

**Untersuchung des Einflusses der Wanddicke
von Gerüstrohren auf die Drehwinkelsteifig-
keit bei Verbindungen mit Normalkupplungen**

T 2835

T 2835

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

1999, ISBN 3-8167-5464-3

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



Forschungsbericht

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Postfach 62 02 29

D-10792 Berlin

Betreff: Untersuchung des Einflusses der Wanddicke von
Gerüstrohren auf die Drehwinkelsteifigkeit bei
Verbindungen mit Normalkupplungen

Datum des Berichts: 10.06.1998

Auftrag: 25-25533

Textseiten: 11

Beilagen: 18

FMPA B-W
Abteilung 2 Baukonstruktionen
Pfaffenwaldring 4
D-70569 Stuttgart

Tel.: 0711/685/2200
Fax: 0711/685/6827

Inhalt

1. Auftrag und Zielsetzung
2. Umfang der Untersuchungen
3. Versuchsmaterial
 - 3.1 Kupplungen
 - 3.2 Gerüstrohre
4. Durchgeführte Versuche
 - 4.1 Versuchseinrichtungen
 - 4.2 Versuchsaufbau und Allgemeines zur Versuchsdurchführung
 - 4.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse
 - 4.3.1 Untersuchung der Kupplungen in Verbindung mit einem dünnwandigen Stahlrohrtyp
 - 4.3.2 Untersuchung von 7 Gerüstrohrtypen bei 3 Kupplungen
 - 4.3.3 Untersuchung von 8 Gerüstrohrtypen bei einer weiteren Kupplung
 - 4.3.4 Versuche mit einer Kupplung/Rohr-Kombination bei unterschiedlichen Versuchs- und Montagebedingungen
5. Beurteilung der Ergebnisse

1. Auftrag und Zielsetzung

Im Rahmen der Überarbeitung der europäischen Norm EN 74 bei CEN/TC53 wird kontrovers diskutiert, ob die Wanddicke von Rohren, an denen Gerüstkupplungen angeschlossen werden, von dem bisher gesetzten Grenzwert $t = 3,2$ mm reduziert werden kann. Werte bis $t = 2,2$ mm - allerdings bei erhöhter Streckgrenze - werden gefordert.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Einfluß von Wanddicke und Streck- bzw. Dehngrenze des Materials der Gerüstrohre auf die Drehwinkelsteifigkeit von Normalkupplungsverbindungen zu untersuchen.

Dieses Forschungsvorhaben wurde gefördert durch das

- * Deutsche Institut für Bautechnik sowie den Gerütherstellern
- * Layher GmbH & Co. KG
- * plettac AG und
- * Thyssen Hünnebeck GmbH.

2. Umfang der Untersuchungen

In einer ersten Versuchsreihe wurden 13 Kupplungen verschiedener europäischer Hersteller mit unterschiedlicher Bauart in Verbindung mit einem dünnwandigen Gerüstrohr aus Stahl untersucht. Aufgrund der Ergebnisse dieser Versuchsreihe wurden aus der Gesamtzahl der vorhandenen Kupplungen 3 ausgewählt. Mit diesen 3 Kupplungen wurden dann die zunächst vorhandenen 7 verschiedenen Gerüstrohrtypen geprüft. Sechs dieser Rohrtypen bestanden aus Stahl, zusätzlich wurde ein Aluminiumrohr geprüft.

Im Anschluß an diese 3 Versuchsreihen wurde eine weitere Kupplung ausgewählt, und diese wurde in Verbindung mit 8 Gerüstrohrtypen (7 Stahlrohre, 1 Aluminiumrohr) untersucht.

Schließlich wurden einige Tastversuche durchgeführt, die den Einfluß von Versuchs- und Montagebedingungen auf die Drehwinkelsteifigkeit zeigen sollten.

3. Versuchsmaterial

3.1 Kupplungen

Es wurden von Kupplungsherstellern aus 4 europäischen Ländern insgesamt 13 Kupplungsvarianten bei der FMPA angeliefert. Eine Übersicht dieser Varianten ist Tabelle 1 auf Beilage 1 zu entnehmen.

Es wurden 2 Keilkupplungen und 11 Schraubkupplungen geprüft. Die Kupplungen unterscheiden sich im verwendeten Material (geschmiedetes Rund- bzw. Flachmaterial) und in der Ausbildung der Kontaktflächen zwischen Schließbügel bzw. Sattelstück und den Gerüstrohren. Es wurden Kupplungen mit gerippten und glatten Flächen unterschiedlicher Breite untersucht. Bei zwei Varianten bestand die Kontaktfläche aus den abgekanteten Seiten des Flachstahls, aus dem der Schließbügel geformt war.

3.2 Gerüstrohre

Die geprüften Gerüstrohrtypen sind in Tabelle 2 auf Beilage 2 zusammengestellt. Von den insgesamt 9 verwendeten Typen wurden 6 (A bis F) von verschiedenen deutschen Rohr- bzw. Gerüstherstellern zur Verfügung gestellt. Gerüstrohre des Typs G waren bei der FMPA bereits vorhanden. Die Typen H und I wurden direkt vom Stahlhandel bezogen.

Die Stahlrohre waren mit Ausnahme des Typs H geschweißte, kreisförmige Rohre mit einem Nennaußendurchmesser von 48,2 mm. Das Rohr H war ein nahtloses Gewinderohr. Von den 8 Stahlrohrtypen waren 3 verzinkt, 5 wurden blank geliefert.

Die Abmessungen der Rohre wurden von einem Mitarbeiter der FMPA mittels eines Meßschiebers mit einer Ablesegenauigkeit von 0,05 mm an mehreren über den Umfang verteilten Stellen gemessen, die Streck- bzw. 0,2 % - Dehngrenze wurde in Zugversuchen gemäß DIN EN 10 002 an Rohrabschnitten mit Längen von 400 mm bei den dünnwandigen bzw. 500 mm bei den Rohren mit größerem Querschnitt ermittelt.

Die tatsächlichen Außendurchmesser der Stahlrohre lagen im Mittel zwischen 48,3 und 48,6 mm und zwischen 47,6 und 48,4 mm bei den Aluminiumrohren. Die mittleren Wanddicken der Stahlrohre lagen zwischen 2,07 und 3,90 mm. Die Wanddicke des Aluminiumrohrs aus der Legierung AlMgSi 1 F28 betrug im Mittel 3,75 mm. Die Streck- bzw. 0,2 % - Dehngrenzen lagen zwischen 343 und 561 N/mm² bei den Stahlrohren und bei 228 N/mm² bei dem Aluminiumrohr.

In der Tabelle sind in den letzten beiden Spalten Vergleichswerte für den erwarteten Einfluß von Wanddicke, Streck- bzw. Dehngrenze und E-Modul auf die Eindrückungen und die Drehwinkelsteifigkeit angegeben.

4. Durchgeführte Versuche

4.1 Versuchseinrichtungen

Die Versuche wurden in einer Prüfmaschine der FMPA durchgeführt. Diese Prüfmaschine besteht aus einer Aufspannplatte aus massivem Stahl mit Seitenabmessungen von 4,50 x 0,80 m² mit längs verlaufenden Nuten. Über einen servohydraulisch steuerbaren Zylinder mit einer Nennlast von 63 kN, der an einem Rahmen oberhalb der Aufspannplatte montiert ist, können vertikale Lasten aufgebracht werden.

Der mit dem Belastungszylinder verbundene Regler ermöglicht eine weggeregelte Versuchssteuerung mit definierter Belastungsgeschwindigkeit.

Die mittels einer Kraftmeßdose erfaßte Last und der Verschiebungsweg des Kolbens werden von dem Regler als elektrische Analogsignale zur Verfügung gestellt, und diese werden zusammen mit weiteren externen Meßgrößen mittels einer PC-gestützten Meßwerterfassungsanlage aufgenommen, mittels Echtzeitgrafik dargestellt, gespeichert und im Anschluß an den Versuch weiter bearbeitet.

4.2 Versuchsaufbau und Allgemeines zur Versuchsdurchführung

Eine Skizze und Fotos des Versuchsaufbaus sind in den Bildern 1 bis 4 auf den Beilagen 3 und 4 dargestellt. Bei diesem Versuchsaufbau, der in Anlehnung an DIN EN 74, Abschnitt 9.5.1 erfolgte, wurden zwei Gerüstrohre des selben Rohrtyps mittels einer Normkupplung mitein-

ander verbunden.

Das kurze Querrohr mit einer Länge von 400 mm wurde mittels einer steifen Haltekonstruktion aus Stahlteilen mit der Aufspannplatte der Prüfmaschine verbunden. Das 2,20 m lange Längsrohr wurde mittels der Kupplung an das Querrohr angeschlossen.

Bei den Keilkupplungen wurde versucht, den Keil bis zum Prellschlag einzuschlagen. Die Gewinde der Schrauben der Schraubkupplungen wurden vor dem Versuch eingefettet. Die Muttern wurden, soweit dies möglich war, mittels eines Drehmomentschlüssels mit einem Drehmoment von 50 Nm angezogen.

Die Lasteinleitung erfolgte in einem Abstand von 1 m zur Achse des Querrohrs über ein Adapterstück aus Stahl. Dieses Adapterstück wurde mit dem Belastungszylinder mittels einer gelenkig gelagerten Gewindestange M 16 verbunden, um die Einleitung unerwünschter Momente in das Längsrohr zu vermeiden.

Am anderen Ende des Längsrohrs wurde mittels eines rechtwinklig zur Achse des unbelasteten Rohrs angeordneten ohmschen Wegaufnehmers die Verschiebung des Rohrendes gemessen. Aus dieser Verschiebung wurde die Verdrehung im Bereich der Kupplung berechnet. Der Abstand zwischen Kupplungsachse und Wegaufnehmer betrug zunächst 1,0 m und wurde dann auf 0,6 m reduziert, um mit einem Längsrohr durch Verschieben um jeweils ca. 100 mm bis zu 4 Versuche durchführen zu können.

4.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

4.3.1 Untersuchung der Kupplungen in Verbindung mit einem dünnwandigen Stahlrohrtyp

In dieser Versuchsreihe wurden alle 13 vorhandenen Kupplungen mit dem Rohrtyp A geprüft. Dieses Rohr besaß die kleinste Wanddicke von 2,05 mm und eine Streckgrenze von 442 N/mm².

Das Aufbringen des Drehmoments von 50 Nm bei den Schraubkupplungen war bei einigen Kupplungsvarianten aus Flachmaterial nicht möglich, da sich die Schließbügel verformten und/oder in das dünnwandige Rohr eingedrückt wurden. In diesen Fällen wurden die Muttern mit Momenten zwischen 20 und 40 Nm angezogen.

