

Dauerhaftigkeit von Polyethylen- Schutzhüllen externer Spannglieder an Umlenkstellen

T 2991

T 2991

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2002, ISBN 3-8167-6494-0

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 info@irb.fhg.de

URL <http://www.IRBbuch.de>

Schlussbericht
(DIBt P 32-5-7.195-934/00)

Institutsbericht Nr.: 70/2001
des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen

Gegenstand: "Dauerhaftigkeit von Polyethylen-Schutzhüllen externer Spannglieder an
Umlenkstellen"

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 L
10829 Berlin

erstattet von: Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Prof. Dr.-Ing. Heiner Cordes
Dipl.-Ing. Jens U. Neuser

Aachen, den 07. Dezember 2001

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	5
2	Stand der Technik	6
2.1	Spannverfahren für die externe Vorspannung	6
2.1.1	Allgemeines	6
2.1.2	Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähten	6
2.1.3	Spannverfahren mit ungebündelten Monolitzen	7
2.1.4	Spannverfahren mit zu Bändern zusammengefassten Monolitzen	7
2.1.5	Spannverfahren mit Spannstahlritzen im Einpressmörtel	7
2.2	Prinzipielles Tragverhalten an Umlenkstellen	8
2.3	Eigenschaften des Polyethylens	9
2.3.1	Allgemeines	9
2.3.2	Klassifizierung	9
2.3.3	Verarbeitung	11
2.4	Korrosionsschutz an Umlenkstellen	11
2.4.1	Aufbau	11
2.4.2	Einpressmörtel	12
2.4.3	Polyethylen	12
2.4.4	Korrosionsschutzmasse	12
2.5	Richtlinien / Zulassungsversuche	13
2.5.1	Zielsetzung	13
2.5.2	Prüfung mit großer Umlenkung	13
2.5.3	Prüfung mit kleiner Umlenkung	14
2.5.4	Anforderungen an die Spannglieder	14
3	Eigene Versuche	15
3.1	Versuchseinrichtung (Kleinmodellversuchsanlage)	15
3.1.1	Zielsetzung und Anforderungen	15
3.1.2	Wirkungsweise der Kleinmodellversuchsanlage	16
3.1.3	Bestandteile der Kleinmodellversuchsanlage	18
3.2	Versuchsdurchführung	21
3.2.1	Versuche mit planmäßiger Umlenkung in der Kleinmodellversuchsanlage	21

3.2.2	Versuche mit erhöhter Temperatur.....	23
3.2.3	Versuche zum zeitabhängigen Materialverhalten.....	23
3.2.4	Auswertung der Versuche	25
3.3	Versuchsprogramm.....	25
3.3.1	Untersuchte Parameter	25
3.3.2	Gewählte Umlenkpressungen	26
3.3.3	Versuchsserien.....	26
3.4	Kugeleindruckversuche / Qualitätskontrolle	34
3.4.1	Allgemeines.....	34
3.4.2	Versuchsaufbau und –durchführung.....	35
3.4.3	Bedeutung der Kugeldruckhärte für die Qualitätskontrolle von Spanngliedern.....	36
3.4.4	Eigene Versuche und Versuchsergebnisse.....	38
3.4.5	Zusammenfassung zum Kugeleindruckversuch	41
4	V Versuchsergebnisse	41
4.1	Eindruckverhalten	41
4.1.1	Litzenspannglieder	41
4.1.2	Drahtspannglieder	44
4.2	Restwanddicken.....	47
4.2.1	Messungen.....	47
4.2.2	Beurteilung	49
4.3	Einfluss der Spannstahtform	49
4.3.1	Drahtspannglieder	49
4.3.2	Kompaktlitzen.....	50
4.4	Einfluss des Umlenkradius (Querpressung).....	51
4.5	Unterlage	53
4.6	Querdehnungsbehinderung	54
4.7	Zwickelfüllung	59
4.8	Beanspruchung durch innere Gleitung.....	60
4.8.1	Versuchsanordnung	60
4.8.2	Verhalten der Litzen beim Vorschub.....	61
4.8.3	Restwanddicken bei innerer Gleitung.....	64
4.9	Tragverhalten unter erhöhten Temperaturen	69
4.10	Zeitabhängiges Materialverhalten	74
4.11	Kleine Umlenkung (Ziehen über einen Knick).....	76

5 Empfehlungen für den Spanngliedaufbau an Umlenkstellen	77
6 Zusammenfassung und Ausblick	79
7 Literatur	80
Anhang A: Versuchsübersicht	A-1
Anhang B: Versuchsergebnisse	B-1

1 EINLEITUNG UND VERANLASSUNG

Die Anwendung der externen Vorspannung ist ein großer Fortschritt hinsichtlich der Unterhaltung und Dauerhaftigkeit von Brückenbauwerken. Die maßgeblichen Vorteile gegenüber der Vorspannung mit nachträglichem Verbund liegen in der Inspizierbarkeit, der Auswechselbarkeit und der Nachspannbarkeit der Spannglieder [11]. Bei etwas höheren Herstellkosten von extern vorgespannten Brücken gegenüber Brücken mit Vorspannung mit nachträglichem Verbund liegen die Vorteile für den Bauherrn vor allem in geringeren Wartungs- und Instandsetzungskosten [4]. Die Dauerhaftigkeit der externen Spanngliedern ist daher von besonderer Wichtigkeit.

Der Einführung der externen Vorspannung als Regelbauweise für Hohlkastenbrücken im Bundesfernstraßennetz im Jahr 1998 folgte eine rasche Weiter- und Neuentwicklung von externen Spannverfahren durch die verschiedenen Spannverfahreninhaber. Um ein einheitliches und schnelles Zulassungsverfahren für diese Spannverfahren zu ermöglichen, führte das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die "Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung" [2] ein, in der die für eine Zulassung durchzuführenden Versuche genau definiert werden. Der maßgebliche Unterschied zu Spannverfahren für Vorspannung mit nachträglichem Verbund liegt darin, dass zusätzlich zwei Versuche mit einem vollständigen Spannglied durchgeführt werden müssen, die Aussagen über das Gleit- und Reibungsverhalten sowie die Dauerhaftigkeit im Bereich von Umlenkstellen erlauben. In den zugehörigen Erläuterungen zur "Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung und Anforderungen an externe Spannglieder" [5] werden die in den Versuchen zu erbringenden Anforderungen definiert, wie sie im Spannverfahrenausschuss des DIBt festgelegt wurden.

In den Beratungen zur Richtlinie wurde deutlich, dass die Erfahrungen mit Spanngliedern für externe Vorspannung bislang nicht ausreichen, um die Dauerhaftigkeit der unterschiedlichen Spannverfahren unter den vielfältigen Randbedingungen zweifelsfrei einzuschätzen, sondern weitere Untersuchungen erfordern, zu denen auch das hier behandelte Forschungsvorhaben zählt. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, mittels Kleinmodellversuchen die Verhältnisse an den Umlenkstellen externer Spannglieder mit PE-Ummantelung wirklichkeitsnah abzubilden, um den Einfluss der maßgebenden Parameter wie z.B. Umlenkradius, Spanngliedaufbau, etc. zu untersuchen und Empfehlungen für den Spanngliedaufbau im Umlenkbereich zu erarbeiten. Die Versuche an Kleinmodellen sollen es dem DIBt sowie den Spannverfahreninhabern ermöglichen, die Dauerhaftigkeit der Spannverfahren bereits vor den eigentlichen Zulas-

sungsversuchen einzuschätzen und generell Erfahrungen über das mechanische Verhalten an Umlenkstellen zu gewinnen. Weiterhin sollen Hinweise zur Qualitätskontrolle der laufenden Spanngliedproduktionen gegeben werden.

2 STAND DER TECHNIK

2.1 Spannverfahren für die externe Vorspannung

2.1.1 Allgemeines

In Deutschland sind derzeit Spannverfahren von fünf Spannverfahrenherstellern zugelassen, vier Spannverfahren mit Litzen und ein Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähten. Da die Entwicklung der externen Spannglieder auf der langjährigen Erfahrung mit Vorspannung mit nachträglichem Verbund aufbaut, wurden üblicherweise Standardelemente aus der Vorspannung mit nachträglichem Verbund für die neuen Spannglieder übernommen und an die externe Vorspannung angepasst.

2.1.2 Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähten

Bei dem Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähte werden 30 bis 66 Spannglieddrähte $\varnothing 7$ mm der Spannstahlgüte 1470/1670 in einem äußeren PE-Hüllrohr mit dem Durchmesser 75 mm und einer Wanddicke von 4,3 mm bzw. einem Durchmesser von 90 mm und einer Wanddicke von 5,1 mm geführt. Als weiterer Korrosionsschutz wird das Hüllrohr auf der gesamten Länge mit einem Korrosionsschutzmittel verfüllt. Die Spanndrähte werden an den Spanngliedenden in einem Grundkörper mittels aufgestauchten Köpfchen gehalten. Das Spannglied wird im Werk gefertigt und in der benötigten Länge anschließend auf die Baustelle geliefert. Beim Vorspannen wird die gesamte mechanische Verankerung mit dem daran befestigten Hüllrohr mittels einer Presse um den benötigten Spannweg gezogen. Im Umlenkbereich wird beim Schalen des Betons ein PE-Aussparungsrohr vorgesehen, in das später auf beiden Seiten Umlenkhalbschalen eingeführt werden. Beim Vorspannen verschieben sich planmäßig die Spanndrähte und das Hüllrohr gegenüber diesen Umlenkhalbschalen (äußere Gleitung). Der Mindestumlengkradius beträgt für das größte Spannglied $R = 5,00$ m.

2.1.3 Spannverfahren mit ungebündelten Monolitzen

Beim Spannverfahren mit ungebündelten Monolitzen werden 9 bis 19 zugelassene Monolitzen mit $A_p = 140 \text{ mm}^2 / \text{Litze}$ und einer Wanddicke der PE-Schutzhülle $d_{\min} \geq 2,00 \text{ mm}$ in einem äußeren PE-Hüllrohr mit einem von der Anzahl der geführten Litzen abhängigen Durchmesser bis zu 160 mm und einer Wanddicke von bis zu 4,9 mm zusammengefasst. Das äußere Hüllrohr übernimmt dabei keine Korrosionsschutzfunktion sondern dient ausschließlich als Schutz vor mechanischer Beanspruchung. Die Spannglieder werden auf der Baustelle montiert und wie bei üblichen Litzenspannverfahren mit nachträglichem Verbund vorgespannt. Im Umlenkbereich werden ähnlich wie bei dem Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähten beim Betonieren Leerrohre aus Polyethylen vorgesehen. Für die eigentliche Spanngliedumlenkung werden zwei Umlenkformteile eingelegt, die über ein Distanzstück miteinander verbunden sind. Die Gleitung beim Vorspannen erfolgt planmäßig zwischen äußerem Hüllrohr und den Umlenkformteilen, die mit einem Silikongleitfett bestrichen sind. Ein größerer Anteil an innerer Gleitung, bei denen sich die Monolitze gegenüber dem Monolitzenmantel verschiebt, ist gemäß Zulassung nicht gestattet. Der Mindestradius des größten Spanngliedes beträgt $R = 5,50 \text{ m}$.

2.1.4 Spannverfahren mit zu Bändern zusammengefassten Monolitzen

Zwei in Deutschland zugelassene Spannverfahren verwenden zugelassene Monolitzen mit $A_p = 150 \text{ mm}^2 / \text{Litze}$ und einer Wanddicke von 1,75 mm, von denen zwei bis vier mit einer äußeren Schutzhülle von 3,0 mm versehen werden und dadurch zu einem gemeinsamen Band zusammengefasst sind. Bis zu vier Bänder lassen sich übereinander stapeln, so dass ein Spannglied aus maximal 16 Litzen bestehen kann. Die Spannglieder werden als fertiges Spannband auf die Baustelle geliefert, wo die Verankerungen montiert werden. Das Vorspannen erfolgt wie bei herkömmlichen Litzenspannverfahren für Vorspannung mit nachträglichem Verbund. Die Umlenkung der Spannglieder geschieht üblicherweise mittels Umlenkkästen aus HDPE mit einer Wanddicke von 5 - 8 mm, die mit der entsprechenden Krümmung versehen einbetoniert werden. Für die Spannbänder ist sowohl innere als auch äußere Gleitung zugelassen, wobei äußere Gleitung angestrebt wird. Der Mindestradius des größten Spanngliedes beträgt $R = 4 \text{ m}$.

2.1.5 Spannverfahren mit Spannstahllitzen im Einpressmörtel

Bei diesem Spannverfahren werden 6 bis 22 nackte Stahllitzen, $A_p = 150 \text{ mm}^2 / \text{Litze}$ in einem HDPE-Rohr geführt, das nach dem Vorspannen mit Einpressmörtel verpresst wird. Die Spannglieder werden auf der Baustelle montiert und wie herkömmliche Spannverfahren für die Vorspannung mit nachträglichem Verbund vorgespannt. Im Umlenkbereich wird im PE-

Hüllrohr ein zusätzliches Hüllrohr aus Stahlblech angeordnet, das mit einer umlaufenden Wendel auf Abstand zum PE-Hüllrohr gehalten wird. Vor dem Vorspannen wird der Ringpalt zwischen Stahlblechhüllrohr und PE-Hüllrohr mit Einpressmörtel verpresst. Die Umlenkung der Spannglieder erfolgt mit gebogenen Stahlrohren, die einbetoniert sind. Beim Vorspannen verschieben sich planmäßig die Litzen gegenüber dem Stahlblechhüllrohr.

2.2 Prinzipielles Tragverhalten an Umlenkstellen

Im Bereich der Umlenkstellen werden durch die Spanngliedkrümmung Querpressungen erzeugt, die von der Litze bzw. den Spanndrähten in den Brückenüberbau eingeleitet werden müssen (Bild 2.1). Bei Spanngliedern mit PE-Ummantelung erfolgt die Kraftübertragung über die Korrosionsschutzhülle, die dadurch besonders beansprucht wird. Die einzelnen gewundenen Drähte der Litze bzw. die parallel verlaufenden Drähte bei Drahtspanngliedern drücken sich in die Schutzhülle ein und erzeugen Eindruckfiguren, die auch nach der Entlastung deutlich sichtbar bleiben (Bild 2.2). Dadurch verringert sich die Wanddicke der Kunststoffummantelung. Bei Relativverschiebungen zwischen Spannstahl und Korrosionsschutzhülle kommt es zu weiteren Beanspruchungen durch Umformungs- und Abrasionsprozesse beim Kunststoff, der im ungünstigsten Fall aufreißen kann.

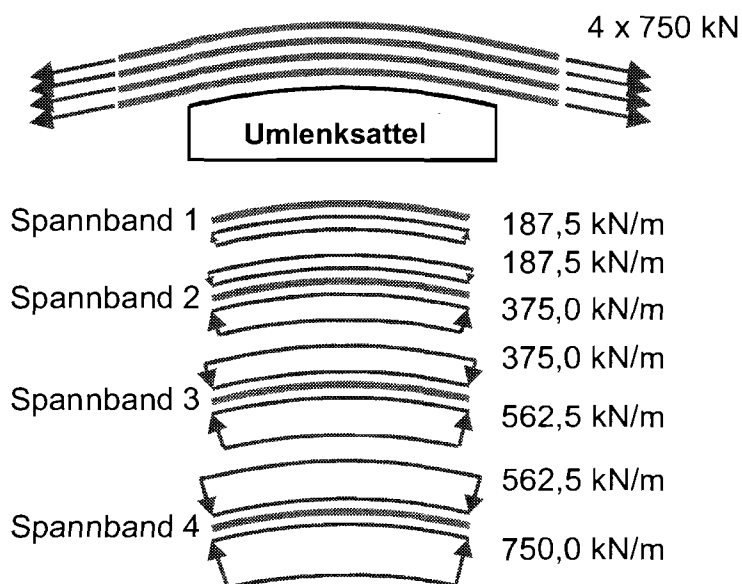


Bild 2.1: Querpressungen am Umlenksattel (Spannbänder, R = 4 m)

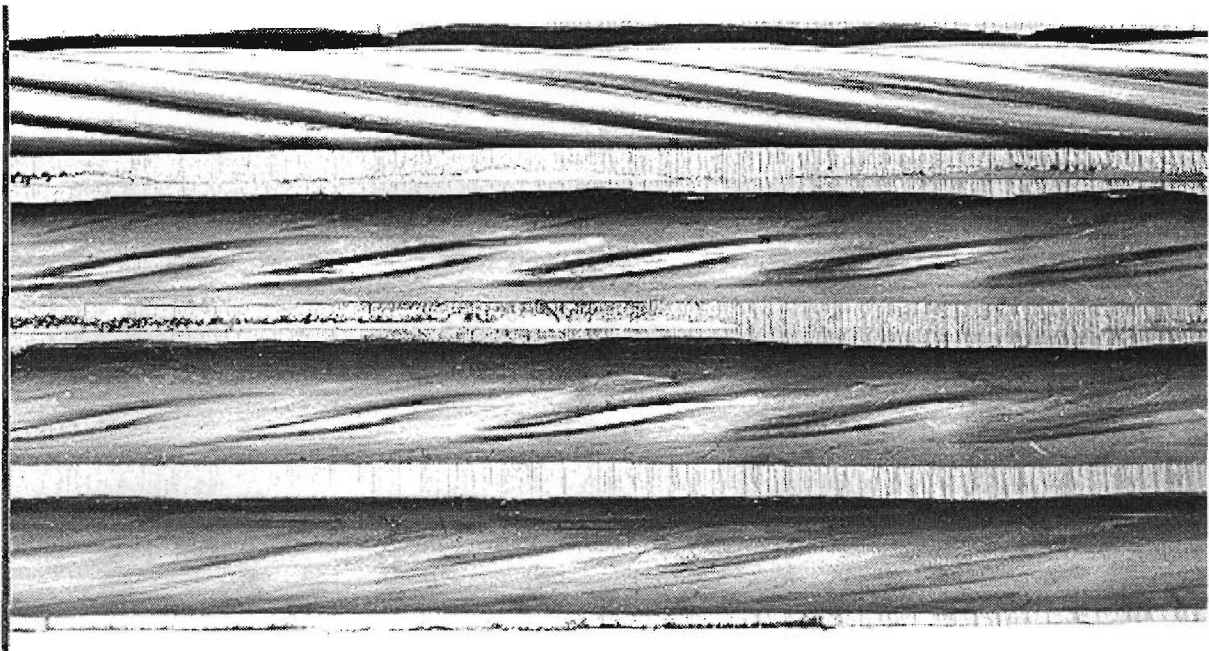


Bild 2.2: Eindrückungen von Stahlleitern in PE-Ummantelungen

2.3 Eigenschaften des Polyethylens

2.3.1 Allgemeines

Kunststoffe bestehen im Allgemeinen aus Makro-Molekülketten (Polymere), deren Länge und Anordnung das technologische Verhalten der Kunststoffe im Wesentlichen bestimmen. Entsprechend dem molekularen Aufbau können alle Zustandsformen zwischen Festkörper und Flüssigkeit vorliegen. Für das Verformungsverhalten der Kunststoffe gelten folgende allgemeingültige Eigenschaften [8]:

1. Kunststoffe sind viskoelastische Werkstoffe, d.h. sie kriechen und relaxieren,
2. Kunststoffe besitzen ein nicht lineares viskoelastisches Materialverhalten, d.h. eine Verdopplung der Spannung führt im gleichen Zeitraum zu einer mehr als doppelt so hohen Verformung,
3. Kunststoffe haben ein temperaturabhängiges Werkstoffverhalten, d.h. die zeitabhängigen Erscheinungen laufen bei erhöhter Temperatur beschleunigt ab.

2.3.2 Klassifizierung

Kunststoffe lassen sich unterscheiden in

- Thermoplaste aus linearen oder verzweigten Polymeren, die sich beim Erwärmen wiederholbar bis zur Fließbarkeit erweichen lassen,

- Duroplaste, bei denen fließbare Vorprodukte chemisch miteinander reagieren und die weitgehend temperaturunabhängig sind,
- Elastomere aus weitmaschig vernetzten Polymeren, die sich in einem weiten Temperaturbereich weich gummielastisch verhalten, d.h. dass sich bei geringen Spannungen große Deformationen ergeben, die sich bei Entlastung nahezu vollständig zurückbilden.
- Thermoelastische Kunststoffe, die bei Temperaturen oberhalb des Gebrauchsbereiches weich werden und umgeformt werden können, aber dabei nicht fließbar werden.

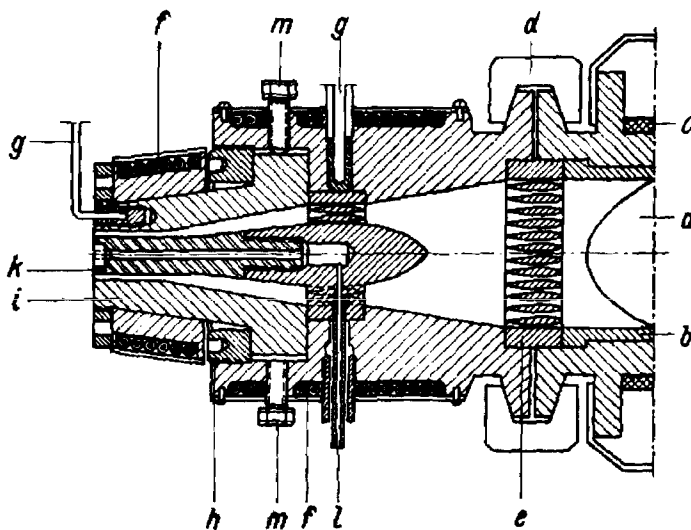
Das bei Spannverfahren zum Einsatz kommende Highdensity-Polyethylen (HDPE) gehört in die Gruppe der Polyolefine und damit zu den thermoplastischen Kunststoffen. Einige wichtige Materialkennwerte der Formmassen sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Neben den Materialkennwerten der Ausgangsstoffe bestimmt auch die Herstellung maßgeblich die mechanischen Eigenschaften der Endprodukte.

Dichte bei 23°C	≥ 0,954 g/cm ³
Kristallit-Schmelzbereich	130 – 135 °C
Streckspannung	
bei 23°C	~20 N/mm ²
bei 80°C	4 – 6 N/mm ²
Dehnung bei Streckspannung	12 %
Reißdehnung	400 – 800 %
Grenzbiegespannung	30 – 40 N/mm ²
Schubmodul	
bei 23°C	700 - >1000 N/mm ²
bei 50°C	400 – 900 N/mm ²
bei 100°C	80 – 200 N/mm ²
Kugleindruckhärte, 30 s	ca. 50 N/mm ²
Formbeständigkeitstemperatur	
ISO 75 A (1,8 N/mm ²)	~ 45 °C
B (0,4 N/mm ²)	75 – 80 °C
Therm. Längenausdehnungskoeffizient	2,5 · 10 ⁻⁴ K ⁻¹ (20 – 80°C)

Tabelle 2.1: Eigenschaftsrichtwerte für Polyethylen-Formmassen hoher Dichte (HDPE)

2.3.3 Verarbeitung

Die Herstellung der Schutzhüllen für die Monolitzen bzw. der Hüllrohre erfolgen im Extrusionsverfahren. Hierbei wird die flüssige erwärmte Kunststoffmasse durch eine Öffnung kontinuierlich ausgepresst und damit in die gewünschte Form gebracht. Um die erforderliche Rohrform des Monolitzenmantels bzw. eines Hüllrohres zu erhalten wird am Extruder z.B. ein Hohldornwerkzeug angesetzt (Bild 2.3), so dass die flüssige Masse, die an einem Dorn vorbeifließt, einen Hohlraum bildet. Das Zusammenfallen des ausgepressten Mantels bzw. Rohres wird durch einen stützenden Innenluftdruck verhindert. Bei der Herstellung von Monolitzen wird der Kunststoffmantel direkt um die Stahlitzen extrudiert, anschließend gekühlt und die fertige Monolitze wird aufgetrommelt.



- a) Schneckenspitze b) Zylinderauskleidung c) Zylinderheizung d) Werkzeugbefestigung
- e) Lochscheibe f) Heizung g) Temperaturmessfühler h) Werkzeugverschraubung i) Düse
- k) Dorn l) Zuführung der Stützluft m) Zentrierschrauben

Bild 2.3: Hohldorn- Rohrwerkzeug [10]

2.4 Korrosionsschutz an Umlenkstellen

2.4.1 Aufbau

Der Korrosionsschutz der Spannglieder an Umlenkstellen wird üblicherweise durch ein mehrschichtiges Korrosionsschutzsystem sichergestellt. Bei dem Spannverfahren mit nackten Einzellitzen im Einpressmörtel besteht es aus dem Einpressmörtel und dem umgebenden Polyethylenhüllrohr. Beim Spannverfahren mit kaltgezogenen Drähten wirken das Korrosionsschutzmittel und das äußere Polyethylen-Hüllrohr zusammen. Bei den Spannverfahren, die

auf Monolitzen basieren, bilden die Fettfüllung des Monolitzenmantels sowie der Monolitzenmantel selbst und weitere äußere Schutzhüllen den Korrosionsschutz.

2.4.2 Einpressmörtel

Die Wirkungsweise von Einpressmörtel als Korrosionsschutz ist im Spannbetonbau seit langem bekannt. Der Einpressmörtel bietet sowohl einen aktiven Korrosionsschutz (chemischer Schutz) durch den hohen pH-Wert des Einpressmörtels als auch einen passiven Korrosionsschutz (physikalischer Schutz) aufgrund des Diffusionswiderstandes gegenüber Sauerstoff und wässrigen Lösungen. Daher sind die Alkalität sowie die Dichte und Dicke der Überdeckung des Spannstahles mit Einpressmörtel entscheidend für den Korrosionsschutz.

2.4.3 Polyethylen

Die Korrosionsschutzwirkung von Polyethylen-Schutzhüllen oder Hüllrohren basiert auf einem passiven Barriereeffekt gegenüber Flüssigkeiten und Gasen, die zusammen für das Auftreten von elektrochemischer Korrosion vorhanden sein müssen. Während Polyethylen gegenüber flüssigem Wasser als undurchlässig angesehen werden kann, ist es permeabel gegenüber dampfförmigem Wasser und Sauerstoff. Die Diffusion von gas- oder dampfhaltigen Atmosphären durch eine Polyethylenschicht kann näherungsweise mit dem 1. Fick'schen Diffusionsgesetz beschrieben werden. Bei einer definierten Dampfdruckdifferenz erfolgt ein Stofftransport pro Zeiteinheit ($\partial m/\partial t$) durch die Oberfläche A entsprechend Gleichung 2.1.

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta p}{s} \quad (2.1)$$

mit:

$\partial m/\partial t$	Permeation
D	Diffusionskonstante (Materialkennwert)
A	Oberfläche
Δp	Dampfdruckdifferenz (Partialdruck)
s	Dicke der Barriere

Es zeigt sich, dass die Korrosionsschutzwirkung des Polyethylens näherungsweise linear von der Materialdicke abhängt, wenn andere Einflüsse, wie z.B. die Schutzwirkung einer dünnen korrodierten Deckschicht gegenüber weiterem Korrosionsabtrag, vernachlässigt werden.

2.4.4 Korrosionsschutzmasse

Bei den Korrosionsschutzmassen handelt es sich im Regelfall um passive Korrosionsschutzsysteme auf der Grundlage von Ölen, Fetten und Wachsen. Im direkten Kontakt mit metallischen Oberflächen wirken diese organischen Stoffe wie eine Sperrschicht gegen Feuchtigkeit und Gase und halten korrosionsfördernde Stoffe von der Metalloberfläche fern. Öle besitzen

darüber hinaus eine verdrängende Wirkung gegenüber Feuchtigkeitsfilmen. Die Korrosionsschutzmassen bei Monolithenspannverfahren bestehen üblicherweise aus Metallseifen (mit Lauge verseiften Fettsäuren) mit Zusatz von Mineralölen. Für das Drahtverfahren werden wachsartige Verbindungen auf Petrolatum- oder Vaselinebasis eingesetzt. Für die Korrosionsschutzwirkung ist die Dicke der Schutzschicht, sowie die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Korrosionsschutzmasse gegenüber z.B. Ausölung oder Wasseraufnahme entscheidend.

2.5 Richtlinien / Zulassungsversuche

2.5.1 Zielsetzung

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens sind in der Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung [2] zwei Versuche vorgesehen, um die Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Spannglieder an Umlenkstellen nachzuweisen und um Aussagen über das Gleit- und Reibungsverhalten an Umlenkstellen zu erhalten. Während Versuch a) "Prüfung mit großer Umlenkung" in der Regel immer erforderlich ist und näherungsweise den planmäßigen Vorspannvorgang abbildet, dient Versuch b) "Prüfung mit kleiner Umlenkung" dazu, die Wirkung des Korrosionsschutzsystems nachzuweisen, falls das Spannglied im Bereich der Umlenkung unplanmäßig anliegt bzw. falls es um einen kleinen Knickwinkel ohne planmäßiges Umlenkelement umgelenkt wird.

2.5.2 Prüfung mit großer Umlenkung

Ein komplettes Spannglied - in der Regel der größte beantragte Typ - wird bei Versuch a) "Prüfung mit großer Umlenkung" über ein mit konstantem Radius ausgerundetes Umlenkelement geführt und um einen Winkel von mindestens $2 \cdot 7^\circ$ umgelenkt (Bild 2.4). Dabei ist darauf zu achten, dass das Spannglied auf beiden Seiten ohne Knickstelle auf das Umlenkelement aufläuft bzw. von ihm abläuft. Der Umlenkradius muss dem gewählten Mindestradius entsprechen und der Aufbau und die Gestaltung des Umlenkelementes (Oberflächenmaterial, Abrundungen, Führungen, Zwischenlagen zur Gleitung, Fettschichten etc.) sowie der Aufbau des Spanngliedes müssen mit der beantragten Zulassung übereinstimmen. Der Versuch findet bei einer Temperatur von $20 \pm 5^\circ\text{C}$ statt. Das Spannglied wird stufenweise bis auf die Höchstlast von $0,7 \cdot f_{pk} \cdot A_p$ angespannt und anschließend unter dieser Last um eine Strecke von mindestens 80 cm bzw. dem maximal beantragten Ziehweg des Spanngliedes über den Umlenksattel verschoben. Danach bleibt das Spannglied 21 Tage unter Höchstlast stehen, bevor es ausgebaut und der Versuch ausgewertet wird.

Aktive Seite

Passive Seite

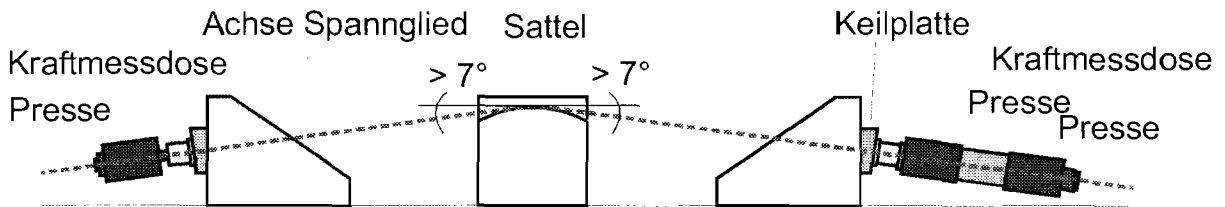


Bild 2.4: Versuchsaufbau der Großmodellversuche (Prüfung mit großer Umlenkung)

2.5.3 Prüfung mit kleiner Umlenkung

Der Aufbau des Versuches entspricht weitgehend der Prüfung mit großer Umlenkung (Kapitel 2.5.2), allerdings wird anstelle eines mit konstantem Radius ausgerundeten Umlenkelementes ein gerade verlaufendes, mindestens 70 cm langes Umlenkelement mit einer geringfügig ausgerundeten Kante entsprechend Bild 2.5 eingesetzt. Das Spannglied wird so eingebaut, dass sich an jeder der beiden Kanten ein Knickwinkel von mindestens 2° ergibt. Nach dem stufenweisen Anspannen auf die Höchstlast entsprechend Kapitel 2.5.2 wird das Spannglied um mindestens 80 cm verschoben und 21 Tage unter der Höchstlast stehen gelassen. Danach wird es ausgebaut und der Versuch ausgewertet.

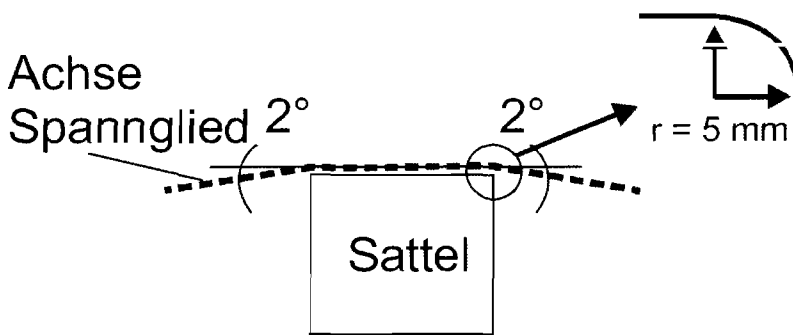


Bild 2.5: Ausbildung des Prüfsattels bei der Prüfung mit kleiner Umlenkung

2.5.4 Anforderungen an die Spannglieder

Die in den Versuchen zu erfüllenden Anforderungen an die Spannglieder sind in den Erläuterungen zur "Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung" und Anforderungen an externe Spannglieder [5] aufgeführt. Generell muss gelten, dass es bei beiden Versuchen nicht zu einer unzulässigen Beeinträchtigung des Korrosionsschutzsystems kommt. Im Einzelnen werden folgende Grenzwerte festgelegt:

- Die inneren Schutzhüllen aus Polyethylen (z.B. Monolitzenmäntel) müssen an jeder Stelle eine Restwanddicke von mindestens 1 mm bzw. 50% der Ausgangswanddicke aufweisen. Der geringste Einzelwert ist dabei maßgebend.

- Die äußeren Schutzhüllen, z.B. ein äußeres Hüllrohr, müssen an jeder Stelle eine Restwanddicke von mindestens 2 mm bzw. 75% der Ausgangswanddicke aufweisen.
- Besitzt das Spannglied nur eine Schutzhülle aus Polyethylen oder handelt es sich um Schutzhüllen aus Stahl oder um verpresste Hüllrohre, so ist die Schädigung im Einzelfall zu beurteilen
- In keinem Fall darf Fett aus den Schutzhüllen austreten.
- Eine Schädigung der Spannstähle darf nicht auftreten

Weitere im Versuch auftretende und nicht explizit genannte Schädigungen sind individuell zu beurteilen.

3 EIGENE VERSUCHE

3.1 Versuchseinrichtung (Kleinmodellversuchsanlage)

3.1.1 Zielsetzung und Anforderungen

Die Kleinmodellversuchsanlage soll bei möglichst geringem Versuchsaufwand einerseits die Verhältnisse an den Umlenkstellen externer Spannglieder wirklichkeitsnah abbilden, andererseits sollen mit den Großmodellversuchen vergleichbare "Zulassungsversuche" durchgeführt werden können. Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Versuchsanlage sind in Bild 3.1 zusammengestellt. Für die Abbildung der Verhältnisse an Umlenkstellen können drei Beanspruchungszustände unterschieden werden:

1. Querpressung an Umlenkstellen bei planmäßiger Umlenkung (große Umlenkung)
2. Ziehen (Vorspannen) des Spanngliedes bei planmäßiger (großer) Umlenkung
3. Querpressung und Ziehen (Vorspannen) des Spanngliedes bei unplanmäßiger (kleiner) Umlenkung

Anforderungen an die Versuchsanlage

Anforderungen an den Versuchsaufbau

geringe
Abmessungen
minimale
Probenlänge
Flexibilität

Anforderungen an die Versuchsdurchführung

verschiedene
Spannverfahren
Simulation des
Ziehweges
große / kleine
Umlenkung
auflaufen / ablaufen
des PE-Mantels
innere / äußere
Gleitung

Bild 3.1: Anforderungen an die Versuchsanlage

3.1.2 Wirkungsweise der Kleinmodellversuchsanlage

3.1.2.1 Spanngliedproben

Um den Versuchsaufwand zu minimieren, finden alle Versuche an maximal 4 Litzen bzw. 50-60 Spanndrähten als Ausschnitt aus einem größeren Spannglied statt (Bild 3.2). Die Länge der Spanngliedproben kann bei den Versuchen mit einem Ziehweg von maximal 80 cm auf 3,50 m begrenzt werden.

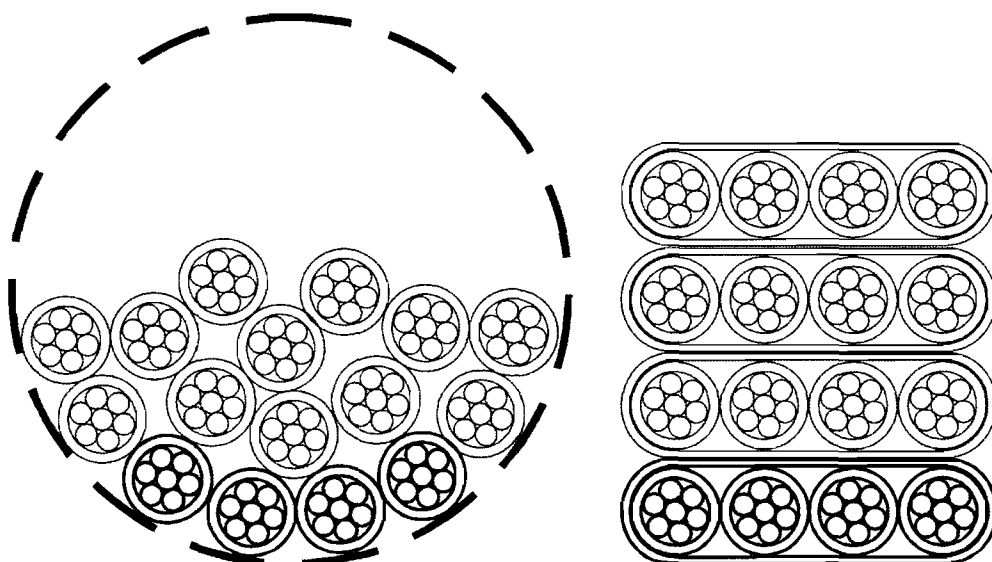


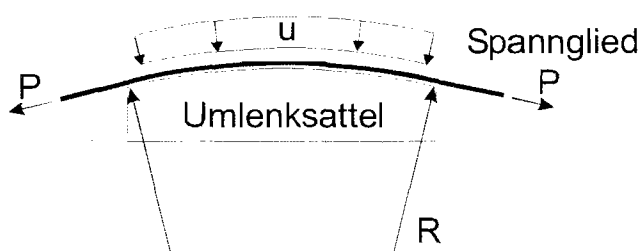
Bild 3.2: Spanngliedproben als Ausschnitt aus einem größeren Spannglied

3.1.2.2 Planmäßige Umlenkung ohne Ziehweg

Für die Abbildung der planmäßigen Umlenkung ohne Ziehweg werden gerade Spanngliedabschnitte mit der entsprechenden rechnerischen Umlenkkraft des ganzen Spanngliedes im Bauwerk belastet (Bild 3.3). Um ein Zusammendrücken der Stahllitzen unter der Querkraft zu verhindern, wird die Spanngliedprobe mit einer geringen Vorspannkraft vorgespannt. In einem Vorversuch konnte nachgewiesen werden, dass eine Vorspannung von etwa 20 kN pro Litze ausreicht, um die Formstabilität der Litzen zu erreichen. Bei der Prüfung von Drahtspanngliedern ist keine derartige Vorkehrung notwendig.

Die planmäßige Umlenkung ohne Ziehweg entspricht der Beanspruchung eines Spanngliedes bei Auftreten von äußerer Gleitung beim Vorspannen. Die Litzen bzw. Drähte verschieben sich gegenüber der Polyethylen-Schutzhülle nicht, d.h. jede Spanngliedeindrückung wird während des Ziehvorgangs ausschließlich mit einer konstanten Querpressung beansprucht. Die Beanspruchung der äußeren Schutzhülle bzw. des Hüllrohres beim Gleiten auf der dafür vorgesehenen Gleitfläche gegenüber dem Umlenksattel kann in der Regel vernachlässigt werden.

Bauwerk



Versuch

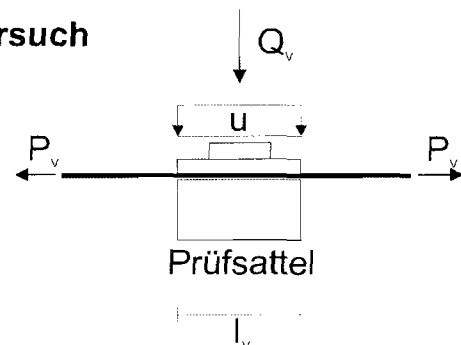


Bild 3.3: Kontinuierliche Umlenkpressung im Bauwerk und Simulation im Versuch

3.1.2.3 Planmäßige Umlenkung mit Ziehweg

Damit zusätzlich zur Querpressung auch ein Ziehweg simuliert werden kann, wird die Spanngliedprobe in einem verschieblichen Rahmen vorgespannt, der mittels zusätzlicher Pressen unabhängig von der Querkraft horizontal bewegt werden kann. Für die Simulation innerer Gleitung wird die Schutzhülle am Prüfsattel durch geeignete Maßnahmen, z.B. Einlegen eines dünnen Sandpapiers, horizontal fixiert und die vorgespannten Litzen werden mit dem Spannrahmen verschoben (Bild 3.4).

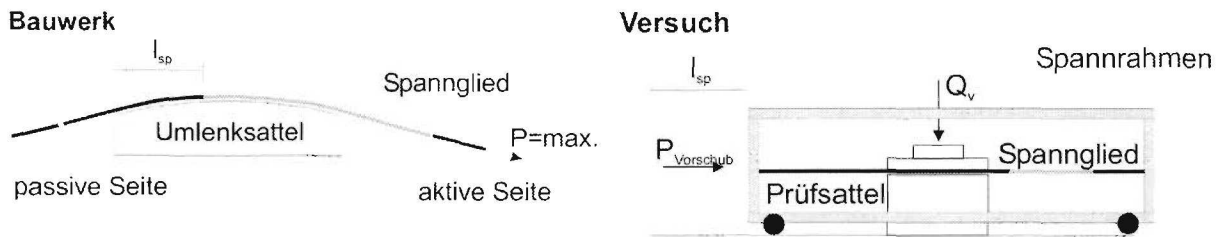


Bild 3.4: Simulation des Ziehweges (innere Gleitung)

3.1.2.4 Unplanmäßige Umlenkung mit Ziehweg

Zur Simulation der unplanmäßigen Umlenkung wird ein Prüfsattel eingesetzt, der entsprechend den Angaben in der Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung ausgebildet ist (Bild 2.5). Die Spanngliedprobe wird mittels eines eingesetzten Keiles auf der einen Seite um den erforderlichen Winkel von 2° abgelenkt. Damit der Knickwinkel auch während des Vorschubs des Spannrahmens konstant bleibt, wird die Spanngliedverankerung höhenverschieblich gelagert und mit einem weiteren, horizontal angeordneten Keil geführt (Bild 3.5).

