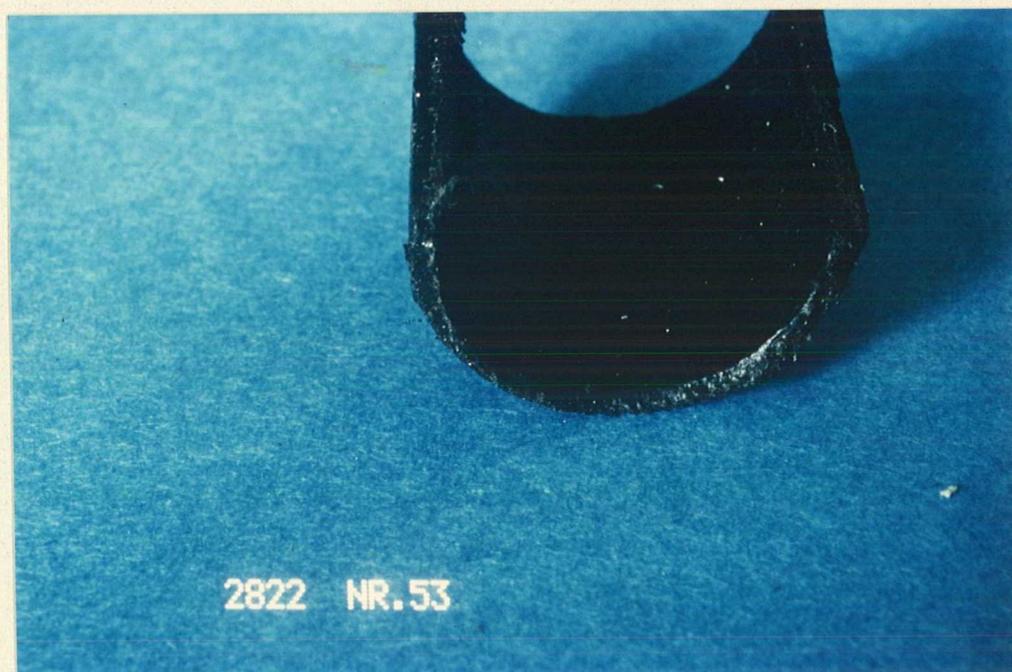


Bild 10: PE-Hüllrohr, Innenseite, Anpreßstelle der Spanndrähte  
Anpreßkraft: 1,4 kN/cm, Reibweg: 0,3/0,5 mm, Lastwechsel: 3,0/0,6 Mio  
Probe 53