Es wurden nacheinander je 2 Hystereseschleifen durchfahren, wobei als Umkehrpunkte Drehwinkel von $\pm 1^\circ$ bzw. $\pm 2^\circ$ gewählt wurden. Die Belastung erfolgte mit einer Verschiebungsgeschwindigkeit des Kolbens von 1 mm/s. Bei den Versuchen 1, 2 und 8 wurde im Anschluß an die 4 Hystereseschleifen so lange weiterbelastet, bis das belastete Ende des Längsrohrs beinahe an der Aufspannplatte auflag. Dann wurde der Versuch abgebrochen. Bei den Versu-

chen 6, 7, 9 und 10 wurde eine weitere Hystereseschleife gefahren. Dabei wurden Umkehrpunkte von $\pm 0,8$ kNm angestrebt. Diese Belastung konnte aber innerhalb der versuchstechnisch bedingten Grenzen nicht erreicht werden.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Tabelle 3 auf Beilage 5 zusammengefaßt. Für die Berechnung der Drehwinkelsteifigkeiten wurden jeweils die Meßwerte an den beiden Umkehrpunkten der Hystereseschleifen herangezogen. Die Mittelwerte der Drehwinkelsteifigkeiten bei den beiden ersten Schleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 1^\circ$ betragen zwischen 9,7 und 47,1 kNm/rad. Die Ergebnisse bei den Schleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 2^\circ$ lagen mit Werten zwischen 7,6 und 30,2 kNm/rad deutlich darunter. Die Differenzen betragen bei den einzelnen Versuchen zwischen 21 und 38 % und im Mittel 33 %.

Die Biegemoment-Drehwinkel-Kurven der Versuche sind in den Bildern 5 bis 17 auf den Beilagen 6 bis 9 dargestellt.

4.3.2 Untersuchung von 7 Gerüstrohrtypen bei 3 Kupplungen

Es wurden aus den 13 vorhandenen Kupplungen 3 Kupplungen unterschiedlicher Bauart ausgewählt. Es wurde eine Keilkupplung und 2 Schraubkupplungen in Verbindung mit 7 Rohrtypen untersucht, wobei das Sattelstück und die Schließbügel einer der Schraubkupplungen aus geschmiedetem und verzinktem Stahl und die der anderen aus geschmiedetem und verzinkt und chromatiertem Flachstahl bestanden.

Mit jeder Kombination von Kupplung und Gerüstrohr wurden normalerweise 4 Versuche durchgeführt. Die Belastung erfolgte mit einer Geschwindigkeit des Kolbens von 2 mm/s. Bei den ersten Versuchen mit der Keilkupplung wurden wie im Abschnitt 4.3.1 beschrieben 2 x 2 Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 1^\circ$ bzw. $\pm 2^\circ$ gefahren. Anschließend wurde die Versuchsdurchführung geändert und es wurden 2 Schleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 0,8$ kNm angestrebt. Bei einigen der Versuche konnte diese Last aufgrund versuchstechnisch bedingter Beschränkungen (Meßbereich des Wegaufnehmers bzw. Aufsetzen des belasteten Rohrendes auf der Aufspannplatte der Prüfmaschine) nicht erreicht werden. Die Umkehrpunkte wurden bei diesen Versuchen auf mindestens $\pm 0,6$ kNm festgelegt.

Für die Versuchsreihen mit der Kupplungsvariante 01 (Keilkupplung) und 05 (Schraubkupplung aus Flachmaterial) wurde je eine Kupplung für alle 4 Versuche mit einem Gerüstrohrtyp verwendet. Die kurzen Querrohre wurden nach jedem Versuch um ca. 45° gedreht, die 2,2 m langen Längsrohre wurden nach jedem Versuch um ca. 10 cm in Richtung des unbelasteten Endes verschoben.

Da die Kupplung 03 (Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl) in großer Stückzahl vorlag, wurden die Versuche 1 und 3 jeweils mit neuen Kupplungen durchgeführt, für

die Versuche 2 und 4 wurden die in den Versuchen 1 bzw. 3 verwendeten Kupplungen gedreht und nochmals montiert.

Bei der Keilkupplung war das Einschlagen des Keils bis zum Prellschlag, wie es in der DIN EN 74 vorgegeben ist, nicht möglich, da ein Prellschlag nicht deutlich zu erkennen war. Die Keile wurden daher mit einem 300 g - Hammer subjektiv "kräftig" eingeschlagen. Bei 2 Versuchen wurden sie besonders stark eingeschlagen.

Die Muttern der Schraubkupplung 03 wurden mit einem Drehmoment von 50 Nm angezogen. Dies war bei der Kupplung 05 nur in Verbindung mit dem Rohr C mit einer Wanddicke von 2,6 mm und einer Streckgrenze von 561 N/mm² und mit dem Rohr G mit einer Wanddicke von 3,9 mm und einer Streckgrenze von 358 N/mm² möglich. Bei allen anderen Rohrtypen verformten sich die Schließbügel ab einem Anzugsmoment zwischen 30 und 40 Nm deutlich und es ergaben sich erhebliche Eindrückungen am Rohr.

Die Ergebnisse dieser 3 Versuchsreihen können Tabelle 4 auf Beilage 10 entnommen werden. Bei den Versuchen 1 und 2 mit der Keilkupplung sind die Drehwinkelsteifigkeiten der Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 1^\circ$ und $\pm 2^\circ$ getrennt angegeben, weil sie sich deutlich unterscheiden; bei den übrigen Versuchen ist der Mittelwert der beiden Hystereseschleifen mit gleichen Umkehrpunkten angegeben.

Bei den Versuchen mit unterschiedlich stark eingeschlagenen Keilen ergab sich eine erhebliche Differenz der Drehwinkelsteifigkeiten. Während diese bei "kräftig" eingeschlagenem Keil in Verbindung mit Rohrtyp B bei 9,5 bzw. 8,7 kNm/rad lagen, wurden beim "besonders kräftig" eingeschlagenen Keil Werte von 19,0 bzw. 13,2 kNm/rad erreicht. In Verbindung mit dem Rohrtyp E ergab sich ein Unterschied von 13,2 bzw. 10,4 kNm/rad bei "kräftig" eingeschlagenem Keil zu Werten von 17,6 bzw. 13,3 kNm/rad beim "besonders kräftig" eingeschlagenen Keil.

Die mittleren Drehwinkelsteifigkeiten bei den Versuchen 3 und 4 mit der Keilkupplung (Umkehrpunkte $\pm 0,8$ bzw. $\pm 0,6$ kNm) lagen zwischen 9,2 und 12,3 kNm/rad. Bezüglich des Vergleichswertes $t^3 \cdot E$ zeigte sich innerhalb der Materialgruppen blanker Stahl bzw. verzinkter Stahl eine entsprechende Tendenz der Ergebnisse, aber keine gute Übereinstimmung der absoluten Werte.

Bei den Versuchsreihen mit der Schraubkupplung Nr. 03 aus geschmiedetem und verzinktem Stahl lagen die Mittelwerte der Drehwinkelsteifigkeiten zwischen 10,1 und 19,4 kNm/rad. Es ergab sich auch bei dieser Kupplung keine gute Übereinstimmung zwischen den Versuchsergebnissen und den Vergleichswerten. Insbesondere streuten die Ergebnisse innerhalb der Versuchsreihen zum Teil stark. So lag die Drehwinkelsteifigkeit beim Versuch 1 mit Rohrtyp C bei 11,4 kNm/rad, während der vergleichbare Versuch 3 einen Wert von 21,1 kNm/rad erbrachte.

Die Biegemoment-Drehwinkel-Kurven dieser beiden Versuche sind in den Bildern 18 und 19 auf Beilage 11 dargestellt. Die in den Diagrammen dargestellten Kurven unterscheiden sich in den Bereichen größerer betragsmäßiger Lasten, etwa oberhalb von 0,4 kNm und unterhalb von -0,4 kNm nicht wesentlich. Beim Versuch 1 treten jedoch im Gegensatz zum Versuch 3 bei einer geringen Belastung große Drehwinkeländerungen (sogenannte Lose) auf. Als Gründe für diesen Effekt werden vermutet:

1. Toleranzen der Geometrie der Kupplungsteile, insbesondere der gerippten Kontaktflächen der Schließbügel und des Sattelstücks
2. Unterschiedliche Reibung zwischen Scharnierbolzen und Kupplungsteilen
3. Vorhandene Eindrückungen im kurzen Querrohr, das gedreht mehrfach verwendet wurde.

Bei den Versuchen mit der Schraubkupplung aus Flachmaterial (Kupplung Nr. 05) und den Rohren A und C ergaben sich ebenfalls bei gleichartigen Versuchen große Unterschiede in den Werten der Drehwinkelsteifigkeit.

4.3.3 Untersuchung von 8 Gerüstrohrtypen bei einer weiteren Kupplung

Für diese Versuchsreihe wurde eine weitere Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl ausgewählt (Kupplung Nr. 12). Im Gegensatz zu der bereits geprüften Kupplung Nr. 03 sind die Kontaktflächen der Einzelteile dieser Kupplung zu den Gerüstrohren nicht mit Rippen versehen, sondern glatt ausgebildet.

Außerdem wurden die Versuchsbedingungen gegenüber den in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen noch präziser festgelegt, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu verbessern. So wurde darauf geachtet, daß die Schweißnähte der Rohre bei allen Versuchen an der gleichen Position lagen. Für jeden Versuch wurde ein neues kurzes Querrohr verwendet, und jede Kupplung wurde nur für 2 Versuche eingesetzt. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Kupplungsteile, insbesondere die Scharniere leichtgängig waren.

Es wurden wie bei den in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Versuchen 2 Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten von $\pm 0,8$ Nm angestrebt. Die Bewegungen der Vorderseite der Kupplung wurden mit der Videokamera aufgezeichnet und im Anschluß an die Versuche ausgewertet.

Nach Durchfahren der Hystereseschleifen wurde entlastet, die Kupplung wurde demontiert und die Rohre auf Eindrückungen hin untersucht.

Die Ergebnisse der Versuche mit der Kupplung Nr. 12 sind der Tabelle 5 auf Beilage 12 zu entnehmen. Darin ist auch die Anzahl derjenigen Versuche festgehalten, die Eindrückungen in dem Längsrohr mit einer Tiefe von mehr als 0,3 mm zur Folge hatten. Des Weiteren sind die

Mittelwerte der Biegemomente bei den Umkehrpunkten angegeben. Die angestrebten Werte von $\pm 0,8$ kNm konnten mit der versuchstechnisch bedingten Beschränkung auf Drehwinkel von maximal $\pm 5^\circ$ nur bei den Versuchen mit den beiden Stahlrohrtypen H und I mit Wanddicken von ca. 3,5 bzw. 3,0 mm erreicht werden. Bei den dünnwandigen Stahlrohren betragen die mittleren Biegemomente bei den Umkehrpunkten zwischen 0,53 und 0,70 kNm. Beim Rohrtyp A, dem mit einer Wanddicke von 2,05 mm dünnsten der geprüften Rohre, konnten zwar die angestrebten Umkehrpunkte mit einem Mittelwert der Biegemomente von 0,76 kNm annähernd erreicht werden, allerdings ergaben sich bei allen 4 Versuchen Eindrückungen mit einer Tiefe von mehr als 0,3 mm.