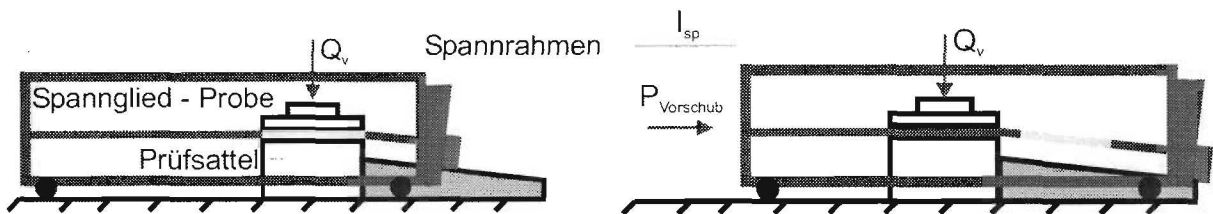


Bild 3.5: Vertikal verschiebliche Spanngliedverankerung bei der unplanmäßigen Umlenkung

3.1.3 Bestandteile der Kleinmodellversuchsanlage

Die Kleinmodellversuchsanlage ist in Bild 3.6 schematisch dargestellt. Sie besteht aus einem Spannrahmen, der beliebig verlängerbar ist, um auch Ziehwege von mehr als 80 cm testen zu können. Auf der einen Seite schließt sich eine unverschiebliche Verankerungseinheit an, die einerseits die Ankerkräfte der vorgespannten Spanngliedprobe aufnimmt und auf der sich andererseits die Presse beim Vorspannen oder beim Vorschub des Spannrahmens absetzen kann. Auf der anderen Seite befindet sich eine höhenverschiebliche Verankerungseinheit, die bei der Prüfung mit unplanmäßiger Umlenkung mittels Keils mit einer Winkelabweichung von 2° , ansonsten senkrecht auf dem Spannrahmen aufgesetzt ist. Umgeben wird sie von einem Pressenaufsatzrahmen, auf den sich die Presse beim Vorspannen oder beim Vorschub des Spannrahmens absetzen kann. Der gesamte Spannrahmen mit den Verankerungseinheiten und Pressenaufsatzrahmen ist mit Rollenlagern längsverschieblich auf einem Stahlträger aufgelagert, in dessen Mitte sich der Prüfsattel mit einer Prüflänge von 20 cm befindet.

Das Vorspannen der Spanngliedproben geschieht, indem zunächst die Probe mit der entsprechenden Ankerplatte und den Keilen versehen auf einer Seite auf die Verankerungseinheit abgesetzt wird. Anschließend wird von der anderen Seite mittels einer Tandempresse vorgespannt und die Ankerplatte auf die dortige Verankerungseinheit abgesetzt. Zum Kompensieren des Keilschlupfes ist dort eine Gewindebühse angeordnet. Nach dem ersten Verkeilen des Spannstahles wird das Spannglied erneut auf die planmäßige Spannung vorgespannt und der sich an der Ankerbühse einstellende Litzenschlupf mit dem Gewinde beigedreht (Bild 3.7). Die Spanngliedkraft nach dem zweiten Vorspannen wird mit im Spannrahmen angeordneten Dehnungsmessstreifen kontrolliert. Erforderlichenfalls wird der Vorspannvorgang wiederholt. Anschließend kann die Tandempresse abgebaut werden.

Für den Vorschub des Spannrahmens sind Gewindestangen vorgesehen, die mit dem Prüfsattel verbunden sind und an einer Druckplatte hinter der Tandempresse befestigt werden können. Beim Ausfahren der Tandem-Zylinder verschiebt sich daher der Spannwagen gegenüber dem Prüfsattel (Bild 3.8).

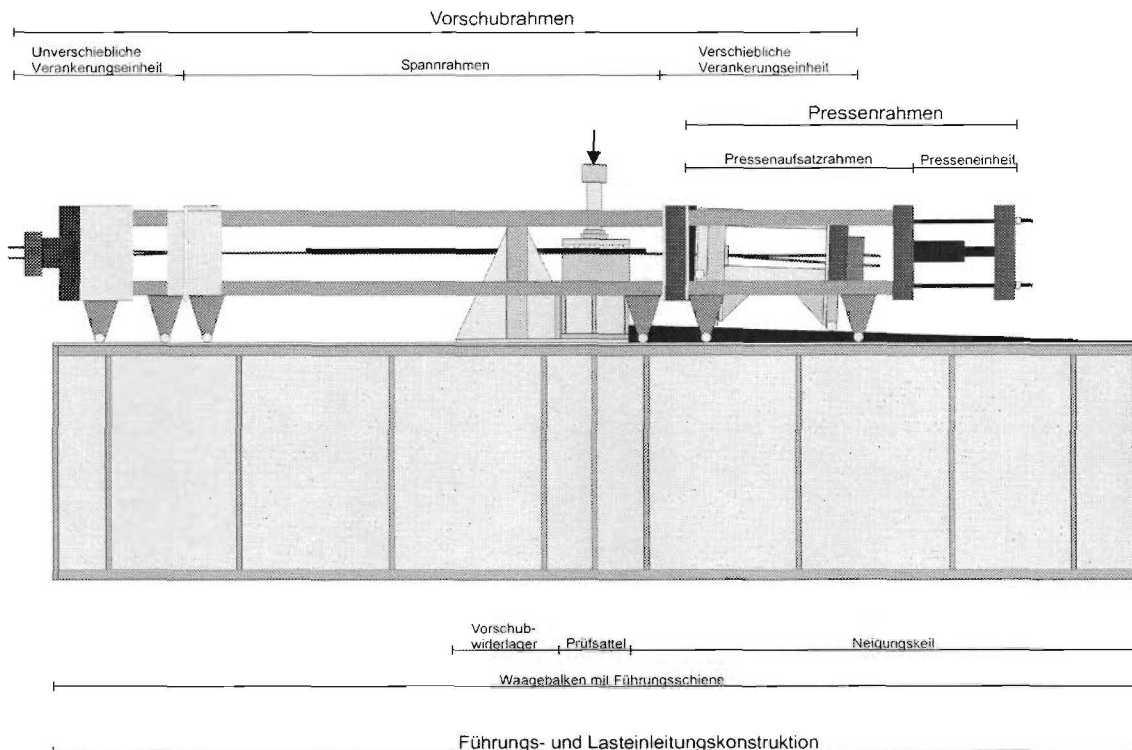


Bild 3.6: Schemaskizze der Kleinmodellversuchsanlage

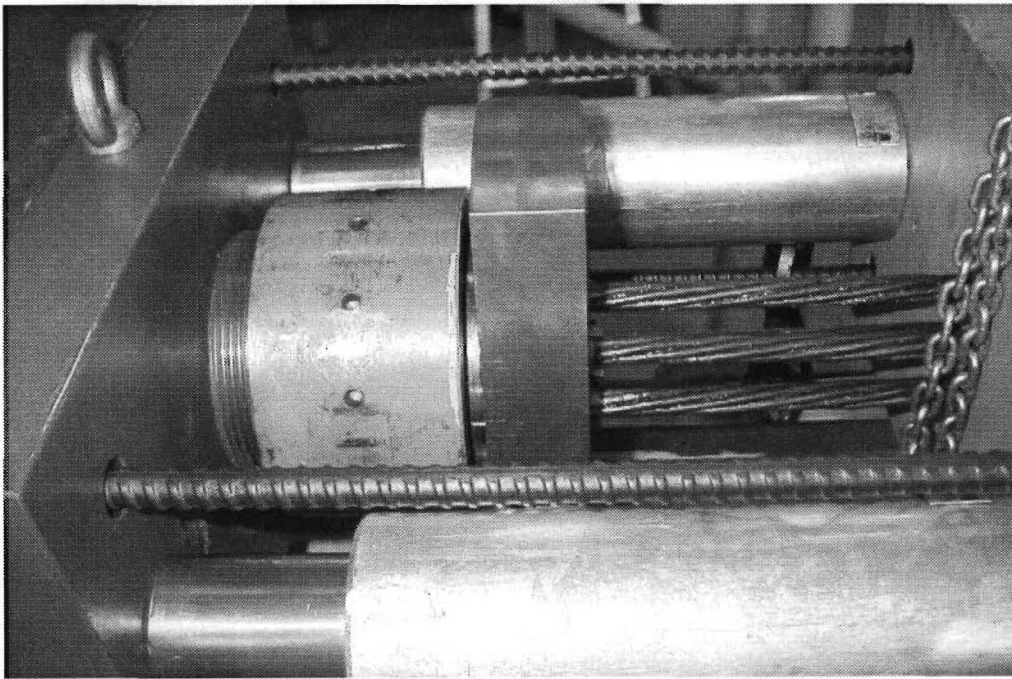


Bild 3.7: Verankerungsbereich der Spannglieder mit Tandempresse und Gewindebüchse

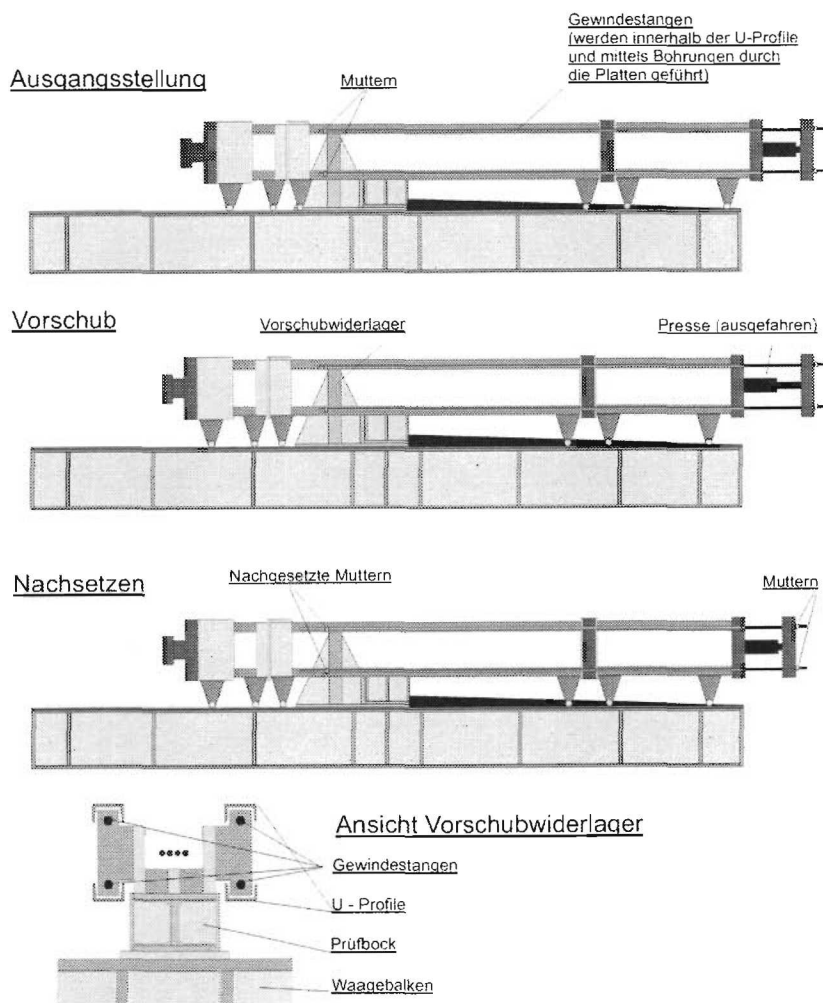


Bild 3.8: Vorschub der Kleinmodellversuchsanlage

3.2 Versuchsdurchführung

3.2.1 Versuche mit planmäßiger Umlenkung in der Kleinmodellversuchsanlage

An jeder eingebauten Spanngliedprobe wurden im Regelfall drei Versuche durchgeführt, zwei Versuche ohne Simulation des Ziehweges und ein Versuch mit Simulation des Ziehweges. Zunächst wurde der Spannrahmen mit dem vorgespannten Spannglied in die Ausgangsstellung verschoben, so dass ein möglichst weit am Ende der Spanngliedprobe liegender Bereich auf dem Prüfsattel zu liegen kam. Nach Beendigung des Versuches wurde die Probe um etwa 40 cm verschoben und ein zweiter Bereich des Spanngliedes getestet. Für den dritten Versuch wurde der Spannrahmen erneut um etwa 40 cm verschoben und das Spannglied mit Ausnahme des dann über dem Prüfsattel liegenden Bereiches von der PE-Ummantelung befreit. Als Ziehweg standen danach die etwa 80 cm Litzenlänge ohne PE-Ummantelung zur Verfügung, die der Spannrahmen zurück in die Ausgangsstellung geschoben werden konnte.

Die Querdruckbeanspruchung wurde bei der Versuchsserie A handgesteuert innerhalb einiger Sekunden aufgebracht. Ab der Versuchsserie B erfolgte die Querdruckbeanspruchung computergeregelt mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 1 kN/s. Zur Messung der elastischen Verformung während des Versuches wurden bis zu vier Wegaufnehmer angebracht, die gemeinsam mit der Prüfkraft über ein Vielstellenmessgerät UGR 60 der Firma Hottinger-Baldwin elektronisch aufgezeichnet wurden. Die Belastung wurde mehrere Stunden konstant gehalten, bis der größte Teil der zeitabhängigen Verformungen erfolgt war.

Um die Verformung von innerer und äußerer Schutzhülle während des Versuches direkt messen zu können, wurden bei einigen Versuchen die oberen Schutzhüllen entfernt, so dass die Prüflast direkt auf die Oberseite der stählernen Litzen aufgebracht wurde und die Wegaufnehmer die Gesamtverformung jeweils einer inneren und äußeren Hülle anzeigten (Bild 3.10).



Bild 3.9: Steuerpult der Schenck PSB-1000 mit Vielstellenmessgerät



Bild 3.10: Spanngliedprobe in Versuchseinrichtung (obere PE-Schutzhüllen entfernt)

3.2.2 Versuche mit erhöhter Temperatur

Die Versuche mit erhöhter Temperatur fanden an etwa 20 cm langen Spanngliedproben in einem temperierten Wasserbecken statt. Die gewünschte Wassertemperatur wurde mit einer elektronisch geregelten Heizwendel in einem zweiten Wasserbecken, das in einem Kreislaufsystem mit dem Wasserbad der Spanngliedprobe verbunden war, auf $\pm 0,5^\circ\text{C}$ konstant gehalten (Bild 3.11). Um die Formstabilität der Stahllitzen, die aufgrund des umgebenden Wasserbeckens nicht vorgespannt werden konnten, sicherzustellen, wurden jeweils an den Litzenenden passgenaue Einfädelhülsen aufgeschoben, die ein Ovalisieren der Litze oder ein Auseinanderfallen der Litzendrähte wirksam verhinderten (Bild 3.12).

3.2.3 Versuche zum zeitabhängigen Materialverhalten

Die Versuche zum zeitabhängigen Materialverhalten fanden ebenfalls an etwa 20 cm langen Spanngliedproben mit aufgesetzten Einfädelhülsen in Kriechversuchsständen des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen statt (Bild 3.13). Der für die Belastung erforderliche Öldruck wurde mittels eines Stickstoffpolsters konstant gehalten. Die Kontrolle der Kraft erfolgte mit einer Druckmessdose und einem Mk-Gerät der Firma Hottinger-Baldwin-Messtechnik. Die Belastung wurde in etwa 1s aufgebracht, um auch Kurzzeitverformungen mit zu erfassen. Die Verformungsmessungen wurden mit Messuhren durchgeführt und von Hand aufgezeichnet. Die Dauer der Versuche betrug mindestens 21 Tage.

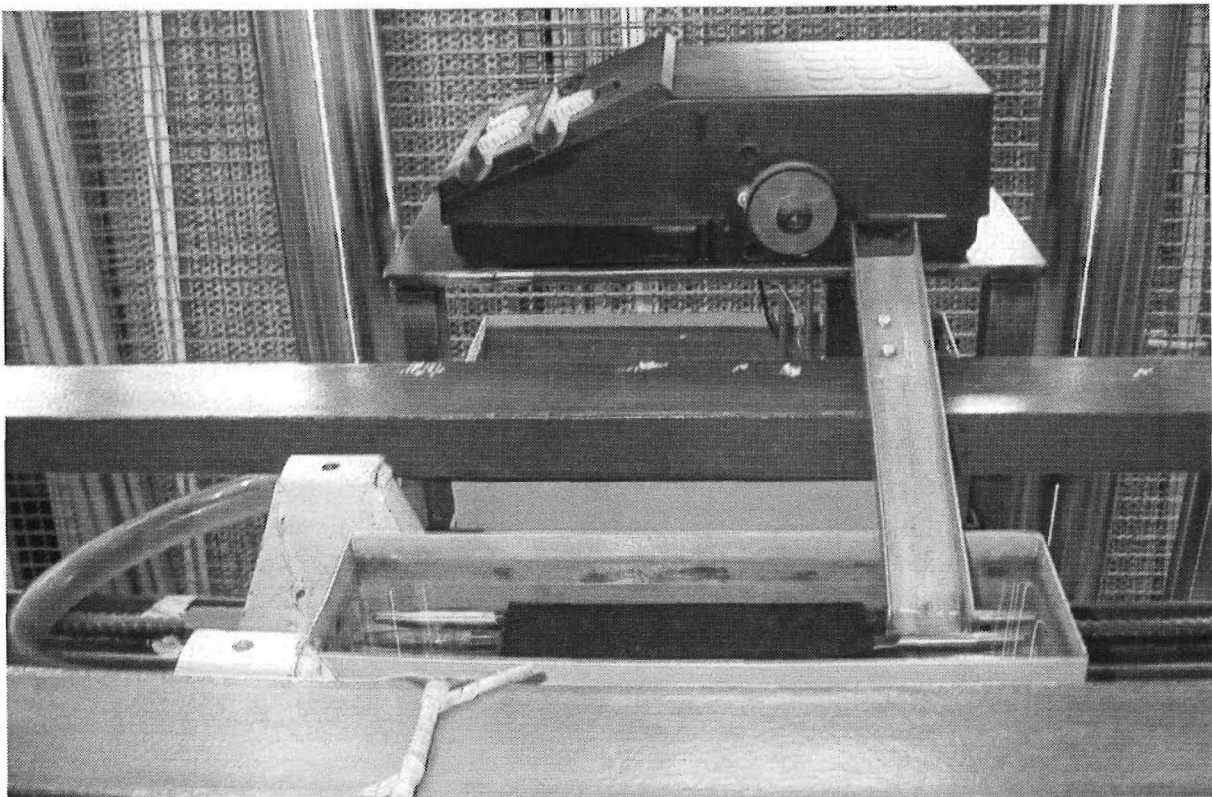


Bild 3.11: Spanngliedprobe im Wasserbad (vorne) und Temperiereinrichtung



Bild 3.12: Spanngliedprobe mit aufgeschobenen Einfädelhülsen

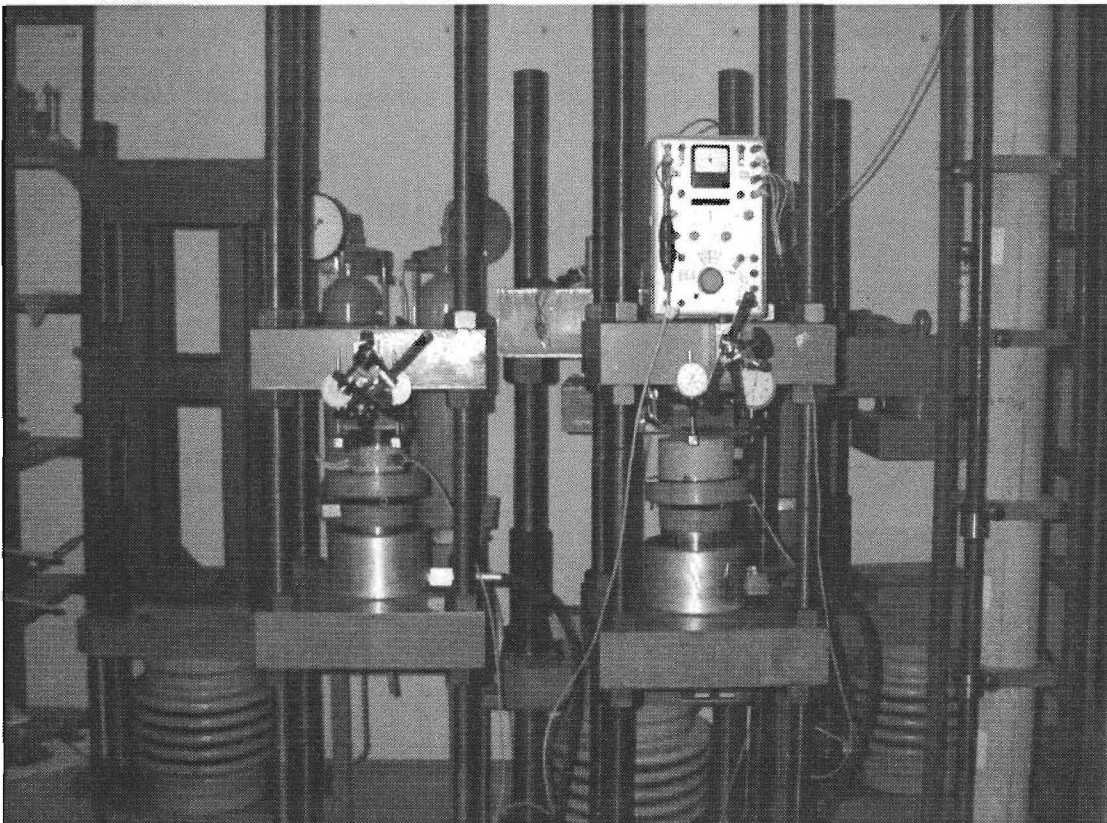


Bild 3.13: Kriechprüfstände

3.2.4 Auswertung der Versuche

Die Auswertung der Versuche erfolgt einerseits an den im Versuch gemessenen Last-Verformungskurven und den Zeit-Verformungskurven sowie andererseits an den nach Beendigung des Versuches ermittelten Restwanddicken der Schutzhüllen, wobei die Restwanddicken das Hauptkriterium für die Bewertung darstellen.

3.3 Versuchsprogramm

3.3.1 Untersuchte Parameter

Die untersuchten Parameter des Versuchsprogramms zeigt Tabelle 3.1. In Kapitel 4 werden die maßgebenden Einflüsse auf die Größe der Restwanddicke diskutiert. Alle Versuche fanden auf Grundlage eines 3.000 kN Spanngliedes statt, das in der Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern [1] als größtmöglicher Spanngliedtyp festgelegt wurde. Die Umlenkpressungen wurden auf der Basis von vier aufeinander liegenden Litzen berechnet. Bei Bandspanngliedern entspricht dies der tatsächlichen Umlenkpressung, wenn vier Bänder übereinander gelegt werden. Bei Verfahren, bei denen sich die Litzen im Umlenkbereich in einem Hüllrohr frei anordnen, ist die Umlenkpressung abhängig von Hüllrohrdurchmesser und Füllungsgrad. Die gewählte Umlenkpressung ergibt sich bei dem in Deutschland zugelassenen Typ in etwa der gleichen Größe.

Parameter
Größe der Umlenkpressung
Dicke der PE-Ummantelung
PE-Unterlagen verschiedener Dicke
Querdehnungsbehinderung
Zwickelverfüllung
innere / äußere Gleitung
Langzeitverhalten
Spanndrähte
Temperatur
kleine Umlenkung (Ziehen über einen Knick)

Tabelle 3.1: Untersuchte Parameter

3.3.2 Gewählte Umlenkpressungen

Die Umlenkpressungen u ergeben sich aus der gewählten Vorspannkraft P und dem Umlenkradius R nach der Kesselformel zu:

$$u = \frac{P}{R} \quad (3.1)$$

Bei einem 3.000 kN Spannglied, das aus 16 Litzen mit $A_p = 150 \text{ mm}^2$ besteht und mit dem Radius $R = 4 \text{ m}$ umgelenkt wird, ergibt sich die Umlenkkraft pro Litze u_i zu:

$$u_i = \frac{1}{n} \cdot \frac{P}{R} = \frac{1}{16} \cdot \frac{3000}{4,0} = 46,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (3.2)$$

Bezogen auf einen Umlenkabschnitt der Länge $l = 20 \text{ cm}$ und der Umlenkpressung in der Grenzschicht zwischen der zuunterst liegenden Litze und der PE-Ummantelung ergibt sich bei Anordnung von vier Litzen in der untersten Lage und vier Lagen übereinander eine Gesamtquerbelastung Q von:

$$Q = 4 \cdot 4 \cdot u_i \cdot 0,2 = 150 \text{ kN} \quad (3.3)$$

Bei den Versuchen mit Drahtspanngliedern ergibt sich die gleiche Umlenkkraft als Wirkung auf alle Drähte.

3.3.3 Versuchsserien

3.3.3.1 Serie A

Bei den Spanngliedproben der Serie A handelt es sich um Litzenspannglieder, die als Spannbänder mit einer inneren und einer äußeren Schutzhülle ausgebildet sind (Bild 3.14). Die gemessenen Ausgangswanddicken der Schutzhüllen können Bild 3.15 entnommen werden. Die Stahllitzen besitzen eine Querschnittsfläche von $A_p = 150 \text{ mm}^2$ bei einer Stahlgüte von St 1570/1770.



Bild 3.14: Spanngliedprobe A

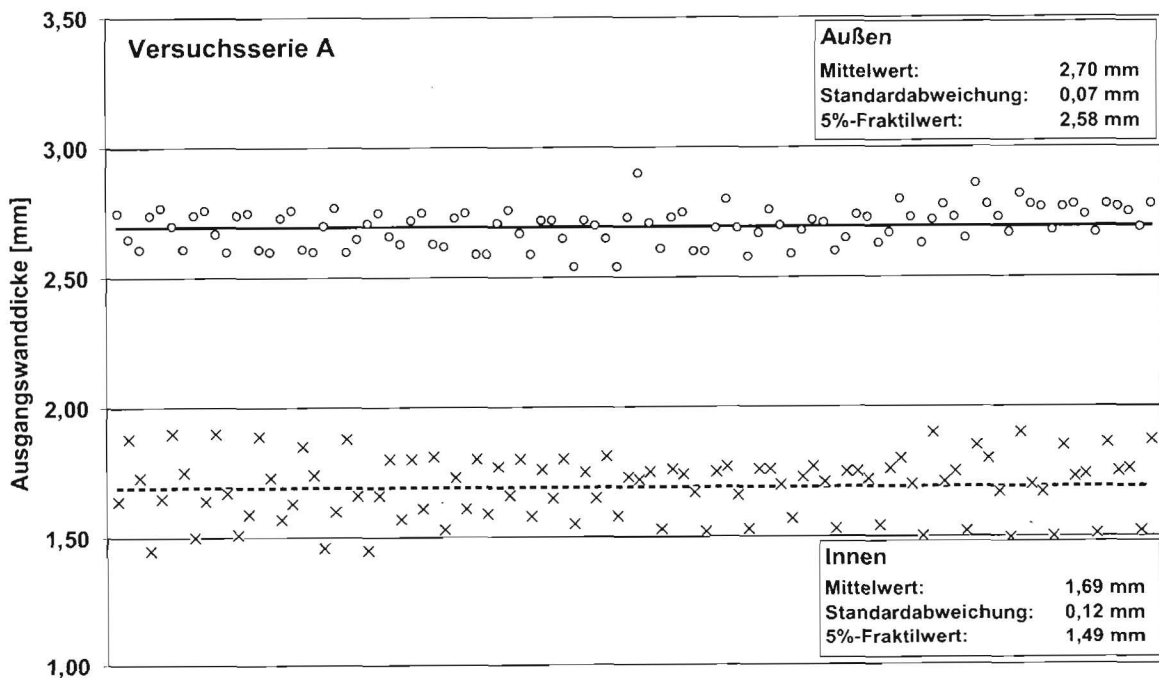


Bild 3.15: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie A)

3.3.3.2 Serie B

Die Spannglieder der Versuchsserie B basieren auf den Spanngliedern der Versuchsserie A. Sie bestehen ebenfalls aus einer äußeren und einer inneren Hülle. Zusätzlich sind in die sich ergebenden Zwickel der Monolitzen Dreieckleisten aus HDPE eingelegt (Bild 3.16). Die gemessenen Ausgangswanddicken sind in Bild 3.17 zusammengestellt.



Bild 3.16: Spanngliedprobe B

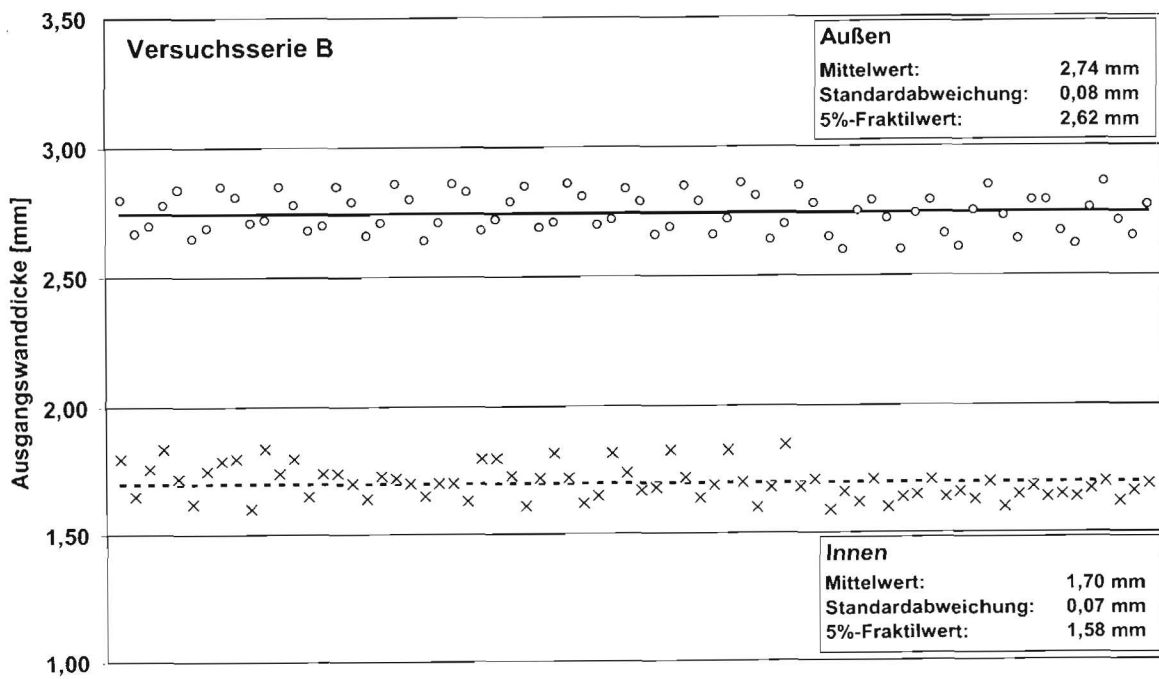


Bild 3.17: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie B)

3.3.3.3 Serie C

Die Spanngliedproben der Serie C entsprechen denen der Serie A, sie besitzen jedoch eine etwas dickere äußere Schutzhülle. Die gemessenen Ausgangswanddicken können Bild 3.18 entnommen werden.

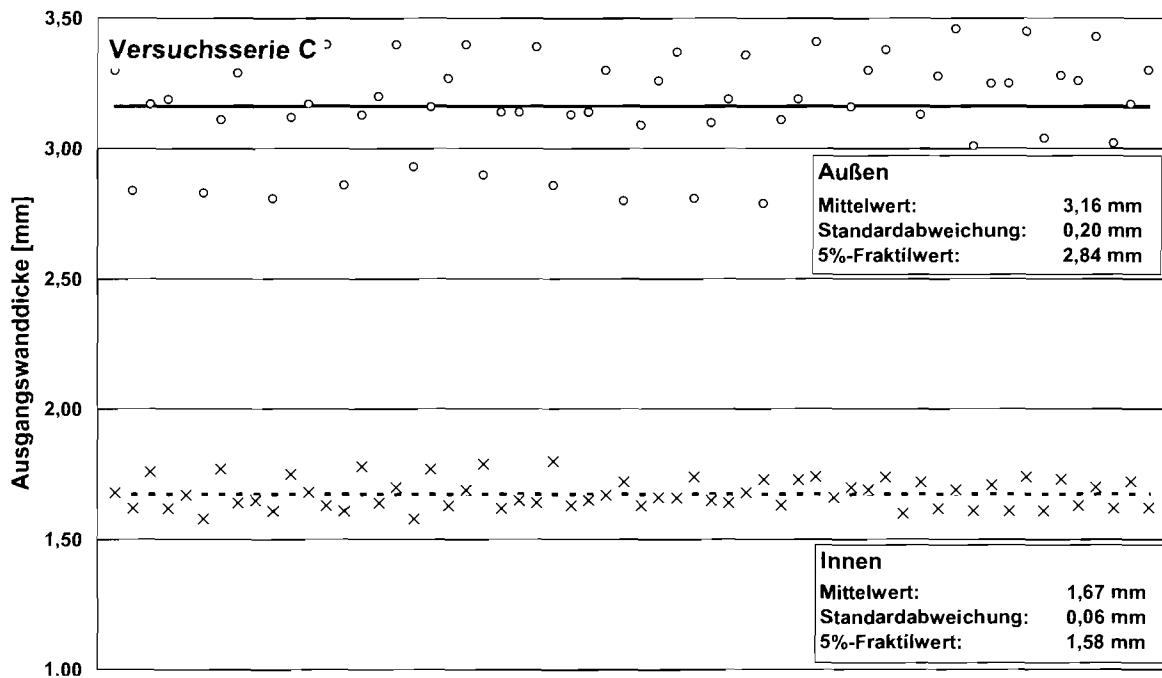


Bild 3.18: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie C)

3.3.3.4 Serie CI

Für die Versuche der Serie CI kamen Litzen Spannglieder zur Anwendung, die auf Kompaktlitzen basieren. Hierbei werden die gezogenen und zur Litze gedrehten Drähte nochmals durch eine runde Form gezogen, wodurch sich bei gleichem Außendurchmesser ($\varnothing = 15,7$ mm) die Querschnittsfläche von 150 mm^2 auf 165 mm^2 erhöht. Die außenliegenden Drähte erhalten eine abgeplattete Kontur (Bild 3.19). Bei den verwendeten Spanngliedproben wurde eine innere und eine äußere Schutzhülle angeordnet, deren Ausgangswanddicken in Bild 3.20 zusammengestellt sind.

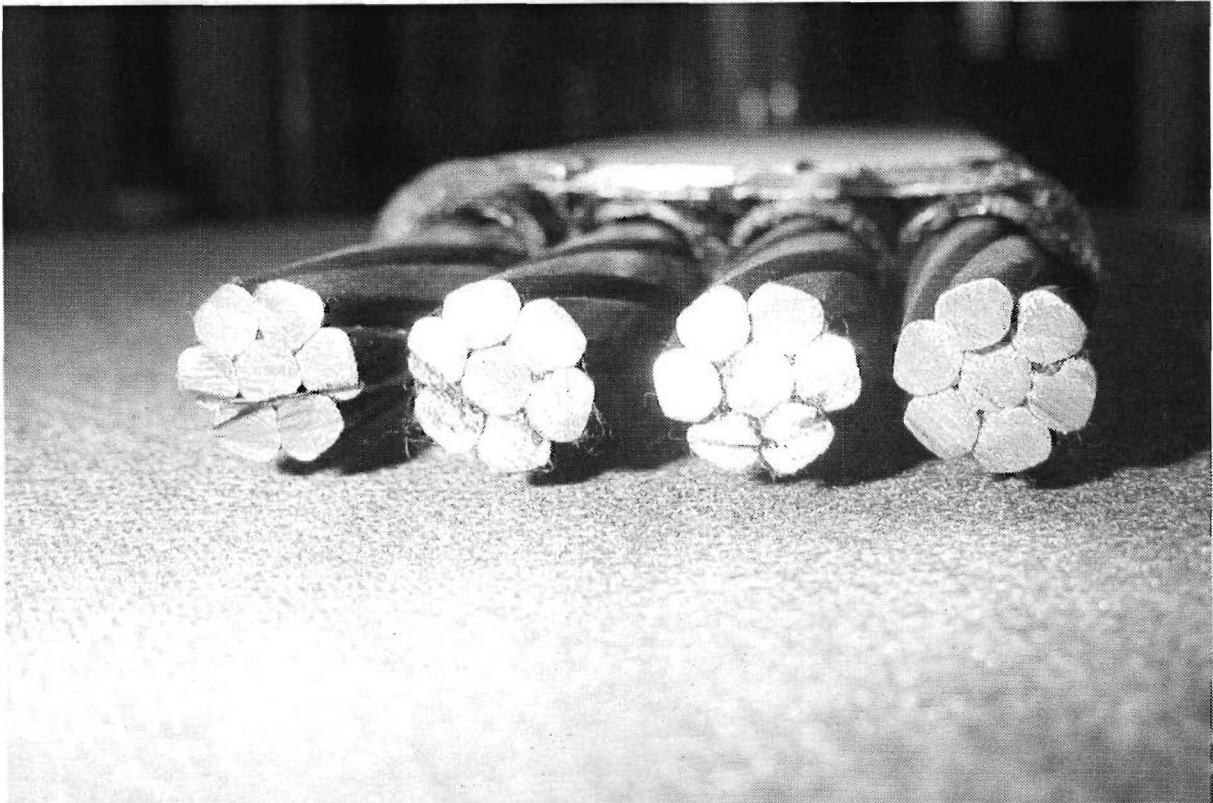


Bild 3.19: Kompaktlitzen

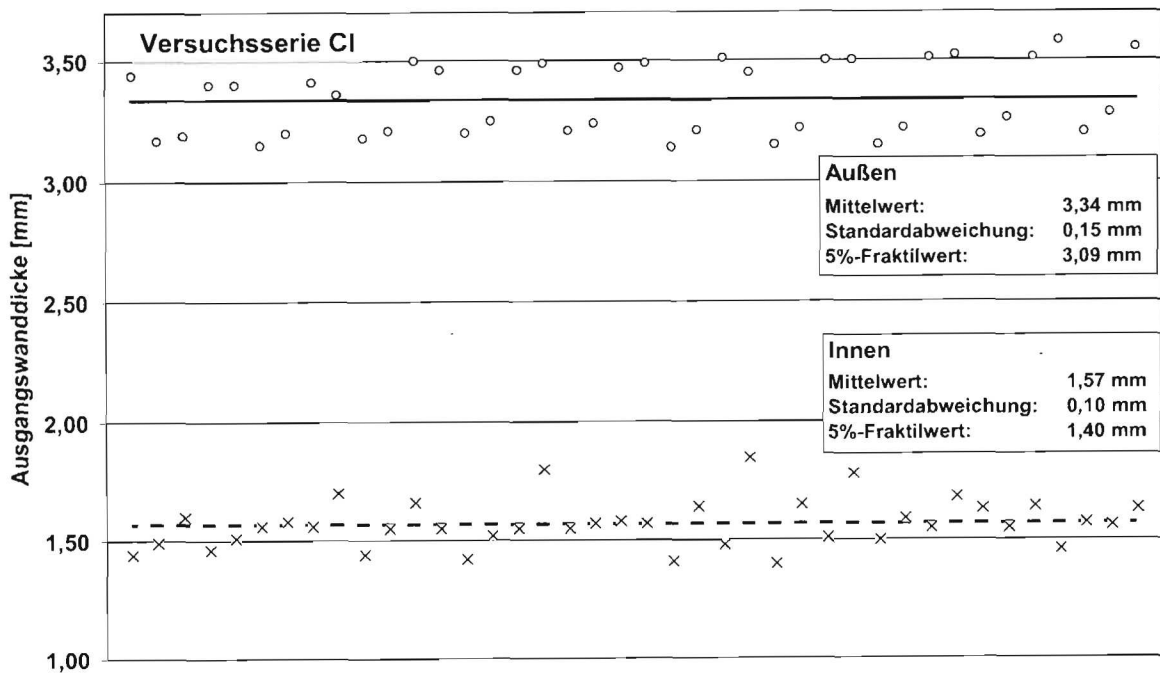


Bild 3.20: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie CI)

3.3.3.5 Serie D

Die Spanngliedproben der Serie D bestehen aus Monolitzen mit $A_p = 150 \text{ mm}^2$ und einer inneren Schutzhülle von vergleichbarer Dicke wie die der Serien A – C. Eine äußere Schutzhülle wurde nicht vorgesehen. Die Kennwerte sind in Bild 3.21 zusammengestellt.

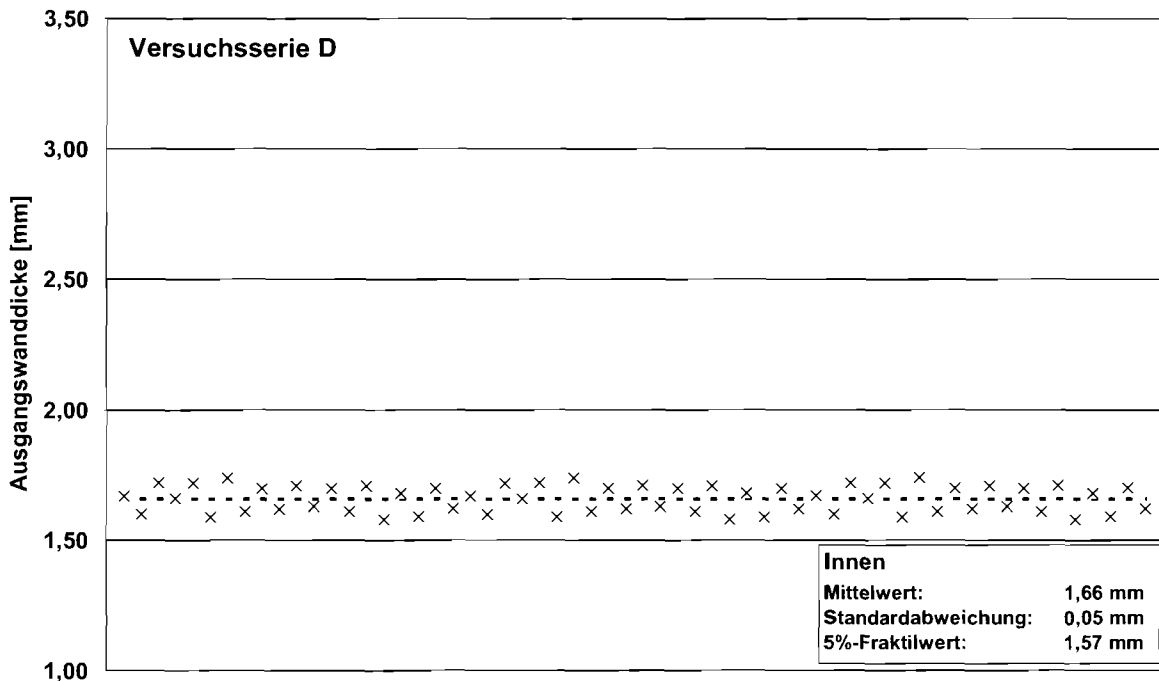


Bild 3.21: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie D)

3.3.3.6 Serie E

In der Serie E wurden Monolitzen mit einer doppelt extrudierten PE-Ummantelung geprüft. Bei der untersuchten Charge lag die einfach extrudierte Monolitze ausmittig in der äußeren Schutzhülle, so dass die Messungen der äußeren Wanddicke stark unterschiedliche Ergebnisse zeigten. Die Ausgangswanddicken der inneren Schutzhülle zeigen eine gleichmäßige Dicke über den gesamten Umfang (Bild 3.22).