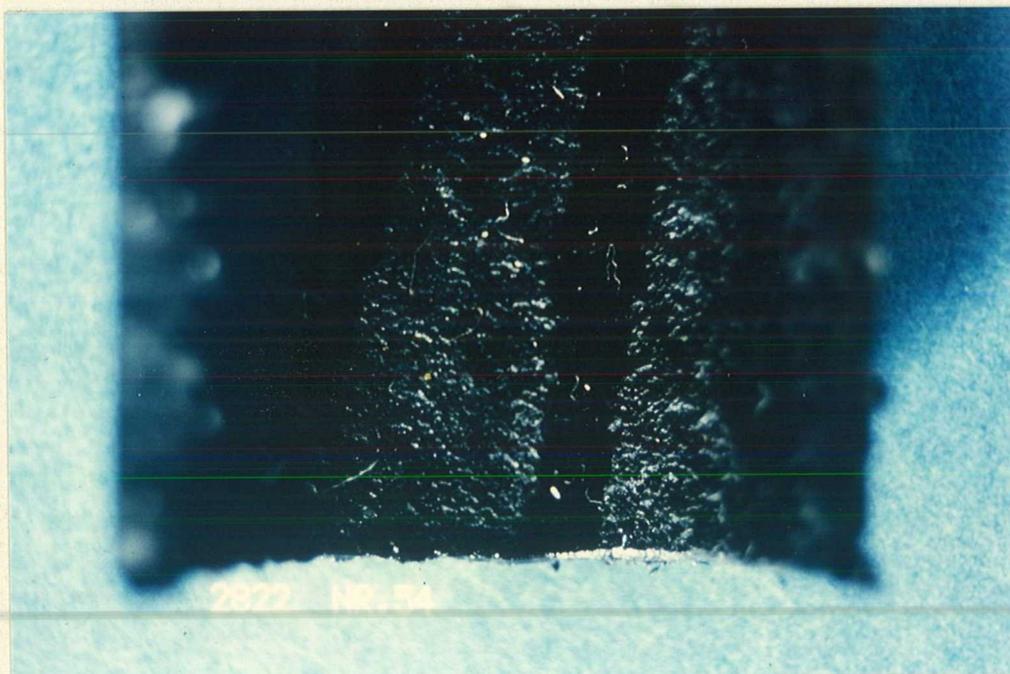


Bild 11: PE-Hüllrohr, Innenseite, Anpreßstelle der Spanndrahtlitze  
Anpreßkraft: 1,4/2,2 kN/cm, Reibweg: 0,3 mm, Lastwechsel: 6,0/6,0 Mio  
Probe 54

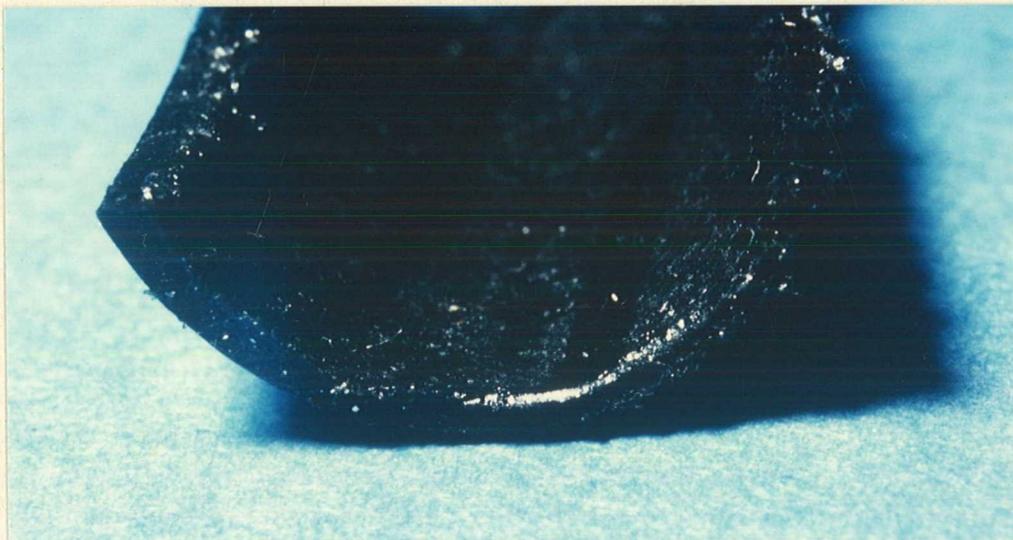


Bild 12: PE-Hüllrohr, Innenseite

entnommen aus dem Krümmungsbereich des Spannglieds 2  
an einem Betonriß im Balken 2

Krümmungshalbmesser: 1,25 m, Gleitweg der Spanndrahtlitze: 0,4 mm  
2,5 Mio



Bild 13: Spannbetonbalken 2

Rißbild im Krümmungsbereich des Spannglieds 2:  
Rißbreite bei max F: 4,0 mm; bei min F: 3,5 mm,  
nach 2,5 Mio Lastwechseln

↑ 2528

Summary  
of research work

**"Fatigue Behaviour of Unbonded Tendons"**

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

supported by the  
Deutsches Institut für Bautechnik (Az IV 1-5-432/85)

For unbonded tendons the prestressing strands are placed in PE tubes, filled with grease for corrosion protection. Under non-static loading repeated displacements will occur between prestressing strand and PE tube. In the area of deflected tendons the prestressing strand is pressed to the interior side of the PE tube due to the deflection force. As the corrosion protection depends on the fact that the PE tube will remain tight, it was examined whether the PE tube will be damaged by the frictional movements of the prestressing strand.