Die Mittelwerte der Drehwinkelsteifigkeiten lagen bei dieser Versuchsreihe zwischen 6,6 und 14,0 kNm/rad. Sie sind in Bild 20 auf Beilage 13 grafisch über dem Vergleichswert $t^3 \cdot E$ aufgetragen. Mit Ausnahme der Versuche mit dem Rohrtyp A, bei denen sich wie bereits erwähnt große Eindrückungen ergaben, kann bei den Versuchen mit den blanken Stahlrohrtypen B, C, I und H ein annähernd linearer Zusammenhang von Drehwinkelsteifigkeit und Vergleichswert festgestellt werden.

Die Drehwinkelsteifigkeiten der Versuche mit den verzinkten Rohrtypen D und E lagen deutlich unter den entsprechenden Werten mit blanken Rohren. Dies ist vermutlich auf unterschiedliche Reibungsverhältnisse zurückzuführen.

Der einzige für Aluminiumrohre ermittelte Wert (Typ F) liegt ca. zwischen den Ergebnissen der Versuche mit den verzinkten und den blanken Stahlrohren.

In den Bildern 21 bis 24 auf den Beilagen 14 und 15 sind beispielhaft einige Videoplots von der Vorderseite der Kupplung dargestellt. In den Teilbildern ist die Kupplung in verschiedenen Positionen während des Versuchs dargestellt. Man kann erkennen, daß eine Verschiebung im Bereich des Scharnierbolzens in Richtung des Längsrohrs stattfindet.

In den Bildern 25 und 26 auf Beilage 16 sind zwei typische in axialer Richtung erfaßte Oberflächenprofile im Bereich der nach dem Versuch vorhandenen Eindrückungen in die Gerüstrohre Typ A und Typ I dargestellt.

4.3.4 Versuche mit einer Kupplung/Rohr-Kombination bei unterschiedlichen Versuchs- und Montagebedingungen

In einem Versuch mit einer Kupplung/Rohr-Kombination, bestehend aus der Schraubkupplung Nr. 03 und dem Stahlrohr Typ C, wurde der Einfluß des gewählten Belastungsniveaus auf die Drehwinkelsteifigkeit untersucht. Dabei wurden nacheinander je 2 Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten bei $\pm 0,2$ kNm, $\pm 0,4$ kNm, $\pm 0,6$ kNm und 7 Schleifen bei $\pm 0,8$ kNm durchführen.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die selbe Kupplung/Rohr-Kombination im Hinblick auf unterschiedliche Montagesituationen geprüft. Zunächst wurden 2 Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten bei $\pm 0,8$ kNm durchfahren. Anschließend wurde die Kupplung zweimal ausgebaut und an der selben Stelle wieder montiert. Schließlich wurden zweimal die Muttern mit einem Drehmoment von 50 Nm nachgezogen. Abschließend wurde die selbe Kupplung nochmals an einer neuen Position des Längsrohres eingebaut, und in 4 Versuchen mit je 2 Hystereseschleifen mit Umkehrpunkten bei $\pm 0,8$ kNm geprüft. Zwischen den Versuchen wurden jeweils die Muttern nachgezogen.

Die Ergebnisse dieser Versuche können der Tabelle 6 auf Beilage 17 entnommen werden. Die Werte der Drehwinkelsteifigkeiten abhängig vom Belastungsniveau sind in Bild 27, die Biegemoment-Drehwinkel-Kurve ist in Bild 28 auf Beilage 18 dargestellt.

5. Beurteilung der Ergebnisse

Aus den vorbeschriebenen Untersuchungen können zusammenfassend folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Für gleiche Materialien mit gleichen Oberflächen ergibt sich ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Drehwinkelsteifigkeit und dem aus der Wanddicke t berechneten Vergleichswert t^3 .
2. Die Drehwinkelsteifigkeit bei verzinkten Gerüstrohren ist kleiner als bei blanken Rohren. Vermutlich sind unterschiedliche Reibungsverhältnisse zwischen Kupplungsteilen und Rohren die Ursache dafür. Die Drehwinkelsteifigkeit ist darüber hinaus von den Reibungsverhältnissen im Bereich der Scharnierbolzen abhängig.
3. Die Drehwinkelsteifigkeit ist abhängig vom Belastungsniveau.
4. Eine Vorbelastung der Rohre und/oder Kupplungen mit bleibenden Verformungen führt zu größeren Drehwinkelsteifigkeitswerten.
5. Bei Keilkupplungen ohne deutlich erkennbaren Prellschlag ist die Drehwinkelsteifigkeit abhängig von der Intensität des Einschlagens der Keile.
6. Das Aufbringen eines Anzugsmoments der Muttern von 50 Nm ist bei einigen Schraubkupplungsvarianten in Verbindung mit dünnwandigen Rohren überhaupt nicht, bei einigen weiteren Varianten nur mit bleibenden Verformungen der Rohre möglich.
7. Zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse muß der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung exakt definiert sein. Insbesondere dürfen Kupplungen mit profilierten

Kontaktflächen oder Kupplungen, die sich bei der Montage bleibend verformen, und das kurze Querrohr nicht mehrmals verwendet werden.

Der Abteilungsleiter



Dr.-Ing. G. Völkel, Ltd. BD



Der Bearbeiter



Dipl.-Ing. R. Rück

Tabelle 1: Übersicht der Kupplungen

Nr.	Hersteller	Herkunftsland	Typ	Material
01	van Thiel	Niederlande	Keilkupplung	geschmiedeter und verzinkter Rund- und Flachstahl
02	van Thiel	Niederlande	Keilkupplung	geschmiedeter Flachstahl (schwarz)
03	Layher	Deutschland	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Stahl
04	Ponteggi Dalmine	Italien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Flachstahl
05	Boulton	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Flachstahl
06	englische Kupplung ¹⁾	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter Flachstahl
07	englische Kupplung ¹⁾	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Stahl
08	Cotton	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Flachstahl
09	Burtens	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Flachstahl
10	Presko	Großbritannien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Flachstahl
11	Rux	Deutschland	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Stahl
12	plettac	Deutschland	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Stahl
13	Oneglio	Italien	Schraubkupplung	geschmiedeter und verzinkter Stahl

Anmerkungen:

1) Hersteller nicht bekannt

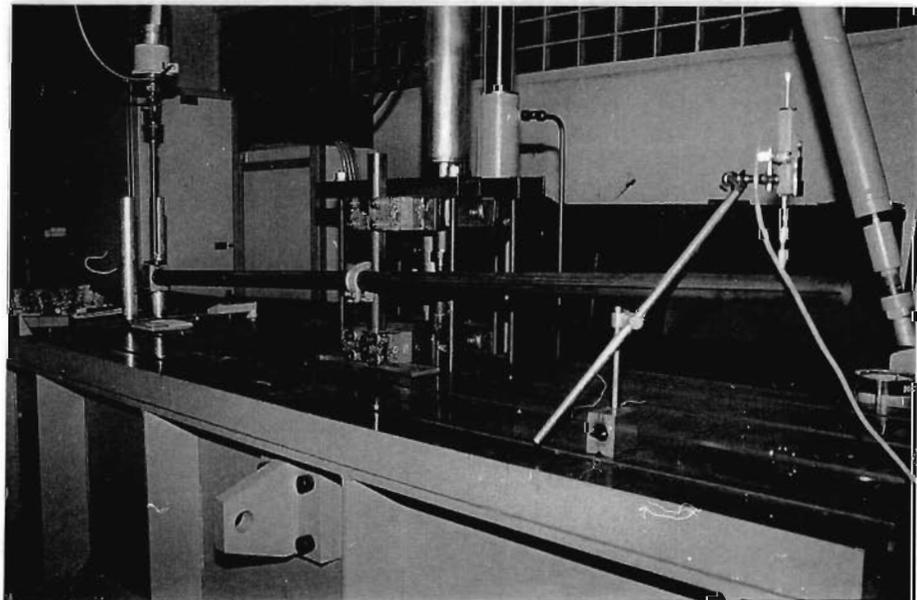
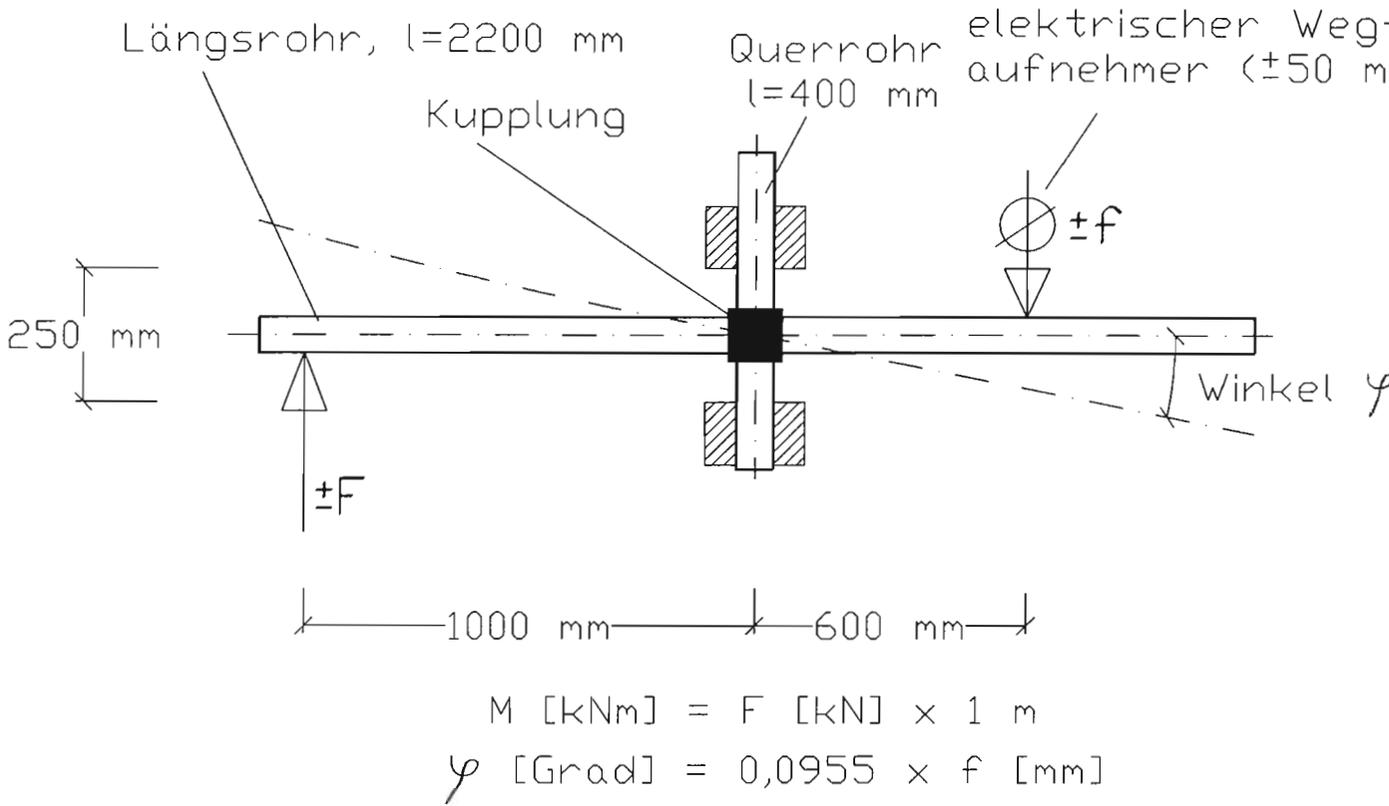
Tabelle 2: Übersicht der Gerüstrohre