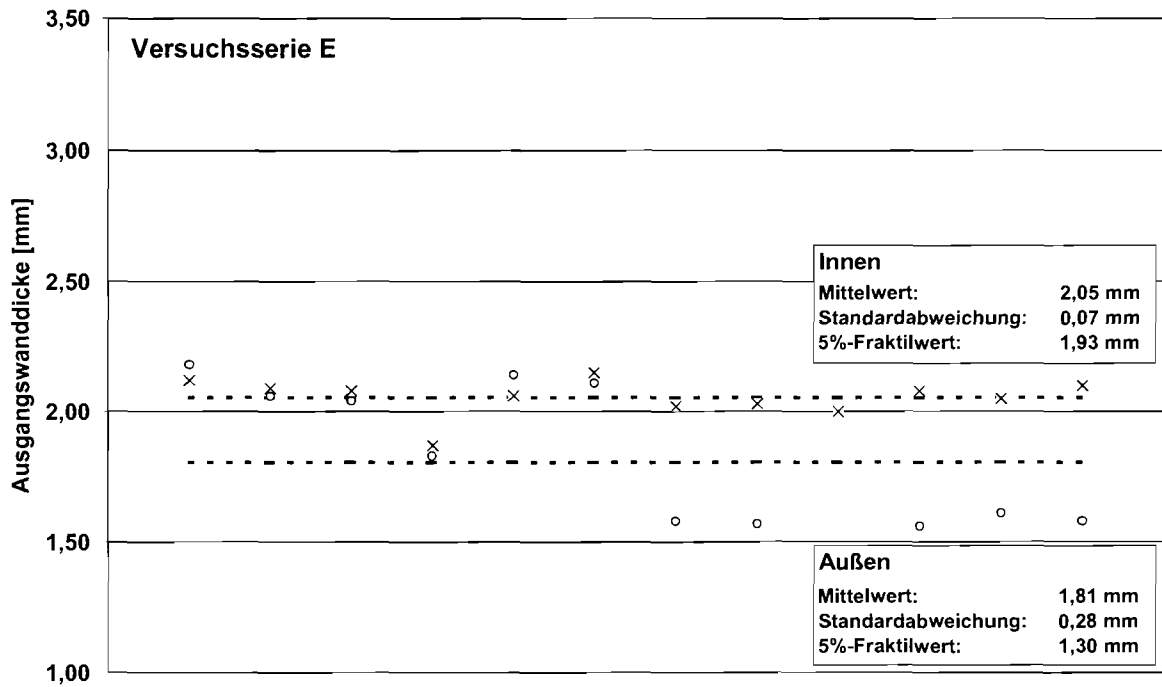


Bild 3.22: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie E)

3.3.3.7 Serie F

Zur Untersuchung der Eindrückvorgänge bei Drahtspanngliedern wurde Versuchsserie F durchgeführt. Simuliert wurde ein Spannglied mit 66 Spanngliedern und einem Hüllrohrdurchmesser von 90 mm. Die gemessenen Wanddicken des Hüllrohres sind in Bild 3.23 dargestellt.

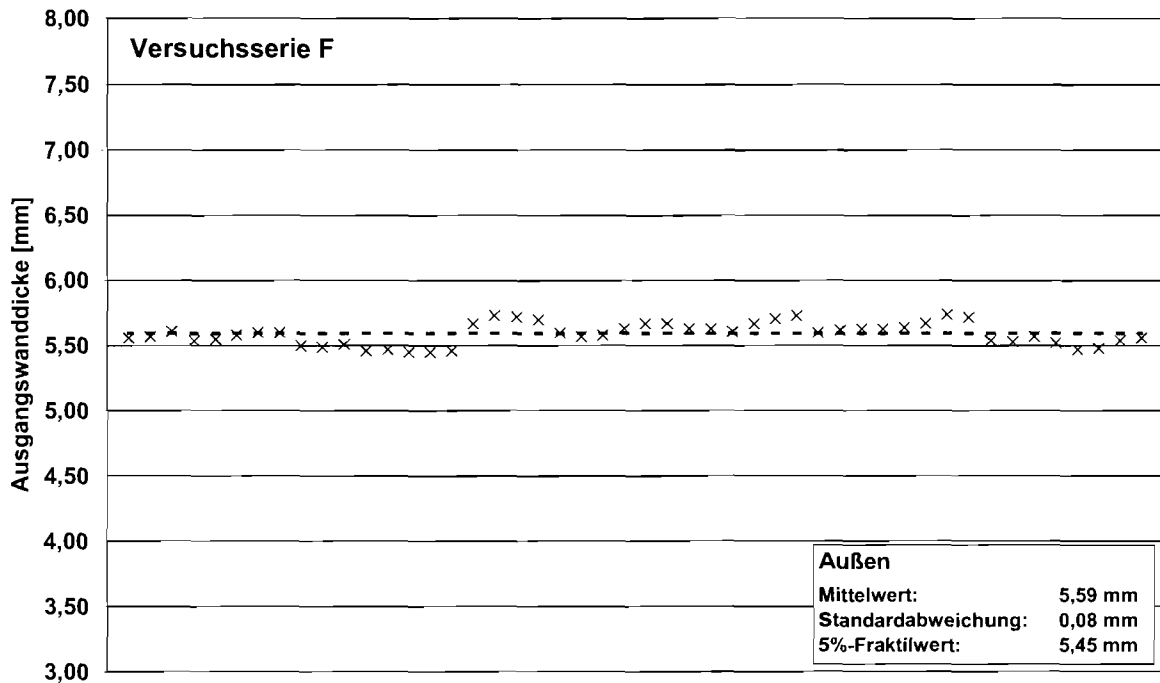


Bild 3.23: Gemessene Ausgangswanddicken der Schutzhüllen (Serie F)

3.3.3.8 Serie G

In Serie G wurden die Spannglieder einer ungewollten Umlenkung von 2° ausgesetzt. Zur Anwendung kamen Spannglieder der Serie A.

3.3.3.9 Serie L

Die Versuche zum zeitabhängigen Materialverhalten der Serie L wurden mit Spanngliedproben der Versuchsserie C durchgeführt. Untersucht wurden die Umlenkradien $R = 4$ m und $R = 6$ m.

3.3.3.10 Serie T

In der Versuchsserie T wurden Untersuchungen zur Wirkung von erhöhten Temperaturen auf das Eindruckverhalten von Litzenspanngliedern in Polyethylen durchgeführt. Untersucht wurden Spanngliedproben aus der Versuchsserie A sowie der Versuchsserie C, die sich im wesentlichen nur in der Dicke der äußeren Schutzumhüllung unterscheiden. Die Versuche fanden an 20 cm langen Spanngliedproben statt (Kapitel 3.2.2). Untersucht wurden die Temperaturen 20°C , 30°C , 40°C und 45°C , jeweils mit Umlenkradien der Spannglieder von $R = 4$ m und $R = 6$ m.

3.4 Kugeleindruckversuche / Qualitätskontrolle

3.4.1 Allgemeines

Der Widerstand eines Materials gegenüber dem Eindringen eines festen Körpers wird als dessen Härte bezeichnet. Zur Messung der Härte eines Materials gibt es verschiedene Verfahren, die in Bild 3.24 schematisch zusammengestellt sind und sich hinsichtlich der Prüfbedingungen unterscheiden. Gemeinsam ist allen Messverfahren, dass bei einer vorgegebenen Kraft die Tiefe der Eindrückung eines bestimmten geometrisch definierten harten Körpers in das zu prüfende Material gemessen wird.

Die Härte des für die Schutzhüllen von Spanngliedern verwendeten Kunststoffes bestimmt maßgeblich die Größe der Eindrückung von Spannstählen in die umgebenden Korrosionsschutzhüllen. Zur Beurteilung des Kunststoffmaterials in Bezug auf seine Eignung für diesen Fall ist ein kugelförmiger oder zylindrischer Eindringkörper besonders geeignet, weil dadurch die abgerundete Spannstahlform von Litzendrähten oder glatten Spanndrähten berücksichtigt wird. In EN ISO 2039-1 ist ein Kugeleindruckversuch zur Härteprüfung von Kunststoffen genormt. Er entspricht weitgehend dem in der Metallprüfung bekannten Vorgehen zur Ermittlung der Brinellhärte. Bei Kunststoffen wird jedoch die Eindrücktiefe unter der Belastung gemessen und nicht wie bei Metallen die Eindrücktiefe nach Entlastung.

Grundprinzip			
Bewegungsrichtung			
Belastungsrichtung			
Größe der Belastung			
Größe der Geschwindigkeit			
Zeitpunkt der Messung bzw. Beurteilung	unter Belastung	sowie nach Entlastung	unter Belastung
Grundform der Eindringkörper			
Meßwert bzw. Beurteilungskriterium			
zugrunde gelegter "Hartebegriff"	Widerstand gegen ortl. inhomogene Verformung	Widerstand gegen Zerspanung	Widerstand gegen Abrollvorg.

Bild 3.24: Schematische Übersicht über Härteprüfungen [9]

3.4.2 Versuchsaufbau und –durchführung

Das Verfahren des Kugeleindruckversuchs besteht darin, eine Kugel unter einer bestimmten Prüfkraft in die Oberfläche des Probekörpers zu drücken. Die Kugeldruckhärte ergibt sich aus dem Quotienten von aufgebrachter Prüfkraft und der aus der unter Belastung gemessenen Eindringtiefe berechneten Oberfläche des Eindrucks.

Die Versuchseinrichtung besteht im Wesentlichen aus einem möglichst steifen Gestell mit einer waagerechten Auflagerplatte (Auflagertisch) sowie einer Vorrichtung, um auf den Eindruckkörper eine definierte Kraft aufzubringen und dessen Verschiebung zu messen (Bild 3.25). Der Eindruckkörper wird durch eine polierte Stahlkugel mit einem Durchmesser von 5,0 mm gebildet. Als Probekörper soll eine glatte, ebene Platte von ausreichender Größe, z.B. 50 mm x 50 mm, und einer empfohlenen Dicke von 4 mm verwendet werden.

In einem Vorversuch, der in [3] ausführlich beschrieben wird, wird zunächst die Aufbiegung des Gestells unter der gewählten Prüfkraft ermittelt, um sie bei der Verformungsmessung berücksichtigen zu können. Beim eigentlichen Versuch wird eine Vorlast von 9,8 N auf den Eindruckkörper aufgebracht. Anschließend erfolgt die Belastung mit der Prüflast, die innerhalb von 2-3 Sekunden aufzubringen ist. Für die Prüfung nach Norm sind vier verschiedene Prüflasten vorgesehen (49 N, 132 N, 358 N, 961 N). Die Prüfkraft wird so ausgewählt, dass die Eindringtiefe zwischen 0,15 und 0,35 mm liegt.

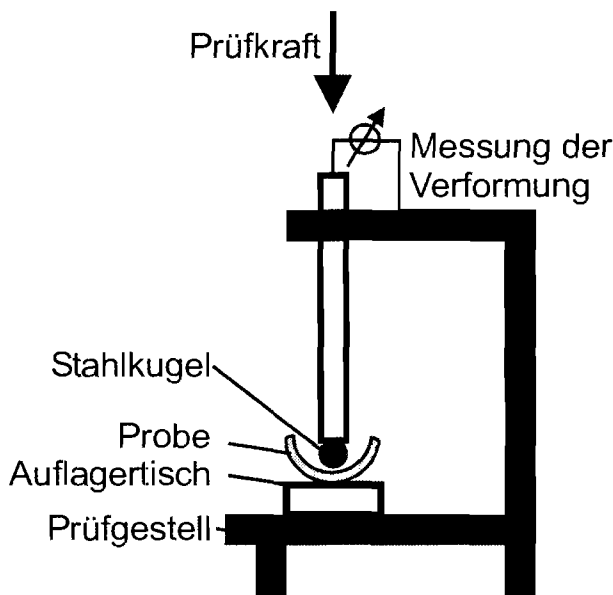


Bild 3.25: Schema der Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Kugeldurckhärte an Monolitzenmänteln

Nach 30 Sekunden dauernder Belastung wird die Eindringtiefe abgelesen und daraus die Kugeldruckhärte berechnet. Dafür wird zunächst eine reduzierte Prüfkraft nach Gleichung (3.4) ermittelt und anschließend die Kugeldruckhärte nach Gleichung (3.5) bestimmt.

$$F_r = F_m \cdot \frac{0,21}{(h - h_r) + 0,21} \quad (3.4)$$

mit

F_m	die Prüfkraft auf den Eindringkörper [N]
h_r	die reduzierte Eindringtiefe (= 0,25 mm)
h_1	Die Eindringtiefe unter Belastung des Eindringkörpers mit der Prüfkraft [mm]
h_2	die Aufbiegung des Gestelles unter der Wirkung der Prüfkraft [mm]
h	= $h_1 - h_2$, die Eindringtiefe unter Berücksichtigung der Aufbiegung des Gestelles [mm]

$$H = \frac{1}{5\pi} \cdot \frac{F_r}{h_r} \quad (3.5)$$

mit

H	Kugeldruckhärte [N/mm ²]
F_r	reduzierte Prüfkraft [N]
h_r	reduzierte Eindringtiefe [mm]

3.4.3 Bedeutung der Kugeldruckhärte für die Qualitätskontrolle von Spanngliedern

Aufgrund der Ähnlichkeit der Beanspruchung zwischen Kugeleindruckversuch und den Eindrückvorgängen von Spannstahl in die Korrosionsschutzhüllen erscheint dieser Versuch geeignet, um ihn in der Qualitätskontrolle der verwendeten Polyethylenschutzhüllen einzusetzen. Dabei sollte folgendes berücksichtigt werden:

- (1) Streuung der Messwerte

Die gemessenen Kugeleindruckhärten sind nur statistisch, d.h. mit Mittelwert und Standardabweichung zu beurteilen, da das Einzelergebnis deutlich vom Mittelwert abweichen kann und nicht zwangsläufig auf einen Fehler im Material hinweist. Für die Beurteilung sollte daher kein Mindestwert sondern ein Mittelwert und eine Streubreite angegeben werden.

- (2) Die Härtemessungen lassen nur ungefähre Rückschlüsse auf andere mechanische Eigenschaften zu

In Bild 3.26 ist der Zusammenhang zwischen Kugeldruckhärte und E-Modul verschiedener Kunststoffe aufgetragen. Hierbei wird deutlich, dass kein funktionaler Zusammenhang zwischen Härte und E-Modul besteht sondern nur eine mehr oder weniger ausgeprägte Korrelation.

(3) Die Ergebnisse der Härtemessungen sind von der Dicke der Proben abhängig

Aufgrund des ausgeprägt viskoelastischen Materialverhaltens sowie der großen elastischen Rückverformung von Kunststoffen erfolgt beim Kugeleindruckversuch die Messung der Eindringtiefe unter Belastung. Die gemessene Verformung setzt sich zusammen aus der eigentlichen Eindrückung der Kugel in das Material, der Aufbiegung des Gestells sowie der Zusammendrückung des Materials unterhalb der Kugel, die von der Probendicke abhängig ist (Bild 3.27). Dickere Proben ergeben größere Verformungen und kleinere Härtewerte als dünnere Proben. Die gemessenen Kugeldruckhärten von PE-Schutzhüllen lassen sich daher nur untereinander, nicht jedoch mit aus der Literatur bekannten Werten vergleichen.

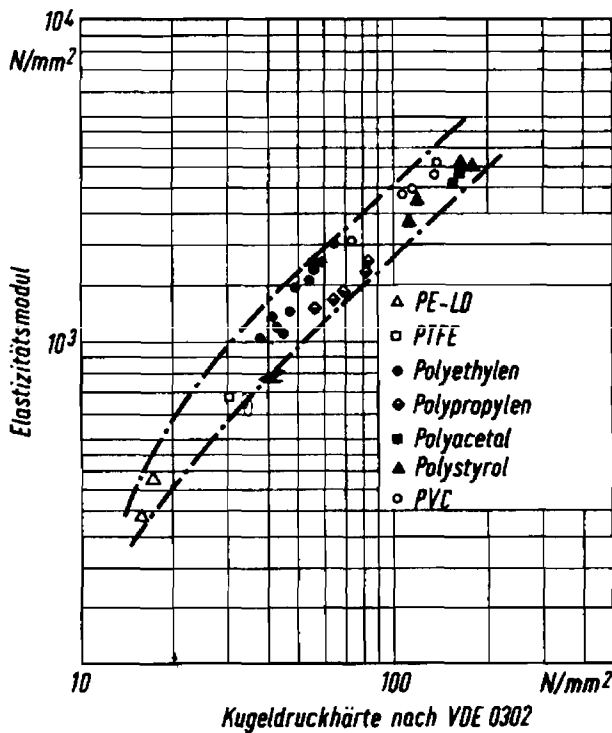


Bild 3.26: Zusammenhang von Kugeldruckhärte und Elastizitätsmodul bei Kunststoffen [10]

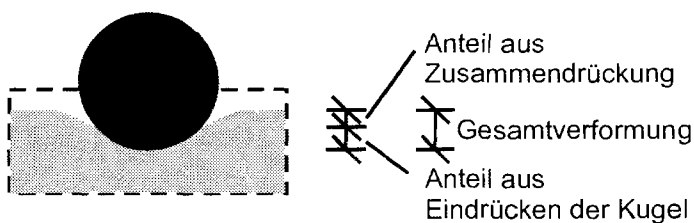


Bild 3.27: Gemessene Verformungsanteile beim Kugeleindruckversuch

Nachfolgend soll untersucht werden, ob der Kugeleindruckversuch auch bei von der Norm abweichenden Prüfbedingungen hinsichtlich der Probenform (runde Monolitzenmäntel an-

stelle ebener Kunststoffplatten) und Probendicke (kleiner 2 mm anstelle von 4 mm) reproduzierbare und aussagekräftige Ergebnisse liefert.

3.4.4 Eigene Versuche und Versuchsergebnisse

Die Messungen an halbierten Monolitzenmänteln wurden auf einem ebenen Auflagertisch durchgeführt. Die Proben wurden so angeordnet, dass der Kugeleindruck direkt im untenliegenden Scheitel der gebogenen Monolitzenmäntel aufgebracht wurde, um eine zusätzliche Verformung der Schutzhülle auszuschließen.

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse wurden zwei Messreihen an der gleichen Spanngliedprobe an unterschiedlichen Stellen durchgeführt. Hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung von Mittelwert und Standardabweichung (Bild 3.28). Den Einfluss der Probendicke auf die gemessene Kugeldruckhärte verdeutlicht Bild 3.29. Die Messungen fanden an der gleichen Probe statt, die mit verschieden dicken Polyethylenstreifen unterlegt wurde.

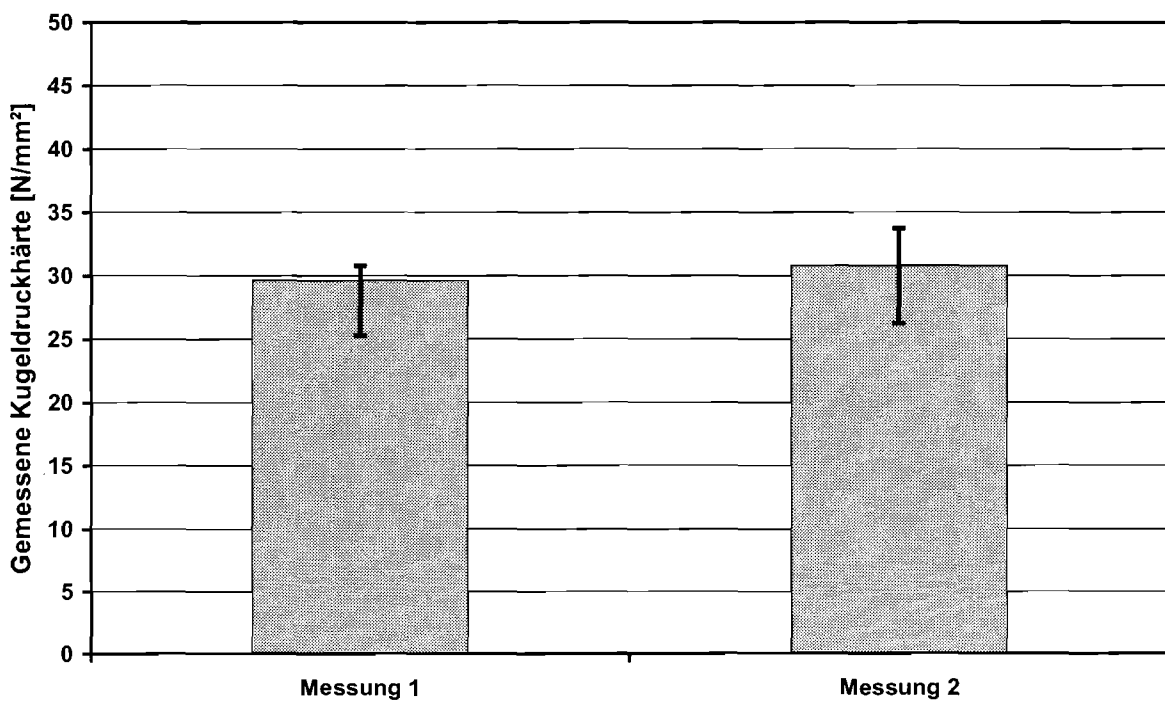


Bild 3.28: Gemessene Kugeldruckhärten bei zwei unabhängigen Messungen an der gleichen Probe

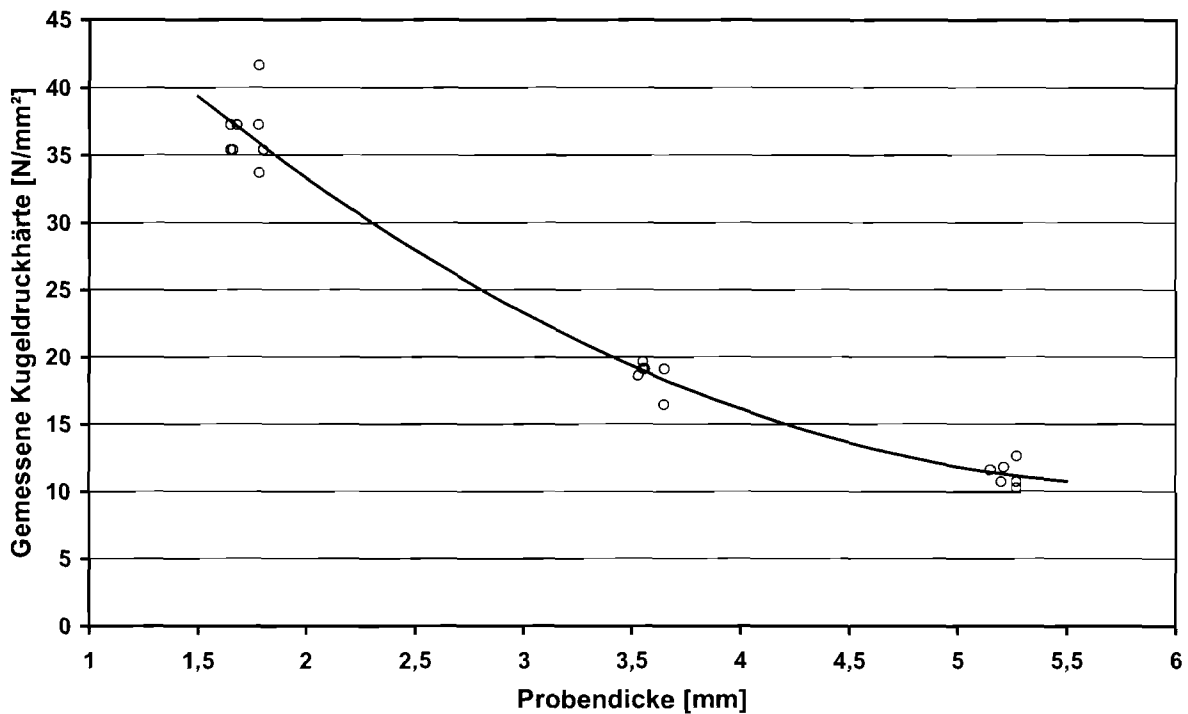


Bild 3.29: Einfluss der Probendicke auf die gemessene Kugeldruckhärte

Untersuchungen an verschiedenen äußeren Schutzhüllen (Schutzhülle 2) sowie Futterplatten aus HDPE zeigen, dass sich die Kugeleindruckhärten unterscheiden, obwohl alle untersuchten Elemente des Spanngliedes aus HDPE hergestellt sind. Während der Unterschied zwischen äußerer und innerer Schutzhülle (Schutzhülle 1) nur gering ausfällt, weisen die Futterplatten deutlich größere Kugeldruckhärten auf. Der Kugeleindruckversuch ist also zur genauen Identifizierung des Materials geeignet.

Der Vergleich der Kugeldruckhärten verschiedener Monolitzenmäntel der Spanngliedserie B (einfach extrudierter Monolitzenmantel) und Spanngliedserie E (doppelt extrudierter Monolitzenmantel) zeigt keinen systematischen Unterschied der verwendeten Materialien trotz größerer Streuungen bei der Untersuchung des doppelt extrudierten Mantels, die auf den komplexeren Herstellprozess zurückgeführt werden können (Bild 3.31). Die Untersuchung der Monolitzenmäntel verschiedener Monolitzen, die in einem Band zusammengefasst waren, zeigt dagegen deutlich zwei verschiedene Materialhärten (Bild 3.32), die auf Streuungen im Ausgangsmaterial hindeuten.

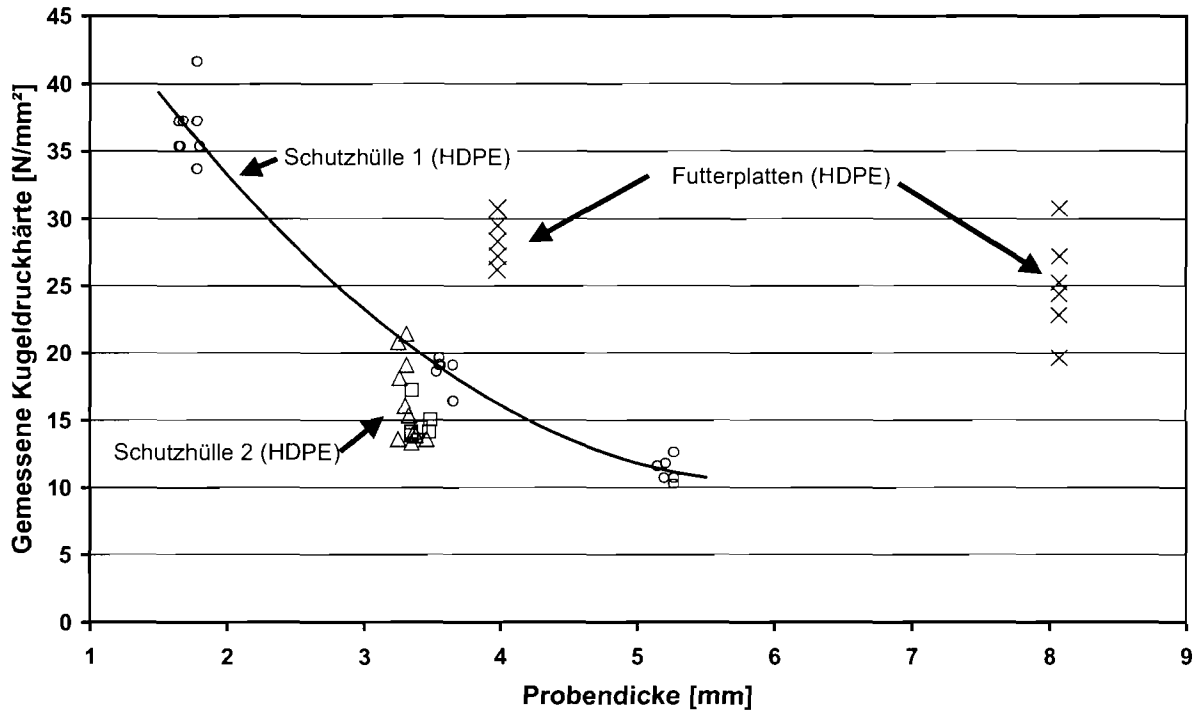


Bild 3.30: Kugeldruckhärten verschiedener HDPE-Proben

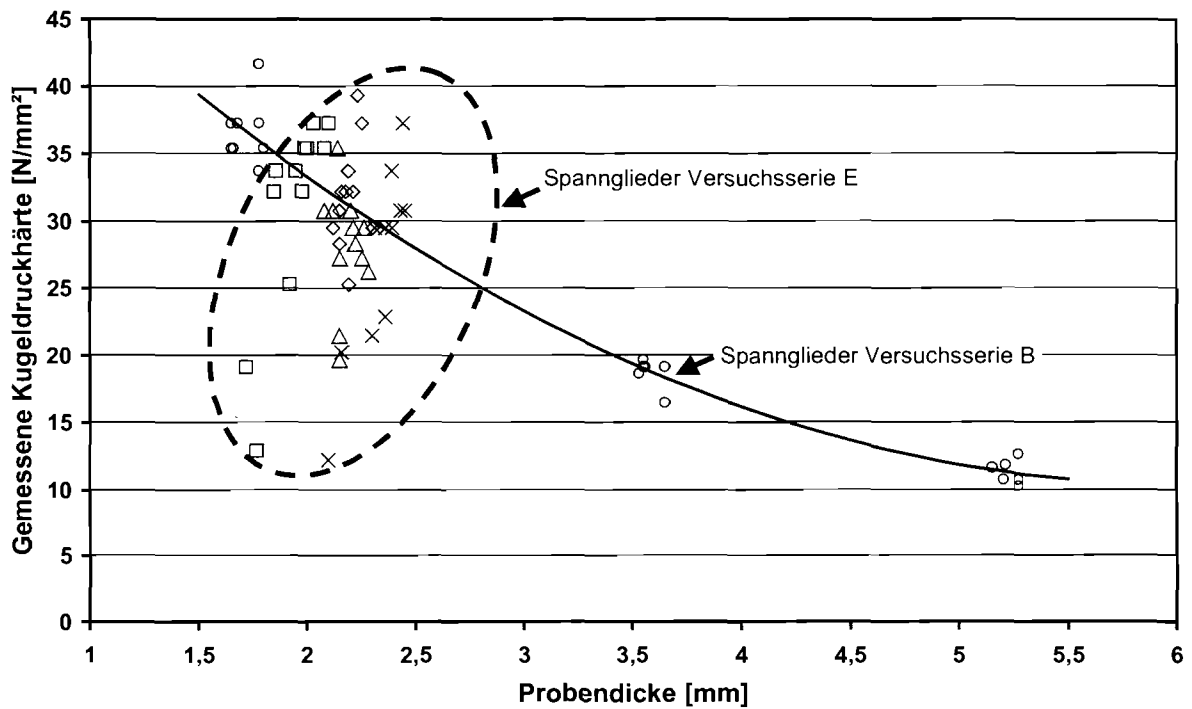


Bild 3.31: Vergleich der Kugeldruckhärten verschiedener Monolitzenmäntel unterschiedlicher Spannverfahren

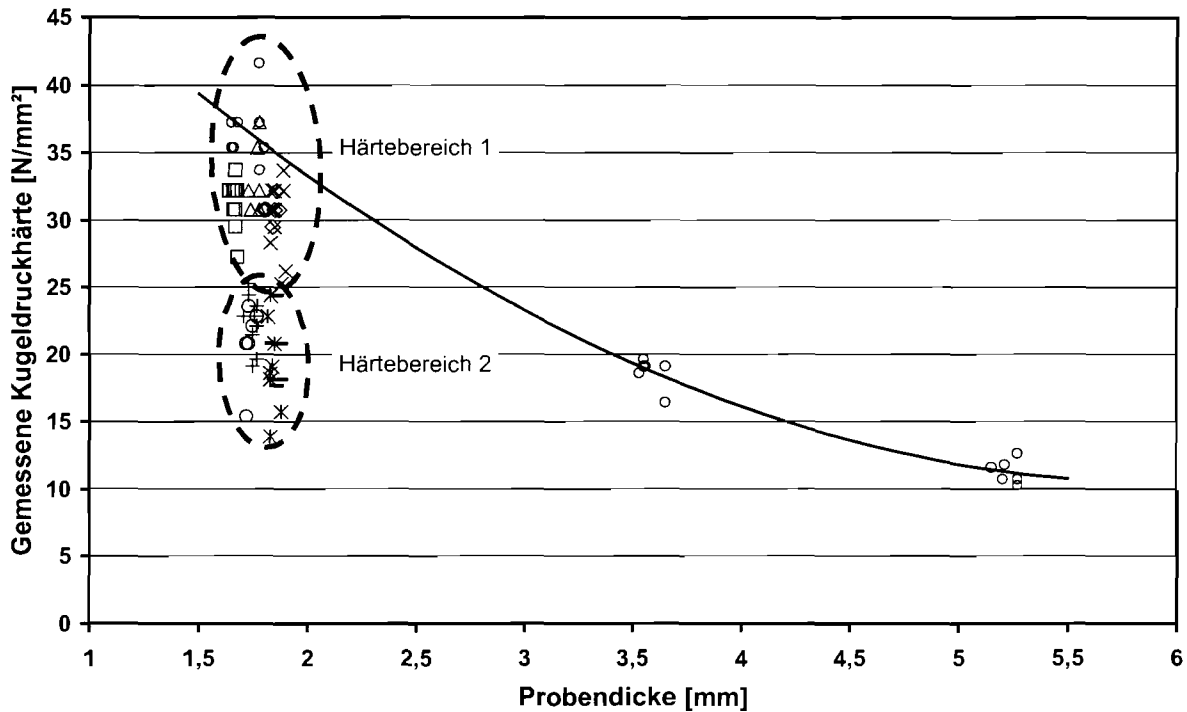


Bild 3.32: Kugeldruckhärten verschiedener Monolitzenmäntel eines Spannverfahrens

3.4.5 Zusammenfassung zum Kugeleindruckversuch

Der Kugeleindruckversuch ist prinzipiell geeignet, um die Güte von HDPE-Schutzhüllen hinsichtlich des Eindrückverhaltens zu verifizieren. Auch bei dünnen, gebogenen Materialproben können aussagekräftige und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden. Bei ähnlichen Härtewerten ist auch ein ähnliches Eindrückverhalten an Umlenkstellen zu erwarten, da die Mechanismen, die beim Kugeleindruckversuch gemessen werden, mit denen an der Umlenkstelle gut übereinstimmen. Die in der Produktion einzuhaltenden statistischen Größen "Mittelwert" und "Standardabweichung" der Kugeldruckhärte sind im Einzelfall festzulegen.

4 VERSUCHSERGEBNISSE

4.1 Eindrückverhalten

4.1.1 Litzenspannglieder

Das Eindrückverhalten von Litzen in Polyethylen beim Vorspannen kann in vier Phasen unterteilt werden. Die ersten drei Phasen finden bei Laststeigerung statt, die vierte Phase nach Abschluss des Vorspannens (Bild 4.1).

Phase 1: Initialisierungsphase

Unter Querdruckbeanspruchung zeigen die Spannglieder zunächst nur eine sehr geringe Steifigkeit, die mit zunehmender Belastung überproportional zunimmt. Dies ist im Wesentlichen auf die Wirkung der verwundenen Einzeldrähte der Litzen zurückzuführen. Aus der zunächst punktförmigen Kraftübertragungsfläche entwickeln sich mit zunehmender Eindrückung linienartige Riefen, woraus eine Vergrößerung der Kraftübertragungsfläche resultiert (Bild 4.2). Weiterhin werden Zwischenräume, z.B. zwischen innerer und äußerer Schutzhülle, zusammengedrückt.

Phase 2: Kompressionsphase

Hierbei erfolgt eine elastisch-plastische Zusammendrückung des PE-Materials unterhalb der Kraftübertragungsfläche (Bild 4.3).

Phase 3: Scherphase

Durch die Zusammendrückung unterhalb der Litzendrähte entsteht eine Scherbeanspruchung unmittelbar neben den Einzeldrähten, die zu einem Durchdrücken der Litzendrähte führen (Bild 4.3). Die Riefenspuren werden dadurch auf der Außenseite der Schutzhüllen sichtbar (Bild 4.4). Die Steifigkeit nimmt gegenüber der Kompressionsphase ab. Der Übergang von Phase 2 zu Phase 3 verläuft fließend.

Phase 4: Kriechphase

Nach Abschluss der Belastungsphase vergrößern sich bei konstantem Querdruck die Eindrückungen und Zusammendrückungen des Polyethylens durch das viskoelastische Verhalten des Werkstoffes. Gleichzeitig tritt eine Spannungsrelaxation in den hochbeanspruchten Bereichen auf. Ein Großteil der Verformungen ist bereits wenige Stunden nach Belastungsbeginn abgeklungen.

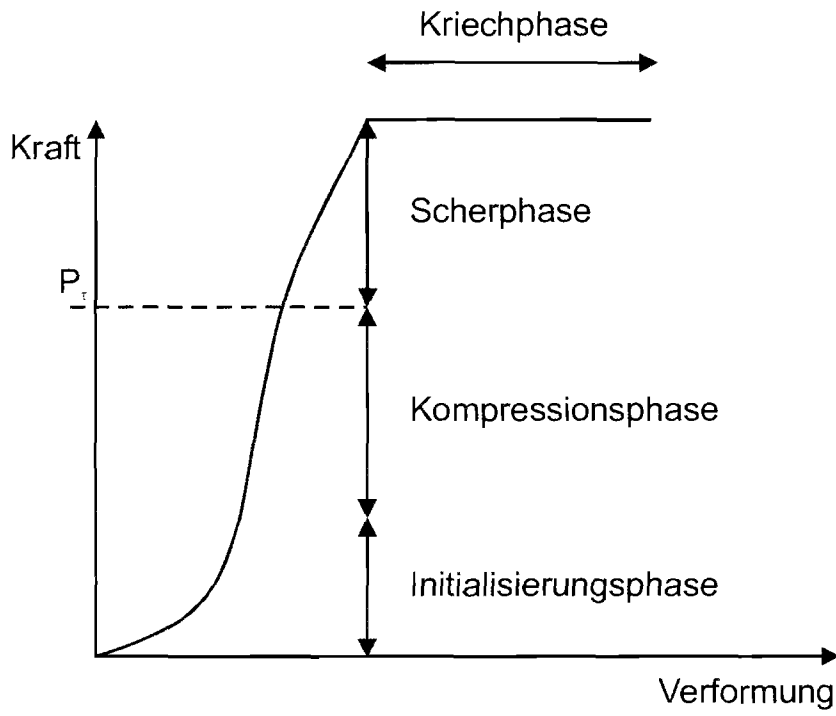


Bild 4.1: Phasen des Eindrückungsverhaltens von Litzenspanngliedern

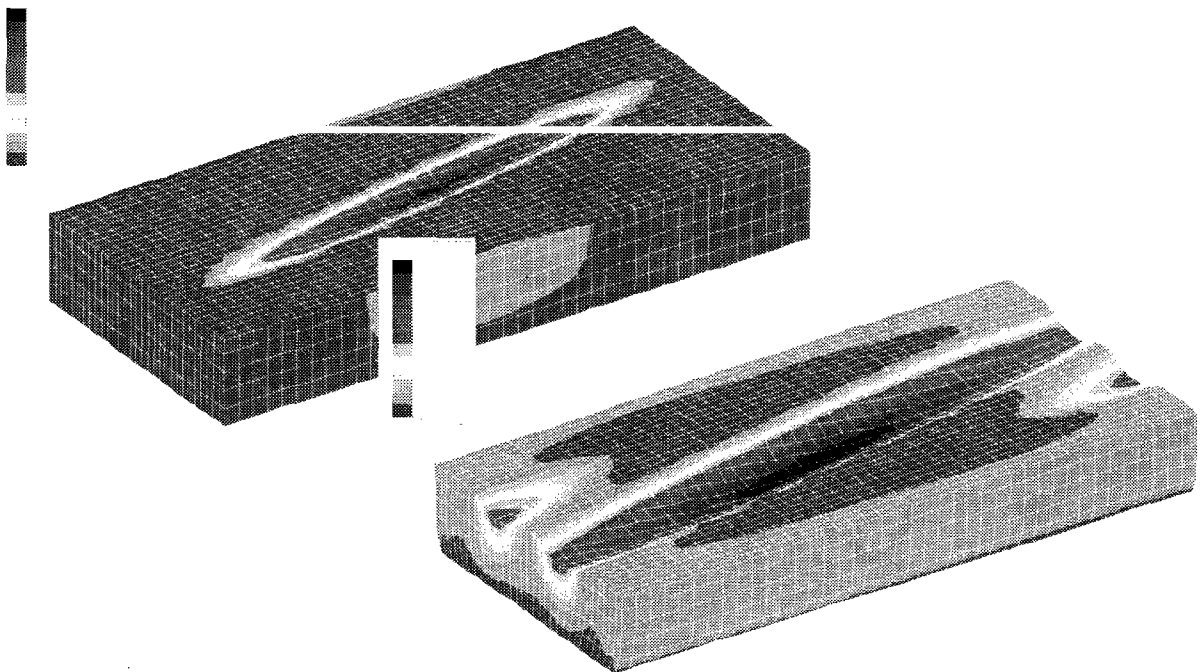


Bild 4.2: Eindruckfigur bei zunehmender Eindringtiefe

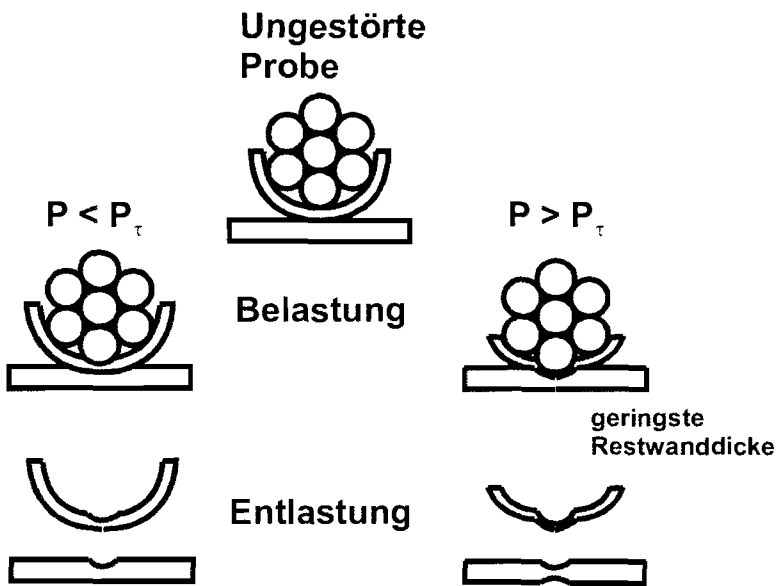


Bild 4.3: Verformungsverhalten der Litzen in der Kompressions- und der Scherphase

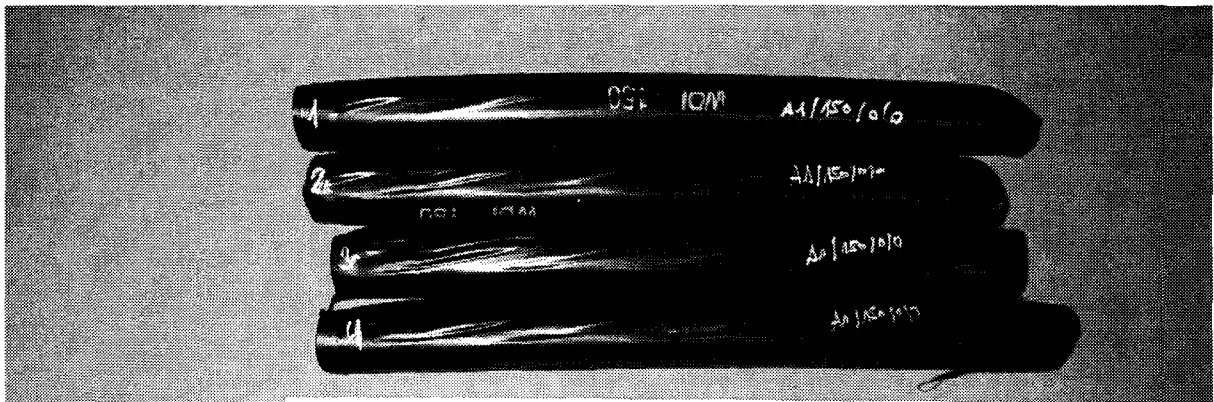


Bild 4.4: Riefenspuren auf der Außenseite der Monolitzenmäntel

4.1.2 Drahtspannglieder

Für die Versuche mit Drahtspanngliedern in der Kleinmodellversuchsanlage wurde zunächst ein halboffenes PE-Rohr \varnothing 140 mm als Aussparungsrohr in den Prüfsattel einbetoniert. Anschließend wurde ein Hüllrohr \varnothing 90 mm eingelegt, das abweichend zu den real im Bauwerk eingebauten Spanngliedern auf einem Umfang von nahezu 50% von oben geöffnet wurde und danach mit etwa 50-60 Spanndrähten \varnothing 7 mm gefüllt wurde. Die gesamte Umlenkkraft eines Drahtspanngliedes von 750 kN/m wurde mittels einer Lastverteilungsplatte auf die oberste Drahtlage aufgebracht. Im Versuch zeigte sich unter Belastung eine deutliche Querverformung des Hüllrohres, bis es auf den Radius des Aussparungsrohres aufgeweitet war. Diese Verformung konnte auch bei in Brückenbauwerken eingebauten Spanngliedern beobachtet werden, obwohl die Hüllrohre dort nicht geöffnet sind und daher einen größeren Verformungswiderstand besitzen. In der Belastungsphase kam es mehrfach zu plötzlichen Lageänderungen der Drähte, die sich in einem sprunghaften Anstieg der gemessenen Verformung ä-

berten (Bild 4.5). Die Lageänderung der Drähte führte weiterhin zu einer leichten Drehbewegung des Hüllrohres, dessen Scheitelpunkt sich etwas zur Seite verschob.