Furthermore, it had to be found out whether the fatigue resistance of the prestressing strand will be adversely affected by these conditions.

In a friction apparatus, free mono-strand specimens with PE tubes were tested under fatigue loading. The pressure acting against the PE tube respectively on the prestressing strand placed in it, and the slip between the PE tube and the strand were varied systematically.

Two beams, each prestressed by means of two unbonded prestressing tendons consisting of mono-strands in PE tubes completed the testing programme.

Under the extreme test stresses, the prestressing tendons did not show any significant damages.

Under fatigue loading the behaviour of the prestressing strands in the PE tubes filled with grease was not influenced by the friction stresses induced by the tube.

The PE tubes were not damaged at the outside by the sliding movement of the (pulsating) cracks in the concrete.

The indentations in the wall of the PE tube caused by the prestressing strand were not more than 0.2 mm, which means that the 1.5 mm thick PE tube was only squeezed insignificantly.

From the test results it can be concluded that the fatigue behaviour of unbonded tendons with corrosion protection by a PE tube is not adversely affected by the conditions in a structure compared to testing in a free condition. Not only the material but also the dimensions of the PE tubes were suitable to resist the stresses occurring in a structure.

7  
2578

Résumé  
du rapport de recherche:

**"Comportement à la fatigue de membres de précontrainte libres"**

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

avec le soutien du  
Deutsches Institut für Bautechnik (Az IV 1-5-432/85)

Dans le cas d'une précontrainte sans liaison, les aciers précontraints, afin d'être protégés contre la corrosion, sont graissés et enveloppés de gaines en matière plastique. Lors d'une charge non-statique, on constate des déplacements répétés entre l'acier et la gaine. Dans les zones où un cintrage est introduit intentionnellement, l'acier précontraint est pressé contre la paroi intérieure de la gaine par les efforts provoqués par le cintrage. La protection contre la corrosion dépendant de l'étanchéité de la gaine, on a examiné si celle-ci n'est pas endommagée par les mouvements de frottement sur l'acier précontraint.

En outre, il fallait clarifier si la résistance à la fatigue de l'acier précontraint est affectée par de telles conditions.

Dans un appareil de friction, on a testé des torons gainés graissés à l'état libre, en faisant varier de manière appropriée la pression appliquée sur la gaine en PE ou sur le toron placé à l'intérieur, ainsi que la course du frottement entre la gaine en PE et le toron.

Deux poutres, chacune précontrainte à l'aide de deux membres de précontrainte constitués de torons métalliques gainés, ont complété le programme d'essai.

Sous l'effet des contraintes extrêmes d'essai, les membres de précontrainte n'ont pas montré d'endommagements considérables.

Le comportement à la fatigue des torons en acier précontraint placés dans les gaines en PE remplies de graisse n'a pas été influencé par les efforts de frottement se produisant dans la gaine.

Les gaines en PE n'ont pas été endommagées sur leur face extérieure par le mouvement glissant des fissures (pulsantes) du béton.

L'enfoncement des torons en acier précontraint dans la paroi de la gaine en PE est égal à 0,2 mm au maximum, c'est à dire que sur 1,5 mm d'épaisseur, la gaine n'a pas été comprimée de manière significative.

A partir des résultats expérimentaux, on peut conclure que le comportement à la fatigue de torons en acier graissés et gainés n'est pas affecté par les conditions rencontrées dans l'ouvrage, en comparaison avec leur comportement à l'état libre. Le matériau ainsi que les dimensions de la gaine en PE sont capables de résister aux efforts se produisant dans l'ouvrage.