Typ	Material	Abmessungen und Materialkennwerte			Vergleichswerte ¹⁾	
		Außendurchmesser	Wanddicke t	Streck- bzw. 0,2%-Dehngrenze f_y	für die Eindrückungen	für die Drehwinkelsteifigkeit
					$t^2 \cdot f_y$	$t^3 \cdot E$
mm	mm	N/mm ²	10 ³ N	10 ⁶ Nmm		
A	Stahl, blank	48,4	2,07	442	1,89	1,86
B		48,4	2,19	458	2,20	2,21
C		48,4	2,60	561	3,79	3,69
D	Stahl ²⁾ , verzinkt	48,4	2,37	385	2,16	2,80
E		48,6	2,89	343	2,86	5,07
F	Aluminium ³⁾	48,3	3,75	228	3,21	3,69
G	Stahl, verzinkt	48,5	3,90	358	5,45	12,46
H ⁴⁾	Stahl, blank	48,4	3,50	365	4,47	9,00
I		48,3	2,95	374	3,25	5,39

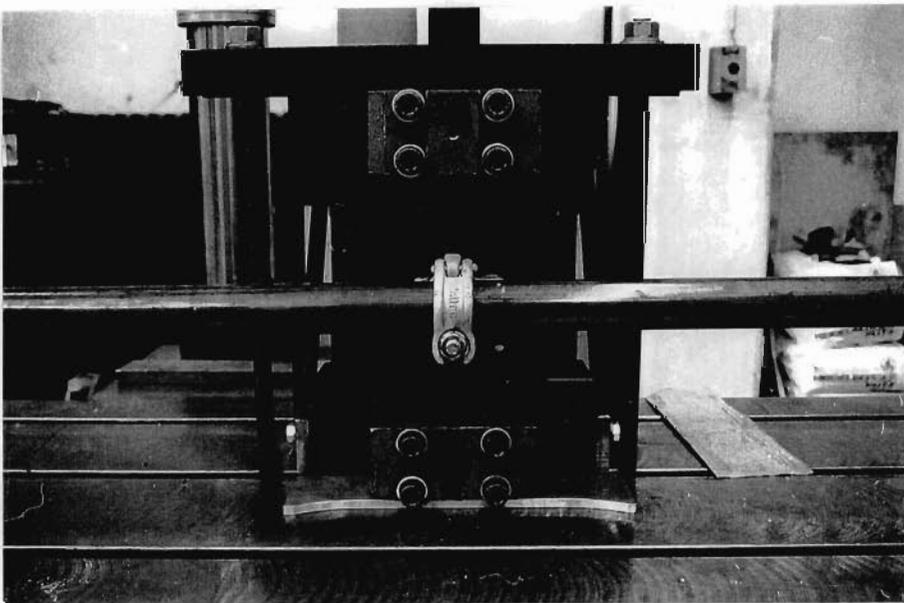
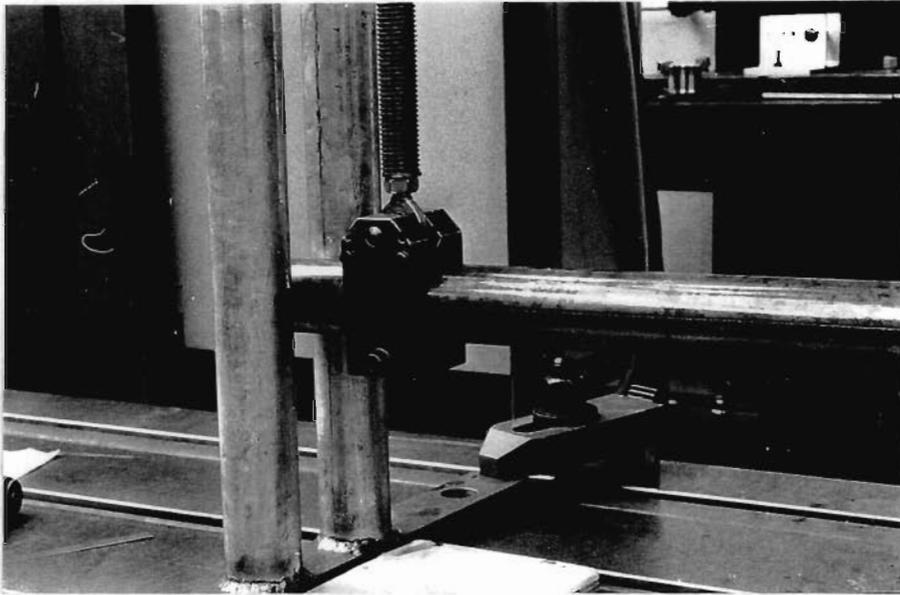
Anmerkungen:

Die Streckgrenze wurde in Zugversuchen gemäß DIN EN 10 002 an Rohrabschnitten mit einer Länge von 400 bzw. 500 mm ermittelt.

- 1) Die Vergleichswerte wurden mit den in den Spalten 4 und 5 angegebenen Abmessungen und Materialkennwerten und mit einem E-Modul von 210000 N/mm² für Stahl und 70000 N/mm² für Aluminium berechnet.
- 2) RSt 37-2
- 3) AlMgSi1 F28
- 4) Nahtlose Gewinderohre DIN 2440 St 33-2



Bilder 1 und 2: Skizze (oben) bzw. Foto (unten) des Versuchsaufbaus der Versuche zur Bestimmung der Drehwinkelsteifigkeit in Anlehnung an DIN EN 74. Der Abstand des Wegaufnehmers zur Kupplungsachse betrug zunächst 1,0 m (im Foto dargestellt) und wurde dann auf 0,6 m reduziert, um einen größeren Drehwinkelbereich abdecken zu können und das Längsrohr durch Verschieben mehrfach verwenden zu können.



Bilder 3 und 4: Details des Versuchsaufbaus im Bereich der Lasteinleitung ins Längsrohr mit seitlicher Führung des Rohrendes (oben) bzw. Detail im Bereich der Kupplung (unten)

Tabelle 3: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Drehwinkelsteifigkeit der 13 Kupplungsvarianten in Verbindung mit dem Gerüstrohr Typ A (Stahlrohr blank, Wanddicke 2,05 mm, Streckgrenze 442 N/mm²)

Nr	Hersteller	Typ	Anzugsmoment ¹⁾ M _A [Nm]	Drehwinkelsteifigkeit [kNm/rad]					
				bei ±1 Grad			bei ±2 Grad		
				1. Schleife	2. Schleife	Mittelwert	1. Schleife	2. Schleife	Mittelwert
01	van Thiel	Keilkupplung	-	9,8	9,5	9,65	8,0	7,2	7,6
02	van Thiel	Keilkupplung	-	27,9	27,9	27,9	17,8	-	-
03	Layher	Schraubkupplung	50	27,3	29,3	28,3	18,4	18,1	18,3
04	Ponteggi Dalmine	Schraubkupplung	50	45,3	48,8	47,1	29,8	30,5	30,2
05	Boulton	Schraubkupplung	25	19,0	19,4	19,2	13,8	14,1	14,0
06	englische Kupplung	Schraubkupplung	50	17,9	20,1	19,0	13,8	14,2	14,0
07	englische Kupplung	Schraubkupplung	35	20,2	21,5	20,9	13,6	13,8	13,7
08	Cotton	Schraubkupplung	40	15,9	17,1	16,5	11,3	11,1	11,2
09	Burtens	Schraubkupplung	50	20,8	21,1	21,0	13,0	12,9	13,0
10	Presko	Schraubkupplung	30	17,0	19,8	18,4	11,7	11,6	11,7
11	Rux	Schraubkupplung	50	29,8	30,2	30,0	19,2	18,8	19,0
12	plettac	Schraubkupplung	50	28,6	29,5	29,1	18,3	17,4	17,9
13	Oneglio	Schraubkupplung	50	15,7	16,3	16,0	11,5	11,9	11,7

Anmerkungen:

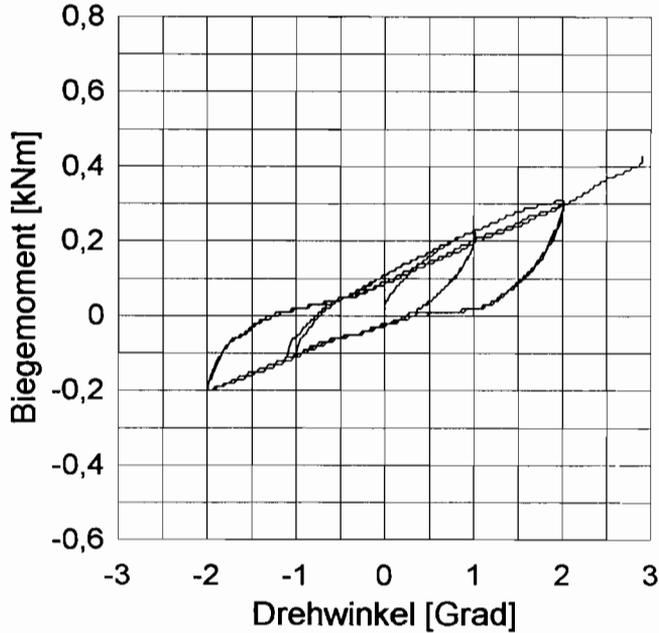
1) Bei den Schraubkupplungen wurde ein Anzugsmoment von 50 Nm angestrebt, wobei die Aufbringung dieses Moments bei einigen Kupplungsvarianten nicht möglich war. In diesen Fällen ist das tatsächlich aufgebrachte mittlere Anzugsmoment der beiden Muttern angegeben.

Versuchsdurchführung:

Durchfahren von je 2 Hystereseschleifen mit einer Geschwindigkeit des Belastungskolbens von 1 mm/s bis zu den Umkehrpunkten ±1° bzw. ±2°. Bei einigen Versuchen wurde anschließend eine weitere Schleife durchfahren, wobei als Umkehrpunkte ±0,6 kNm angestrebt wurden.