Die Umlenkraft erzeugt bei Drahtspanngliedern, die in einem größeren Hüllrohr parallel geführt werden, einen komplexen Spannungszustand. Neben der vertikalen Komponente der Kraft ergibt sich aus der Lagerung des Einzeldrahtes auf zwei darunter liegende Drähte zusätzlich eine horizontale Komponente, durch welche die Drähte nach außen gedrückt werden. Bei hinreichend vielen Drähten kann die maximale Umlenkraft des Einzeldrahtes abhängig vom Füllungsgrad des Hüllrohres mit einer hydrostatischen Analogie bestimmt werden [13]. Der Spannungszustand der Drähte kann aus den Restwanddickenmessungen entlang des halben Hüllrohrumfangs abgelesen werden (Bild 4.6). Die Restwanddicken nehmen von außen nach innen ab, wobei die größte Eindrückung nicht zwangsläufig mit dem Scheitelpunkt des Hüllrohres zusammenfällt, da sich dieser wie beschrieben während der Belastung zur Seite drehte. Die Restwanddicken bei einem Radius von 5 m und 6 m zeigen deutlich gleichmäßigere Eindrückungen über den Hüllrohrumfang (Bild 4.7). Es ist daher anzunehmen, dass die Eindrückungen überproportional mit den Umlenkpressungen der einzelnen Drähte zunehmen.

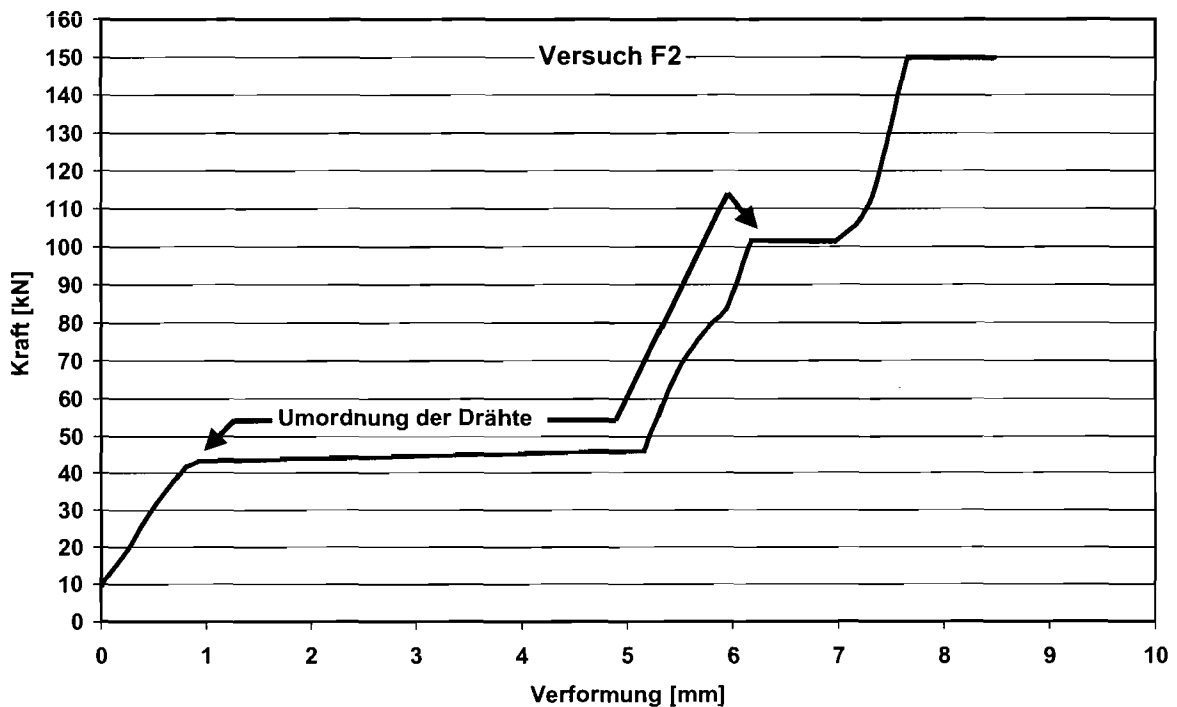


Bild 4.5: Last-Verformungslineie bei Drahtspanngliedern

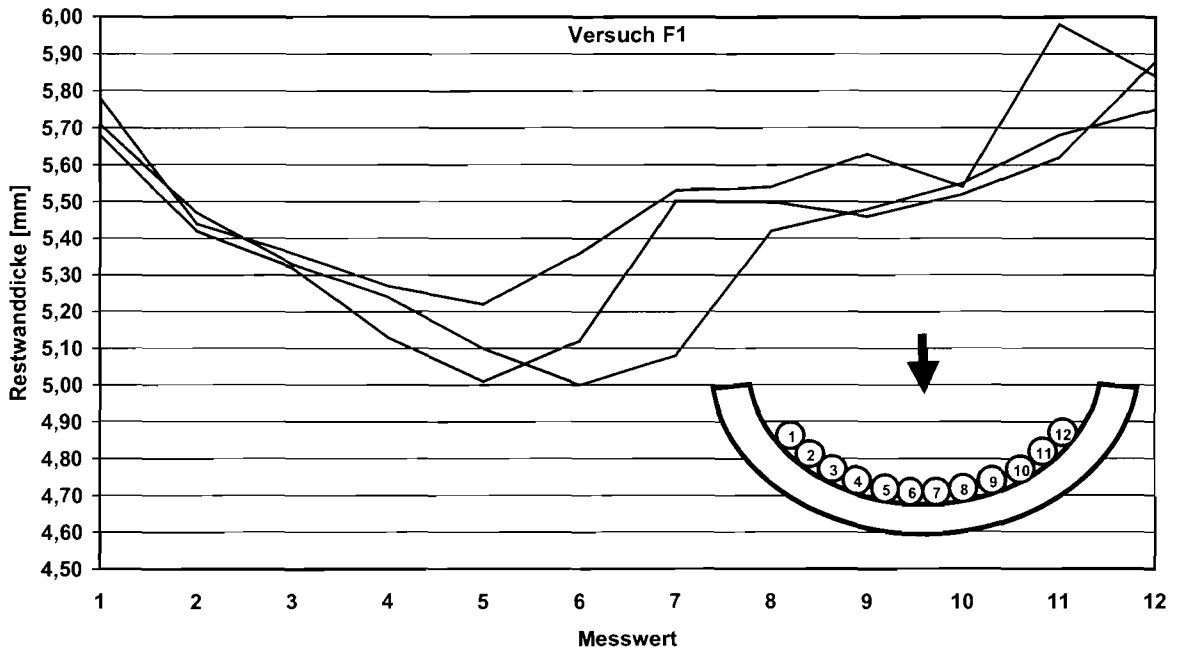


Bild 4.6: Restwanddickenmessung über den Umfang der Spanngliedprobe (R = 4 m)

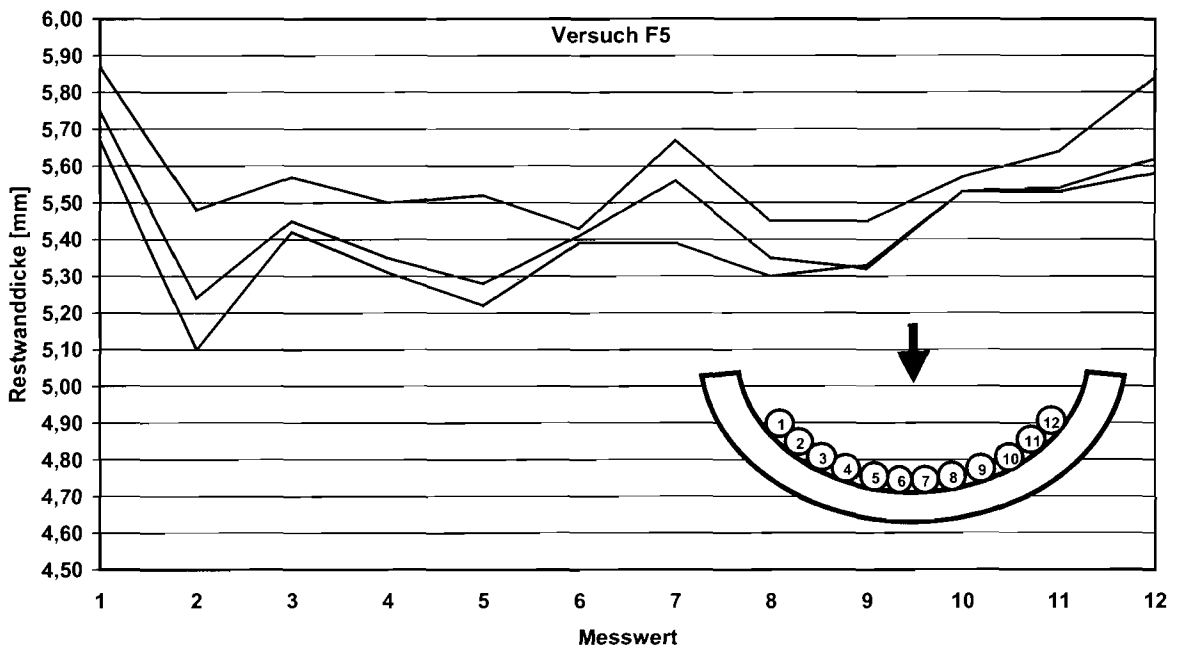


Bild 4.7: Restwanddickenmessung über den Umfang der Spanngliedprobe (R = 5 m)

4.2 Restwanddicken

4.2.1 Messungen

Die Restwanddicken der PE-Schutzhüllen bzw. Hüllrohre wurden nach Beendigung der Versuche jeweils als lokales Minimum innerhalb der deutlich sichtbaren Eindruckfiguren (Bild 4.8) mit einem Tiefentaster gemessen (Bild 4.9). An jeder Probe von 20 cm Länge zeigen sich fünf deutlich sichtbare Eindruckspuren je Litze. Da bei den Versuchen jeweils eine Litzenlage mit vier Litzen geprüft wurde, ergeben sich insgesamt 20 Messwerte je Probe. Bei Proben, die z.B. aufgrund von Faltungen durch innere Gleitung stark deformiert waren und keine deutlichen Eindruckspuren mehr aufwiesen, wurde jeweils das lokale Minimum in fünf Abschnitten der Probe bestimmt. Die protokollierte Restwanddicke hat nur eine örtliche Ausdehnung von weniger als einem Millimeter. Außerhalb dieses Bereiches sind größere Restwanddicken vorhanden. Die Messwerte streuen sowohl innerhalb eines Versuches über die Länge und Breite der Spanngliedprobe als auch zwischen verschiedenen Versuchen bei gleicher Versuchsanordnung. Dabei stimmen jedoch sowohl der Mittelwert als auch der Median der Messwerte im Allgemeinen gut überein (Tabelle 4.1). Die Streuung der Restwanddicke zweier Versuche gleicher Versuchsanordnung zeigt Bild 4.10. Die Abweichungen beruhen einerseits auf unterschiedlichen Anfangswanddicken, die ebenfalls streuen (Kapitel 3.3.3), andererseits kann die herstellungsbedingte Streuung der PE-Materialkennwerte innerhalb eines Spanngliedes zu unterschiedlichen Eindrückungen führen. Zusätzlich können leichte Exzentrizitäten bei der Lastaufbringung aufgetreten sein.

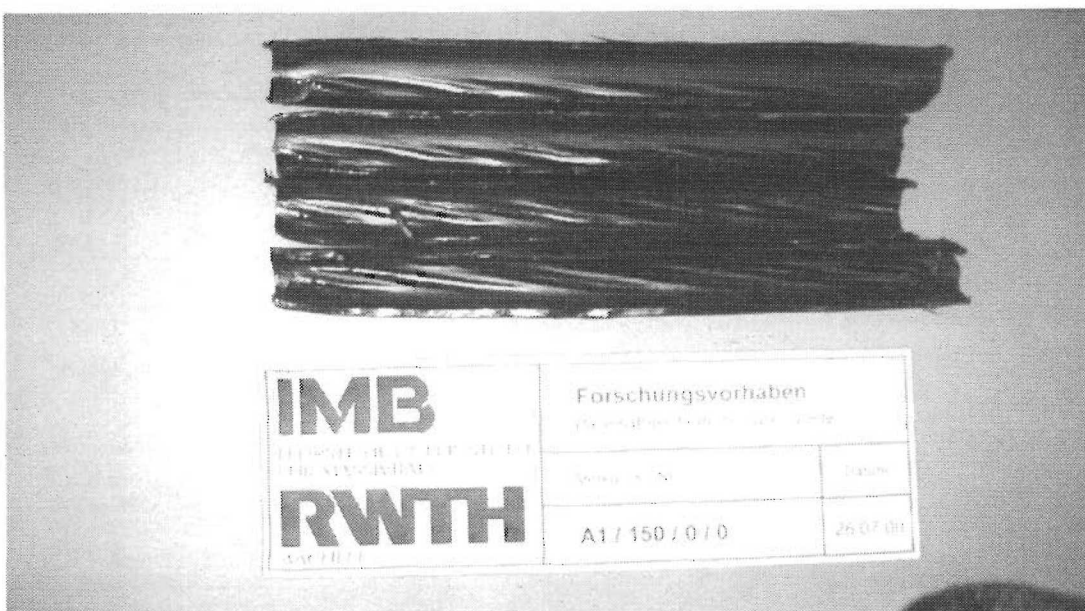


Bild 4.8: Eindruckfiguren (Innenseite von Schutzhülle 1)

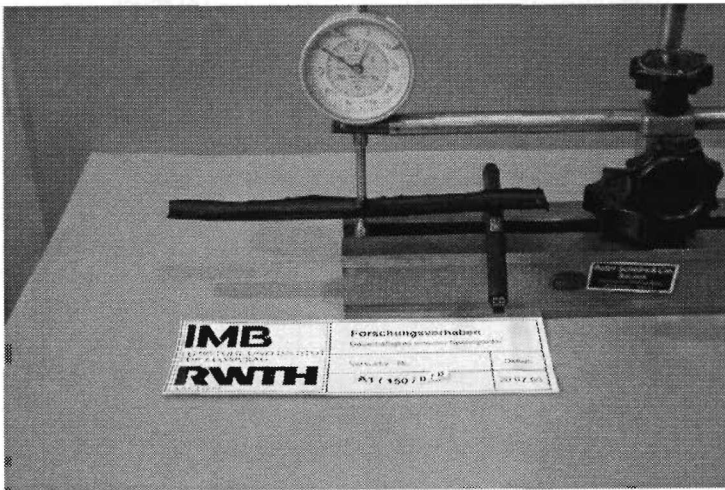


Bild 4.9: Bestimmung der Restwanddicke mittels Tiefentaster

Messwert	C1	C2
1	0,58	0,65
2	0,66	0,80
3	0,73	0,69
4	0,94	0,80
5	0,62	0,63
6	0,58	0,68
7	0,65	0,52
8	0,93	0,72
9	0,61	0,61
10	0,51	0,61
11	0,61	0,49
12	0,77	0,72
13	0,64	0,59
14	0,56	0,66
15	0,60	0,51
16	0,68	0,88
17	0,69	0,62
18	0,53	0,58
19	0,58	0,50
20	0,74	0,80
Minimum	0,51	0,49
Maximum	0,94	0,88
Median	0,63	0,64
Mittelwert	0,66	0,65
Standardabweichung	0,12	0,11
5%-Fraktile	0,46	0,46

Tabelle 4.1: Vergleich der Messwerte zweier Versuche mit gleicher Versuchsanordnung

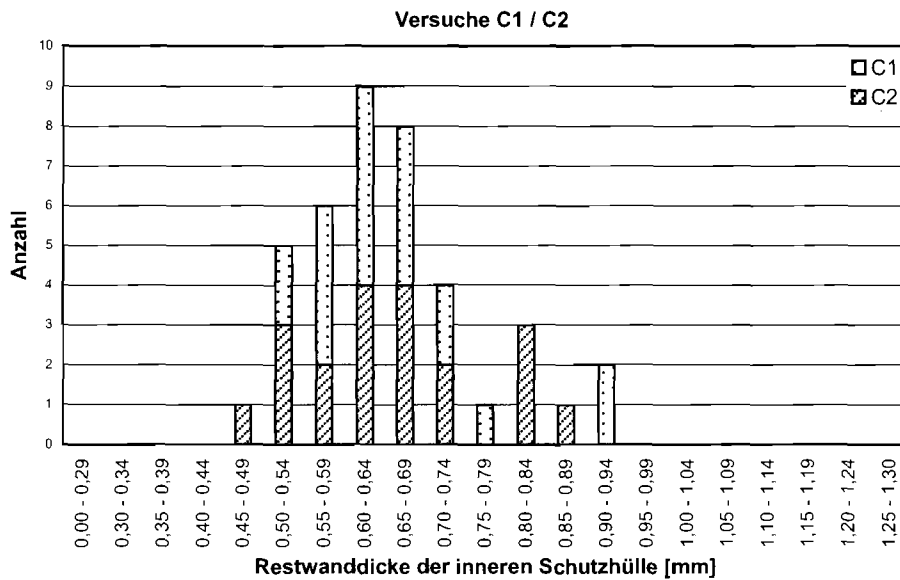


Bild 4.10: Verteilung der gemessenen Restwanddicken bei zwei Versuchen mit gleicher Versuchsanordnung

4.2.2 Beurteilung

Die mit der Kleinmodellversuchsanlage erzeugten Restwanddicken sind nicht ohne weiteres mit den im Großmodellversuch erzielten Ergebnissen vergleichbar. Durch die Lastaufbringung ausschließlich auf die unterste Litzenlage wird eine höhere Beanspruchung in der Schicht zwischen Litze und PE erzeugt als bei der Belastung eines gesamten Spannsystems, bei dem die PE-Mäntel bzw. Schutzhüllen einen Teil der Umlenkkräfte von weiter oben liegenden Litzen an den darunter liegenden Litzen vorbei leiten können. Obwohl auch in der Kleinmodellversuchsanlage die Lasteinleitung über den gesamten Spanngliedaufbau möglich ist, wurde bei diesen Untersuchungen darauf verzichtet, um die Aussagefähigkeit der Last-Verformungskurven während der Belastungsphase nicht zu reduzieren. Die Verringerung der Umlenkpressung entlang der Umlenkung infolge Reibung wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

4.3 Einfluss der Spannstahlform

4.3.1 Drahtspannglieder

Die Spannstahlform hat entscheidenden Einfluss auf die Größe der Restwanddicken. Während Litzenpannglieder zunächst nur eine nahezu punktförmige Lastübertragungsfläche besitzen, die sich mit zunehmender Eindrückung linsenförmig erweitert, besitzen Drahtspannglieder eine linienförmige Auflagerung, die sich mit zunehmender Eindrückung verbreitert. Die gemessenen Restwanddicken können nicht ohne weiteres verglichen werden, da die Ausgangswanddicken der PE-Ummantelungen spannverfahrenbedingt voneinander stark abweichen.

Aus diesem Grund werden an dieser Stelle die Eindrücktiefen verglichen. Es zeigt sich, dass die Eindrückungen von Litzenspanngliedern stärker vom Umlenkradius und den damit verbundenen Umlenkpressungen abhängig sind, als Drahtspannglieder, da sich die Kraftübertragungsfläche bei Litzen überproportional mit der Eindrücktiefe vergrößert. Gleichzeitig zeigt sich, dass durch den komplexen Spannungszustand bei Drahtspanngliedern bei kleinen Umlenkpressungen größere Eindrückungen entstehen können als dies bei Litzenspanngliedern der Fall ist. Insgesamt können Drahtspannglieder jedoch die Anforderungen an externe Spannglieder [5] leichter erfüllen, da sie nur eine Außenschutzhülle mit größerer Dicke besitzen. Bei Litzenspanngliedern muss gemäß Richtlinie jede der zwei dünneren Schichten die Anforderungen an die Restwanddicke einzeln erfüllen.

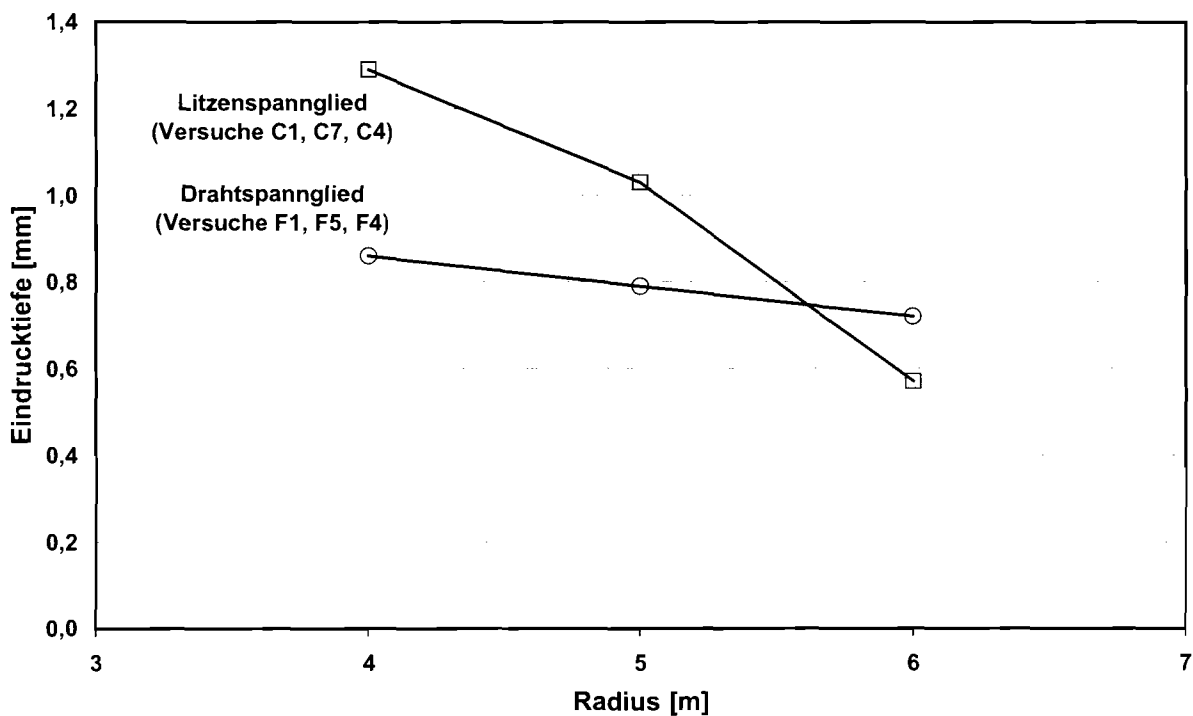


Bild 4.11: Einfluss der Spannstaahlform auf die Eindrücktiefe (Vergleich der Mittelwerte)

4.3.2 Kompaktlitzen

Kompaktlitzen unterscheiden sich aufgrund des nochmaligen Ziehvorgangs gegenüber Rundlitzen sowohl in Bezug auf die geometrische Form als auch in Bezug auf den Spannstaahlquerschnitt. Bei gleichem Radius ergibt sich daher bei Kompaktlitzen eine etwa 10% höhere Umlenkkraft als bei Rundlitzen. Kompaktlitzen zeigen bei gleichem Umlenkradius infolge der höheren Umlenkpressung größere Gesamteindrückungen als Rundlitzen. Bei gleicher Umlenkpressung (Kompaktlitzen mit $R = 4,40$ m, Rundlitzen mit $R = 4$ m) ergeben sich Eindrückungen in vergleichbarer Größe (Bild 4.12).

Bedingt durch die abgeplattete Form, die nahezu von Anfang an eine ausreichende Kraftübertragungsfläche zur Verfügung stellt, verteilen sich die Eindrückungen bei Kompaktlitzen gleichmäßiger auf die innere und auf die äußere Schutzhülle, während der Großteil der Eindrückungen bei Rundlitzen in der inneren Schutzhülle stattfindet.

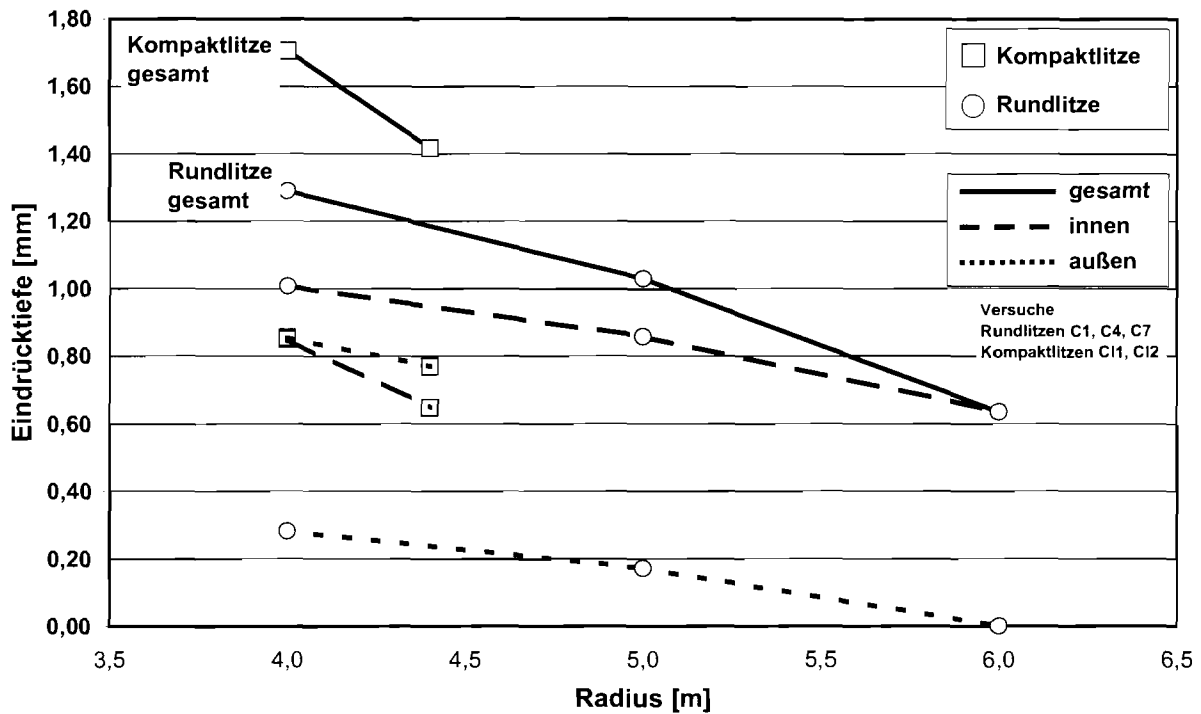


Bild 4.12: Eindrücktiefen von Kompaktlitzen und Rundlitzen im Vergleich

4.4 Einfluss des Umlenkradius (Querpressung)

Die Umlenkpressungen berechnen sich antiproportional zum Umlenkradius, so dass der Umlenkradius maßgeblich die Restwanddicke bestimmt. In Bild 4.13 sind die Mittelwerte und die Streubreiten der gemessenen Restwanddicken bei verschiedenen Umlenkradien dargestellt. Die Regressionsanalyse zeigt eine leicht überproportionale Abnahme der Restwanddicke bei Verringerung des Umlenkradius (Bild 4.14).

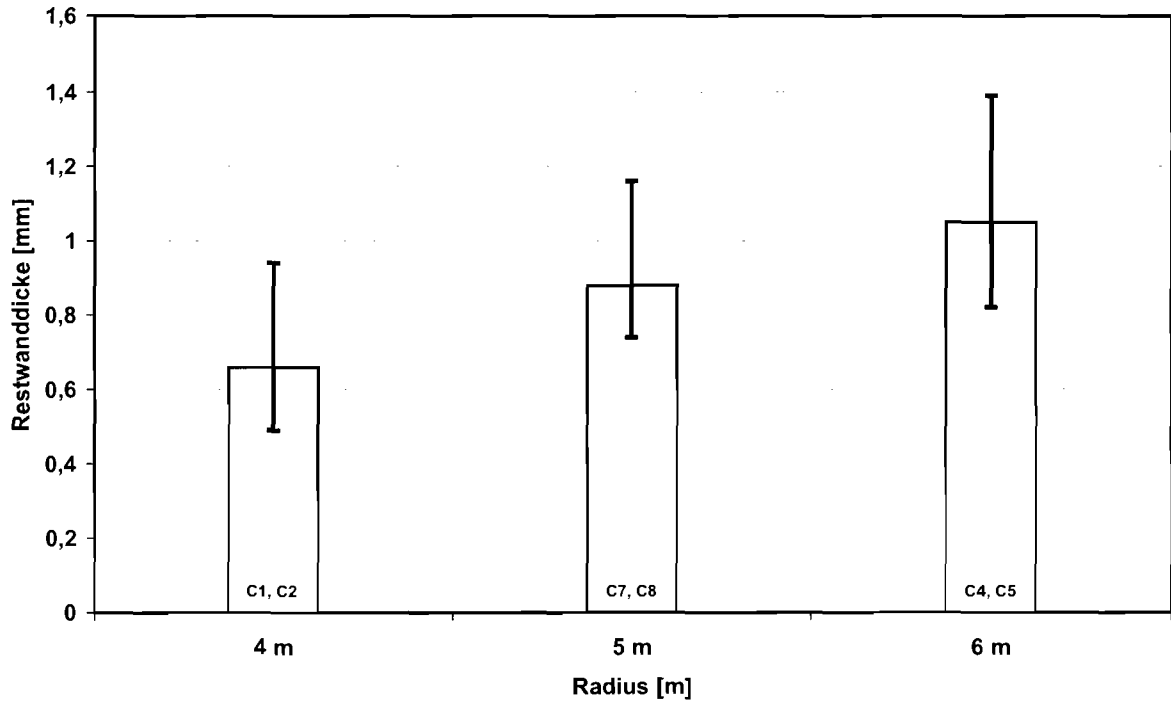


Bild 4.13: Mittelwerte und Streubreiten der gemessenen Restwanddicken

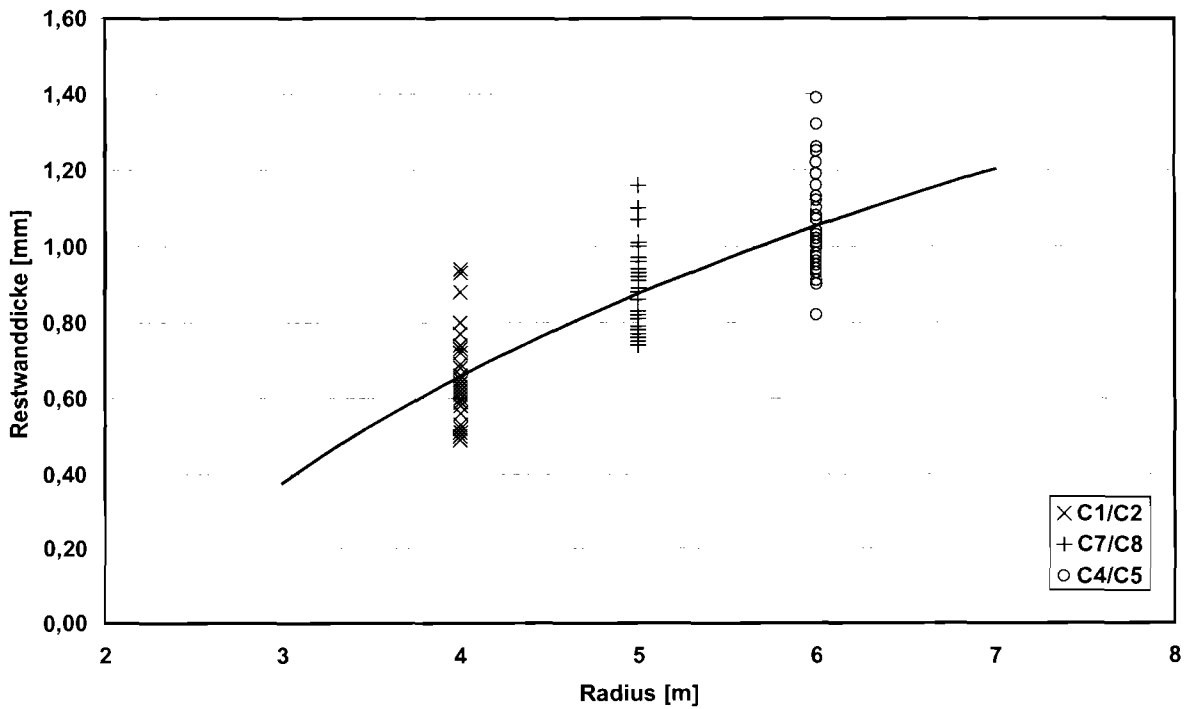


Bild 4.14: Zusammenhang zwischen Umlenkradius und Restwanddicke

4.5 Unterlage

Unterlagen aus Polyethylen zwischen Spannband und Auflagersattel wirken sich positiv auf die Restwanddicken der inneren und äußeren Schutzhülle aus. Durch die nachgiebige Lagerung können sich leichte Mulden ausbilden, wodurch die Auflagerfläche der Litzendrähte vergrößert wird. Beide Versuche der Serie A mit PE-Unterlagen (A7: 4,0 mm; A8: 8,0 mm) besitzen größere Restwanddicken als der Versuch A1, bei dem das Spannband direkt auf dem Stahlsattel aufgelagert wurde. Die Verbesserung liegt jedoch innerhalb der Streuungen der Messwerte (Bild 4.15). Die Restwanddicken der Versuche A7 und A8 liegen in einer vergleichbaren Größe, da der positive Einfluss unterproportional mit der Dicke der Unterlage zunimmt. Die Verformungsfähigkeit der äußeren Schutzhülle, die wie eine Unterlage wirkt, ist ebenfalls für die sich ergebende Restwanddicke von entscheidender Bedeutung. Der Vergleich von Versuchen der Serie D, bei denen Monolitzen ohne Unterlagen auf einem Stahlsattel ausgelagert wurden, mit Versuchen, bei denen ein Spannband zum Einsatz kam, zeigt den großen Einfluss einer äußeren Schutzhülle bzw. eines Hüllrohres aus Polyethylen auf die Restwanddicken (Bild 4.16).

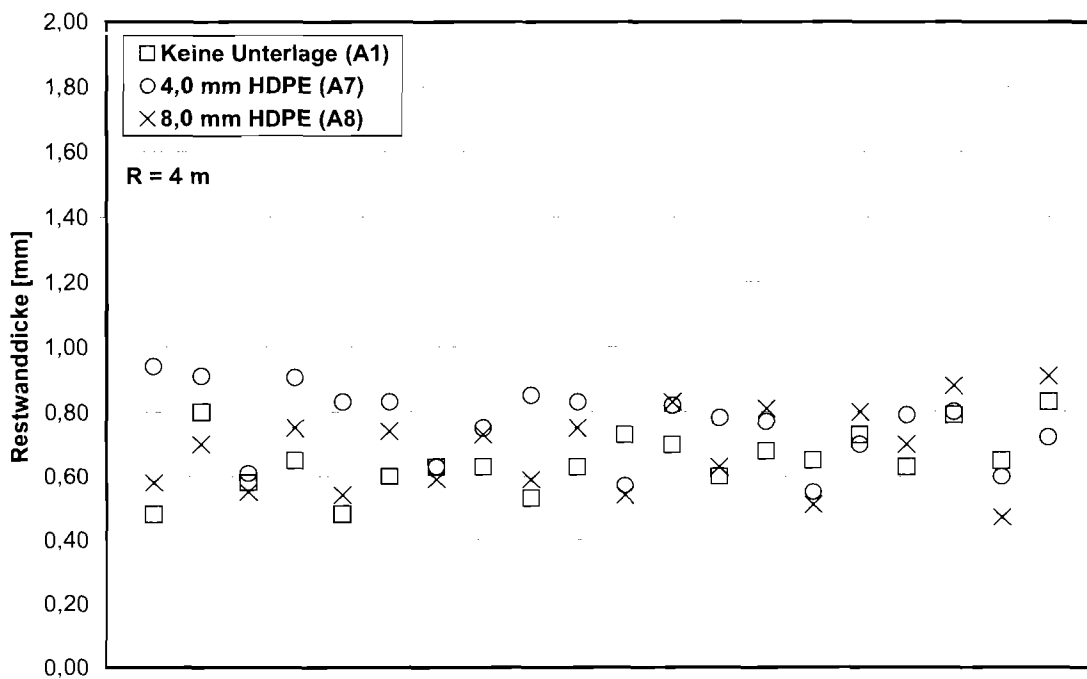


Bild 4.15: Restwanddicken bei Anordnung einer PE-Unterlage

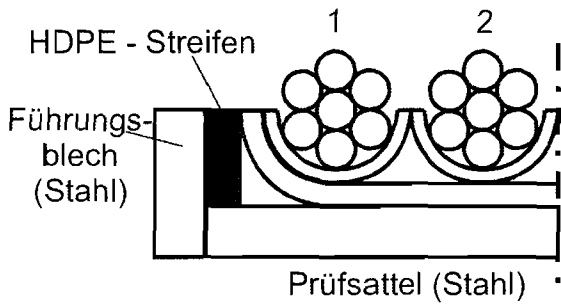


Bild 4.17: Anordnung einer Querdehnungsbehinderung

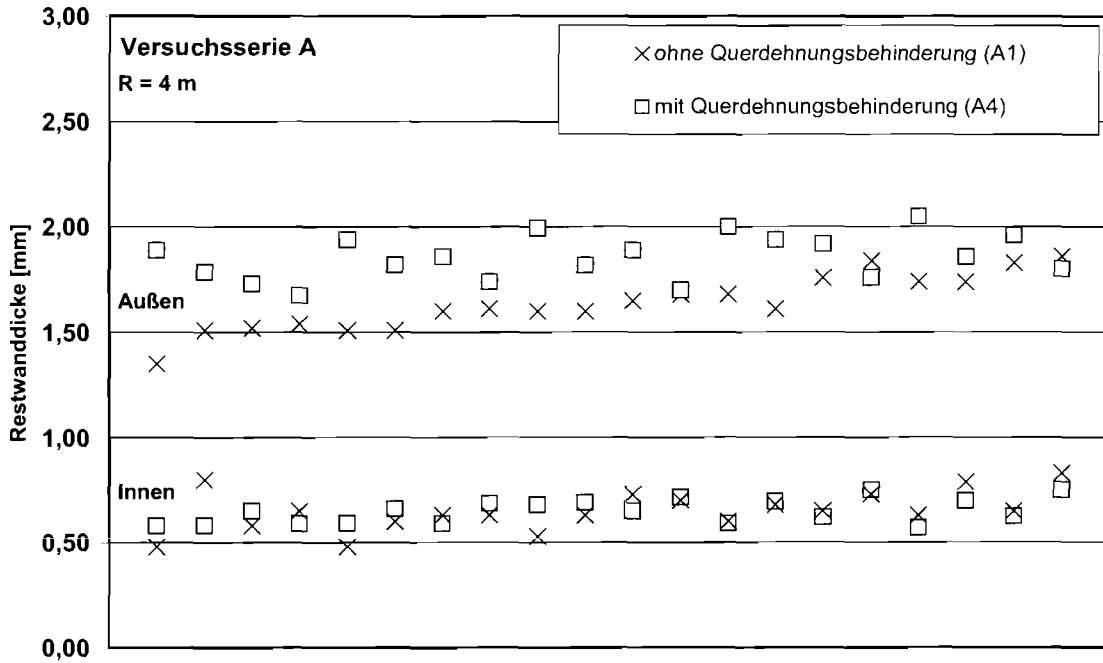


Bild 4.18: Einfluss einer Querdehnungsbehinderung bei R = 4 m

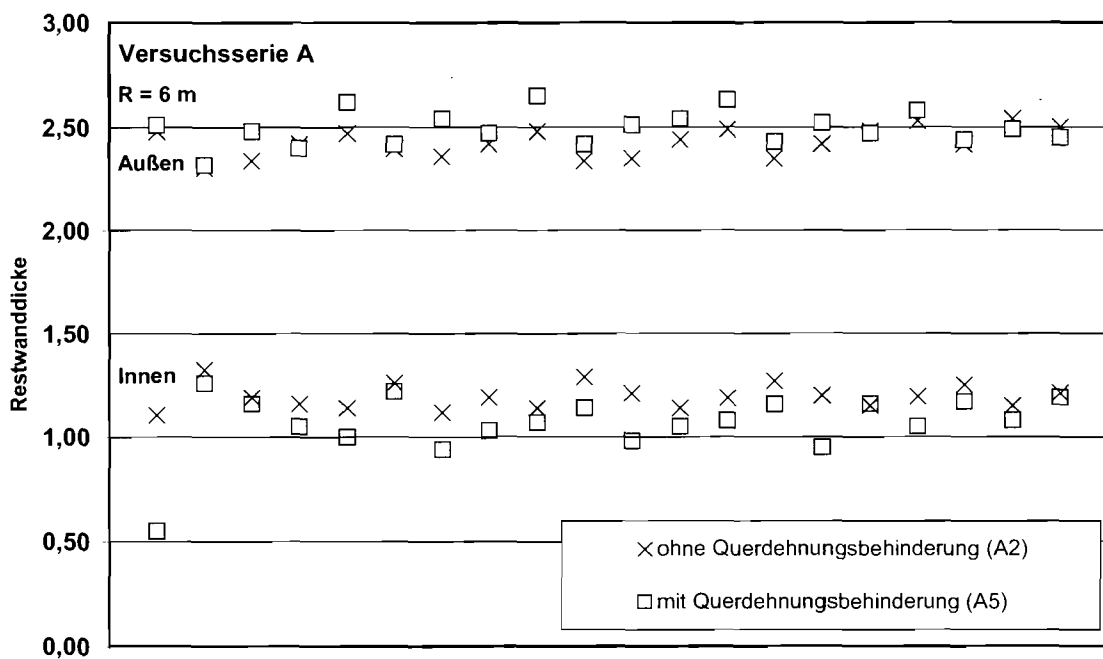


Bild 4.19: Einfluss einer Querdehnungsbehinderung bei R = 6 m

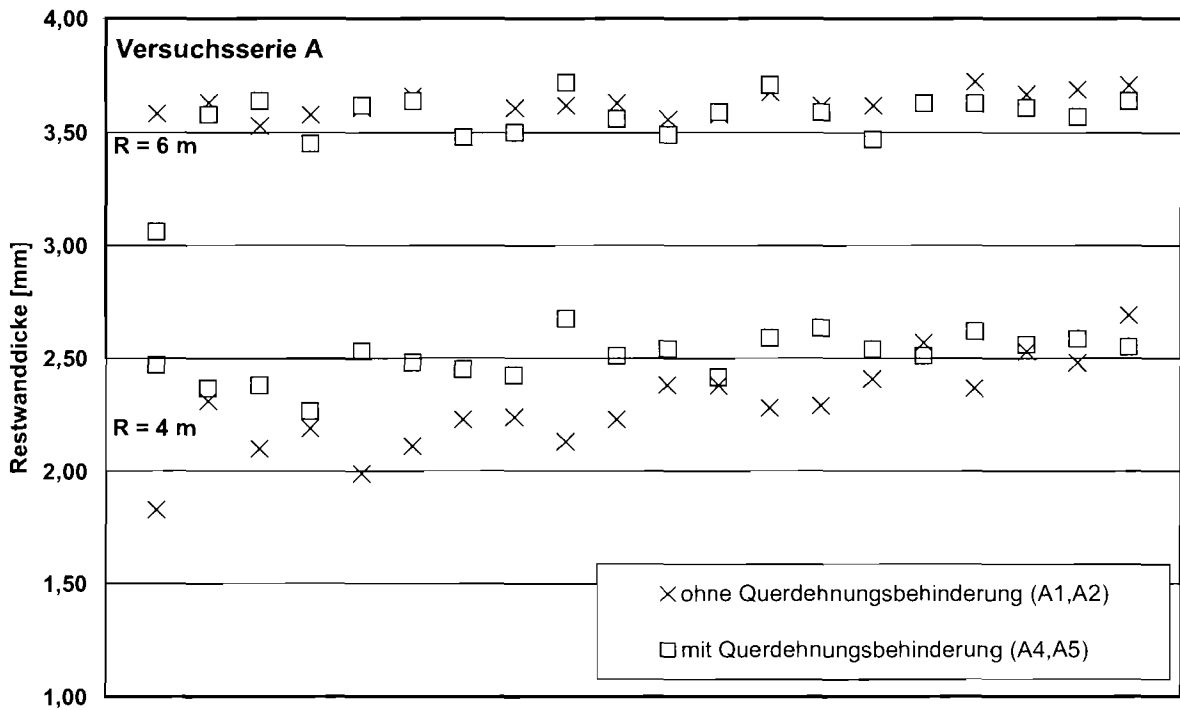


Bild 4.20: Einfluss einer Querdehnungsbehinderung auf die Gesamtverformung

Der geringe Einfluss der Querdehnungsbehinderung ergibt sich aus der Geometrie der Litzen. Im Bereich der größten Eindrückungen, bei denen ein Draht der Litze im unteren Scheitel liegt, liegen die seitlichen Drähte der Litze nicht an der Seitenfläche an (Bild 4.21). Eine Querdehnungsbehinderung erzeugt daher keine zusätzliche seitliche Lastübertragungsfläche, die zu einer weiteren Stützung und damit zu einer Verbesserung der Restwanddicken führen würde. Das PE-Material unterhalb des kraftübertragenden Drahtes kann sich in die Zwickel weiterhin nahezu frei verformen und die Querdehnungsbehinderung bleibt ohne Wirkung. In den Bereichen, in denen die Litzendrähte seitlich anliegen (Litze um 30° gedreht) sind durch die größeren Lastübertragungsflächen an der Litzenunterseite nur geringe Eindrückungen und damit Querverformungen vorhanden.