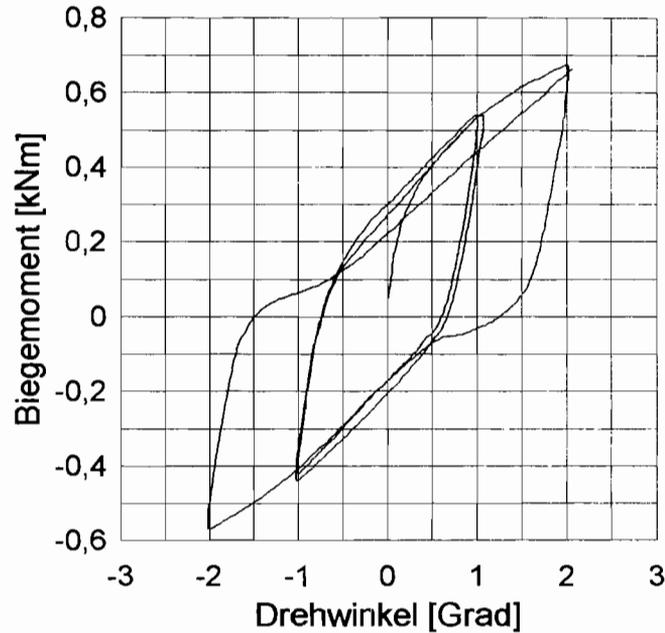
Versuch A 01

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: van Thiel-Keilkupplung (Rundmaterial)



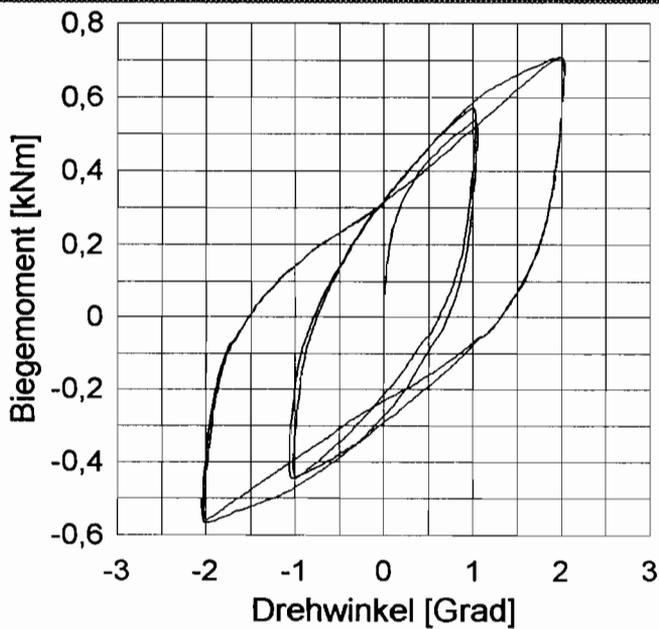
Versuch A 02

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: van Thiel-Keilkupplung (Flachmaterial)



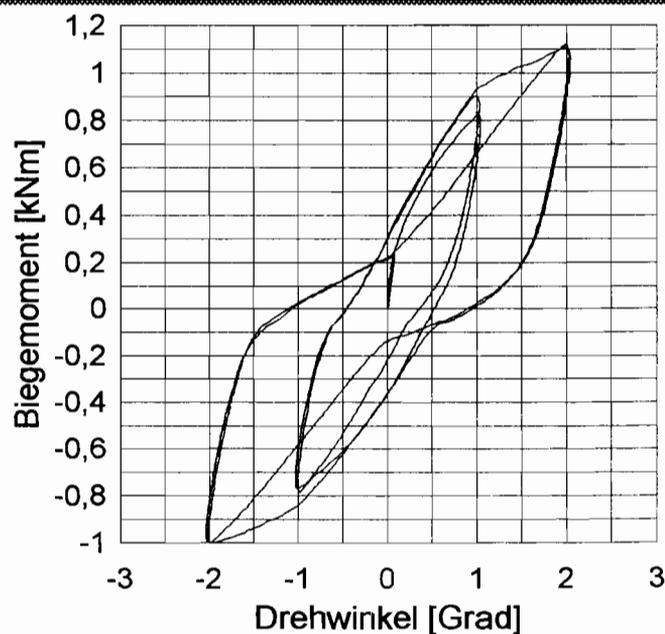
Versuch A 03

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: Layher-Schraubkupplung



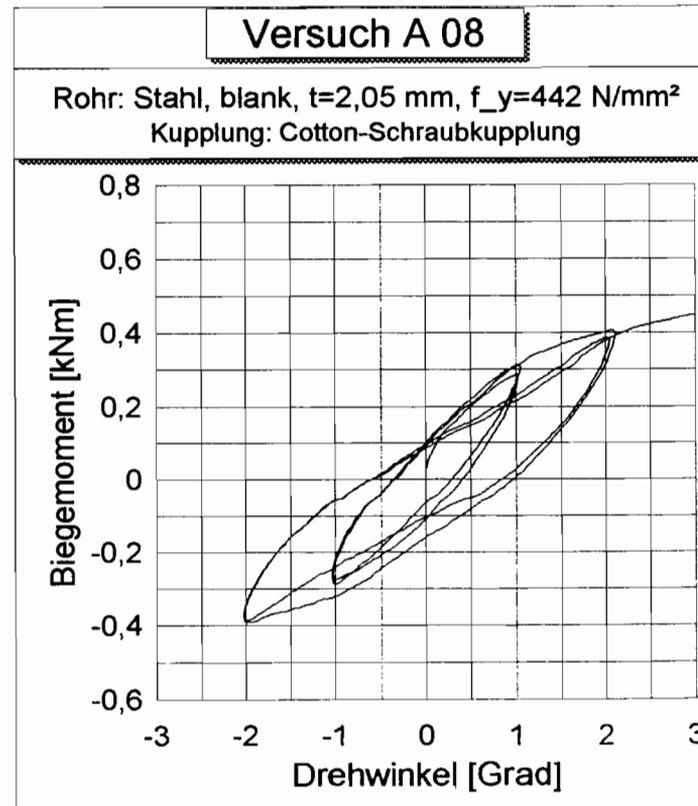
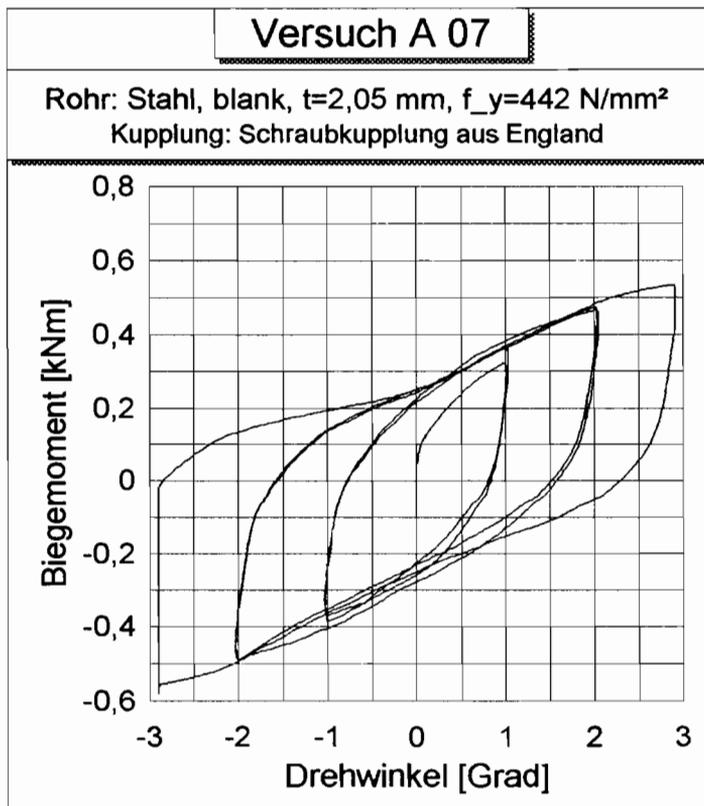
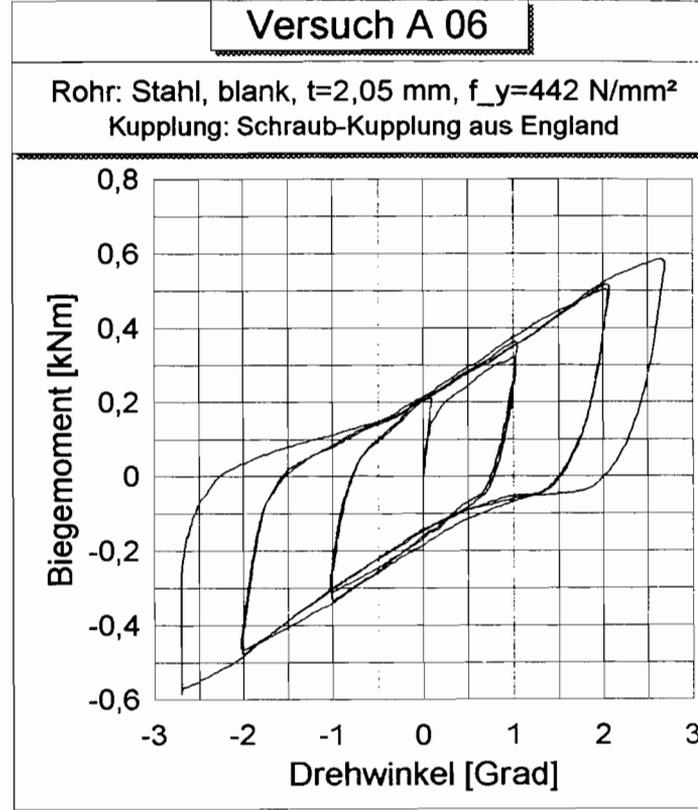
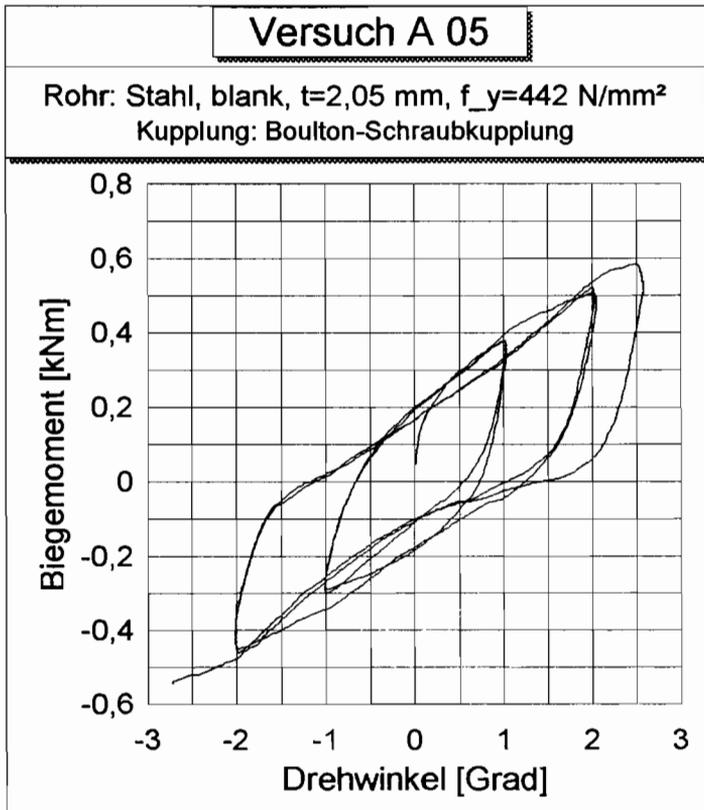
Versuch A 04

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: Ponteggi-Schraubkupplung



Bilder 5 bis 8:

Biegemoment-Drehwinkel-Kurven der Versuche A01 bis A04

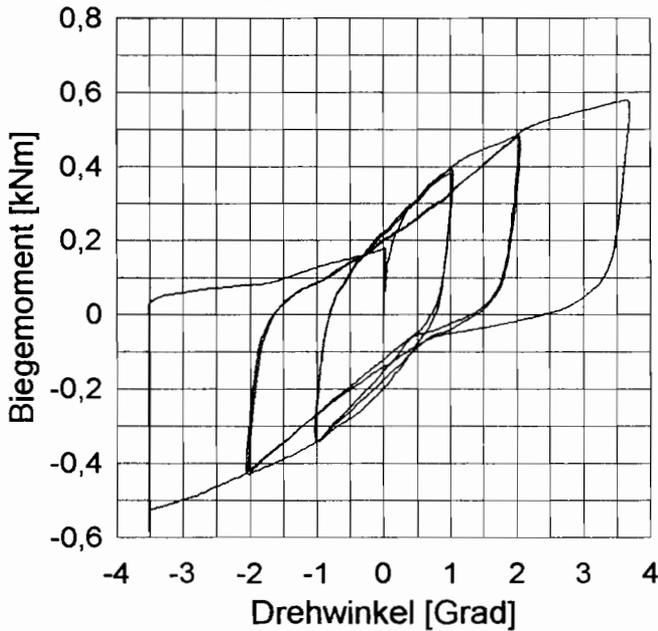


Bilder 9 bis 12:

Biegemoment-Drehwinkel-Kurven der Versuche A05 bis A08

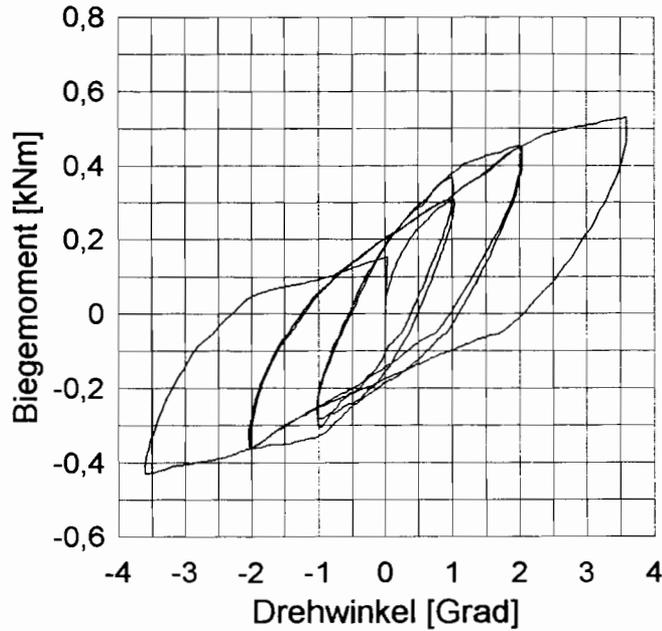
Versuch A 09

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: Burtons-Schraubkupplung



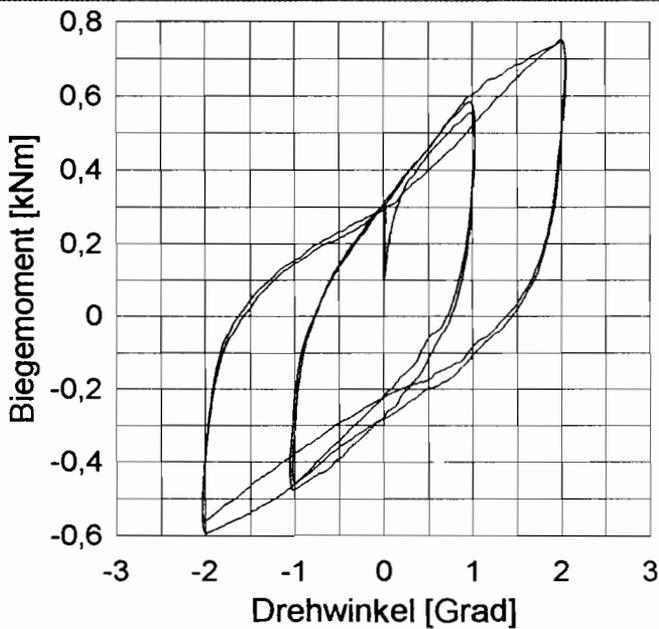
Versuch A 10

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: Presco UK-Schraubkupplung



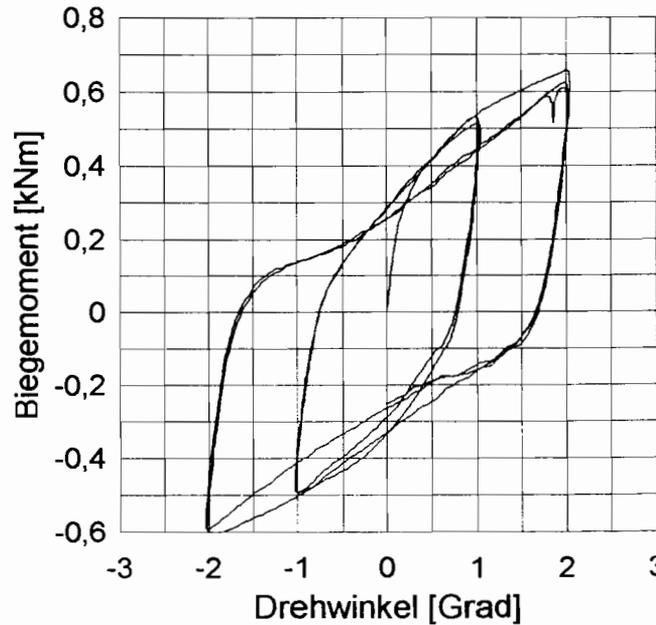
Versuch A 11

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: Rux-Schraubkupplung



Versuch A 12

Rohr: Stahl, blank, $t=2,05 \text{ mm}$, $f_y=442 \text{ N/mm}^2$
 Kupplung: plettac-Schraubkupplung



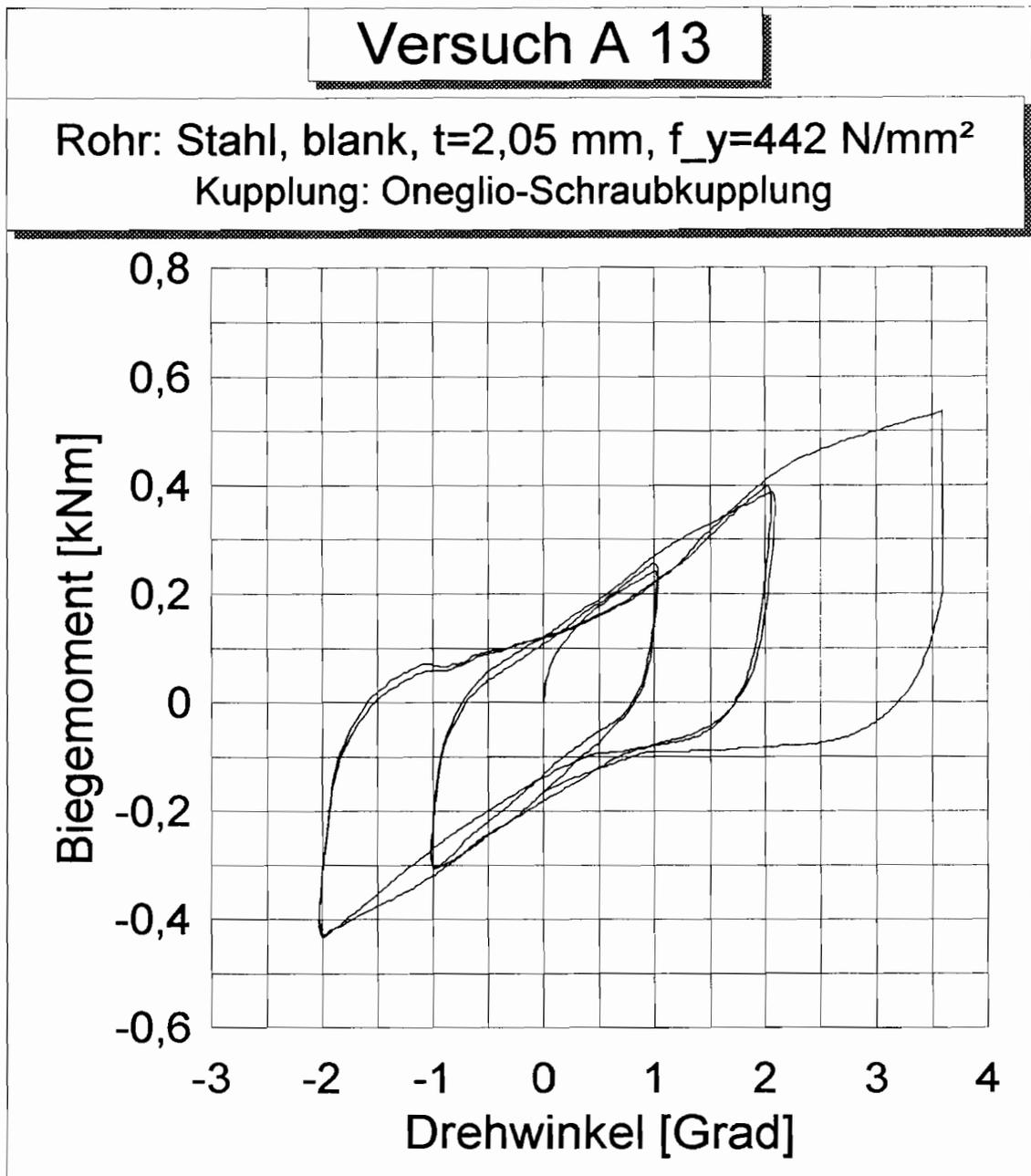


Bild 17: Biegemoment-Drehwinkel-Kurve des Versuchs A13

Tabelle 4: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Drehwinkelsteifigkeiten einer Keilkupplung, einer Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl und einer Schraubkupplung aus verzinktem Flachstahl in Verbindung mit 7 verschiedenen Typen von Gerüstrohren