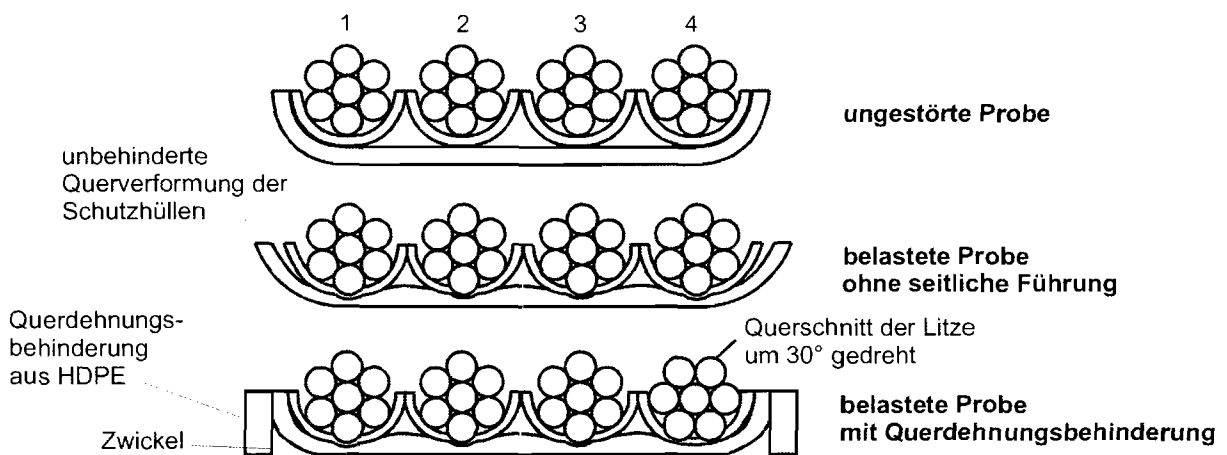


Bild 4.21: Wirkung einer Querdehnungsbehinderung

Wird anstelle des geöffneten Spannbandes ein geschlossenes Spannband belastet, so zeigt sich, dass ein Teil der Umlenkraft der obenliegenden Spannblätter über die äußere Schutzhülle abgetragen werden kann, die sich unter der Querdruckbeanspruchung verbreitert. Dieser Lastanteil kann durch eine Querdehnungsbehinderung der äußeren Hülle aufgrund der großen Querdehnzahl des Polyethylens vergrößert werden. Die Wirksamkeit der Querdehnungsbehinderung resultiert bei einem geschlossenen Spannglied also nicht auf der Querdehnungsbehinderung der inneren Hülle und damit Verbesserung der Lastabtragung innerhalb eines Spannbandes, sondern auf der Verbesserung der Lastabtragung für die äußerlich wirkende Last der restlichen Spannblätter, so dass die auf die unterste Litzenlage einwirkende Umlenkraft verringert wird.

Eine deutliche Verbesserung der Restwanddicke kann erreicht werden, wenn die Querdehnungsbehinderung durch eine geformte Zwickelschiene gebildet wird (Bild 4.22). Hierdurch wird einerseits der Zwickel ausgefüllt und damit die Verdrängung des Materials verhindert, andererseits kann die Kraftübertragung bei den äußeren Litzen nicht nur im unteren Scheitel der Litze, sondern über einen größeren Bereich entlang des Umfangs erfolgen (Bild 4.23). Dies zeigt sich deutlich in den gebildeten Riefen, die bei gleicher Länge eine größere Breite besitzen (Bild 4.24). Aufgrund der Versuchsanordnung erfahren alle Litzen die gleiche Verformung. Wird die Querpressung nicht durch eine steife Lasteinleitungsplatte, sondern durch Vorspannung erzeugt, so wird sich unter den äußeren Litzen eine geringere, unter den inneren Litzen eine nahezu gleiche Restwanddicke wie ohne seitliche Stützung einstellen.

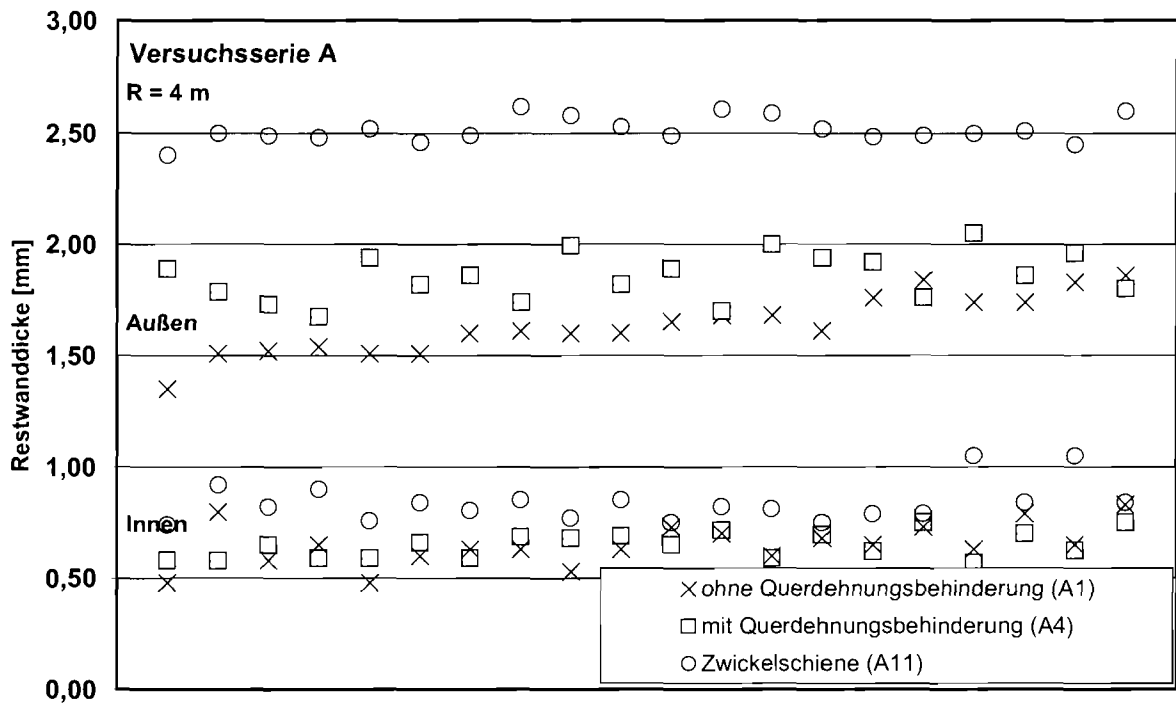


Bild 4.22: Auswirkung einer Zwickelschiene

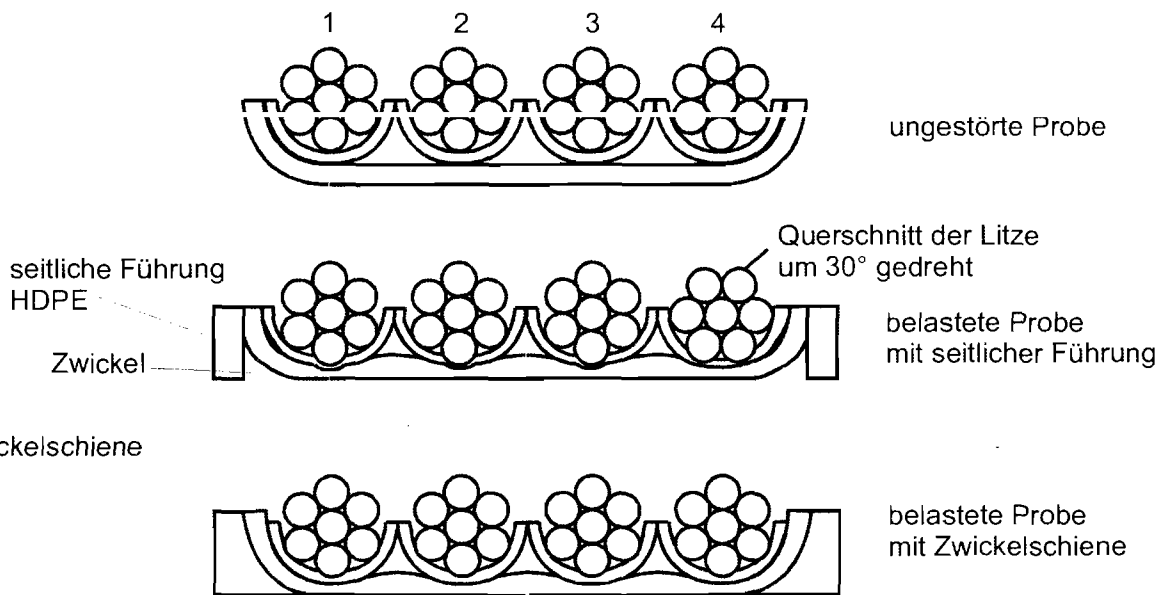


Bild 4.23: Anordnung einer Zwickelschiene

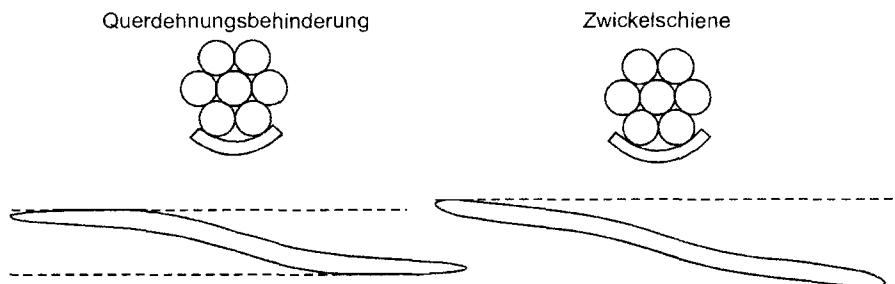


Bild 4.24: Eindruckfiguren mit und ohne Zwickelschiene

4.7 Zwickelfüllung

In der Versuchsserie B kamen Spannbänder zur Anwendung, bei denen die inneren Zwickel zwischen den Monolitzen durch passende Dreikantleisten ausgefüllt waren (Bild 4.25). Wie schon bei der seitlichen Stützung mit einer Zwickelschiene kann hiermit eine größere Umfangslänge der Litze für die Lastübertragung aktiviert werden, wodurch sich die Querdruckspannungen und damit die Eindringtiefen verringern. Mit zunehmendem Radius nimmt der positive Einfluss von Zwickelfüllungen ab (Bild 4.26). Unter Querdruckbelastung wirken die eingelegten Dreikantleiste wie Keile, die sich zwischen die Monolitzen schieben und diese nach außen drücken. Daher konnte eine weitere leichte Verbesserung der Restwanddicke durch die Anordnung einer Querdehnungsbehinderung erzielt werden (Bild 4.27).

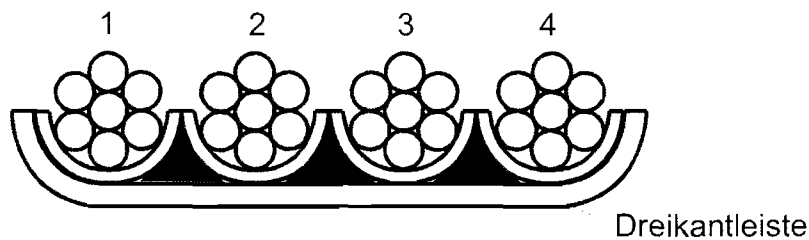


Bild 4.25: Anordnung von Dreikantleisten zur Zwickelfüllung

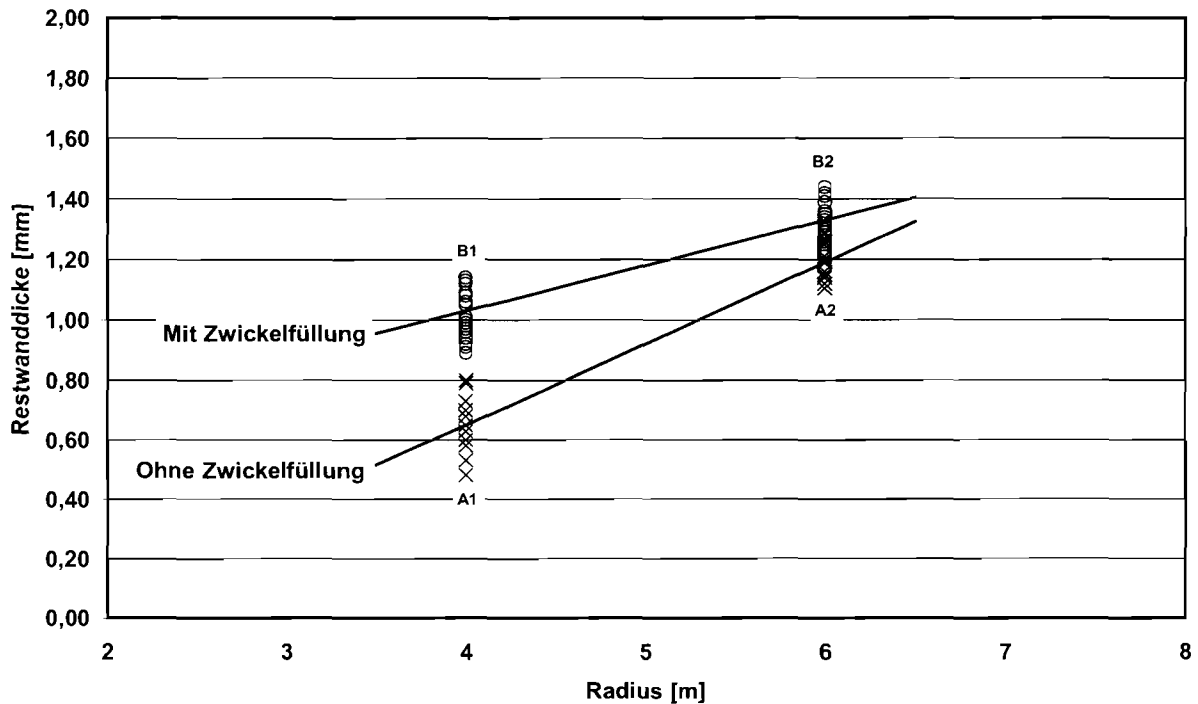


Bild 4.26: Einfluss einer Zwickelfüllung auf die Restwanddicke

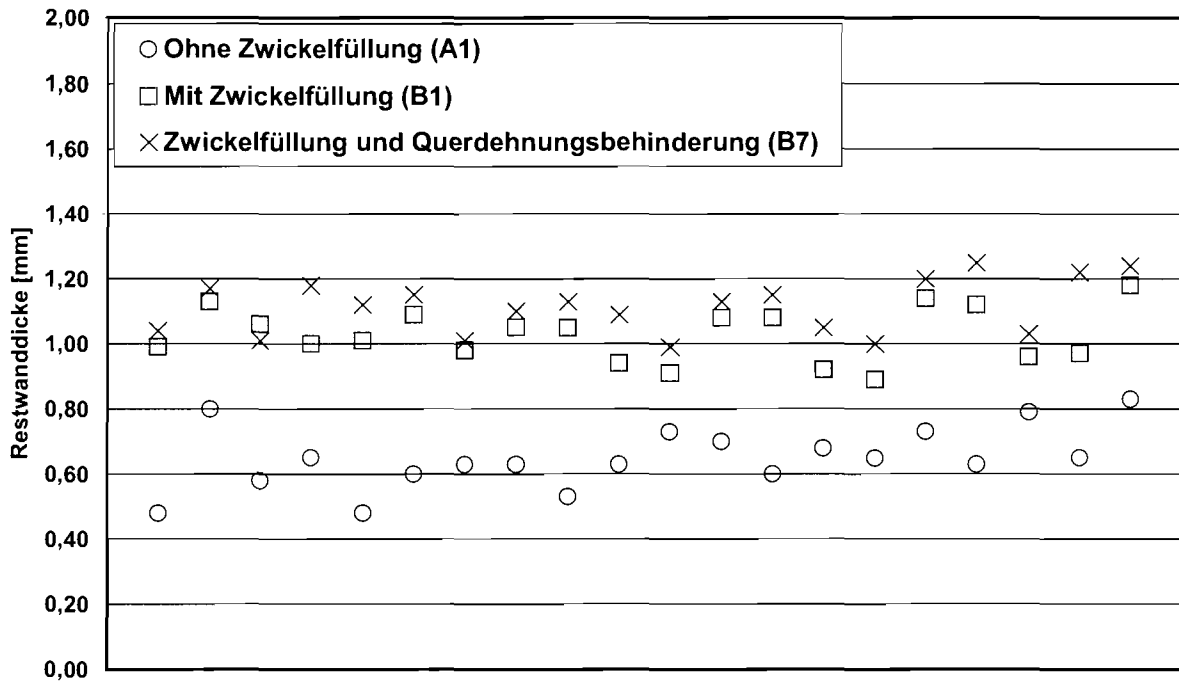


Bild 4.27: Restwanddicke bei Zwickelverfüllung und Querdehnungsbehinderung

4.8 Beanspruchung durch innere Gleitung

4.8.1 Versuchsanordnung

Zusätzlich zu den Versuchen zur äußeren Gleitung, bei denen die Spanngliedproben nur quer zur Spannrichtung beansprucht wurden, wurden auch Versuche zum Einfluss von innerer Gleitung durchgeführt, indem die Spannstahllitzen unter der Beanspruchung 80 cm verschoben wurden. Bei diesen Versuchen konnten die verwendeten Monolitzen und Spannbänder nicht geöffnet werden, um die Lasteinleitungsplatte direkt auf die Stahllitzen aufzusetzen, sondern die Belastung erfolgte auf die unversehrten Schutzhüllen der Monolitzen bzw. der Spannbänder. Vorversuche zeigten, dass die PE-Ummantelungen sich anderenfalls seitlich unter der Belastungseinheit herauswinden und keine Beurteilung zulassen. Die Last-Verformungskurven der Versuche mit Längsverschiebung enthalten daher zusätzlich zu den Eindrückungen der Litze in die untere Hülle ebenfalls die Eindrückungen in die obere Hülle, die für die Restwanddicken jedoch nicht ausgewertet wurden. Zur Erzielung ausschließlich innerer Gleitung war es weiterhin notwendig, doppelseitiges Sandpapier zwischen Umlenk-sattel und Monolitze/Spannband sowie zwischen Monolitze/Spannband und Lasteinleitungs-platte anzuordnen (Bild 4.28).



Bild 4.28: Anordnung von Sandpapier zur Erzielung von innerer Gleitung

4.8.2 Verhalten der Litzen beim Vorschub

Während die Litzen bei den Versuchen zur äußeren Gleitung in den gebildeten Riefenspuren liegen bleiben und sich diese mit der Zeit aufgrund des viskoelastischen Materialverhaltens der PE-Ummantelung vergrößern, muss die Litze bei innerer Gleitung das sich gebildete "Litzenbett" verlassen. Dabei sind zwei verschiedene Mechanismen möglich, die im Versuch beobachtet werden konnten.

1. Schraubenartiges Drehen der Litzen

Bei geringem Torsionswiderstand der Litze wirken die gebildeten Riefen wie ein Gewinde. Die Litze kann das "Litzenbett" nicht verlassen und dreht innerhalb der durch die Riefen gebildeten Spur (Bild 4.29). Dabei bilden die Seitenwände der Riefen den Wi-

derstand gegen das zurückdrehende Torsionsmoment der Litzen. Anders als bei Versuchen mit nackten Litzen im Bündelspannglied, bei denen in Kleinmodellversuchen die Drehbehinderung für eine wirklichkeitsnahe Modellierung ausgeschlossen werden muss [6], sind Drehbewegungen innerhalb der Monolitzenmäntel auch bei großen Spanngliedern durchaus möglich. Mit zunehmender Drehverformung wächst der Drehwiderstand der Litze an, bis keine weitere Verdrehung möglich ist und die Litze durch die Riefenspuren walkt. Der Torsionswiderstand der Litzen ist dabei abhängig von der Größe der Vorspannung sowie der Spanngliedlänge.

Können die seitlichen Riefen das durch die Verdrehung erzeugte Moment der Litze nicht aufnehmen, so dreht die Litze ruckartig in den Ausgangszustand zurück. Hierbei kann es zu Faltungen und Verformungen der Monolitzenmäntel kommen, welche die Restwanddicke erheblich beeinflussen. Die Wahrscheinlichkeit der Faltungen ist zusätzlich von der Verschiebungsgeschwindigkeit abhängig. Bei schnellen Verschiebungen kommt es eher zu einem Durchrutschen der Litze, während bei niedrigen Verschiebungsgeschwindigkeiten das Drehen der Litze vermehrt auftritt.

In den durchgeführten Kleinmodellversuchen kam es in fast allen Versuchen bei innerer Gleitung zu Verdrehungen der Litze mit Faltungen der umgebenden PE-Mäntel. Ein Referenzversuch im Großmodellversuch an der Universität Karlsruhe [12] zeigte die Faltungen nicht, so dass zu vermuten ist, dass dort entweder ein größerer Torsionswiderstand vorlag oder eine größere Ziehgeschwindigkeit. Bei in Bauwerken eingebauten Litzenspanngliedern kann die Drehung der Litzen nicht ausgeschlossen werden, da zwar eine große Vorspannkraft, aber auch ein großer Abstand zwischen den Verankerungspunkten vorliegt. Die im Kleinmodellversuch gewählte niedrige Vorspannung wird durch den geringen Abstand der Spanngliedverankerungen kompensiert.

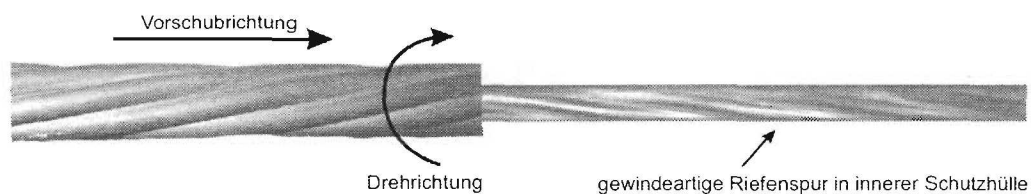


Bild 4.29: Verdrehen der Litze in der durch die Riefen gebildeten Spur

2. Seitliches Abgleiten der Litzen

Wird die Verdrehung der Litzen behindert, walken die Litzen durch die Riefen und es entsteht Abrasion des Polyethylen sowie eine Umformung. Die ehemals tiefen, klar geschnittenen Riefen werden teilweise geglättet und weisen z.T. höhere Restwanddicken auf, als vor der Verschiebung. Die unten liegenden, die Kraft übertragenden Litzen-

drähte besitzen eine zur Verschieberichtung abweichende Orientierung. Beim Vorschub wirken sie wie Schlittenkufen und erzeugen ein seitliches Verschieben der Litzen, sofern dieses nicht behindert wird (Bild 4.30).

Während die Umformungsprozesse auf den Innenseiten von Schutzhülle 1 und Schutzhülle 2 klar erkennbar sind, sind visuell keine Abtragungen von Polyethylen erkennbar. Diese zeigen sich erst im Fettabstrich nach Beendigung des Versuches. Hier sind deutlich kleine Polyethylen-Partikel und Fäden erkennbar (Bild 4.31). Insgesamt erscheint der Anteil der Abrasion an der Verringerung der Restwanddicke geringfügig im Verhältnis zu den Eindrückungen. Scharfe Schnitte oder Risse infolge Abrasion waren bei keiner Spanngliedprobe sichtbar.

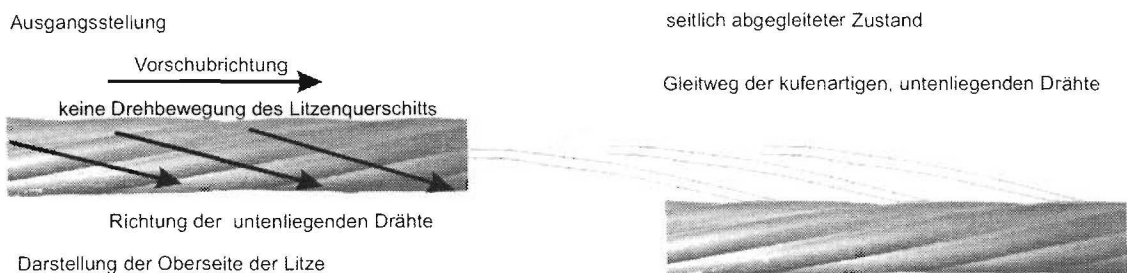


Bild 4.30: Seitliches Verschieben der Litzen



Bild 4.31: Korrosionsschutzmittel bei äußerer Gleitung (links) und innerer Gleitung (rechts)

4.8.3 Restwanddicken bei innerer Gleitung

4.8.3.1 Bandspannglieder

Die Art der Gleitung (innere Gleitung / äußere Gleitung) besitzt bei Bandspanngliedern nur einen geringen Einfluss auf den Mittelwert der Restwanddicken, wohingegen die Streuungen - mit Ausnahme des Versuches mit geringen Anpressdrücken, bei dem die Faltungen nicht so ausgeprägt waren - in Abhängigkeit vom Umlenkradius zunehmen (Bild 4.32). Bei großem Anpressdruck kommt es zu deutlichen Umformungen und Faltungen, die lokal sehr geringe Restwanddicken bis zu etwa 0,3 mm erzeugen (Bild 4.33). Treten keine Faltungen auf, ist auch keine signifikante Abnahme der Restwanddicke zu erwarten.

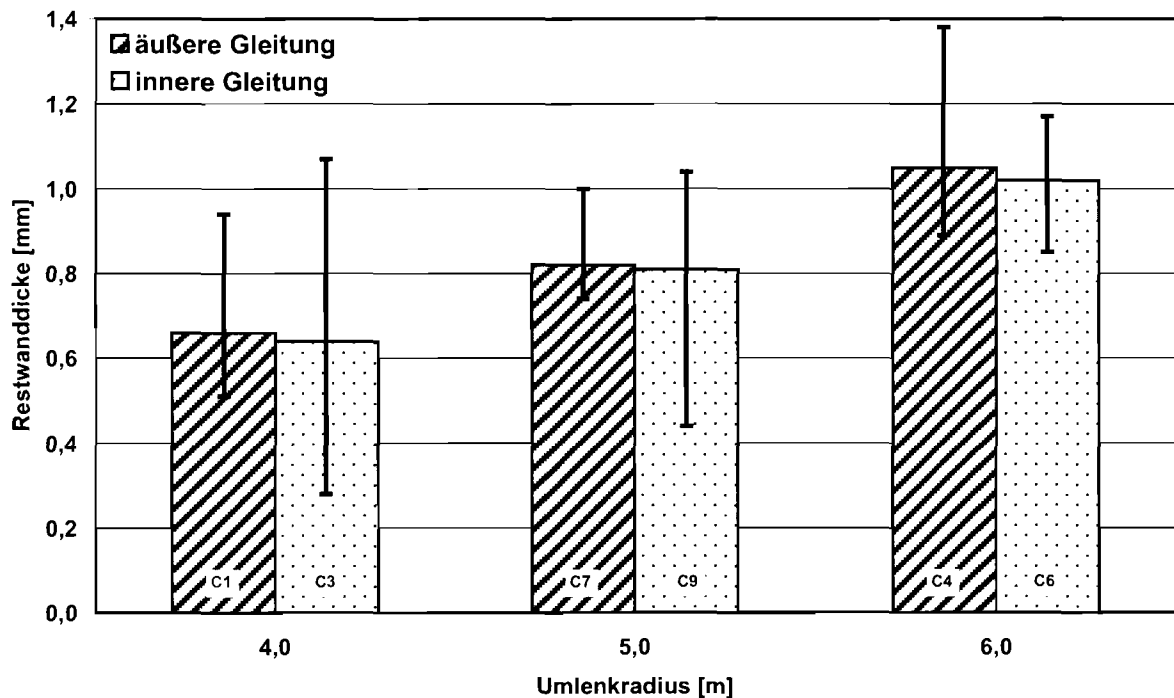


Bild 4.32: Vergleich der Restwanddicken bei innerer und äußerer Gleitung



Bild 4.33: Faltungen der Monolithenhüllen bei innerer Gleitung und einer Drehbewegung der Litzen

4.8.3.2 Bandspannglieder mit Zwickelfüllung

Bei Spanngliedern der Versuchsserie B mit eingelegten Dreikantleisten als Zwickelfüllung wirkten diese wie Keile, die sich im Verlauf der Bewegung beinahe vollständig zwischen die Monolithen schoben und diese zur Seite drückten. Zusätzlich verhinderten sie ein Umformung des Materials. Diese kombinierte Beanspruchung führte zu einem Aufreißen sowohl der äußeren (Bild 4.34) als auch der inneren Hülle (Bild 4.35).



Bild 4.34: Aufreißen der äußeren Schutzhülle bei Spannglied Serie B



Bild 4.35: Aufreißen der inneren Schutzhülle bei Spannglied Serie B

4.8.3.3 Monolitzen ohne äußere Schutzhülle

Die Versuche der Versuchsserie D mit Monolitzen ohne zweite äußere Schutzhülle zeigten ein uneinheitliches Bild. Bei Versuch D6 mit Querdehnungsbehinderung und Lasteintrag über eine steife Platte ergaben sich nach dem Vorschub größere Restwanddicken als im Referenzversuch ohne äußere Gleitung, da die tiefen Riefen durch die in gerade Richtung gezogene Litze, die seitlich nicht ausweichen konnte, begradigt wurden. Bei Versuch D9, bei dem der Lasteintrag über in die Zwickel gelegte Monolitzen erfolgte, kam es zu einem Aufreißen der Schutzhülle 1. Bei beiden Versuchen wurde die Monolitze direkt auf einem Stahlsattel liegend geprüft, so dass schon im ersten Teil des Versuches ohne Verschiebung eine starke Reduktion der Restwanddicke vermutet werden kann (Kapitel 4.5) und die hier erzielten Ergebnisse nicht als repräsentativ für Monolitzenspannverfahren ohne zweite äußere Hülle angesehen werden können.

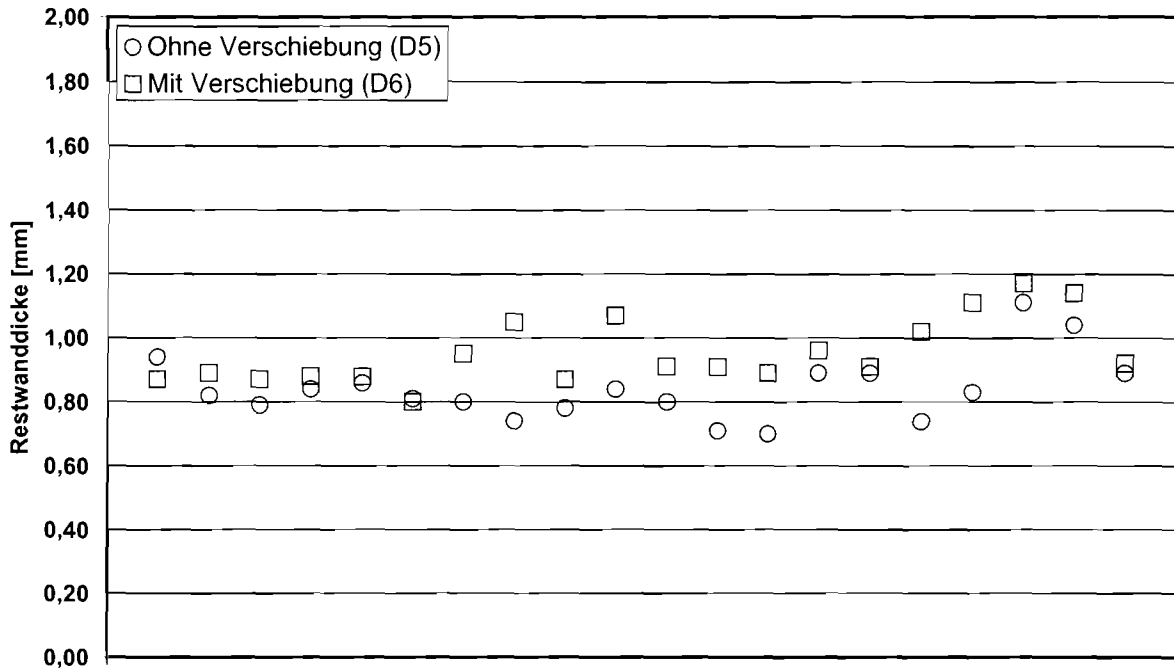


Bild 4.36: Einfluss der Verschiebung bei Monolitzen ohne zusätzliche äußere Schutzhülle

4.8.3.4 Spannbänder mit Kompaktlitzen

Während die Verwendung von Kompaktlitzen in den Versuchen zur äußeren Gleitung trotz höherer Umlenkpressungen zu geringeren Eindrückungen in die innere Schutzhülle als herkömmliche Litzen mit runden Drähten führt, ändert sich die Beanspruchung bei innerer Gleitung. Die abgeplattete linsenförmige Form der einzelnen Drähte der Kompaktlitze erzeugen scharf geschnittene Ränder der Eindruckfiguren. Zusätzlich begünstigen sie ein Verkleben des PE-Materials in der Litze und erhöhen dadurch die Beanspruchungen, die bei Faltungen des Mantels auftreten können. Wie schon bei den Versuchen mit äußerer Gleitung streuen die gemessenen Restwanddicken der inneren Schutzhüllen bei der Kompaktlitze stärker als bei herkömmlichen Litzen bei gleichem Radius wohingegen der Mittelwert der Restwanddicken vergleichbar ist. In Bezug auf die Restwanddicke der äußeren Schutzhülle ergeben sich bei der Kompaktlitze deutliche Vorteile. Die lokal tief eingeschnittenen Stellen am Rand der Eindruckfiguren besitzen einen nicht so großen Einfluss auf die Restwanddicke der äußeren Schutzhülle. Hier überwiegt die insgesamt gleichmäßigere Lastverteilung aufgrund der abgerundeten Spannglieddrähte.

4.8.3.5 Zusammenfassung zur inneren Gleitung

Durch innere Gleitung werden die Polyethylen-Ummantelungen von externen Spanngliedern stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt, als dies bei äußerer Gleitung der Fall ist. Ob es zu einem Aufreißen der Schutzhüllen bzw. zu einer stark abgeminderten Restwanddicke kommt, ist vom Aufbau und den geometrischen Randbedingungen des Spanngliedes abhängig und kann nicht pauschal beurteilt werden. Festzustellen bleibt jedoch, dass Spannglieder, die eine relativ freie Bewegungsmöglichkeit an der Umlenkstelle besitzen, indem die Monolitzen mit Zwickeln nebeneinander angeordnet sind, zwar größere Verformungen der Monolitzenmäntel erfahren, diese aber nicht aufreißen. Die Restwanddicke kann jedoch lokal stark abgemindert werden. Wird ein Verdrehen und Zurückdrehen der Litzen verhindert, so ist in diesem Fall keine deutliche Reduktion der Restwanddicke verglichen mit äußerer Gleitung zu erwarten. Bei Spanngliedern, bei denen die Stützung der Litzen durch Einlagen oder eine andere Spanngliedform verbessert wurde und die daher unter der Voraussetzung äußerer Gleitung verbesserte Restwanddicken aufweisen, kann es bei innerer Gleitung zu Verklemmungen kommen, die zu einem Aufreißen der Ummantelungen führen. In jedem Fall war eine Beschädigung der inneren Monolitzenmäntel durch eine übermäßige Verbreiterung der äußeren Schutzhülle mit bloßem Auge gut erkennbar.

4.9 Tragverhalten unter erhöhten Temperaturen

Kunststoffe zeigen ein stark temperaturabhängiges Materialverhalten. Bei steigender Temperatur nehmen sowohl der Schubmodul (Bild 4.37) und damit verbunden auch der Elastizitätsmodul als auch die Zugfestigkeit (Bild 4.38) von Polyethylen ab. Der Korrosionsschutz an Umlenkstellen ist daher unter erhöhten Temperaturen besonders gefährdet, während er bei niedrigen Temperaturen geringer beansprucht wird. Eine Versprödung des Polyethylens (Glaszustand), die zu einem plötzlichen, nicht duktilen Versagen der PE-Schutzhüllen führen würde, kann ausgeschlossen werden, da dazu Temperaturen von weniger als -50°C notwendig sind, die innerhalb eines Hohlkastens ausgeschlossen werden können. Da Kriechvorgänge zu einem Großteil innerhalb weniger Stunden abgeschlossen sind, ist vermutlich die maximale während der Lebensdauer auftretende Spanngliedtemperatur maßgebend für die Eindringtiefe, selbst wenn diese nur kurzzeitig wirkt. Genauere Untersuchungen zum Einfluss der Temperatur auf das Eindruckverhalten von Spannstahtlitzen in Polyethylen sollen in einem weiteren Forschungsvorhaben [7] untersucht werden.

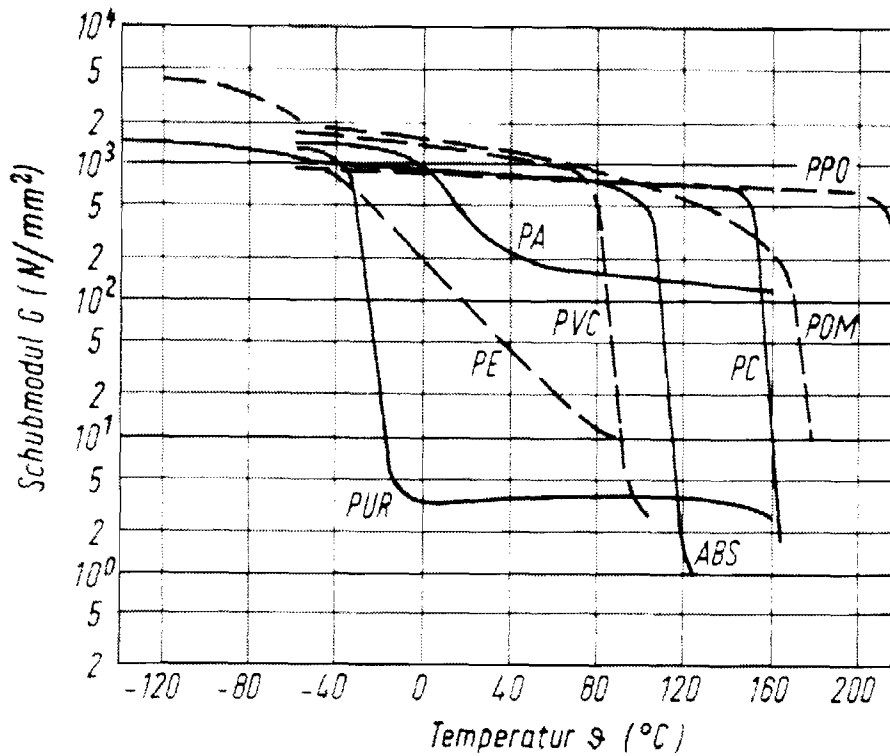


Bild 4.37: Temperaturabhängigkeit des Schubmoduls von Kunststoffen

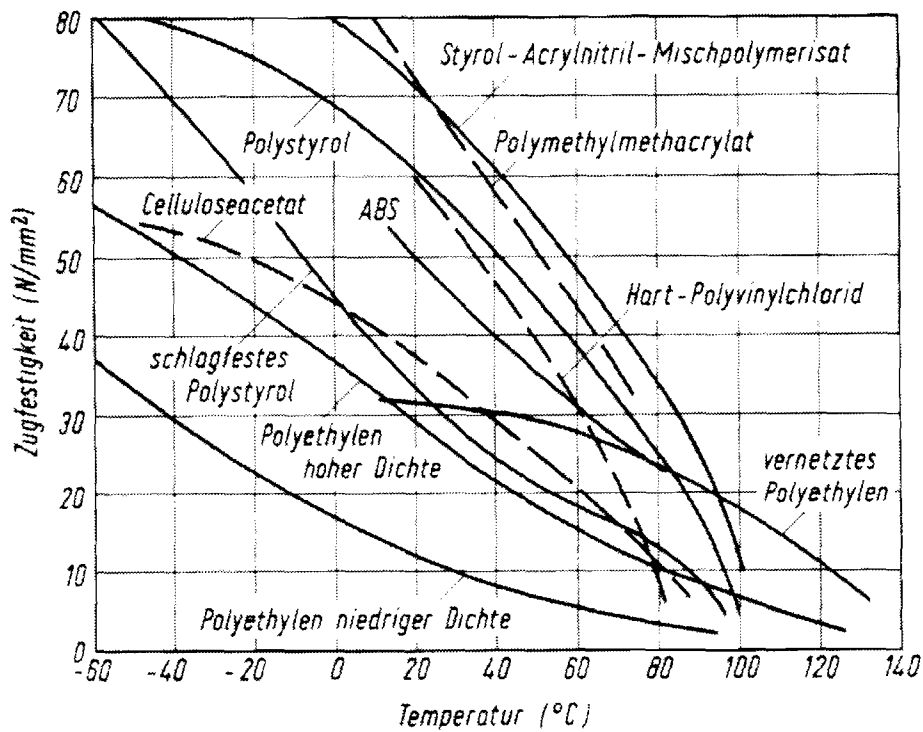


Bild 4.38: Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit von Kunststoffen

Für das Eindruckverhalten von Litzen in Polyethylen unter erhöhten Temperaturen sind zwei gegenläufige Mechanismen zu unterscheiden.

1. Das weichere Materialverhalten unter erhöhten Temperaturen bewirkt größere Eindrückungen und damit geringere Restwanddicken. Gleichzeitig wird die Zugfestigkeit des Materials herabgesetzt und die Gefahr von Rissen in den Schutzhüllen vergrößert sich.
2. Aus dem Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip, wonach die Auswirkung einer erhöhten Prüftemperatur den Auswirkungen einer geringeren Belastungsgeschwindigkeit gleichgesetzt werden kann, ergibt sich, dass erhöhte Temperaturen eine Relaxation des Materials schon während der Belastungsphase begünstigen, wodurch Spannungsspitzen abgebaut werden und Eindrucktiefen vermindert werden können.

Beide Mechanismen resultieren aus der gleichen Wirkung der erhöhten Temperatur, dass sich der plastische Anteil an den Verformungen gegenüber dem viskoelastischen Anteil erhöht. Dabei wirkt sich der Kriechanteil (Mechanismus 1) negativ und der Relaxationsanteil (Mechanismus 2) positiv auf die Restwanddicke aus.

Der Temperatureinfluss wird bei allen Versuchen schon in der Belastungsphase deutlich, in der die Verformungen der Spanngliedproben in Abhängigkeit von der Temperatur zunehmen (Bild 4.39). Bezogen auf den Beginn der Kompressionsphase bei etwa 20 kN ergibt sich in etwa eine lineare Abhängigkeit zwischen Temperatur und relativer Verformung (Bild 4.40).

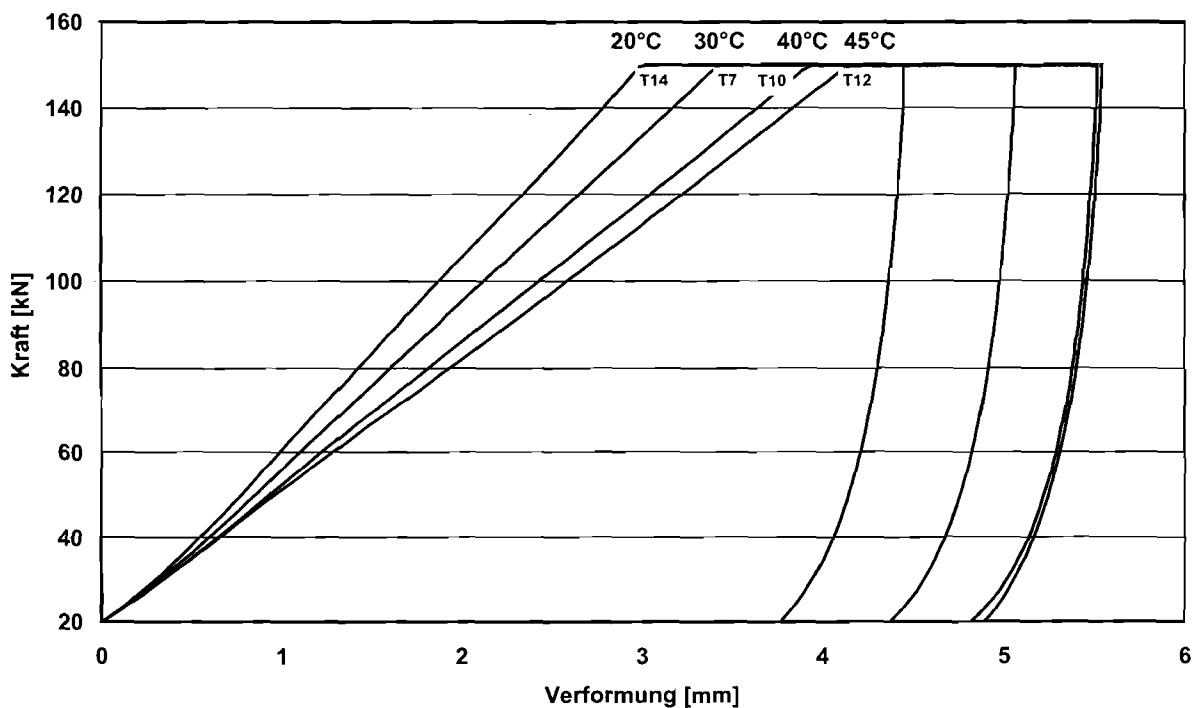


Bild 4.39: Verformungen in der Belastungsphase in Abhängigkeit von der Temperatur

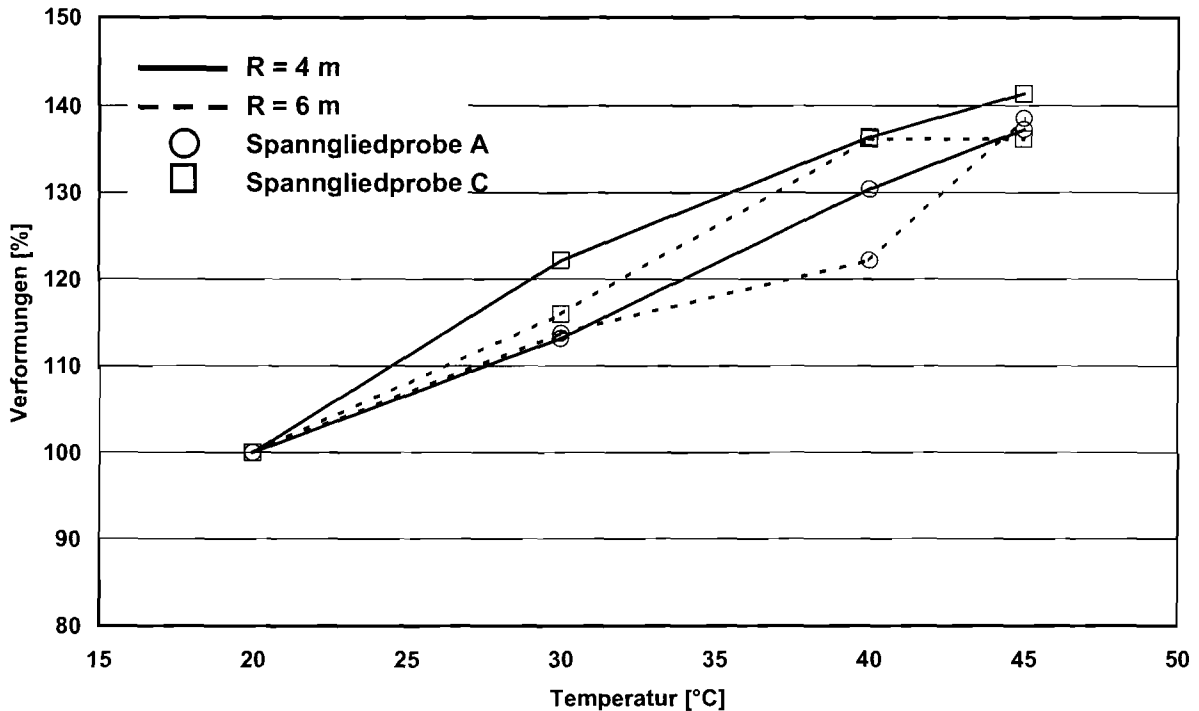


Bild 4.40: Relative Abhängigkeit der Verformungen in der Belastungsphase von der Temperatur

Die Auswirkungen erhöhter Temperatur sind nach Abschluss der Belastung ebenfalls an den Restwanddicken zu bemerken. Da die größeren Eindrückungen sich jedoch auf innere und äußere Schutzhülle verteilen, wobei der Anteil der jeweiligen Schutzhülle nicht eindeutig festgelegt ist, ergeben sich größere Streuungen in den einzelnen Spanngliedproben, die z.T. sogar aus der Reihe fallen (Bild 4.41). Trotzdem kann insgesamt die Reduzierung der Restwanddicke bei diesen Versuchen mit etwa $0,1 \text{ mm} / 10^\circ\text{C}$ abgeschätzt werden. Die Versuche mit $R = 4 \text{ m}$ zeigen dabei einen etwas geringeren Einfluss der Temperatur als die Versuche mit $R = 6 \text{ m}$ (Bild 4.42).

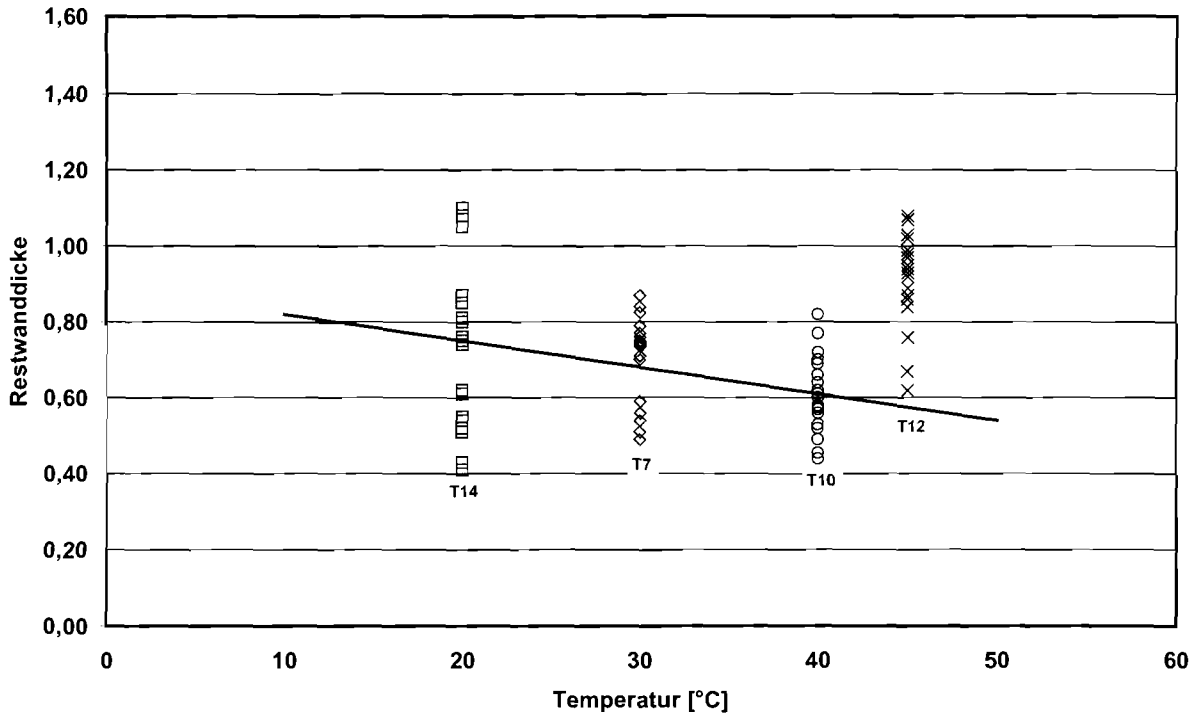


Bild 4.41: Gemessene Restwanddicke in Abhängigkeit von der Temperatur (R = 4 m)

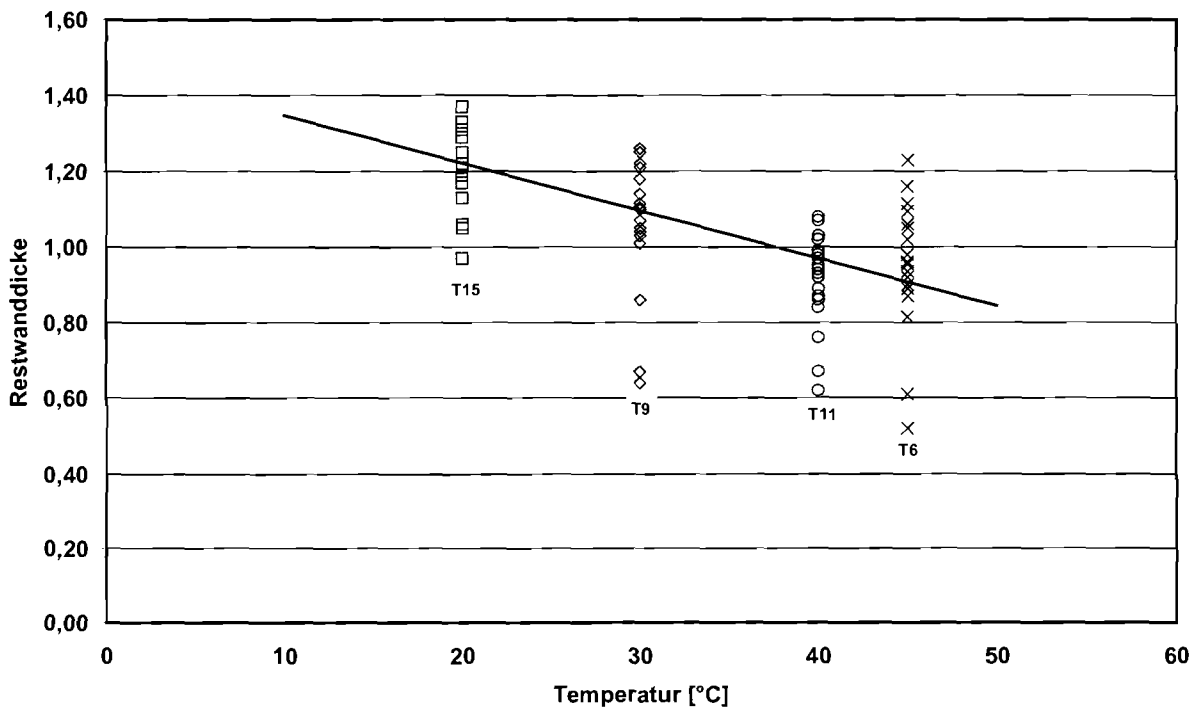


Bild 4.42: Gemessene Restwanddicke in Abhängigkeit von der Temperatur (R = 6 m)

4.10 Zeitabhängiges Materialverhalten

Die Versuche in der Kleinmodellversuchsanlage zeigen ein stark zeitabhängiges Materialverhalten der Polyethylen-Ummantelungen. Um das Kriechen auch über einen längeren Zeitraum erfassen zu können, wurden einige Spanngliedproben in einem Kriechprüfstand über einen Zeitraum von einigen Wochen getestet und die mit mehreren Messuhren ermittelten Verformungen aufgetragen.

Erkennbar ist die starke Verformungszunahme unmittelbar nach Aufbringen der Belastung (Bild 4.43), wobei die Verformungszunahme mit der Zeit stark abnimmt. Für die Darstellung wurde die jeweilige Verformung bei 1 h zu 100% gesetzt. Innerhalb eines Tages sind über 95% der Verformungen, die nach drei Wochen gemessen werden, bereits abgeschlossen. Bei logarithmischer Darstellung zeigt sich, dass die Verformungen aber auch nach mehreren Wochen noch nicht zum Stillstand gekommen sind (Bild 4.44). Dies wird auch an der ersten Ableitung (Steigung) der Verformungskurven deutlich, die für einen Versuch mit mehreren Messuhren in Bild 4.45 exemplarisch ausgewertet wurden. Für die Beurteilung von Eindrücken ist zu beachten, dass sich nur ein Teil der hier gemessenen Langzeitverformungen in verminderten Restwanddicken niederschlägt. Ein anderer Teil der Verformungen wird sich nach Entlastung verzögert elastisch zurückbilden.

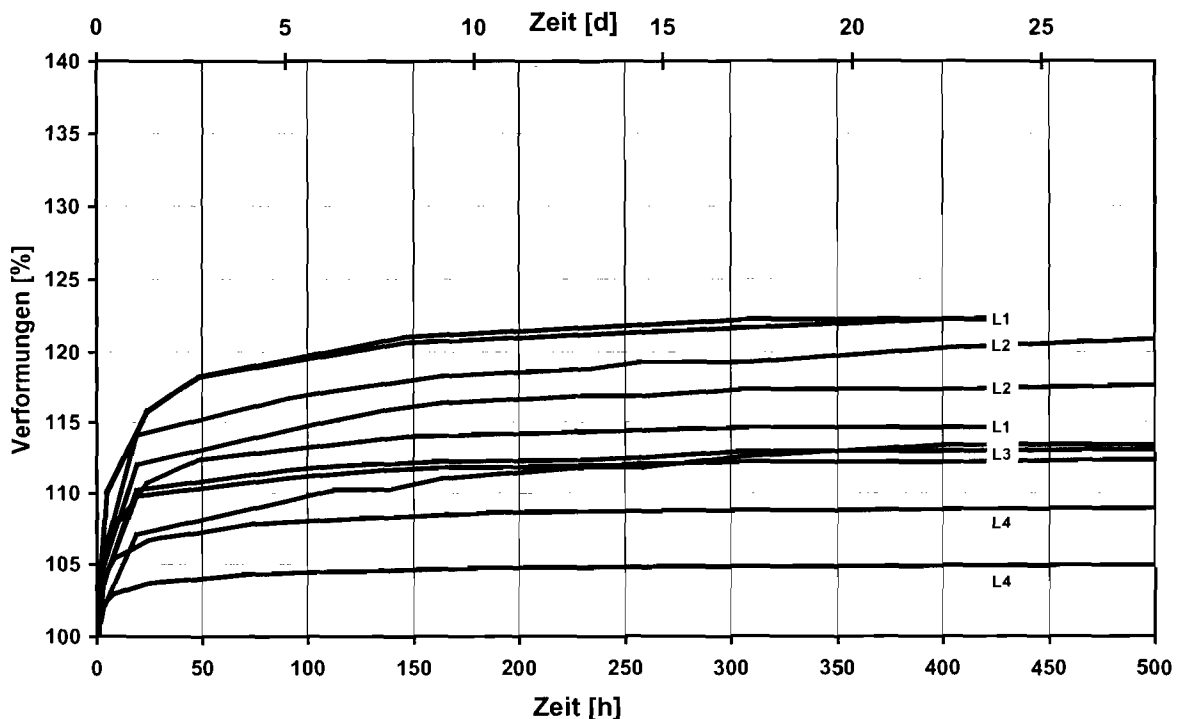


Bild 4.43: Verformung der PE-Ummantelungen innerhalb von drei Wochen

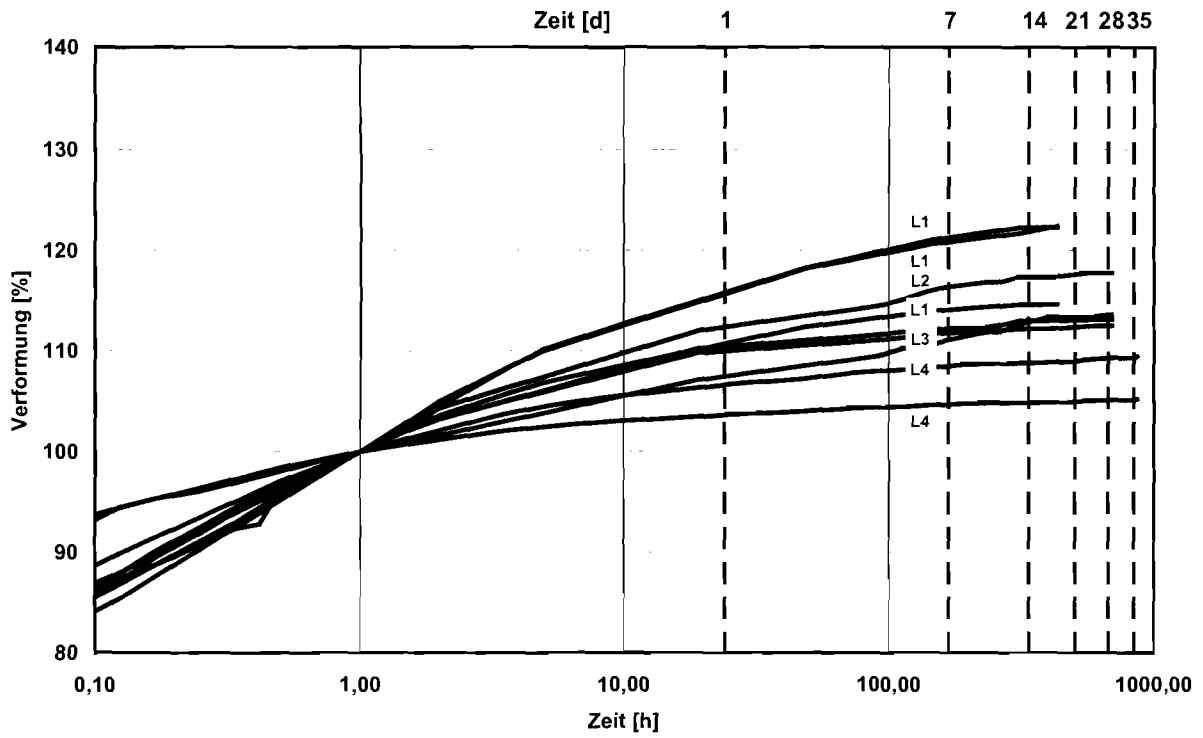


Bild 4.44: Verformungen der PE-Ummantelungen (logarithmischer Maßstab)

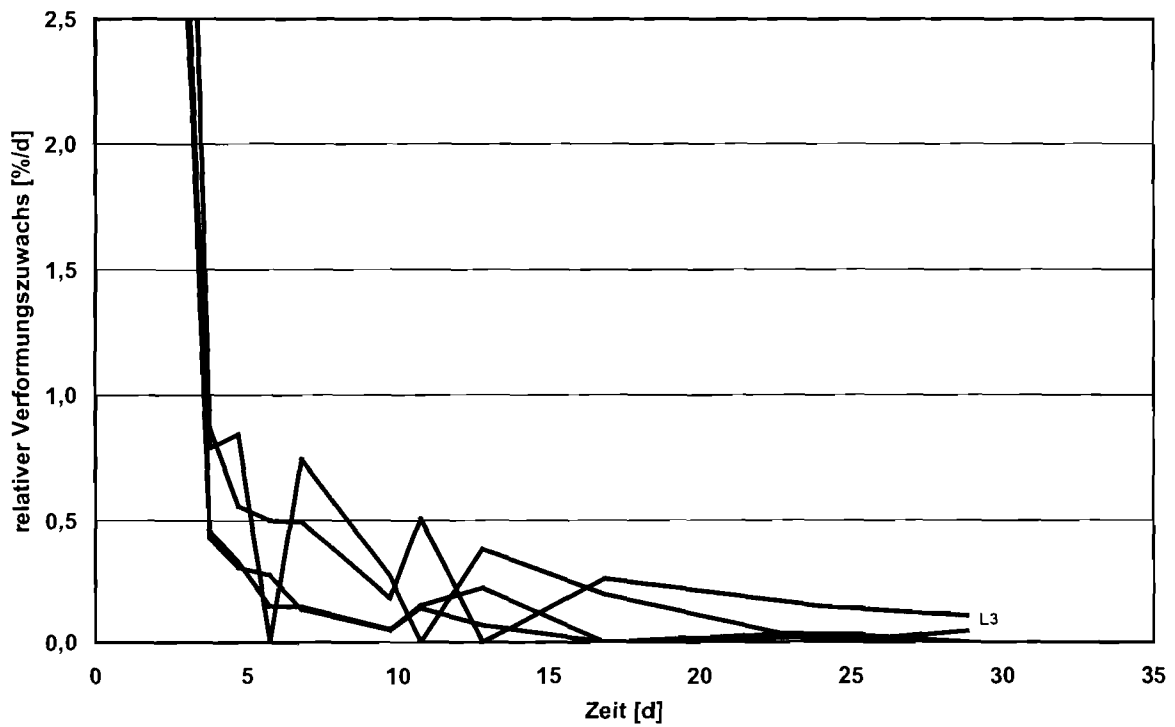


Bild 4.45: Relativer Verformungszuwachs in Prozent pro Tag (L3)

4.11 Kleine Umlenkung (Ziehen über einen Knick)

Die Beanspruchung der Schutzhüllen von externen Spanngliedern bei dem Versuch mit kleiner Umlenkung beträgt ein Mehrfaches der Beanspruchung bei der sogenannten großen Umlenkung. Rechnerisch ergibt sich bei einem 3.000 kN-Spannglied und einer Umlenkung von 2° eine Umlenkkraft von $2 \cdot 3.000 \text{ kN} \cdot \sin 1^\circ = 104,7 \text{ kN}$. Diese Umlenkkraft wird über einen Bereich von nur wenigen Zentimetern Länge übertragen. Die Übertragungslänge ist abhängig von der Ausbildung der Kante (Knick), von dem Spanngliedaufbau an der Knickstelle (z.B. Verwenden von Unterlagen), der Anzahl an übereinander angeordneten Spannstäben sowie der Biegesteifigkeit des Spanngliedes.

Im Versuch wurden die Verhältnisse abgebildet, indem ein Spannglied mit einer Umlenkung über einen Knick von 2° geführt wurde, auf den die rechnerische Belastung mit einer um 1° geneigten Lasteinleitungsplatte aufgebracht wurde (Bild 4.46). Der Einfluss der Biegesteifigkeit des Spanngliedes wurde berücksichtigt, indem entweder eine lange Lastübertragungslänge ermöglicht wurde (entspricht großer Biegesteifigkeit) oder praktisch nur der Knick zur Lastübertragung herangezogen werden konnte (entspricht kleiner Biegesteifigkeit) (Bild 4.47).

Die unterschiedlichen Lastübertragungsmöglichkeiten zeigten sich deutlich an den Eindrücken von Schutzhülle 1 und Schutzhülle 2. Während bei den Versuchen mit langer Kraftübertragungslänge der gesamte Bereich des Umlenksattels von etwa 10 cm Eindrücken aufwies, zeigten sich bei den Versuchen mit kurzer Kraftübertragungslänge nur Eindruckspuren über einen Bereich von etwa 4 – 6 cm. Der Einfluss der Kraftübertragungslänge zeigte sich ebenfalls an den Messungen der Restwanddicken. Bei langer Kraftübertragungslänge ergaben sich bei den Versuchen ohne Verschiebung (entspricht äußerer Gleitung) im Mittel Restwanddicken an der maximal beanspruchten Stelle von 0,64 mm und bei kurzer Kraftübertragungslänge von 0,50 mm.

Die Auswirkung der Anordnung von PE-Unterlagen auf die Restwanddicke wurde bei Versuch G5 untersucht. Zur Ausrundung der Kante wurden zwei Schichten der äußeren Schutzhülle mit einer Gesamtdicke von 5,5 mm unterhalb des Spanngliedes im Bereich der Kante angeordnet. Die gemessenen Restwanddicken bei kleiner Kraftübertragungslänge liegen mit etwa 0,58 mm etwas günstiger als die gemessenen Werte von 0,50 mm ohne PE-Unterlage. Augenscheinlich erkennbar ist an den Proben aber ein deutlicheres Abscheren der inneren Schutzhüllen. Die relativ weichen PE-Unterlagen führen zu keiner nennenswerten Vergröße-

rung der Kraftübertragungsfläche, vereinfachen aber durch ihre Nachgiebigkeit das Abschneiden des Polyethylens.

Bei den Versuchen zur inneren Gleitung wurde sowohl das Auflaufen des Spanngliedes auf eine Kante, als auch das Ablauen von einer Kante untersucht. Beide Beanspruchungszustände führten letztendlich zu einem Aufreißen sowohl der äußeren als auch der inneren Hülle. Die Verformungen des Polyethylens beim Auflaufen, das schon nach etwa 30 cm Ziehweg abgebrochen werden musste, waren dabei deutlich größer als beim Ablauen, das über 80 cm Ziehweg beobachtet werden konnte. Das Auflaufen auf eine Kante stellt sich daher als der kritischere Beanspruchungszustand dar.

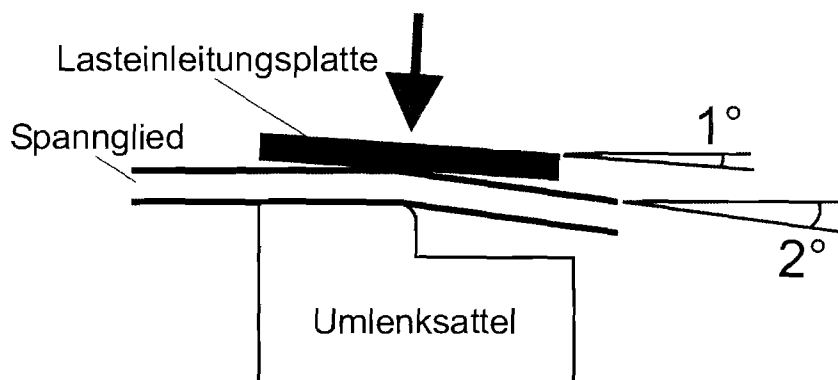


Bild 4.46: Schema der Prüfung mit kleiner Umlenkung (Ziehen über einen Knick)

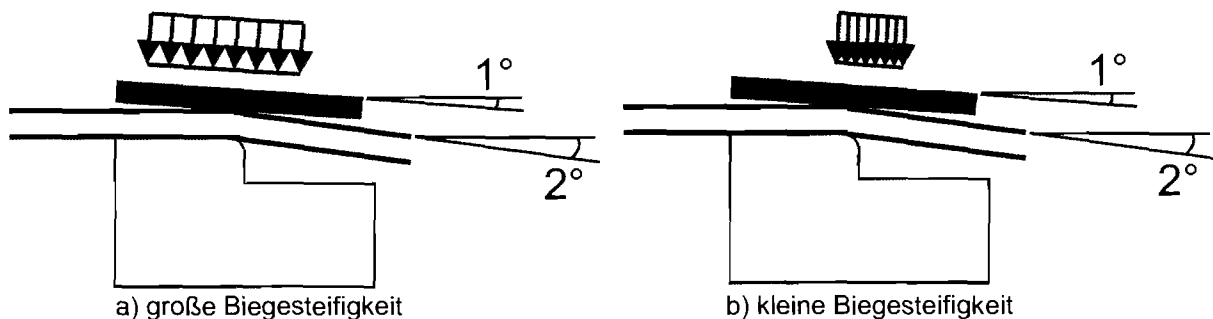


Bild 4.47: Berücksichtigung der Biegesteifigkeit des Spanngliedes

5 EMPFEHLUNGEN FÜR DEN SPANNGLIEDAUFBAU AN UMLENKSTELLEN

Ziel der Ausbildung von Umlenkstellen für externe Spannglieder muss sein, eine günstige Lastübertragung vom Spannstahl auf die umgebenden Polyethylen-Ummantelungen zu ermöglichen. Große Eindrückungen sind im Wesentlichen auf die ungünstige geometrische Form von Litzenspanngliedern sowie eine große Umlenkkraft infolge eines kleinen Umlenkradius zurückzuführen, so dass die Restwanddicken vor allem durch eine linienförmigere

Unterstützung der Litzen sowie durch einen größeren Umlenkradius positiv beeinflusst werden können.

Weiterhin kann versucht werden, einen Teil der für die Kraftübertragung notwendigen Eindrückungen von der inneren Schutzhülle auf die äußere Schutzhülle zu übertragen. Dies kann beispielsweise geschehen, indem die innere Schutzhülle aus einem härteren Polyethylenmaterial gebildet wird als die äußeren Schutzhüllen.

Bei äußerer Gleitung erweist es sich als positiv, wenn Zwickel zwischen den Monolitzen durch geeignete Profile ausgefüllt werden. Die inneren Schutzhüllen werden dann über einen größeren Umfang aktiviert und die Flächenpressungen werden entsprechend verringert.

Bei innerer Gleitung sollte entweder eine Drehbewegung der Litzen ausgeschlossen werden, was durch Versuche nachgewiesen werden kann, oder die Monolitzenmäntel sollten ganzflächig fest mit der äußeren Schutzhülle verbunden werden, um Faltungen der Mäntel zu verhindern. Wird eine Faltung der Monolitzenmäntel verhindert, ist nur ein geringer negativer Einfluss der inneren Gleitung infolge von Abrasion des Polyethylenmaterials feststellbar.

Weiche Unterlagen oder Zwischenlagen unterhalb bzw. zwischen einzelnen Litzen oder Spannbändern erweisen sich nur dann als positiv, wenn ebenfalls ein größerer Umfang der Litze für die Kraftübertragung aktiviert werden kann. Dies ist bei Polyethylen-Zwischenlagen nur bis zu einer Dicke von etwa 4 mm gegeben. Größere Dicken von Unter- bzw. Zwischenlagen ergeben praktisch keine Verbesserung der Restwanddicken, da sie nur gleichmäßig zusammengedrückt werden, ohne die geometrische Form der Auflagerung zu ändern.

Eine weitere Möglichkeit, Restwanddicken zu verbessern liegt darin, die Umlenkkraft obengelegener Litzen bzw. Spannbänder an den untenliegenden Litzen vorbei in den Umlenksattel zu leiten. Dies wäre z.B. durch eine versetzte Anordnung der Litzen sowie stützende Profile im Bereich der Umlenkstelle möglich oder durch Anordnung von Zwischenblechen, die sich auf außerhalb des Spanngliedes vorhandene Auflager, z.B. am Umlenkkasten vorhandene Konsolen, abstützen.

Kann durch eine Änderung der Spannstahlgeometrie auf eine Verwindung der Litzendrähte verzichtet werden, indem die Spanndrähte z.B. parallel geführt werden, ist ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Restwanddicke zu erwarten.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der meist durch Polyethylenschutzhüllen gebildete Korrosionsschutz von externen Spanngliedern ist an Umlenkstellen starken Beanspruchungen ausgesetzt. Infolge von großen Querpressungen kann es insbesondere bei Litzen-spanngliedern zu großen Eindrückungen in die Schutzhüllen kommen, die zu kleineren Restwanddicken führen können, als in den Erläuterungen zur Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung und Anforderungen an Spannverfahren [5] als Grenzwerte festgesetzt sind. In dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben wurden die Beanspruchungen an Umlenkstellen erstmals systematisch untersucht und die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf die Restwanddicken der Schutzhüllen dargestellt. Als maßgebend erwiesen sich insbesondere die Spannstahlgeometrie, die Anordnung von Profilen, mit denen Zwickel zwischen Monolitzen ausgefüllt wurden, sowie die einwirkende Temperatur.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Kleinmodellversuchsanlage erlaubt mit geringem Aufwand eine zuverlässige Beurteilung der Beanspruchung verschiedener Spanngliedersysteme an Umlenkstellen. Bei der Weiterentwicklung und Zulassung von Spannverfahren sollte diese Möglichkeit im Vorfeld und zur Ergänzung von aufwändigen Zulassungsversuchen genutzt werden.

Zusätzlich wurde untersucht, inwieweit ein modifizierter Kugeleindruckversuch zur Qualitätssicherung von Spanngliedern eingesetzt werden kann. Es zeigte sich, dass auch bei geringeren Materialdicken als in EN ISO 2039-1 [3] vorgesehen, aussagekräftige und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können, die mit einem für jedes Spannglied unterschiedlich festzulegenden Minimal- und Maximalwert verglichen werden können.

Die Untersuchungen werfen einige Fragen auf, die in zukünftigen Forschungsvorhaben geklärt werden sollten. Dazu gehören im Besonderen die Wirkung von Temperaturzyklen und kurzzeitigen Temperaturspitzenwerten, die Auswirkung einer Spanngliedverschiebung auf gealtertes Material (Nachspannen) sowie der Einfluss kleiner dynamischer Verschiebungen. Aufgrund des großen Einflusses der Drehbewegung von Litzen beim Vorspannen sollten weiterhin Untersuchungen zur Torsionssteifigkeit von Litzen-spanngliedern durchgeführt werden.