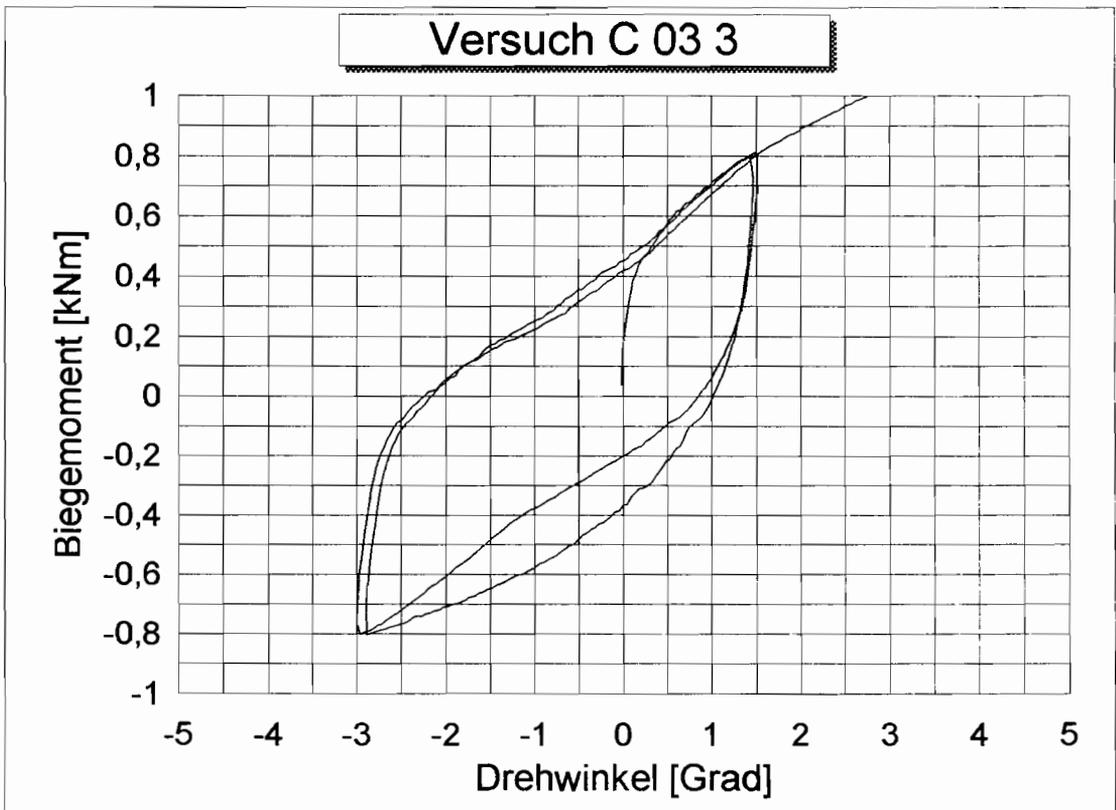
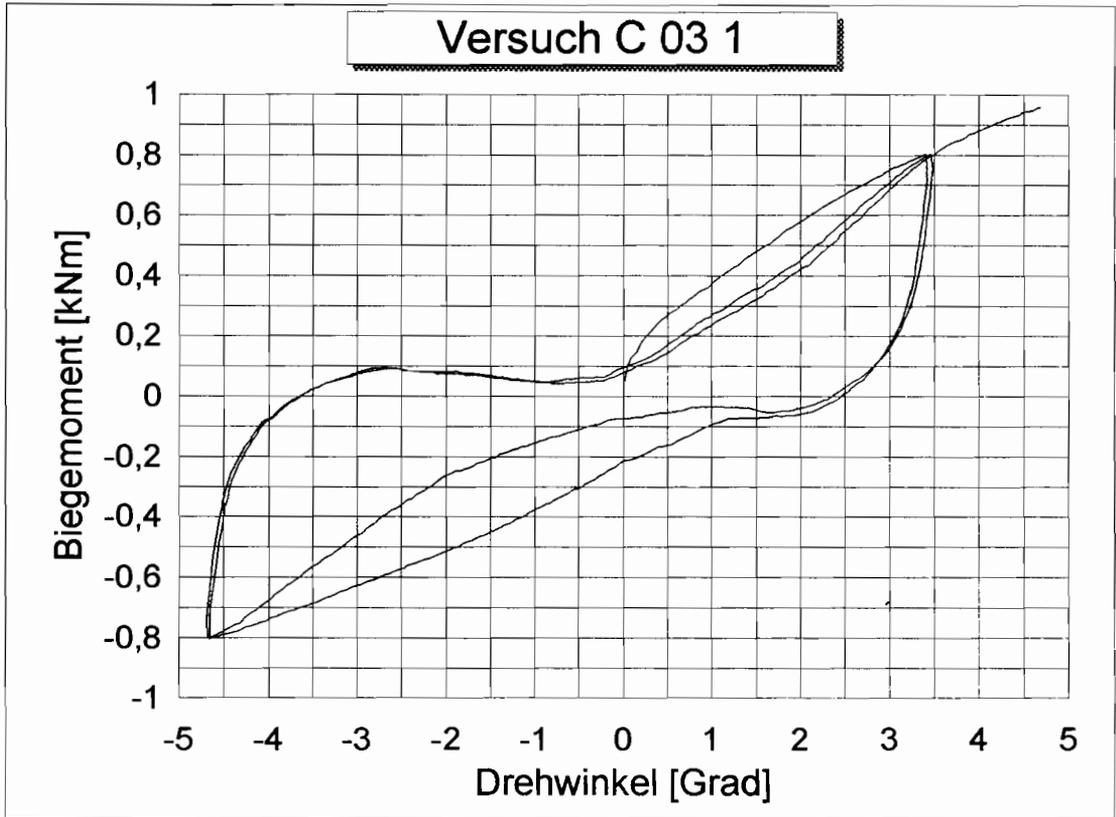
Rohr Typ:	A	B	C	D	E	F	G	
Material:	Stahl, blank			Stahl, verzinkt		Aluminium	Stahl, verzinkt	
Streckgrenze f_y [N/mm ²]:	442	458	561	385	343	228	358	
Außendurchmesser ¹⁾ [mm]:	48,4	48,4	48,4	48,4	48,6	47,6	48,5	
Wanddicke ¹⁾ [mm]:	2,05	2,15	2,60	2,40	2,90	3,70	3,93	
Kupplung	Versuch Nr.	Drehwinkelsteifigkeit ²⁾ [kNm/rad]						
01 (Keilkupplung aus verzinktem Flachstahl)	1 ³⁾	9,6/7,6	9,5/8,7	18,8/14,9	17,7/12,6	13,2/10,4	11,2/9,0	-
	2 ³⁾	-	19,0/13,2 ⁴⁾	-	-	17,6/13,3 ⁴⁾	-	-
	3	8,8	10,8	11,1	9,8	10,3	10,6	12,1
	4	9,5	9,0	11,4	8,7	9,9	9,7	12,4
	Mittelwert (aus 3 und 4)	9,2	9,9	11,3	9,3	10,1	10,2	12,3
03 (Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl)	1	9,2	11,4	11,4	9,4	11,7	11,5	11,5
	2	11,3	14,1	15,0	11,6	11,4	17,5	17,5
	3	9,8	10,8	21,1	10,0	11,5	17,1	-
	4	-	15,2	30,1	9,9	11,3	20,8	-
	Mittelwert	10,1	12,9	19,4	10,2	11,5	16,7	14,5
05 (Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Flachstahl)	1	10,6 ⁵⁾	11,0 ⁵⁾	15,7	12,6 ⁵⁾	11,9 ⁵⁾	9,7 ⁵⁾	12,6
	2	11,5 ⁵⁾	-	19,2	10,2 ⁵⁾	11,5 ⁵⁾	9,7 ⁵⁾	11,4
	3	17,2 ⁵⁾	-	21,1	-	-	8,9 ⁵⁾	-
	4	25,8 ⁵⁾	-	16,9	-	-	10,1 ⁵⁾	-
	Mittelwert	16,3	-	18,2	11,4	11,7	9,6	12,0

Anmerkungen: Geschwindigkeit des Belastungskolbens: 2 mm/s

Anzugsmoment für die Schraubkupplungen: 50 Nm

Bei den Versuchen mit der Kupplung Typ 03 wurden die Versuche Nr. 1 und 3 jeweils mit neuen Kupplungen durchgeführt, bei den übrigen Versuchsreihen wurden jeweils dieselben Kupplungen verwendet. Die Querrohre wurden gedreht und wiederverwendet.

- 1) Angegeben sind die Mittelwerte der Abmessungen der jeweils verwendeten Längsrohre.
- 2) Angegeben ist jeweils der Mittelwert aus 2 Hystereseschleifen mit Belastungen zwischen -0,8 kNm und +0,8 kNm. Falls diese Werte nicht erreicht werden konnten, wurden die Umkehrpunkte bei geringeren Belastungen festgelegt (betragsmäßiger Mindestwert: 0,6 kNm).
- 3) Diese Versuche wurden mit Umkehrpunkten bei $\pm 1^\circ$ bzw. $\pm 2^\circ$ durchgeführt.
- 4) Der Keil wurde bei diesen Versuchen besonders stark eingeschlagen.
- 5) Bei diesen Versuchen konnte aufgrund großer Verformungen der Kupplung und erheblicher Eindrückungen am Rohr kein Anzugsmoment von 50 Nm aufgebracht werden. Die Muttern dieser Kupplungen wurden mit einem Moment zwischen 30 und 40 Nm angezogen.



Bilder 18 und 19:

Biegemoment-Drehwinkel-Kurven der Versuche 1 (oben) und 3 (unten) der Versuchsreihe C03

Tabelle 5: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Drehwinkelsteifigkeit einer weiteren Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl (Kupplung Nr. 12) in Verbindung mit 8 verschiedenen Typen von Gerüstrohren

Rohr Typ:	A	B	C	D	E	F	H	I	
Material:	Stahl, blank			Stahl, verzinkt		Alu	Stahl, blank		
Streckgrenze f_y [N/mm ²]:	442	458	561	385	343	228	365	374	
Außendurchmesser ¹⁾ [mm]:	48,4	48,4	48,4	48,4	48,6	48,3	48,4	48,3	
Wanddicke ¹⁾ [mm]:	2,05	2,15	2,58	2,35	2,88	3,80	3,45	2,98	
Anzahl der Versuche mit Eindrückungen > 0,3 mm Tiefe:	4	1	0	1	0	0	0	0	
mittleres Biegemoment bei den Umkehrpunkten [kNm]	0,76	0,62	0,70	0,53	0,65	0,65	0,81	0,78	
Versuch	Schleife	Drehwinkelsteifigkeit [kNm/rad]							
1	1	9,40	7,38	11,1	6,78	7,20	7,54	13,0	8,94
	2	8,60	7,18	11,2	6,72	7,23	7,58	12,7	8,58
2	1	9,69	7,65	(16,6) ²⁾	7,97 ³⁾	7,61	7,98	15,2	10,87
	2	9,15	7,28	(16,8) ²⁾	7,93 ³⁾	7,60	8,04	14,9	10,29
3	1	10,46	8,32	8,46	5,65	9,02	8,09	11,0	10,42
	2	9,30	8,10	8,01	5,74	8,82	7,95	10,4	9,74
4	1	10,47	8,56	9,74	5,99	9,22	9,18	17,6	14,50
	2	9,63	8,18	7,62	6,11	9,01	9,08	17,1	13,24
5	1			8,86					9,24
	2			8,22					8,86
6	1								12,16
	2								11,63
Mittelwert		9,59	7,83	9,15	6,62	8,21	8,18	13,99	10,71
Standardabweichung		0,64	0,52	1,38	0,93	0,88	0,62	2,66	1,86

Anmerkungen:

Anzugsmoment: 50 Nm

Versuchsdurchführung:

Durchfahren von 2 Hystereseschleifen mit einer Geschwindigkeit des Belastungskolbens von 2 mm/s, Umkehrpunkte bei $\pm 0,8$ kNm bzw. beim Erreichen der Meßbereichsgrenzen des Wegaufnehmers.