7 LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern, Bearbeitet: Thormählen und Peuckert, Ingenieurgesellschaft für Bauwesen mbH, Aachen-Paderborn-Berlin, Verkehrsblatt-Dokument Nr. S 1050 – Vers. 07/99, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund 1999
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung, Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik 30 (1999), Nr. 5
- [3] EN ISO 2039-1: Kunststoffe, Bestimmung der Härte, Teil 1: Kugeleindruckversuch, Europäische Norm, Europäisches Komitee für Normung (CEN) 1996
- [4] Großmann, F.: Wirtschaftlichkeit von extern vorgespannten Brücken, in: Externe Vorspannung und Segmentbauweise, Vorträge anlässlich des Workshops *Externe und verbundlose Vorspannung – Segmentbrücken* an der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH) vom 5. bis 7. Oktober 1998, S. 99 - 106, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 1998
- [5] Hartz, U.: Erläuterungen zur „Richtlinie für die Eignungsprüfung von Spannverfahren für externe Vorspannung“, Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik 30 (1999), Nr. 5
- [6] Haveresch, K.-H.: Zuverlässigkeit der planmäßigen Spannkrafteintragung unter besonderer Berücksichtigung baupraktischer Klimabeanspruchungen, Dissertation, RWTH Aachen, Shaker Verlag, Aachen 1994
- [7] Hegger, J.; Neuser, J.U.: Dauerhaftigkeit von Polyethylen-Schutzhüllen externer Spannglieder an Umlenkstellen bei wechselnden Beanspruchungszuständen, Beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) beantragtes Forschungsvorhaben des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen
- [8] Michaeli, W.: Einführung in die Kunststoffverarbeitung, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1992
- [9] Müller, K.: Härteprüfungen von Kunststoffen, Beschichtungen und Gummi, in Weiler, W.: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen, Expert Verlag, Sindelfingen 1985
- [10] Saechtling, H.: Kunststoff-Taschenbuch, 25. Ausgabe, Hanser Verlag, München 1992

- [11] Standfuß, F.: Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern des Bundesministeriums für Verkehr, Vorträge Betontag 1999, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Verlag Ernst&Sohn, Berlin 2000
- [12] Stempniewski, L.; Weidlich, C.: Umlenkversuch mit großem Ziehweg an einem externen Spannglied vom Typ VBF-CMM 4-04-150D, Prüfungsbericht des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Abteilung Massivbau, Universität Karlsruhe 2001
- [13] Walther, R.; Utescher, U.; Schreck, D.: Vorausbestimmung der Spannkraftverluste infolge Dehnungsbehinderung, Heft 282 des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin 1977

- Anhänge -

(DIBt P 32-5-7.195-934/00)

Institutsbericht Nr.: 70/2001

des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen

Anhang A: Versuchsübersicht
Anhang B: Versuchsergebnisse

Anhang A: Versuchsübersicht

	Versuch	Last	Verschiebung	Unterlage	seitl. Führung	Steuerung	Belastung	Temperatur	
A	Spannband	A1	150				Litzen	20°	
		A2	100				Litzen	20°	
		A3	150	80			Litzen	20°	
		A4	150			ja	Litzen	20°	
		A5	100			ja	Litzen	20°	
		A6	100	40			Litzen	20°	
		A7	150		4,0 mm PE		Litzen	20°	
		A8	150		8,0 mm PE		Litzen	20°	
		A9	150	80			Spannsystem	20°	
		A10	150			ja	elektronisch	Litzen	20°
		A11	150			Keil/ja	elektronisch	Litzen	20°
		A12	150	80		ja	elektronisch	Spannsystem	20°
B	Spannband Zwickel mit PE-Streifen	B1	150				Litzen	20°	
		B2	100				Litzen	20°	
		B3	150	80			Spannsystem	20°	
		B4	150		4,0 PE		Litzen	20°	
		B5	150		8,0 PE		Litzen	20°	
		B6	150	80	4,0 PE		Spannsystem	20°	
		B7	150			ja	Litzen	20°	
		B8	150		2,7mm PE weich		Litzen	20°	
		B9	150	80		ja	Spannsystem	20°	
C	Spannband	C1	150				Litzen	20°	
		C2	150				Litzen	20°	
		C3	150	80			Spannsystem	20°	
		C4	100				Litzen	20°	
		C5	100				Litzen	20°	
		C6	100	80			Spannsystem	20°	
		C7	125				Litzen	20°	
		C8	125				Litzen	20°	
		C9	125	80			Spannsystem	20°	
CI	Spannband Kompaktlitze	CI1	165				Litzen	20°	
		CI2	150				Litzen	20°	
		CI3	165	80			Spannsystem	20°	
		CI4	165				Litzen	20°	
		CI5	165			Keil/ja	Litzen	20°	
		CI6	165			Keil/ja	Spannsystem	20°	
D	Monolitze	D1	100				Spannsystem	20°	
		D2	100				Spannsystem	20°	
		D3	100	80			Spannsystem	20°	
		D4	100			ja	Spannsystem	20°	
		D5	100			ja	Spannsystem	20°	
		D6	100	80		ja	Spannsystem	20°	
		D7	100			ja	innen Litzen	20°	
		D8	100			ja	innen Litzen	20°	
		D9	100	80		ja	innen Litzen	20°	

	Versuch	Last	Verschiebung	Unterlage	seitl. Führung	Steuerung	Belastung	Temperatur
E	Monolitze	E1	150		ja	elektronisch	Spannsystem	20°
	Doppelter PE-Mantel	E2	150	80	ja	elektronisch	Spannsystem	20°
F	Drahtspannglieder	F1	150			elektronisch	Drähte	20°
		F2	150			elektronisch	Drähte	20°
		F3	100			elektronisch	Drähte	20°
		F4	100			elektronisch	Drähte	20°
		F5	125			elektronisch	Drähte	20°
G	Spannband Typ A	G1	100			elektronisch	große Biegesteifigkeit	20°
		G2	100			elektronisch	kleine Biegesteifigkeit	20°
		G3	100	30 cm auflaufend		elektronisch	kleine Biegesteifigkeit	20°
		G4	100			elektronisch	große Biegesteifigkeit	20°
		G5	100	5,5 mm HDPE weich		elektronisch	kleine Biegesteifigkeit	20°
		G6	100	80 cm ablaufend		elektronisch	kleine Biegesteifigkeit	20°
L	Spannband Typ C	L1	100			manuell	Spannsystem	20°
		L2	150			manuell	Spannsystem	20°
		L3	150			manuell	Spannsystem	20°
		L4	150			manuell	Spannsystem	20°
T	Spannband Typ C	T1	150			elektronisch	Spannsystem	40°
	Spannband Typ C	T2	100			elektronisch	Spannsystem	40°
	Spannband Typ C	T3	150			elektronisch	Spannsystem	30°
	Spannband Typ C	T4	100			elektronisch	Spannsystem	30°
	Spannband Typ C	T5	150			elektronisch	Spannsystem	45°
	Spannband Typ A	T6	100			elektronisch	Spannsystem	45°
	Spannband Typ A	T7	150			elektronisch	Spannsystem	30°
	Spannband Typ A	T8	Nicht auswertbar					
	Spannband Typ A	T9	100			elektronisch	Spannsystem	30°
	Spannband Typ A	T10	150			elektronisch	Spannsystem	40°
	Spannband Typ A	T11	100			elektronisch	Spannsystem	40°
	Spannband Typ A	T12	150			elektronisch	Spannsystem	45°
	Spannglied Typ C	T13	100			elektronisch	Spannsystem	45°
	Spannglied Typ A	T14	150			elektronisch	Spannsystem	20°
	Spannglied Typ A	T15	100			elektronisch	Spannsystem	20°
	Spannglied Typ C	T16	150			elektronisch	Spannsystem	20°
	Spannglied Typ C	T17	100			elektronisch	Spannsystem	20°

Anhang B: Versuchsergebnisse

Versuch A1

Versuch A1

Spannglied: Typ A
 innen: 1,68 mm
 außen: 2,68 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulikpresse
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h

Bemerkung: Die Wegaufnehmermessung erfasst auch die Verformung der Prüfeinrichtung

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,64	1,65	1,64	1,59	1,63	1,60	1,63
Innen 2	1,88	1,90	1,90	1,89	1,85	1,88	1,88
Innen 3	1,73	1,75	1,67	1,73	1,74	1,66	1,71
Innen 4	1,45	1,50	1,51	1,57	1,46	1,45	1,49
Mittelwert	1,68	1,70	1,68	1,70	1,67	1,65	1,68

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,77	2,76	2,75	2,76	2,77	2,76
Hülle 2	2,65	2,70	2,67	2,61	2,61	2,60	2,64
Hülle 3	2,61	2,61	2,60	2,60	2,60	2,65	2,61
Hülle 4	2,74	2,74	2,74	2,73	2,70	2,71	2,73
Mittelwert	2,69	2,71	2,69	2,67	2,67	2,68	2,68

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,48	0,48	0,53	0,60	0,63		0,54
Innen 2	0,80	0,60	0,63	0,68	0,79		0,70
Innen 3	0,58	0,63	0,73	0,65	0,65		0,65
Innen 4	0,65	0,63	0,70	0,73	0,83		0,71
Mittelwert	0,63	0,59	0,65	0,67	0,73		0,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,35	1,51	1,60	1,68	1,74		1,58
Hülle 2	1,51	1,51	1,60	1,61	1,74		1,59
Hülle 3	1,52	1,60	1,65	1,76	1,83		1,67
Hülle 4	1,54	1,61	1,68	1,84	1,86		1,71
Mittelwert	1,48	1,56	1,63	1,72	1,79		1,64

Versuch A2

Versuch A2

Spannglied: Typ A
 innen: 1,68 mm
 außen: 2,68 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Pressen
 seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 10 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,64	1,65	1,64	1,59	1,63	1,60	1,62
Innen 2	1,88	1,90	1,90	1,89	1,85	1,88	1,88
Innen 3	1,73	1,75	1,67	1,73	1,74	1,66	1,71
Innen 4	1,45	1,50	1,51	1,57	1,46	1,45	1,49
Mittelwert	1,68	1,70	1,68	1,69	1,67	1,65	1,68

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,77	2,76	2,75	2,76	2,77	2,76
Hülle 2	2,65	2,70	2,67	2,61	2,61	2,60	2,64
Hülle 3	2,61	2,61	2,60	2,60	2,60	2,65	2,61
Hülle 4	2,74	2,74	2,74	2,73	2,70	2,71	2,73
Mittelwert	2,69	2,71	2,69	2,67	2,67	2,68	2,68

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,11	1,14	1,14	1,19	1,20		1,15
Innen 2	1,33	1,26	1,29	1,27	1,25		1,28
Innen 3	1,19	1,12	1,21	1,20	1,15		1,17
Innen 4	1,16	1,19	1,14	1,15	1,21		1,17
Mittelwert	1,20	1,18	1,20	1,20	1,20		1,19

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,48	2,47	2,48	2,49	2,53		2,49
Hülle 2	2,31	2,40	2,34	2,35	2,42		2,36
Hülle 3	2,34	2,36	2,35	2,42	2,54		2,40
Hülle 4	2,42	2,42	2,44	2,48	2,50		2,45
Mittelwert	2,39	2,41	2,40	2,44	2,50		2,43

Versuch A3

Versuch A3

Spannglied: Typ A
 innen: 1,68 mm
 außen: 2,68 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 25 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Pressen
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 19 h
Bemerkung: Versuch nach Vers Schub nicht auswertbar

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,64	1,65	1,64	1,59	1,63	1,60	1,62
Innen 2	1,88	1,90	1,90	1,89	1,85	1,88	1,88
Innen 3	1,73	1,75	1,67	1,73	1,74	1,66	1,71
Innen 4	1,45	1,50	1,51	1,57	1,46	1,45	1,49
Mittelwert	1,68	1,70	1,68	1,69	1,67	1,65	1,68

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,77	2,76	2,75	2,76	2,77	2,76
Hülle 2	2,65	2,70	2,67	2,61	2,61	2,60	2,64
Hülle 3	2,61	2,61	2,60	2,60	2,60	2,65	2,61
Hülle 4	2,74	2,74	2,74	2,73	2,70	2,71	2,73
Mittelwert	2,69	2,71	2,69	2,67	2,67	2,68	2,68

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	-	-	-	-	-	-	-
Innen 2	-	-	-	-	-	-	-
Innen 3	-	-	-	-	-	-	-
Innen 4	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	-	-	-	-	-	-	-
Hülle 2	-	-	-	-	-	-	-
Hülle 3	-	-	-	-	-	-	-
Hülle 4	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch A4

Versuch A4

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 2,67 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Presse
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 15 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,66	1,61	1,61	1,66	1,65	1,65	1,64
Innen 2	1,80	1,81	1,80	1,80	1,80	1,81	1,80
Innen 3	1,57	1,53	1,59	1,58	1,55	1,58	1,57
Innen 4	1,80	1,73	1,77	1,76	1,75	1,73	1,76
Mittelwert	1,71	1,67	1,69	1,70	1,69	1,69	1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,75	2,75	2,76	2,72	2,70	2,74
Hülle 2	2,66	2,63	2,59	2,67	2,65	2,65	2,64
Hülle 3	2,63	2,62	2,59	2,59	2,54	2,54	2,59
Hülle 4	2,72	2,73	2,71	2,72	2,72	2,73	2,72
Mittelwert	2,69	2,68	2,66	2,69	2,66	2,66	2,67

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,58	0,59	0,68	0,59	0,57	-	0,60
Innen 2	0,58	0,66	0,69	0,70	0,70	-	0,67
Innen 3	0,65	0,59	0,65	0,62	0,63	-	0,63
Innen 4	0,59	0,69	0,72	0,75	0,75	-	0,70
Mittelwert	0,60	0,63	0,68	0,66	0,66	-	0,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,89	1,94	2,00	2,00	2,05	-	1,98
Hülle 2	1,79	1,82	1,82	1,94	1,86	-	1,85
Hülle 3	1,73	1,86	1,89	1,92	1,96	-	1,87
Hülle 4	1,68	1,74	1,70	1,76	1,80	-	1,74
Mittelwert	1,77	1,84	1,85	1,91	1,92	-	1,86

Versuch A5

Versuch A5

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 2,67 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Pressen
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,66	1,61	1,61	1,66	1,65	1,65	1,64
Innen 2	1,80	1,81	1,80	1,80	1,80	1,81	1,80
Innen 3	1,57	1,53	1,59	1,58	1,55	1,58	1,57
Innen 4	1,80	1,73	1,77	1,76	1,75	1,73	1,76
Mittelwert	1,71	1,67	1,69	1,70	1,69	1,69	1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,75	2,75	2,76	2,72	2,70	2,74
Hülle 2	2,66	2,63	2,59	2,67	2,65	2,65	2,64
Hülle 3	2,63	2,62	2,59	2,59	2,54	2,54	2,59
Hülle 4	2,72	2,73	2,71	2,72	2,72	2,73	2,72
Mittelwert	2,69	2,68	2,66	2,69	2,66	2,66	2,67

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,55	1,00	1,07	1,08	1,05	-	0,95
Innen 2	1,26	1,22	1,14	1,16	1,17	-	1,19
Innen 3	1,16	0,94	0,98	0,95	1,08	-	1,02
Innen 4	1,05	1,03	1,05	1,16	1,19	-	1,10
Mittelwert	1,01	1,05	1,06	1,09	1,12	-	1,06

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,51	2,62	2,65	2,63	2,58	-	2,60
Hülle 2	2,32	2,42	2,42	2,43	2,44	-	2,41
Hülle 3	2,48	2,54	2,51	2,52	2,49	-	2,51
Hülle 4	2,40	2,47	2,54	2,47	2,45	-	2,47
Mittelwert	2,43	2,51	2,53	2,51	2,49	-	2,49

Versuch A6

Versuch A6

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 2,67 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 40 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Presse
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 18 h
Bemerkung: Material wird seitlich herausgedrückt

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,66	1,61	1,61	1,66	1,65	1,65	1,64
Innen 2	1,80	1,81	1,80	1,80	1,80	1,81	1,80
Innen 3	1,57	1,53	1,59	1,58	1,55	1,58	1,57
Innen 4	1,80	1,73	1,77	1,76	1,75	1,73	1,76
Mittelwert	1,71	1,67	1,69	1,70	1,69	1,69	1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,75	2,75	2,76	2,72	2,70	2,74
Hülle 2	2,66	2,63	2,59	2,67	2,65	2,65	2,64
Hülle 3	2,63	2,62	2,59	2,59	2,54	2,54	2,59
Hülle 4	2,72	2,73	2,71	2,72	2,72	2,73	2,72
Mittelwert	2,69	2,68	2,66	2,69	2,66	2,66	2,67

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,85	0,78	0,70	0,89	0,75	-	0,79
Innen 2	0,78	1,06	0,58	0,73	0,67	-	0,76
Innen 3	0,35	0,52	0,49	0,65	0,54	-	0,51
Innen 4	1,30	1,49	1,41	1,37	1,25	-	1,36
Mittelwert	0,82	0,96	0,80	0,91	0,80	-	0,86

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,69	2,70	2,72	2,69	2,65	-	2,69
Hülle 2	2,43	2,39	2,01	1,94	1,94	-	2,14
Hülle 3	2,37	2,60	2,53	2,34	2,20	-	2,41
Hülle 4	2,40	2,49	2,53	2,33	2,31	-	2,41
Mittelwert	2,47	2,55	2,45	2,33	2,28	-	2,41

Versuch A7

Versuch A7

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 2,69 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Presse
seitliche Führung: -
Unterlage: HDPE 4mm
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung: Die Verformungsmessungen während des Versuches enthalten die Verformung der Unterlage

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,74	1,77	1,76	1,77	1,75	1,75
Innen 2	1,75	1,67	1,66	1,70	1,71	1,72	1,70
Innen 3	1,53	1,52	1,53	1,57	1,53	1,54	1,54
Innen 4	1,76	1,75	1,76	1,73	1,75	1,76	1,75
Mittelwert	1,69	1,67	1,68	1,69	1,69	1,69	1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,90	2,75	2,80	2,76	2,72	2,74	2,78
Hülle 2	2,71	2,60	2,69	2,70	2,71	2,73	2,69
Hülle 3	2,61	2,60	2,58	2,59	2,60	2,63	2,60
Hülle 4	2,73	2,69	2,67	2,68	2,65	2,67	2,68
Mittelwert	2,74	2,66	2,69	2,68	2,67	2,69	2,69

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,94	0,83	0,85	0,78	0,79	-	0,84
Innen 2	0,91	0,83	0,83	0,77	0,80	-	0,83
Innen 3	0,61	0,63	0,57	0,55	0,60	-	0,59
Innen 4	0,91	0,75	0,82	0,70	0,72	-	0,78
Mittelwert	0,84	0,76	0,77	0,70	0,73	-	0,76

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,92	1,90	1,88	1,92	1,88	-	1,90
Hülle 2	2,01	1,94	1,86	1,83	1,87	-	1,90
Hülle 3	2,15	2,20	2,10	2,15	2,11	-	2,14
Hülle 4	2,38	2,32	2,24	2,25	2,22	-	2,28
Mittelwert	2,12	2,09	2,02	2,04	2,02	-	2,06

Versuch A8

Versuch A8

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 2,69 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Pressen
seitliche Führung: -
Unterlage: HDPE 8,0 mm
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung: Die Verformungsmessungen während des Versuches enthalten die Verformung der Unterlage

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,74	1,77	1,76	1,77	1,75	1,75
Innen 2	1,75	1,67	1,66	1,70	1,71	1,72	1,70
Innen 3	1,53	1,52	1,53	1,57	1,53	1,54	1,54
Innen 4	1,76	1,75	1,76	1,73	1,75	1,76	1,75
Mittelwert	1,69	1,67	1,68	1,69	1,69	1,69	1,69

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,90	2,75	2,80	2,76	2,72	2,74	2,78
Hülle 2	2,71	2,60	2,69	2,70	2,71	2,73	2,69
Hülle 3	2,61	2,60	2,58	2,59	2,60	2,63	2,60
Hülle 4	2,73	2,69	2,67	2,68	2,65	2,67	2,68
Mittelwert	2,74	2,66	2,69	2,68	2,67	2,69	2,69

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,58	0,54	0,59	0,63	0,70	-	0,61
Innen 2	0,70	0,74	0,75	0,81	0,88	-	0,78
Innen 3	0,55	0,59	0,54	0,51	0,47	-	0,53
Innen 4	0,75	0,73	0,83	0,80	0,91	-	0,80
Mittelwert	0,65	0,65	0,68	0,69	0,74	-	0,68

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,97	1,84	1,86	1,69	1,67	-	1,81
Hülle 2	2,00	1,83	1,76	1,69	1,65	-	1,79
Hülle 3	2,24	2,15	2,09	1,95	1,89	-	2,06
Hülle 4	2,25	2,20	2,18	2,12	2,25	-	2,20
Mittelwert	2,12	2,01	1,97	1,86	1,87	-	1,96

Versuch A9

Versuch A9

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 2,69 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit: manuell
Prüfmaschine/Prüfort: Hydraulik-Pressen
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,74	1,77	1,76	1,77	1,75	1,75
Innen 2	1,75	1,67	1,66	1,70	1,71	1,72	1,70
Innen 3	1,53	1,52	1,53	1,57	1,53	1,54	1,54
Innen 4	1,76	1,75	1,76	1,73	1,75	1,76	1,75
Mittelwert	1,69	1,67	1,68	1,69	1,69	1,69	1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,90	2,75	2,80	2,76	2,72	2,74	2,78
Hülle 2	2,71	2,60	2,69	2,70	2,71	2,73	2,69
Hülle 3	2,61	2,60	2,58	2,59	2,60	2,63	2,60
Hülle 4	2,73	2,69	2,67	2,68	2,65	2,67	2,68
Mittelwert	2,74	2,66	2,69	2,68	2,67	2,69	2,69

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,74	0,73	0,70	0,45	0,45	-	0,61
Innen 2	0,36	0,44	0,41	0,38	0,35	-	0,39
Innen 3	0,40	0,44	0,43	0,43	0,40	-	0,42
Innen 4	0,92	1,06	1,15	1,21	1,26	-	1,12
Mittelwert	0,61	0,67	0,67	0,62	0,61	-	0,63

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,45	1,61	1,45	1,55	1,45	-	1,50
Hülle 2	1,08	1,20	2,21	1,21	1,11	-	1,36
Hülle 3	1,50	1,36	1,41	1,47	1,52	-	1,45
Hülle 4	1,49	1,47	1,52	1,25	1,57	-	1,46
Mittelwert	1,38	1,41	1,65	1,37	1,41	-	1,44

Versuch A10

Versuch A10

Spannglied: Typ A
 innen: 1,71 mm
 außen: 2,74 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,71	1,80	1,70	1,73	1,75	1,75
Innen 2	1,70	1,75	1,67	1,67	1,74	1,76	1,72
Innen 3	1,50	1,52	1,50	1,50	1,51	1,52	1,51
Innen 4	1,90	1,85	1,90	1,85	1,86	1,87	1,87
Mittelwert	1,73	1,71	1,72	1,68	1,71	1,73	1,71

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,78	2,78	2,78	2,78	2,77	2,78
Hülle 2	2,73	2,73	2,73	2,77	2,74	2,75	2,74
Hülle 3	2,63	2,65	2,67	2,68	2,67	2,69	2,67
Hülle 4	2,72	2,86	2,82	2,77	2,78	2,78	2,79
Mittelwert	2,72	2,76	2,75	2,75	2,74	2,75	2,74

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,65	0,65	0,65	0,64	0,70	-	0,66
Innen 2	0,58	0,60	0,61	0,65	0,64	-	0,62
Innen 3	0,67	0,70	0,61	0,51	0,45	-	0,59
Innen 4	0,75	0,70	0,69	0,65	0,67	-	0,69
Mittelwert	0,66	0,66	0,64	0,61	0,62	-	0,64

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,10	1,98	1,86	1,80	1,76	-	1,90
Hülle 2	2,02	1,95	1,88	1,87	1,80	-	1,90
Hülle 3	2,13	2,06	2,07	2,14	2,10	-	2,10
Hülle 4	2,11	2,08	2,02	1,94	1,95	-	2,02
Mittelwert	2,09	2,02	1,96	1,94	1,90	-	1,98

Versuch A11

Versuch A11

Spannglied: Typ A
innen: 1,71 mm
außen: 2,74 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litzen
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: Zwickel
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,71	1,80	1,70	1,73	1,75	1,75
Innen 2	1,70	1,75	1,67	1,67	1,74	1,76	1,72
Innen 3	1,50	1,52	1,50	1,50	1,51	1,52	1,51
Innen 4	1,90	1,85	1,90	1,85	1,86	1,87	1,87
Mittelwert	1,73	1,71	1,72	1,68	1,71	1,73	1,71

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,78	2,78	2,78	2,78	2,77	2,78
Hülle 2	2,73	2,73	2,73	2,77	2,74	2,75	2,74
Hülle 3	2,63	2,65	2,67	2,68	2,67	2,69	2,67
Hülle 4	2,72	2,86	2,82	2,77	2,78	2,78	2,79
Mittelwert	2,72	2,76	2,75	2,75	2,74	2,75	2,74

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,74	0,76	0,77	0,81	1,05	-	0,83
Innen 2	0,92	0,84	0,85	0,75	0,84	-	0,84
Innen 3	0,82	0,81	0,75	0,79	1,05	-	0,84
Innen 4	0,90	0,85	0,82	0,79	0,84	-	0,84
Mittelwert	0,85	0,81	0,80	0,79	0,95	-	0,84

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,40	2,52	2,58	2,59	2,50	-	2,52
Hülle 2	2,50	2,46	2,53	2,52	2,51	-	2,50
Hülle 3	2,49	2,49	2,49	2,49	2,45	-	2,48
Hülle 4	2,48	2,62	2,61	2,49	2,60	-	2,56
Mittelwert	2,47	2,52	2,55	2,52	2,52	-	2,52

Versuch A12

Versuch A12

Spannglied: Typ A
 innen: 1,71 mm
 außen: 2,74 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 80 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag: System
 Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
 Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: ja
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 6 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,71	1,80	1,70	1,73	1,75	1,75
Innen 2	1,70	1,75	1,67	1,67	1,74	1,76	1,72
Innen 3	1,50	1,52	1,50	1,50	1,51	1,52	1,51
Innen 4	1,90	1,85	1,90	1,85	1,86	1,87	1,87
Mittelwert	1,73	1,71	1,72	1,68	1,71	1,73	1,71

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,78	2,78	2,78	2,78	2,77	2,78
Hülle 2	2,73	2,73	2,73	2,77	2,74	2,75	2,74
Hülle 3	2,63	2,65	2,67	2,68	2,67	2,69	2,67
Hülle 4	2,72	2,86	2,82	2,77	2,78	2,78	2,79
Mittelwert	2,72	2,76	2,75	2,75	2,74	2,75	2,74

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,98	0,84	0,79	0,75	0,70	-	0,81
Innen 2	0,80	0,77	0,64	0,41	0,37	-	0,60
Innen 3	-	-	-	-	-	-	-
Innen 4	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0,89	0,81	0,72	0,58	0,54	-	0,71

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,40	2,43	2,27	2,48	2,34	-	2,38
Hülle 2	2,32	2,24	2,09	2,14	2,19	-	2,20
Hülle 3	2,20	2,16	2,20	2,09	2,08	-	2,15
Hülle 4	2,60	2,48	2,42	2,40	2,45	-	2,47
Mittelwert	2,38	2,33	2,25	2,28	2,27	-	2,30

Versuch B1

Versuch B1

Spannglied: Typ B
 innen: 1,72 mm
 außen: 2,75 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litze
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 16,5 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,72	1,80	1,80	1,70	1,70	1,75
Innen 2	1,65	1,62	1,60	1,65	1,64	1,65	1,64
Innen 3	1,76	1,75	1,84	1,74	1,73	1,70	1,75
Innen 4	1,84	1,79	1,74	1,74	1,72	1,70	1,76
Mittelwert	1,76	1,72	1,75	1,73	1,70	1,69	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,84	2,81	2,78	2,79	2,80	2,80
Hülle 2	2,67	2,65	2,71	2,68	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,70	2,69	2,72	2,70	2,71	2,71	2,71
Hülle 4	2,78	2,85	2,85	2,85	2,86	2,86	2,84
Mittelwert	2,74	2,76	2,77	2,75	2,76	2,75	2,75

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,99	1,01	1,05	1,08	1,12	-	1,05
Innen 2	1,13	1,09	0,94	0,92	0,96	-	1,01
Innen 3	1,06	0,98	0,91	0,89	0,97	-	0,96
Innen 4	1,00	1,05	1,08	1,14	1,18	-	1,09
Mittelwert	1,05	1,03	1,00	1,01	1,06	-	1,03

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,40	2,40	2,48	2,54	2,56	-	2,48
Hülle 2	2,35	2,38	2,45	2,44	2,45	-	2,41
Hülle 3	2,40	2,47	2,52	2,50	2,59	-	2,50
Hülle 4	2,29	2,33	2,39	2,47	2,50	-	2,40
Mittelwert	2,36	2,40	2,46	2,49	2,53	-	2,45

Versuch B2

Versuch B2

Spannglied: Typ B
innen: 1,72 mm
außen: 2,75 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litze
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,72	1,80	1,80	1,70	1,70	1,75
Innen 2	1,65	1,62	1,60	1,65	1,64	1,65	1,64
Innen 3	1,76	1,75	1,84	1,74	1,73	1,70	1,75
Innen 4	1,84	1,79	1,74	1,74	1,72	1,70	1,76
Mittelwert	1,76	1,72	1,75	1,73	1,70	1,69	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,84	2,81	2,78	2,79	2,80	2,80
Hülle 2	2,67	2,65	2,71	2,68	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,70	2,69	2,72	2,70	2,71	2,71	2,71
Hülle 4	2,78	2,85	2,85	2,85	2,86	2,86	2,84
Mittelwert	2,74	2,76	2,77	2,75	2,76	2,75	2,75

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,39	1,36	1,33	1,29	1,26	-	1,33
Innen 2	1,44	1,41	1,35	1,28	1,28	-	1,35
Innen 3	1,21	1,25	1,31	1,35	1,42	-	1,31
Innen 4	1,41	1,36	1,34	1,29	1,26	-	1,33
Mittelwert	1,36	1,35	1,33	1,30	1,31	-	1,33

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,74	2,71	2,70	2,69	2,64	-	2,70
Hülle 2	2,56	2,55	2,55	2,53	2,51	-	2,54
Hülle 3	2,62	2,60	2,58	2,63	2,65	-	2,62
Hülle 4	2,67	2,67	2,65	2,61	2,61	-	2,64
Mittelwert	2,65	2,63	2,62	2,62	2,60	-	2,62

Versuch B3

Versuch B3

Spannglied: Typ B
innen: 1,72 mm
außen: 2,75 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 18 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,80	1,72	1,80	1,80	1,70	1,70	1,75
Innen 2	1,65	1,62	1,60	1,65	1,64	1,65	1,64
Innen 3	1,76	1,75	1,84	1,74	1,73	1,70	1,75
Innen 4	1,84	1,79	1,74	1,74	1,72	1,70	1,76
Mittelwert	1,76	1,72	1,75	1,73	1,70	1,69	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80	2,84	2,81	2,78	2,79	2,80	2,80
Hülle 2	2,67	2,65	2,71	2,68	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,70	2,69	2,72	2,70	2,71	2,71	2,71
Hülle 4	2,78	2,85	2,85	2,85	2,86	2,86	2,84
Mittelwert	2,74	2,76	2,77	2,75	2,76	2,75	2,75

Restwanddicke:	wert 1	wert 2	wert 3	wert 4	wert 5	wert 6	Mittelwert
Innen 1	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	
Innen 2	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	
Innen 3	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	
Innen 4	0,39	0,42	0,43	0,45	0,42	-	0,42
Mittelwert	0,39	0,42	0,43	0,45	0,42	-	0,42

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,22	2,29	2,37	2,12	2,47	-	2,29
Hülle 2	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	
Hülle 3	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	
Hülle 4	0,85	0,95	0,90	0,93	0,92	-	0,91
Mittelwert	1,54	1,62	1,64	1,53	1,70	-	1,60

Versuch B4

Versuch B4

Spannglied: Typ B
 innen: 1,72 mm
 außen: 2,76 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 0 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag: Litze
 Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
 Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
 seitliche Führung:
 Unterlage: 4 mm PE
 Zwickelverfüllung: ja
 Standzeit: 17 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,63	1,61	1,62	1,67	1,64	1,60	1,63
Innen 2	1,80	1,72	1,65	1,68	1,69	1,68	1,70
Innen 3	1,80	1,82	1,82	1,83	1,83	1,85	1,83
Innen 4	1,73	1,72	1,74	1,72	1,70	1,68	1,72
Mittelwert	1,74	1,72	1,71	1,73	1,72	1,70	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,83	2,85	2,81	2,79	2,79	2,81	2,81
Hülle 2	2,68	2,69	2,70	2,66	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,72	2,71	2,72	2,69	2,72	2,70	2,71
Hülle 4	2,79	2,86	2,84	2,85	2,86	2,85	2,84
Mittelwert	2,76	2,78	2,77	2,75	2,76	2,75	2,76

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,95	0,88	0,90	0,95	1,10	-	0,96
Innen 2	0,90	0,88	0,96	1,07	1,20	-	1,00
Innen 3	1,13	0,90	0,88	0,91	1,08	-	0,98
Innen 4	1,00	1,00	1,00	1,10	1,22	-	1,06
Mittelwert	1,00	0,92	0,94	1,01	1,15	-	1,00

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,29	2,20	2,30	2,34	2,42	-	2,31
Hülle 2	2,42	2,14	2,19	2,24	2,28	-	2,25
Hülle 3	2,15	2,18	2,26	2,28	2,35	-	2,24
Hülle 4	2,12	2,19	2,22	2,32	2,42	-	2,25
Mittelwert	2,25	2,18	2,24	2,30	2,37	-	2,27

Versuch B5

Versuch B5

Spannglied: Typ B
 innen: 1,72 mm
 außen: 2,76 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litze
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: 8 mm PE
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,63	1,61	1,62	1,67	1,64	1,60	1,63
Innen 2	1,80	1,72	1,65	1,68	1,69	1,68	1,70
Innen 3	1,80	1,82	1,82	1,83	1,83	1,85	1,83
Innen 4	1,73	1,72	1,74	1,72	1,70	1,68	1,72
Mittelwert	1,74	1,72	1,71	1,73	1,72	1,70	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,83	2,85	2,81	2,79	2,79	2,81	2,81
Hülle 2	2,68	2,69	2,70	2,66	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,72	2,71	2,72	2,69	2,72	2,70	2,71
Hülle 4	2,79	2,86	2,84	2,85	2,86	2,85	2,84
Mittelwert	2,76	2,78	2,77	2,75	2,76	2,75	2,76

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,02	0,92	0,87	0,82	0,87	-	0,90
Innen 2	1,08	0,88	0,98	0,96	1,02	-	0,98
Innen 3	0,99	0,95	0,89	1,00	1,08	-	0,98
Innen 4	0,97	0,97	0,91	0,88	0,95	-	0,94
Mittelwert	1,02	0,93	0,91	0,92	0,98	-	0,95

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,29	2,21	2,25	2,29	2,27	-	2,26
Hülle 2	2,40	2,20	2,18	2,19	2,28	-	2,25
Hülle 3	2,28	2,17	2,15	2,22	2,31	-	2,23
Hülle 4	2,41	2,15	2,25	2,26	2,33	-	2,28
Mittelwert	2,35	2,18	2,21	2,24	2,30	-	2,25

Versuch B6

Versuch B6

Spannglied: Typ B
innen: 1,72 mm
außen: 2,76 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: 4 mm PE
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 19 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,63	1,61	1,62	1,67	1,64	1,60	1,63
Innen 2	1,80	1,72	1,65	1,68	1,69	1,68	1,70
Innen 3	1,80	1,82	1,82	1,83	1,83	1,85	1,83
Innen 4	1,73	1,72	1,74	1,72	1,70	1,68	1,72
Mittelwert	1,74	1,72	1,71	1,73	1,72	1,70	1,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,83	2,85	2,81	2,79	2,79	2,81	2,81
Hülle 2	2,68	2,69	2,70	2,66	2,66	2,64	2,67
Hülle 3	2,72	2,71	2,72	2,69	2,72	2,70	2,71
Hülle 4	2,79	2,86	2,84	2,85	2,86	2,85	2,84
Mittelwert	2,76	2,78	2,77	2,75	2,76	2,75	2,76

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Innen 2	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Innen 3	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Innen 4	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Hülle 2	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Hülle 3	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Hülle 4	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	beschädigt	-	-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch B7

Versuch B7

Spannglied: Typ B
 innen: 1,66 mm
 außen: 2,72 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 0 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag: Litze
 Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
 Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
 seitliche Führung: ja
 Unterlage:
 Zwickelverfüllung: ja
 Standzeit: 13,5 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,71	1,71	1,71	1,70	1,64	1,70	1,70
Innen 2	1,59	1,60	1,64	1,60	1,65	1,62	1,62
Innen 3	1,66	1,64	1,66	1,65	1,64	1,66	1,65
Innen 4	1,62	1,65	1,63	1,68	1,67	1,69	1,66
Mittelwert	1,65	1,65	1,66	1,66	1,65	1,67	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,78	2,79	2,79	2,85	2,79	2,86	2,81
Hülle 2	2,65	2,72	2,66	2,73	2,67	2,71	2,69
Hülle 3	2,60	2,60	2,61	2,64	2,62	2,65	2,62
Hülle 4	2,75	2,74	2,75	2,79	2,76	2,77	2,76
Mittelwert	2,70	2,71	2,70	2,75	2,71	2,75	2,72

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,04	1,12	1,13	1,15	1,25	-	1,14
Innen 2	1,17	1,15	1,09	1,05	1,03	-	1,10
Innen 3	1,01	1,01	0,99	1,00	1,22	-	1,05
Innen 4	1,18	1,10	1,13	1,20	1,24	-	1,17
Mittelwert	1,10	1,10	1,09	1,10	1,19	-	1,11

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,45	2,47	2,48	2,51	2,56	-	2,49
Hülle 2	2,40	2,40	2,41	2,44	2,48	-	2,43
Hülle 3	2,42	2,45	2,49	2,48	2,46	-	2,46
Hülle 4	2,42	2,37	2,41	2,41	2,43	-	2,41
Mittelwert	2,42	2,42	2,45	2,46	2,48	-	2,45

Versuch B8

Versuch B8

Spannglied: Typ B
 innen: 1,66 mm
 außen: 2,72 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Litze
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
 Unterlage: 2,7 mm PE (Material äußere Schutzhülle)
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 12 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,71	1,71	1,71	1,70	1,64	1,70	1,70
Innen 2	1,59	1,60	1,64	1,60	1,65	1,62	1,62
Innen 3	1,66	1,64	1,66	1,65	1,64	1,66	1,65
Innen 4	1,62	1,65	1,63	1,68	1,67	1,69	1,66
Mittelwert	1,65	1,65	1,66	1,66	1,65	1,67	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,78	2,79	2,79	2,85	2,79	2,86	2,81
Hülle 2	2,65	2,72	2,66	2,73	2,67	2,71	2,69
Hülle 3	2,60	2,60	2,61	2,64	2,62	2,65	2,62
Hülle 4	2,75	2,74	2,75	2,79	2,76	2,77	2,76
Mittelwert	2,70	2,71	2,70	2,75	2,71	2,75	2,72

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,87	0,67	0,72	0,82	0,92	-	0,80
Innen 2	1,35	1,12	1,05	0,99	0,97	-	1,10
Innen 3	0,95	1,05	1,12	1,25	1,38	-	1,15
Innen 4	1,05	1,12	1,19	1,28	1,32	-	1,19
Mittelwert	1,06	0,99	1,02	1,09	1,15	-	1,06

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,99	2,03	2,21	2,29	2,41	-	2,19
Hülle 2	2,19	2,23	2,28	2,37	2,42	-	2,30
Hülle 3	2,16	2,24	2,27	2,43	2,54	-	2,33
Hülle 4	2,37	2,44	2,49	2,57	2,70	-	2,51
Mittelwert	2,18	2,24	2,31	2,42	2,52	-	2,33

Versuch B9

Versuch B9

Spannglied: Typ B
innen: 1,66 mm
außen: 2,72 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit: elektronisch
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: ja
Standzeit: 18 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,71	1,71	1,71	1,70	1,64	1,70	1,70
Innen 2	1,59	1,60	1,64	1,60	1,65	1,62	1,62
Innen 3	1,66	1,64	1,66	1,65	1,64	1,66	1,65
Innen 4	1,62	1,65	1,63	1,68	1,67	1,69	1,66
Mittelwert	1,65	1,65	1,66	1,66	1,65	1,67	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,78	2,79	2,79	2,85	2,79	2,86	2,81
Hülle 2	2,65	2,72	2,66	2,73	2,67	2,71	2,69
Hülle 3	2,60	2,60	2,61	2,64	2,62	2,65	2,62
Hülle 4	2,75	2,74	2,75	2,79	2,76	2,77	2,76
Mittelwert	2,70	2,71	2,70	2,75	2,71	2,75	2,72

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,81	0,92	0,95	1,06	1,10	-	0,97
Innen 2	-	-	-	-	-	-	-
Innen 3	0,31	0,34	0,35	0,38	0,45	-	0,37
Innen 4	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwert	0,56	0,63	0,65	0,72	0,78	-	0,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,43	2,41	2,40	2,52	2,51	-	2,45
Hülle 2	2,43	2,45	2,46	2,44	2,45	-	2,45
Hülle 3	2,54	2,51	2,54	2,51	2,57	-	2,53
Hülle 4	2,47	2,37	2,24	2,32	2,38	-	2,36
Mittelwert	2,47	2,44	2,41	2,45	2,48	-	2,45

Versuch C1

Versuch C1

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,15 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 0 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag:
 Belastungsgeschwindigkeit: Litze
 Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 18 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,68	1,67	1,65	1,63	1,70		1,67
Innen 2	1,62	1,58	1,61	1,61	1,58		1,60
Innen 3	1,76	1,77	1,75	1,78	1,77		1,77
Innen 4	1,62	1,64	1,68	1,64	1,63		1,64
Mittelwert	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	-	1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,30	3,40	3,40	3,40	3,40		3,38
Hülle 2	2,84	2,83	2,81	2,86	2,93		2,85
Hülle 3	3,17	3,11	3,12	3,13	3,16		3,14
Hülle 4	3,19	3,29	3,17	3,20	3,27		3,22
Mittelwert	3,13	3,16	3,13	3,15	3,19	-	3,15

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,58	0,62	0,61	0,64	0,69	-	0,63
Innen 2	0,66	0,58	0,51	0,56	0,53	-	0,57
Innen 3	0,73	0,65	0,61	0,60	0,58	-	0,63
Innen 4	0,94	0,93	0,77	0,68	0,74	-	0,81
Mittelwert	0,73	0,70	0,63	0,62	0,64	-	0,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,90	2,87	2,89	2,77	2,71	-	2,83
Hülle 2	3,03	2,96	2,99	2,88	2,81	-	2,93
Hülle 3	2,96	2,97	2,91	2,93	3,04	-	2,96
Hülle 4	2,84	2,81	2,80	2,65	2,60	-	2,74
Mittelwert	2,93	2,90	2,90	2,81	2,79	-	2,87

Versuch C2

Versuch C2

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,15 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 0 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag:
 Belastungsgeschwindigkeit: Litze
 Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 16 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,68	1,67	1,65	1,63	1,70		1,67
Innen 2	1,62	1,58	1,61	1,61	1,58		1,60
Innen 3	1,76	1,77	1,75	1,78	1,77		1,77
Innen 4	1,62	1,64	1,68	1,64	1,63		1,64
Mittelwert	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67		1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,30	3,40	3,40	3,40	3,40		3,38
Hülle 2	2,84	2,83	2,81	2,86	2,93		2,85
Hülle 3	3,17	3,11	3,12	3,13	3,16		3,14
Hülle 4	3,19	3,29	3,17	3,20	3,27		3,22
Mittelwert	3,13	3,16	3,13	3,15	3,19		3,15

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,65	0,63	0,61	0,59	0,62	-	0,62
Innen 2	0,80	0,68	0,61	0,66	0,58	-	0,67
Innen 3	0,69	0,52	0,49	0,51	0,50	-	0,54
Innen 4	0,80	0,72	0,72	0,88	0,80	-	0,78
Mittelwert	0,74	0,64	0,61	0,66	0,63		0,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,87	2,81	2,76	2,65	2,65	-	2,75
Hülle 2	3,01	3,14	3,19	3,00	2,75	-	3,02
Hülle 3	2,95	2,94	2,83	2,77	2,76	-	2,85
Hülle 4	3,05	2,81	2,66	2,57	2,49	-	2,72
Mittelwert	2,97	2,93	2,86	2,75	2,66		2,83

Versuch C3

Versuch C3

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,15 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 80 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag:
 Belastungsgeschwindigkeit: System
 Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 18 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,68	1,67	1,65	1,63	1,70		1,67
Innen 2	1,62	1,58	1,61	1,61	1,58		1,60
Innen 3	1,76	1,77	1,75	1,78	1,77		1,77
Innen 4	1,62	1,64	1,68	1,64	1,63		1,64
Mittelwert	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67		1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,30	3,40	3,40	3,40	3,40		3,38
Hülle 2	2,84	2,83	2,81	2,86	2,93		2,85
Hülle 3	3,17	3,11	3,12	3,13	3,16		3,14
Hülle 4	3,19	3,29	3,17	3,20	3,27		3,22
Mittelwert	3,13	3,16	3,13	3,15	3,19		3,15

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,68	0,80	0,86	0,79	0,88	-	0,80
Innen 2	0,47	0,58	0,48	0,43	0,28	-	0,45
Innen 3	0,37	0,41	0,43	0,43	0,36	-	0,40
Innen 4	0,69	1,05	1,07	1,04	0,76	-	0,92
Mittelwert	0,55	0,71	0,71	0,67	0,57		0,64

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,18	1,69	1,14	1,16	0,96	-	1,23
Hülle 2	0,91	0,73	0,84	0,36	0,50	-	0,67
Hülle 3	1,14	0,82	0,84	0,63	0,66	-	0,82
Hülle 4	1,24	1,64	1,48	1,42	1,05	-	1,37
Mittelwert	1,12	1,22	1,08	0,89	0,79		1,02

Versuch C4

Versuch C4

Spannglied: Typ C
 innen: 1,68 mm
 außen: 3,12 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: Litze
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,69	1,64	1,67	1,66	1,68		1,67
Innen 2	1,79	1,80	1,72	1,74	1,73		1,76
Innen 3	1,62	1,63	1,63	1,65	1,63		1,63
Innen 4	1,65	1,65	1,66	1,64	1,73		1,67
Mittelwert	1,69	1,68	1,67	1,67	1,69		1,68

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,40	3,39	3,30	3,37	3,36		3,36
Hülle 2	2,90	2,86	2,80	2,81	2,79		2,83
Hülle 3	3,14	3,13	3,09	3,10	3,11		3,11
Hülle 4	3,14	3,14	3,26	3,19	3,19		3,18
Mittelwert	3,15	3,13	3,11	3,12	3,11		3,12

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,13	1,02	0,94	0,95	0,82	-	0,97
Innen 2	1,08	0,90	0,93	1,01	1,10	-	1,00
Innen 3	0,90	0,96	0,97	1,07	1,13	-	1,01
Innen 4	1,32	1,26	1,19	1,12	1,10	-	1,20
Mittelwert	1,11	1,04	1,01	1,04	1,04		1,05

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,20	3,25	3,24	3,21	3,22	-	3,22
Hülle 2	3,16	3,17	3,18	3,16	3,15	-	3,16
Hülle 3	3,28	3,16	3,17	3,16	3,14	-	3,18
Hülle 4	3,20	3,17	3,17	3,16	3,13	-	3,17
Mittelwert	3,21	3,19	3,19	3,17	3,16		3,18

Versuch C5

Versuch C5

Spannglied: Typ C
innen: 1,68 mm
außen: 3,12 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: Litze
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,69	1,64	1,67	1,66	1,68		1,67
Innen 2	1,79	1,80	1,72	1,74	1,73		1,76
Innen 3	1,62	1,63	1,63	1,65	1,63		1,63
Innen 4	1,65	1,65	1,66	1,64	1,73		1,67
Mittelwert	1,69	1,68	1,67	1,67	1,69		1,68

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,40	3,39	3,30	3,37	3,36		3,36
Hülle 2	2,90	2,86	2,80	2,81	2,79		2,83
Hülle 3	3,14	3,13	3,09	3,10	3,11		3,11
Hülle 4	3,14	3,14	3,26	3,19	3,19		3,18
Mittelwert	3,15	3,13	3,11	3,12	3,11		3,12

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,91	0,98	1,03	1,02	1,16	-	1,02
Innen 2	0,90	0,95	0,94	0,97	1,19	-	0,99
Innen 3	1,04	0,98	0,95	0,90	1,00	-	0,97
Innen 4	1,39	1,25	1,19	1,19	1,22	-	1,25
Mittelwert	1,06	1,04	1,03	1,02	1,14		1,06

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,09	3,11	3,12	3,18	3,17	-	3,13
Hülle 2	3,07	3,10	3,14	3,15	3,13	-	3,12
Hülle 3	3,00	3,11	3,12	3,13	3,15	-	3,10
Hülle 4	3,09	3,03	3,06	3,11	3,15	-	3,09
Mittelwert	3,06	3,09	3,11	3,14	3,15		3,11

Versuch C6

Versuch C6

Spannglied: Typ C
 innen: 1,68 mm
 außen: 3,12 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 22 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,69	1,64	1,67	1,66	1,68		1,67
Innen 2	1,79	1,80	1,72	1,74	1,73		1,76
Innen 3	1,62	1,63	1,63	1,65	1,63		1,63
Innen 4	1,65	1,65	1,66	1,64	1,73		1,67
Mittelwert	1,69	1,68	1,67	1,67	1,69		1,68

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,40	3,39	3,30	3,37	3,36		3,36
Hülle 2	2,90	2,86	2,80	2,81	2,79		2,83
Hülle 3	3,14	3,13	3,09	3,10	3,11		3,11
Hülle 4	3,14	3,14	3,26	3,19	3,19		3,18
Mittelwert	3,15	3,13	3,11	3,12	3,11		3,12

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,11	1,19	1,15	1,12	1,04	-	1,12
Innen 2	0,93	0,93	0,94	0,92	0,94	-	0,93
Innen 3	0,91	0,87	0,88	0,91	0,90	-	0,89
Innen 4	1,17	1,15	1,12	1,11	1,12	-	1,13
Mittelwert	1,03	1,04	1,02	1,02	1,00		1,02

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,70	2,66	2,53	2,59	2,62	-	2,62
Hülle 2	2,86	2,90	2,82	2,92	2,54	-	2,81
Hülle 3	2,88	2,92	2,90	2,87	2,80	-	2,87
Hülle 4	2,70	2,62	2,49	2,56	2,55	-	2,58
Mittelwert	2,79	2,78	2,69	2,74	2,63		2,72

Versuch C7

Versuch C7

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,21 mm
Belastung: 125 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: Litze
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 20 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,74	1,74	1,69	1,74	1,70		1,72
Innen 2	1,66	1,60	1,61	1,61	1,62		1,62
Innen 3	1,70	1,72	1,71	1,73	1,72		1,72
Innen 4	1,69	1,62	1,61	1,63	1,62		1,63
Mittelwert	1,70	1,67	1,66	1,68	1,67		1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,41	3,38	3,46	3,45	3,43		3,43
Hülle 2	2,88	2,83	3,01	3,04	3,02		2,96
Hülle 3	3,16	3,13	3,25	3,28	3,17		3,20
Hülle 4	3,30	3,28	3,25	3,26	3,30		3,28
Mittelwert	3,19	3,16	3,24	3,26	3,23		3,21

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,91	0,79	0,74	0,77	0,83	-	0,81
Innen 2	0,82	0,74	0,74	0,78	0,78	-	0,77
Innen 3	0,75	0,76	0,75	0,75	0,89	-	0,78
Innen 4	1,00	0,86	0,82	0,88	0,94	-	0,90
Mittelwert	0,87	0,79	0,76	0,80	0,86		0,82

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,09	3,08	3,06	3,04	3,06	-	3,07
Hülle 2	3,08	3,06	3,06	3,07	3,06	-	3,07
Hülle 3	3,04	3,05	3,04	3,05	3,04	-	3,04
Hülle 4	3,02	3,01	2,99	2,98	2,97	-	2,99
Mittelwert	3,06	3,05	3,04	3,04	3,03		3,04

Versuch C8

Versuch C8

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,21 mm
Belastung: 125 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: Litze
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,74	1,74	1,69	1,74	1,70		1,72
Innen 2	1,66	1,60	1,61	1,61	1,62		1,62
Innen 3	1,70	1,72	1,71	1,73	1,72		1,72
Innen 4	1,69	1,62	1,61	1,63	1,62		1,63
Mittelwert	1,70	1,67	1,66	1,68	1,67		1,67

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,41	3,38	3,46	3,45	3,43		3,43
Hülle 2	2,88	2,83	3,01	3,04	3,02		2,96
Hülle 3	3,16	3,13	3,25	3,28	3,17		3,20
Hülle 4	3,30	3,28	3,25	3,26	3,30		3,28
Mittelwert	3,19	3,16	3,24	3,26	3,23		3,21

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,91	0,81	0,86	0,82	0,82	-	0,84
Innen 2	1,16	0,92	0,91	0,89	0,92	-	0,96
Innen 3	0,89	0,96	0,89	0,93	1,01	-	0,94
Innen 4	1,10	0,97	1,00	1,07	1,01	-	1,03
Mittelwert	1,02	0,92	0,92	0,93	0,94		0,94

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,92	2,86	2,84	2,91	2,90	-	2,89
Hülle 2	2,91	2,86	2,84	2,82	2,91	-	2,87
Hülle 3	2,87	2,84	2,85	2,88	2,97	-	2,88
Hülle 4	3,01	2,84	2,83	2,79	2,85	-	2,86
Mittelwert	2,93	2,85	2,84	2,85	2,91		2,88

Versuch C9

Versuch C9

Spannglied: Typ C
 innen: 1,67 mm
 außen: 3,21 mm
Belastung: 125 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 7 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,74	1,74	1,69	1,74	1,70		1,72
Innen 2	1,66	1,60	1,61	1,61	1,62		1,62
Innen 3	1,70	1,72	1,71	1,73	1,72		1,72
Innen 4	1,69	1,62	1,61	1,63	1,62		1,63
Mittelwert	1,70	1,67	1,66	1,68	1,67		1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,41	3,38	3,46	3,45	3,43		3,43
Hülle 2	2,88	2,83	3,01	3,04	3,02		2,96
Hülle 3	3,16	3,13	3,25	3,28	3,17		3,20
Hülle 4	3,30	3,28	3,25	3,26	3,30		3,28
Mittelwert	3,19	3,16	3,24	3,26	3,23		3,21

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,90	1,14	1,18	0,98	0,69	-	0,98
Innen 2	0,60	0,66	0,66	0,75	0,71	-	0,68
Innen 3	0,61	0,65	0,71	0,70	0,69	-	0,67
Innen 4	0,58	0,92	1,00	1,01	1,05	-	0,91
Mittelwert	0,67	0,84	0,89	0,86	0,79		0,81

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,10	2,02	1,81	1,77	1,48	-	1,84
Hülle 2	2,00	1,89	1,63	1,81	1,68	-	1,80
Hülle 3	2,34	2,31	2,09	2,03	2,05	-	2,16
Hülle 4	1,56	1,57	1,31	1,02	1,10	-	1,31
Mittelwert	2,00	1,95	1,71	1,66	1,58		1,78

Versuch C11

Versuch C11

Spannglied: Typ C11
 innen: 1,55 mm
 außen: 3,32 mm
Belastung: 165 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 15 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,44	1,51	1,70	1,55	1,80		1,60
Innen 2	1,49	1,56	1,44	1,42	1,55		1,49
Innen 3	1,60	1,58	1,55	1,52	1,57		1,56
Innen 4	1,46	1,56	1,66	1,55	1,58		1,56
Mittelwert	1,50	1,55	1,59	1,51	1,63		1,55

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,44	3,40	3,36	3,46	3,49		3,43
Hülle 2	3,17	3,15	3,18	3,20	3,21		3,18
Hülle 3	3,19	3,20	3,21	3,25	3,24		3,22
Hülle 4	3,40	3,41	3,50	3,46	3,47		3,45
Mittelwert	3,30	3,29	3,31	3,34	3,35		3,32

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,78	0,62	0,63	0,60	0,65	-	0,66
Innen 2	0,71	0,64	0,54	0,51	0,75	-	0,63
Innen 3	0,68	0,58	0,50	0,64	0,85	-	0,65
Innen 4	0,90	0,95	0,86	0,80	0,90	-	0,88
Mittelwert	0,77	0,70	0,63	0,64	0,79		0,70

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,31	2,35	2,48	2,62	2,71	-	2,49
Hülle 2	2,37	2,52	2,58	2,58	2,55	-	2,52
Hülle 3	2,22	2,48	2,52	2,49	2,44	-	2,43
Hülle 4	2,42	2,30	2,36	2,44	2,55	-	2,41
Mittelwert	2,33	2,41	2,49	2,53	2,56		2,46

Versuch CI2

Versuch CI2

Spannglied: Typ CI2
 innen: 1,55 mm
 außen: 3,32 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 15 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,44	1,51	1,70	1,55	1,80		1,60
Innen 2	1,49	1,56	1,44	1,42	1,55		1,49
Innen 3	1,60	1,58	1,55	1,52	1,57		1,56
Innen 4	1,46	1,56	1,66	1,55	1,58		1,56
Mittelwert	1,50	1,55	1,59	1,51	1,63		1,55

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,44	3,40	3,36	3,46	3,49		3,43
Hülle 2	3,17	3,15	3,18	3,20	3,21		3,18
Hülle 3	3,19	3,20	3,21	3,25	3,24		3,22
Hülle 4	3,40	3,41	3,50	3,46	3,47		3,45
Mittelwert	3,30	3,29	3,31	3,34	3,35		3,32

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,63	0,90	0,73	0,99	0,89		0,83
Innen 2	0,80	0,65	0,80	0,97	0,83		0,81
Innen 3	1,23	1,05	1,03	1,06	0,90		1,05
Innen 4	0,90	0,93	0,91	0,89	1,04		0,93
Mittelwert	0,89	0,88	0,87	0,98	0,92		0,91

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,48	2,52	2,59	2,76	2,87	-	2,64
Hülle 2	2,39	2,51	2,57	2,62	2,66	-	2,55
Hülle 3	2,36	2,42	2,45	2,51	2,60	-	2,47
Hülle 4	2,49	2,45	2,41	2,60	2,74	-	2,54
Mittelwert	2,43	2,48	2,51	2,62	2,72		2,55

Versuch CI3

Versuch CI3

Spannglied: Typ CI3
 innen: 1,55 mm
 außen: 3,32 mm
Belastung: 165 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,44	1,51	1,70	1,55	1,80		1,60
Innen 2	1,49	1,56	1,44	1,42	1,55		1,49
Innen 3	1,60	1,58	1,55	1,52	1,57		1,56
Innen 4	1,46	1,56	1,66	1,55	1,58		1,56
Mittelwert	1,50	1,55	1,59	1,51	1,63		1,55

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,44	3,40	3,36	3,46	3,49		3,43
Hülle 2	3,17	3,15	3,18	3,20	3,21		3,18
Hülle 3	3,19	3,20	3,21	3,25	3,24		3,22
Hülle 4	3,40	3,41	3,50	3,46	3,47		3,45
Mittelwert	3,30	3,29	3,31	3,34	3,35		3,32

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,92	0,83	0,90	0,76	0,69		0,82
Innen 2	0,48	0,48	0,42	0,46	0,53		0,47
Innen 3	0,00	0,00	0,30	0,31	0,19		0,16
Innen 4	0,94	1,20	1,04	0,71	0,75		0,93
Mittelwert	0,59	0,63	0,67	0,56	0,54		0,60

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,00	1,95	2,09	2,04	1,96	-	2,01
Hülle 2	2,72	2,70	2,66	2,68	2,77	-	2,71
Hülle 3	2,75	2,73	2,74	2,73	2,60	-	2,71
Hülle 4	2,69	2,66	2,65	2,52	2,46	-	2,60
Mittelwert	2,54	2,51	2,54	2,49	2,45		2,51

Versuch CI4

Versuch CI4

Spannglied: Typ CI4
 innen: 1,58 mm
 außen: 3,36 mm
Belastung: 165 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung:
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,57	1,85	1,78	1,68	1,46		1,67
Innen 2	1,41	1,40	1,50	1,63	1,57		1,50
Innen 3	1,64	1,65	1,59	1,55	1,56		1,60
Innen 4	1,48	1,51	1,55	1,64	1,63		1,56
Mittelwert	1,53	1,60	1,61	1,63	1,56		1,58

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,49	3,45	3,50	3,52	3,58		3,51
Hülle 2	3,14	3,15	3,15	3,19	3,20		3,17
Hülle 3	3,21	3,22	3,22	3,26	3,28		3,24
Hülle 4	3,51	3,50	3,51	3,51	3,55		3,52
Mittelwert	3,34	3,33	3,35	3,37	3,40		3,36

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,62	0,65	0,71	0,78	0,84		0,72
Innen 2	0,72	0,73	0,71	0,66	0,80		0,72
Innen 3	0,78	0,80	0,75	0,84	0,96		0,83
Innen 4	0,76	0,62	0,58	0,97	0,99		0,78
Mittelwert	0,72	0,70	0,69	0,81	0,90		0,76

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,75	2,36	2,43	2,49	2,54	-	2,51
Hülle 2	2,23	2,35	2,51	2,58	2,59	-	2,45
Hülle 3	2,14	2,24	2,39	2,46	2,74	-	2,39
Hülle 4	2,45	2,39	2,36	2,33	2,49	-	2,40
Mittelwert	2,39	2,34	2,42	2,47	2,59		2,44

Versuch CI5

Versuch CI5

Spannglied: Typ CI5
 innen: 1,58 mm
 außen: 3,36 mm
Belastung: 165 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: Keil
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung:
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,57	1,85	1,78	1,68	1,46		1,67
Innen 2	1,41	1,40	1,50	1,63	1,57		1,50
Innen 3	1,64	1,65	1,59	1,55	1,56		1,60
Innen 4	1,48	1,51	1,55	1,64	1,63		1,56
Mittelwert	1,53	1,60	1,61	1,63	1,56		1,58

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,49	3,45	3,50	3,52	3,58		3,51
Hülle 2	3,14	3,15	3,15	3,19	3,20		3,17
Hülle 3	3,21	3,22	3,22	3,26	3,28		3,24
Hülle 4	3,51	3,50	3,51	3,51	3,55		3,52
Mittelwert	3,34	3,33	3,35	3,37	3,40		3,36

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,01	0,56	0,62	0,63	0,76		0,72
Innen 2	1,19	1,00	0,95	0,92	0,97		1,01
Innen 3	1,34	1,07	1,00	0,95	1,01		1,07
Innen 4	0,92	0,88	1,00	0,77	0,60		0,83
Mittelwert	1,12	0,88	0,89	0,82	0,84		0,91

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,00	2,91	3,00	3,00	3,12	-	3,01
Hülle 2	2,73	2,78	2,88	2,93	3,00	-	2,86
Hülle 3	2,73	2,68	2,79	2,89	2,86	-	2,79
Hülle 4	3,00	2,70	2,54	2,68	2,74	-	2,73
Mittelwert	2,87	2,77	2,80	2,88	2,93		2,85

Versuch C16

Versuch C16

Spannglied: Typ C16
innen: 1,58 mm
außen: 3,36 mm
Belastung: 165 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: Keil
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung:
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,57	1,85	1,78	1,68	1,46		1,67
Innen 2	1,41	1,40	1,50	1,63	1,57		1,50
Innen 3	1,64	1,65	1,59	1,55	1,56		1,60
Innen 4	1,48	1,51	1,55	1,64	1,63		1,56
Mittelwert	1,53	1,60	1,61	1,63	1,56		1,58

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,49	3,45	3,50	3,52	3,58		3,51
Hülle 2	3,14	3,15	3,15	3,19	3,20		3,17
Hülle 3	3,21	3,22	3,22	3,26	3,28		3,24
Hülle 4	3,51	3,50	3,51	3,51	3,55		3,52
Mittelwert	3,34	3,33	3,35	3,37	3,40		3,36

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,05	0,96	1,25	0,59	0,66		0,90
Innen 2	0,69	0,75	0,60	0,84	0,96		0,77
Innen 3	0,66	0,62	0,52	0,97	1,25		0,80
Innen 4	1,18	0,60	0,68	1,15	1,23		0,97
Mittelwert	0,90	0,73	0,76	0,89	1,03		0,86

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,13	3,07	3,21	3,35	3,31	-	3,21
Hülle 2	2,96	2,64	2,65	2,93	2,92	-	2,82
Hülle 3	2,80	2,82	2,95	2,98	2,89	-	2,89
Hülle 4	2,81	2,84	2,84	3,24	3,22	-	2,99
Mittelwert	2,93	2,84	2,91	3,13	3,09		2,98

Versuch D1

Versuch D1

Spannglied: Typ D
 innen: 1,66 mm
 außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,52	0,53	0,62	0,68	0,76	-	0,62
Innen 2	0,84	0,71	0,68	0,67	0,61	-	0,70
Innen 3	0,62	0,74	0,74	0,71	0,86	-	0,73
Innen 4	0,92	0,67	0,71	0,64	0,73	-	0,73
Mittelwert	0,73	0,66	0,69	0,68	0,74		0,70

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D2

Versuch D2

Spannglied: Typ D
innen: 1,66 mm
außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 18 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

Hülle 1
 Hülle 2
 Hülle 3
 Hülle 4
 Mittelwert

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,19	0,70	0,73	0,73	0,79	-	0,83
Innen 2	0,84	0,70	0,63	0,61	0,55	-	0,67
Innen 3	0,82	0,63	0,60	0,64	0,55	-	0,65
Innen 4	0,68	0,60	0,61	0,56	0,53	-	0,60
Mittelwert	0,88	0,66	0,64	0,64	0,61	-	0,68

Hülle 1
 Hülle 2
 Hülle 3
 Hülle 4
 Mittelwert

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							--
Hülle 2							--
Hülle 3							--
Hülle 4							--
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	--

Versuch D3

Versuch D3

Spannglied: Typ D
innen: 1,66 mm
außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 24 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen		-
Innen 2	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen		-
Innen 3	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen		-
Innen 4	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen		-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D4

Versuch D4

Spannglied: Typ D
 innen: 1,66 mm
 außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 22 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,94	0,86	0,78	0,70	0,83	-	0,82
Innen 2	0,82	0,81	0,84	0,89	1,11	-	0,89
Innen 3	0,79	0,80	0,80	0,89	1,04	-	0,86
Innen 4	0,84	0,74	0,71	0,74	0,89	-	0,78
Mittelwert	0,85	0,80	0,78	0,81	0,97		0,84

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D5

Versuch D5

Spannglied: Typ D
 innen: 1,66 mm
 außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 22 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,95	0,79	0,74	0,62	0,60	-	0,74
Innen 2	1,00	0,87	0,73	0,63	0,64	-	0,77
Innen 3	0,93	0,90	0,76	0,67	0,76	-	0,80
Innen 4	1,08	0,86	0,81	0,68	0,63	-	0,81
Mittelwert	0,99	0,86	0,76	0,65	0,66		0,78

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							--
Hülle 2							--
Hülle 3							--
Hülle 4							--
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D6

Versuch D6

Spannglied: Typ D
 innen: 1,66 mm
 außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 18 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,87	0,88	0,87	0,89	1,11	-	0,92
Innen 2	0,89	0,80	1,07	0,96	1,17	-	0,98
Innen 3	0,87	0,95	0,91	0,91	1,14	-	0,96
Innen 4	0,88	1,05	0,91	1,02	0,92	-	0,96
Mittelwert	0,88	0,92	0,94	0,95	1,09		0,95

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D7

Versuch D7

Spannglied: Typ D
innen: 1,66 mm
außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Zwickel
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,87	0,86	0,89	0,86	1,28	-	0,95
Innen 2	1,50	1,30	1,31	1,30	1,27	-	1,34
Innen 3	1,07	1,18	1,07	1,08	1,37	-	1,15
Innen 4	0,91	0,86	0,82	0,95	1,31	-	0,97
Mittelwert	1,09	1,05	1,02	1,05	1,31	-	1,10

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D8

Versuch D8

Spannglied: Typ D
innen: 1,66 mm
außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Zwickel
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 22 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65	-	1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,99	0,90	0,76	0,81	1,04	-	0,90
Innen 2	1,47	1,35	1,16	1,42	1,70	-	1,42
Innen 3	1,14	1,07	0,95	0,99	1,06	-	1,04
Innen 4	0,84	0,60	0,58	0,61	0,82	-	0,69
Mittelwert	1,11	0,98	0,86	0,96	1,16		1,01

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch D9

Versuch D9

Spannglied: Typ D
 innen: 1,66 mm
 außen: - mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Zwickel
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 23 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,67	1,72	1,70	1,70	1,68		1,69
Innen 2	1,60	1,59	1,62	1,61	1,59		1,60
Innen 3	1,72	1,74	1,71	1,71	1,70		1,72
Innen 4	1,66	1,61	1,63	1,58	1,62		1,62
Mittelwert	1,66	1,67	1,67	1,65	1,65		1,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,45	0,26	0,25	0,28	0,44	-	0,34
Innen 2	0,59	0,41	0,45	0,53	0,94	-	0,58
Innen 3	0,84	0,69	0,58	0,61	0,59	-	0,66
Innen 4	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	gerissen	-	-
Mittelwert	0,63	0,45	0,43	0,47	0,66		0,53

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1							-
Hülle 2							-
Hülle 3							-
Hülle 4							-
Mittelwert	-	-	-	-	-	-	-

Versuch E1

Versuch E1

Spannglied: Typ E
 innen: 1,65 mm
 außen: 2,04 mm
 Belastung: 150 kN
 Verschiebung: 0 cm
 Knickwinkel: 0 °
 Lasteintrag:
 Belastungsgeschwindigkeit: System
 Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: ja
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 17 h
 Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,60	1,80	1,65	1,50	1,70		1,65
Innen 2	1,65	1,65	1,60	1,70	1,60		1,64
Innen 3	1,50	1,70	1,60	1,80	1,65		1,65
Innen 4	1,70	1,70	1,65	1,65	1,60		1,66
Mittelwert	1,61	1,71	1,63	1,66	1,64	-	1,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,85	2,20	2,20	1,90	2,00		2,03
Hülle 2	1,80	2,35	2,15	1,95	2,10		2,07
Hülle 3	1,90	2,00	1,85	2,20	2,20		2,03
Hülle 4	1,95	2,10	1,80	2,35	1,85		2,01
Mittelwert	1,88	2,16	2,00	2,10	2,04	-	2,04

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,30	1,30	1,45	1,50		-	1,39
Innen 2	1,50	1,30	1,30	1,25		-	1,34
Innen 3	1,30	1,40	1,30	1,35		-	1,34
Innen 4	1,25	1,35	1,40	1,35		-	1,34
Mittelwert	1,34	1,34	1,36	1,36	-		1,35

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,50	1,60	1,60	1,50		-	1,55
Hülle 2	1,80	1,80	1,85	1,70		-	1,79
Hülle 3	1,50	1,45	1,30	1,35		-	1,40
Hülle 4	1,50	1,65	1,60	1,70		-	1,61
Mittelwert	1,58	1,62	1,59	1,56	-		1,59

Versuch E2

Versuch E2

Spannglied: Typ E
 innen: 1,65 mm
 außen: 2,04 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 80 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: ja
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 6 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,60	1,80	1,65	1,50	1,70		1,65
Innen 2	1,65	1,65	1,60	1,70	1,60		1,64
Innen 3	1,50	1,70	1,60	1,80	1,65		1,65
Innen 4	1,70	1,70	1,65	1,65	1,60		1,66
Mittelwert	1,61	1,71	1,63	1,66	1,64	-	1,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,85	2,20	2,20	1,90	2,00		2,03
Hülle 2	1,80	2,35	2,15	1,95	2,10		2,07
Hülle 3	1,90	2,00	1,85	2,20	2,20		2,03
Hülle 4	1,95	2,10	1,80	2,35	1,85		2,01
Mittelwert	1,88	2,16	2,00	2,10	2,04	-	2,04

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,35	1,55	1,60	1,50		-	1,50
Innen 2	1,35	1,35	1,45	1,20		-	1,34
Innen 3	1,40	1,35	0,80	1,40		-	1,24
Innen 4	1,40	1,40	0,95	1,65		-	1,35
Mittelwert	1,38	1,41	1,20	1,44	-	-	1,36

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,55	1,75	1,60	1,85		-	1,69
Hülle 2	1,40	1,35	1,40	1,40		-	1,39
Hülle 3	1,60	1,55	1,40	1,35		-	1,48
Hülle 4	1,40	1,45	1,30	1,05		-	1,30
Mittelwert	1,49	1,53	1,43	1,41	-	-	1,46

Versuch F1

Versuch F1

Spannglied: Typ F
innen: 6,27 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Draht
Belastungsgeschwindigkeit: Computer
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 15 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,67	7,00					6,34
Innen 2	5,68	6,00					5,84
Innen 3	7,00	5,91					6,46
Innen 4	6,91	6,00					6,46
Mittelwert	6,32	6,23					6,27

Restwanddicke:

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,78	5,68	5,71				5,72
Innen 2	5,44	5,42	5,47				5,44
Innen 3	5,36	5,32	5,33				5,34
Innen 4	5,27	5,13	5,24				5,21
Innen 5	5,22	5,01	5,10				5,11
Innen 6	5,36	5,12	5,00				5,16
Innen 7	5,53	5,50	5,08				5,37
Innen 8	5,54	5,50	5,42				5,49
Innen 9	5,53	5,46	5,48				5,52
Innen 10	5,54	5,52	5,55				5,54
Innen 11	5,98	5,62	5,68				5,76
Innen 12	5,84	5,88	5,75				5,82
Mittelwert	5,54	5,43	5,40				5,46

Versuch F2

Versuch F2

Spannglied: Typ F
innen: 6,27 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Draht
Belastungsgeschwindigkeit: Computer
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,67	7,00					6,34
Innen 2	5,68	6,00					5,84
Innen 3	7,00	5,91					6,46
Innen 4	6,91	6,00					6,46
Mittelwert	6,32	6,23					6,27

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,37	5,35	5,65				5,46
Innen 2	5,26	5,48	5,34				5,36
Innen 3	4,92	5,00	5,20				5,04
Innen 4	5,17	5,24	5,40				5,27
Innen 5	4,68	4,81	5,18				4,89
Innen 6	5,35	5,36	5,57				5,43
Innen 7	5,58	5,53	5,60				5,57
Innen 8	5,43	5,44	5,54				5,47
innen 9	4,98	5,00	5,15				5,04
Innen 10	5,58	5,62	5,68				5,63
Innen 11	5,55	5,69	5,52				5,59
Innen 12	5,72	5,75	5,63				5,70
Mittelwert	5,30	5,36	5,46				5,37

Versuch F3

Versuch F3

Spannglied: Typ F
innen: 6,27 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Draht
Belastungsgeschwindigkeit: Computer
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 19 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,67	7,00					6,34
Innen 2	5,68	6,00					5,84
Innen 3	7,00	5,91					6,46
Innen 4	6,91	6,00					6,46
Mittelwert	6,32	6,23					6,27

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,43	5,37	5,28				5,36
Innen 2	5,22	5,14	5,11				5,16
Innen 3	5,42	5,19	5,13				5,25
Innen 4	5,50	5,35	5,32				5,39
Innen 5	5,59	5,55	5,49				5,54
Innen 6	5,66	5,50	5,37				5,51
Innen 7	5,68	5,51	5,37				5,52
Innen 8	5,56	5,38	5,31				5,42
Innen 9	5,74	5,64	5,64				5,67
Innen 10	5,31	5,14	5,05				5,17
Innen 11	5,56	5,38	5,29				5,41
Innen 12	5,70	5,65	5,59				5,65
Mittelwert	5,53	5,40	5,33				5,42

Versuch F4

Versuch F4

Spannglied: Typ F
innen: 6,27 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Draht
Belastungsgeschwindigkeit: Computer
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 8 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,67	7,00					6,34
Innen 2	5,68	6,00					5,84
Innen 3	7,00	5,91					6,46
Innen 4	6,91	6,00					6,46
Mittelwert	6,32	6,23					6,27

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,94	5,76	5,79				5,83
Innen 2	5,55	5,38	5,36				5,43
Innen 3	5,65	5,57	5,54				5,59
Innen 4	5,63	5,59	5,54				5,59
Innen 5	5,60	5,57	5,53				5,57
Innen 6	5,67	5,60	5,59				5,62
Innen 7	5,62	5,59	5,57				5,59
Innen 8	5,51	5,50	5,44				5,48
Innen 9	5,40	5,35	5,33				5,36
Innen 10	5,41	5,38	5,32				5,37
Innen 11	5,47	5,34	5,25				5,35
Innen 12	6,06	5,78	5,75				5,86
Mittelwert	5,63	5,53	5,50				5,55

Versuch F5

Versuch F5

Spannglied: Typ F
innen: 6,27 mm
Belastung: 125 kN
Verschiebung: cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: Draht
Belastungsgeschwindigkeit: Computer
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 14 h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,67	7,00					6,34
Innen 2	5,68	6,00					5,84
Innen 3	7,00	5,91					6,46
Innen 4	6,91	6,00					6,46
Mittelwert	6,32	6,23					6,27

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	5,87	5,75	5,67				5,76
Innen 2	5,48	5,24	5,10				5,27
Innen 3	5,57	5,45	5,42				5,48
Innen 4	5,50	5,35	5,31				5,39
Innen 5	5,52	5,28	5,22				5,34
Innen 6	5,43	5,41	5,39				5,41
Innen 7	5,67	5,56	5,39				5,54
Innen 8	5,45	5,35	5,30				5,37
Innen 9	5,45	5,32	5,33				5,37
Innen 10	5,57	5,53	5,53				5,54
Innen 11	5,64	5,54	5,53				5,57
Innen 12	5,84	5,62	5,58				5,68
Mittelwert	5,58	5,45	5,40				5,48

Versuch G1-G6

Versuche G1 - G6

Spannglied: Typ A
innen: 1,67 mm
außen: 2,68 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 2 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit: System
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung:
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung:
Standzeit: h
Bemerkung:

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,60	1,61	1,54	1,54	1,58	1,62	1,58
Innen 2	1,72	1,72	1,73	1,75	1,73	1,75	1,73
Innen 3	1,60	1,60	1,58	1,58	1,58	1,59	1,59
Innen 4	1,85	1,72	1,80	1,76	1,81	1,73	1,78
Mittelwert	1,69	1,66	1,66	1,66	1,68	1,67	1,67

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,73	2,69	2,69	2,68	2,72	2,68	2,70
Hülle 2	2,68	2,61	2,65	2,63	2,61	2,60	2,63
Hülle 3	2,63	2,64	2,59	2,66	2,68	2,72	2,65
Hülle 4	2,78	2,82	2,71	2,74	2,70	2,74	2,75
Mittelwert	2,71	2,69	2,66	2,68	2,68	2,69	2,68

Restwanddicke:	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Innen 1	0,72	0,44	-	0,48	0,60	
Innen 2	0,72	0,45	-	0,68	0,51	
Innen 3	0,58	0,48	-	0,68	0,61	
Innen 4	0,64	0,63	-	0,60	0,60	
Mittelwert	0,67	0,50		0,61	0,58	

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Hülle 1	1,05	0,82	-	0,85	0,90	-
Hülle 2	1,63	0,98	-	1,28	1,10	-
Hülle 3	1,16	0,96	-	1,61	0,90	-
Hülle 4	1,30	1,19	-	1,18	0,93	-
Mittelwert	1,29	0,99	-	1,23	0,96	-

Versuch T1

Versuch T1

Spannglied: Typ C
innen: 1,69 mm
außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 16 h
Bemerkung: T = 40°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,60	0,63	0,62	0,64	0,71	-	0,64
Innen 2	0,56	0,60	0,61	0,62	0,71	-	0,62
Innen 3	0,59	0,60	0,60	0,61	0,66	-	0,61
Innen 4	0,69	0,70	0,70	0,71	0,77	-	0,71
Mittelwert	0,61	0,63	0,63	0,65	0,71		0,65

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,63	1,73				-	1,68
Hülle 2	1,77	1,68				-	1,73
Hülle 3	1,52	1,81				-	1,67
Hülle 4	1,84	1,36				-	1,60
Mittelwert	1,69	1,65					1,67

Versuch T2

Versuch T2

Spannglied: Typ C
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 21 h
Bemerkung: T = 40°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,05	1,15	1,11	1,08	0,94	-	1,07
Innen 2	1,08	1,08	1,03	0,96	0,62	-	0,95
Innen 3	1,28	1,04	0,98	0,97	0,94	-	1,04
Innen 4	0,85	0,84	0,81	0,78	0,76	-	0,81
Mittelwert	1,07	1,03	0,98	0,95	0,82		0,97

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,80					-	2,80
Hülle 2	2,76					-	2,76
Hülle 3	2,88					-	2,88
Hülle 4	2,69					-	2,69
Mittelwert	2,78						2,78

Versuch T3

Versuch T3

Spannglied: Typ C
innen: 1,69 mm
außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag:
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 12 h
Bemerkung: T = 30°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,72	0,73	0,67	0,67	0,63	-	0,68
Innen 2	0,87	0,66	0,60	0,54	0,53	-	0,64
Innen 3	0,84	0,80	0,80	0,71	0,65	-	0,76
Innen 4	0,67	0,56	0,60	0,49	0,49	-	0,56
Mittelwert	0,78	0,69	0,67	0,60	0,58		0,66

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,04					-	2,04
Hülle 2	2,12					-	2,12
Hülle 3	2,23					-	2,23
Hülle 4	1,95					-	1,95
Mittelwert	2,09						2,09

Versuch T4

Versuch T4

Spannglied: Typ C
innen: 1,69 mm
außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 14 h
Bemerkung: T = 30°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,18	1,17	1,14	1,12	1,17	-	1,16
Innen 2	1,08	1,00	0,97	0,98	1,06	-	1,02
Innen 3	1,21	1,23	1,21	1,15	1,22	-	1,20
Innen 4	1,06	0,99	1,00	0,98	0,97	-	1,00
Mittelwert	1,13	1,10	1,08	1,06	1,11		1,09

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3					-	3,00
Hülle 2	3					-	3,00
Hülle 3	3,06					-	3,06
Hülle 4	2,95					-	2,95
Mittelwert	3,00						3,00

Versuch T5

Versuch T5

Spannglied: Typ C
innen: 1,69 mm
außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 19 h
Bemerkung: T = 45°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,63	0,64	0,65	0,67	0,70	-	0,66
Innen 2	0,64	0,54	0,56	0,52	0,52	-	0,56
Innen 3	0,58	0,67	0,66	0,70	0,77	-	0,68
Innen 4	0,48	0,47	0,55	0,60	0,63	-	0,55
Mittelwert	0,58	0,58	0,61	0,62	0,66		0,61

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,91					-	1,91
Hülle 2	1,78					-	1,78
Hülle 3	1,76					-	1,76
Hülle 4	1,56					-	1,56
Mittelwert	1,75						1,75

Versuch T6

Versuch T6

Spannglied: Typ A
innen: 1,69 mm
außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 12 h
Bemerkung: T = 45°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,06	1,05	1,10	1,12	1,23	-	1,11
Innen 2	0,92	0,98	1,02	1,02	1,16	-	1,02
Innen 3	0,52	0,61	0,89	0,96	0,96	-	0,79
Innen 4	0,82	0,87	0,90	0,94	0,96	-	0,90
Mittelwert	0,83	0,88	0,98	1,01	1,08		0,95

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2					-	2,00
Hülle 2	2,2					-	2,20
Hülle 3	2,14					-	2,14
Hülle 4	2,16					-	2,16
Mittelwert	2,13						2,13

Versuch T7

Versuch T7

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 19 h
Bemerkung: T = 30°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,70	0,71	0,74	0,79	0,84	-	0,76
Innen 2	0,56	0,49	0,51	0,54	0,59	-	0,54
Innen 3	0,75	0,75	0,74	0,75	0,74	-	0,74
Innen 4	0,77	0,79	0,76	0,83	0,87	-	0,80
Mittelwert	0,69	0,69	0,69	0,73	0,76		0,71

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,58					-	1,58
Hülle 2	1,61					-	1,61
Hülle 3	1,57					-	1,57
Hülle 4	1,83					-	1,83
Mittelwert	1,65						1,65

Versuch T9

Versuch T9

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung: T = 30°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,01	1,03	1,07	1,14	1,25	-	1,10
Innen 2	0,67	0,64	0,67	0,86	1,14	-	0,80
Innen 3	1,01	1,04	1,05	1,11	1,26	-	1,09
Innen 4	1,21	1,10	1,12	1,18	1,22	-	1,17
Mittelwert	0,98	0,95	0,98	1,07	1,22		1,04

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,35					-	2,35
Hülle 2	2,42					-	2,42
Hülle 3	2,37					-	2,37
Hülle 4	2,44					-	2,44
Mittelwert	2,40						2,40

Versuch T10

Versuch T10

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 18 h
Bemerkung: T = 40°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,69	0,70	0,72	0,77	0,82	-	0,74
Innen 2	0,66	0,60	0,57	0,61	0,64	-	0,62
Innen 3	0,52	0,49	0,49	0,46	0,44	-	0,48
Innen 4	0,53	0,58	0,58	0,62	0,56	-	0,57
Mittelwert	0,60	0,59	0,59	0,61	0,62		0,60

Hülle	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	1,32					-	1,32
Hülle 2	1,52					-	1,52
Hülle 3	1,36					-	1,36
Hülle 4	1,08					-	1,08
Mittelwert	1,32						1,32

Versuch T11

Versuch T11

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfört: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 18 h
Bemerkung: T = 40°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,94	0,93	0,99	1,02	1,08	-	0,99
Innen 2	0,67	0,76	0,84	0,84	0,89	-	0,80
Innen 3	0,62	0,87	0,97	0,98	1,07	-	0,90
Innen 4	0,86	0,89	0,92	0,95	1,03	-	0,93
Mittelwert	0,77	0,86	0,93	0,95	1,02		0,91

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,17					-	2,17
Hülle 2	2,34					-	2,34
Hülle 3	2,19					-	2,19
Hülle 4	2,23					-	2,23
Mittelwert	2,23						2,23

Versuch T12

Versuch T12

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 18 h
Bemerkung: T = 45°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,94	0,93	0,99	1,02	1,08	-	0,99
Innen 2	0,67	0,76	0,84	0,84	0,89	-	0,80
Innen 3	0,62	0,87	0,97	0,98	1,07	-	0,90
Innen 4	0,86	0,89	0,92	0,95	1,03	-	0,93
Mittelwert	0,77	0,86	0,93	0,95	1,02		0,91

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,17					-	2,17
Hülle 2	2,34					-	2,34
Hülle 3	2,19					-	2,19
Hülle 4	2,23					-	2,23
Mittelwert	2,23						2,23

Versuch T13

Versuch T13

Spannglied: Typ C
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
 seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 17 h
Bemerkung: T = 45°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Kestwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,03	0,95	0,94	0,98	1,03	-	0,99
Innen 2	1,05	0,83	0,88	0,94	0,99	-	0,94
Innen 3	0,96	0,88	0,90	0,98	1,04	-	0,95
Innen 4	1,05	1,04	1,07	1,10	1,11	-	1,07
Mittelwert	1,02	0,93	0,95	1,00	1,04		0,99

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,625					-	2,63
Hülle 2	2,61					-	2,61
Hülle 3	2,56					-	2,56
Hülle 4	2,73					-	2,73
Mittelwert	2,63						2,63

Versuch T14

Versuch T14

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 6 h
Bemerkung: T = 20°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	0,75	0,76	0,81	0,75	1,05	-	0,82
Innen 2	0,41	0,43	0,52	0,51	0,61	-	0,50
Innen 3	0,62	0,55	0,55	0,54	1,08	-	0,67
Innen 4	0,74	0,80	0,85	0,87	1,10	-	0,87
Mittelwert	0,63	0,64	0,68	0,67	0,96		0,72

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,06					-	2,06
Hülle 2	2,16					-	2,16
Hülle 3	2,06					-	2,06
Hülle 4	2,08					-	2,08
Mittelwert	2,09						2,09

Versuch T15

Versuch T15

Spannglied: Typ A
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
 Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 4 h
Bemerkung: T = 20°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,31	1,31	1,29	1,22	1,22	-	1,27
Innen 2	1,17	1,13	1,05	1,06	0,97	-	1,08
Innen 3	1,37	1,29	1,21	1,13	1,33	-	1,27
Innen 4	1,25	1,22	1,19	1,19	1,19	-	1,21
Mittelwert	1,28	1,24	1,19	1,15	1,18		1,21

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,55					-	2,55
Hülle 2	2,53					-	2,53
Hülle 3	2,47					-	2,47
Hülle 4	2,63					-	2,63
Mittelwert	2,55						2,55

Versuch T16

Versuch T16

Spannglied: Typ C
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 150 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfort: Schenck
seitliche Führung: -
Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
Standzeit: 5 h
Bemerkung: T = 20°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,12	1,07	1,07	1,09	1,20	-	1,11
Innen 2	0,87	0,98	1,04	0,97	1,21	-	1,01
Innen 3	1,02	1,15	1,03	1,08	1,27	-	1,11
Innen 4	0,95	0,98	0,96	0,96	0,96	-	0,96
Mittelwert	0,99	1,05	1,03	1,03	1,16		1,05

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,71					-	2,71
Hülle 2	2,64					-	2,64
Hülle 3	2,84					-	2,84
Hülle 4	2,58					-	2,58
Mittelwert	2,69						2,69

Versuch T17

Versuch T17

Spannglied: Typ C
 innen: 1,69 mm
 außen: 3,30 mm
Belastung: 100 kN
Verschiebung: 0 cm
Knickwinkel: 0 °
Lasteintrag: System
Belastungsgeschwindigkeit:
Prüfmaschine/Prüfart: Schenck
 seitliche Führung: -
 Unterlage: Stahl
Zwickelverfüllung: -
 Standzeit: 6 h
Bemerkung: T = 20°

Ausgangswanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,72	1,62	1,69	1,62	1,74		1,68
Innen 2	1,72	1,63	1,63	1,63	1,63		1,65
Innen 3	1,73	1,72	1,7	1,74	1,71		1,72
Innen 4	1,74	1,72	1,71	1,73	1,75		1,73
Mittelwert	1,73	1,67	1,68	1,68	1,71		1,69

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	3,4	3,32					3,36
Hülle 2	3,24	3,18					3,21
Hülle 3	3,3	3,19					3,25
Hülle 4	3,4	3,38					3,39
Mittelwert	3,34	3,27					3,30

Restwanddicke:	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Innen 1	1,39	1,38	1,22	1,22	1,22	-	1,29
Innen 2	1,28	1,21	1,20	1,21	1,25	-	1,23
Innen 3	1,16	1,13	1,03	0,95	0,91	-	1,04
Innen 4	1,43	1,37	1,32	1,28	1,21	-	1,32
Mittelwert	1,32	1,27	1,19	1,17	1,15		1,22

	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Mittelwert
Hülle 1	2,02					-	2,02
Hülle 2	1,95					-	1,95
Hülle 3	1,84					-	1,84
Hülle 4	2,13					-	2,13
Mittelwert	1,99						1,99