Versuchsmaterial:

Versuche 1: neues Längsrohr, neues Querrohr, neue Kupplung

Versuche 2: neues Querrohr, Kupplung gedreht

Versuche 3: neues Querrohr, neue Kupplung

Versuche 4: neues Querrohr, Kupplung gedreht

1) Angegeben sind die Mittelwerte der Abmessungen der verwendeten 2,2 m langen Längsrohre

2) kurzes Rohrstück (Querrohr) nicht gewechselt

3) deutlich stärkere Eindrückungen, vermutlich bereits beim Anziehen der Mutter

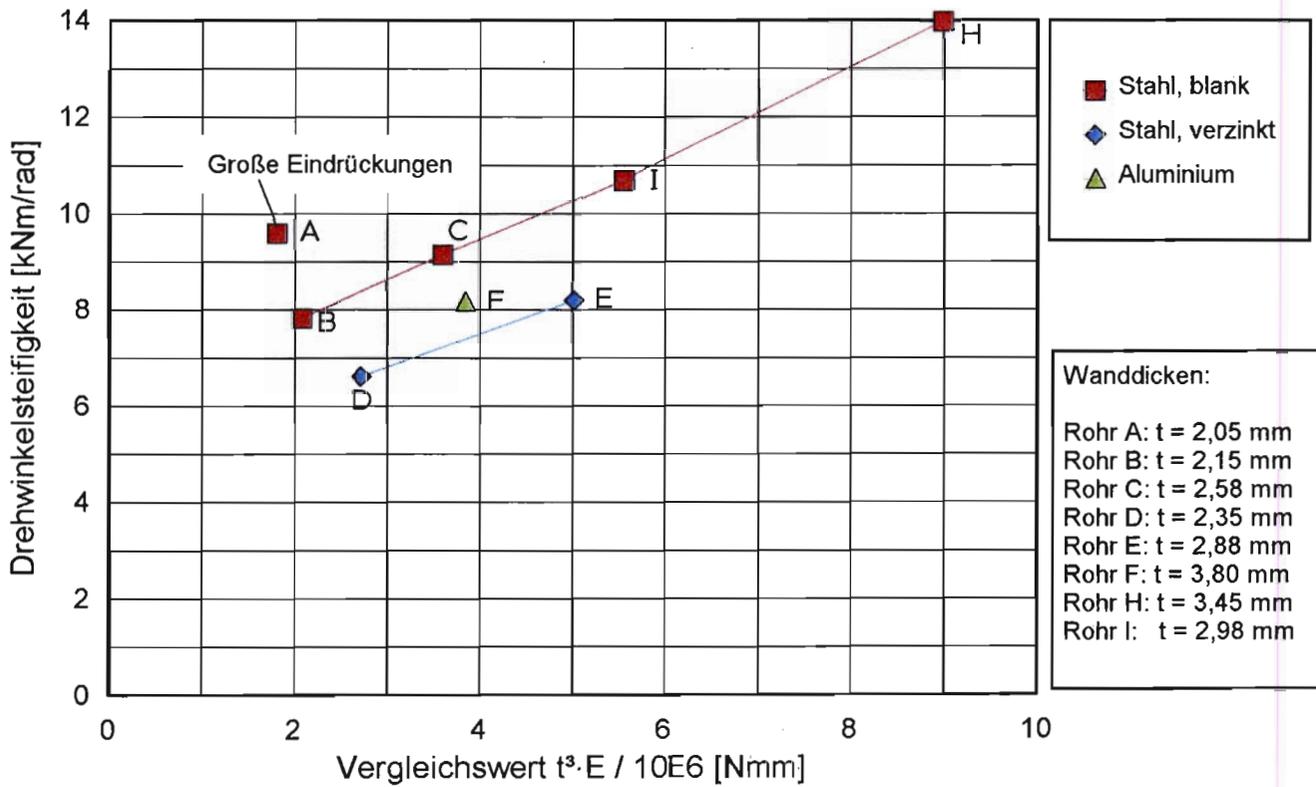
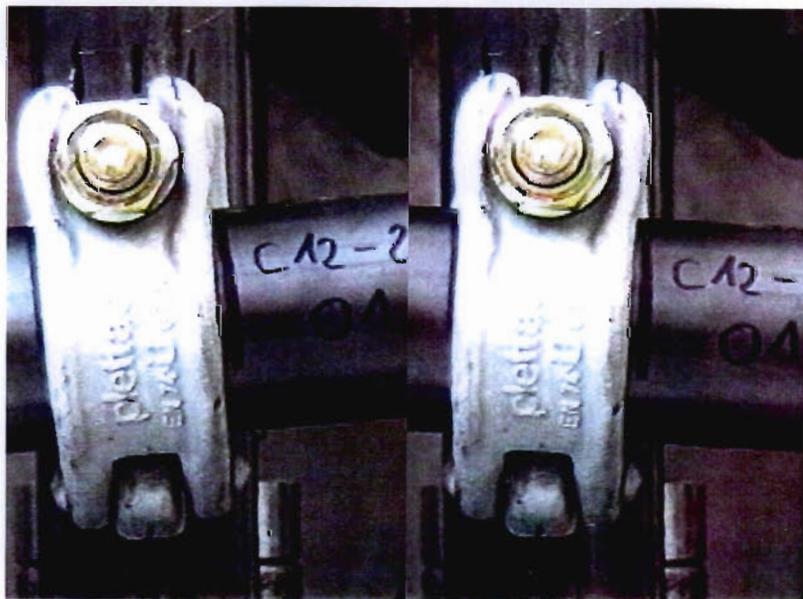
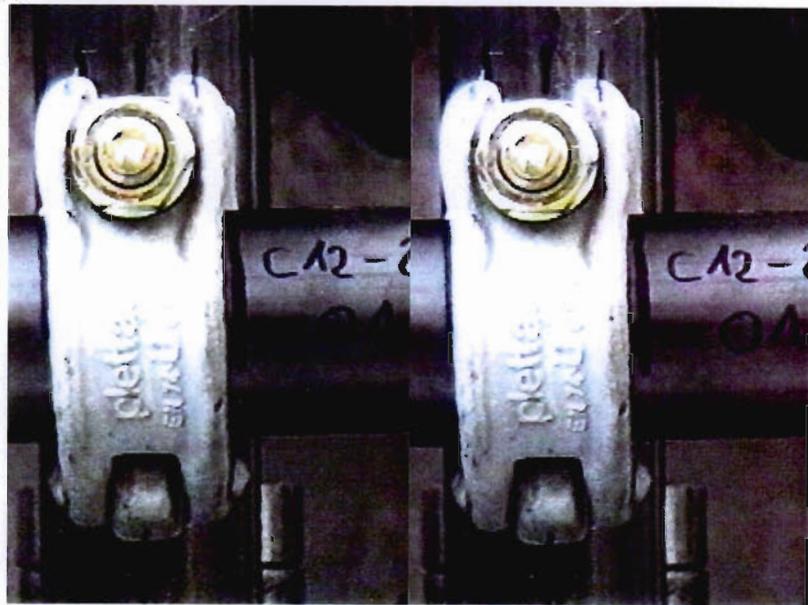
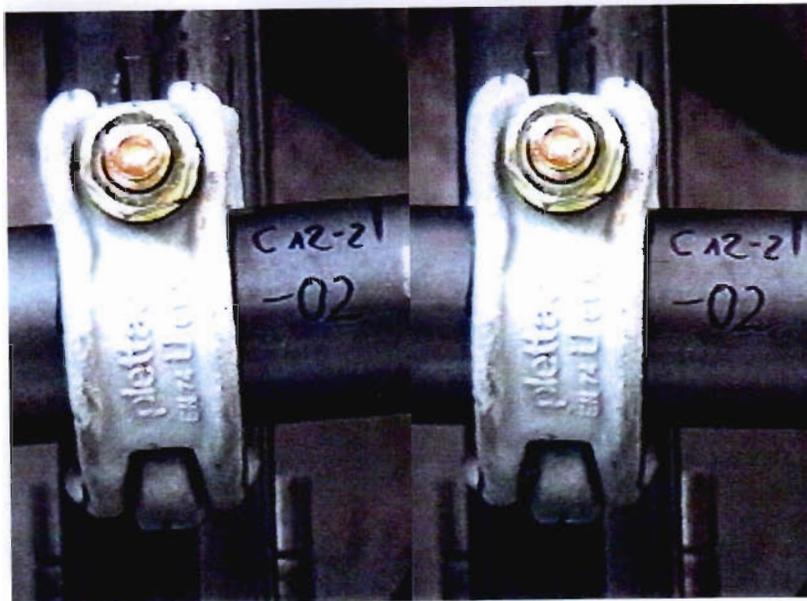
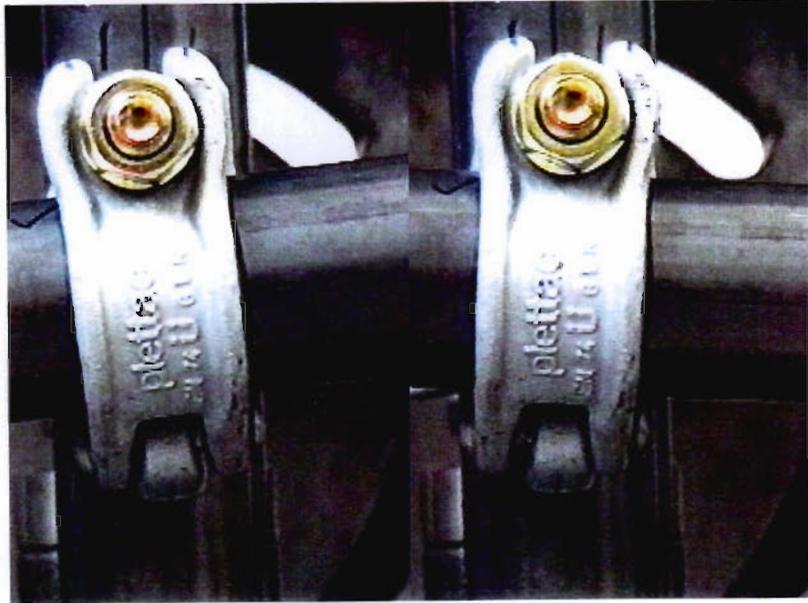


Bild 20:

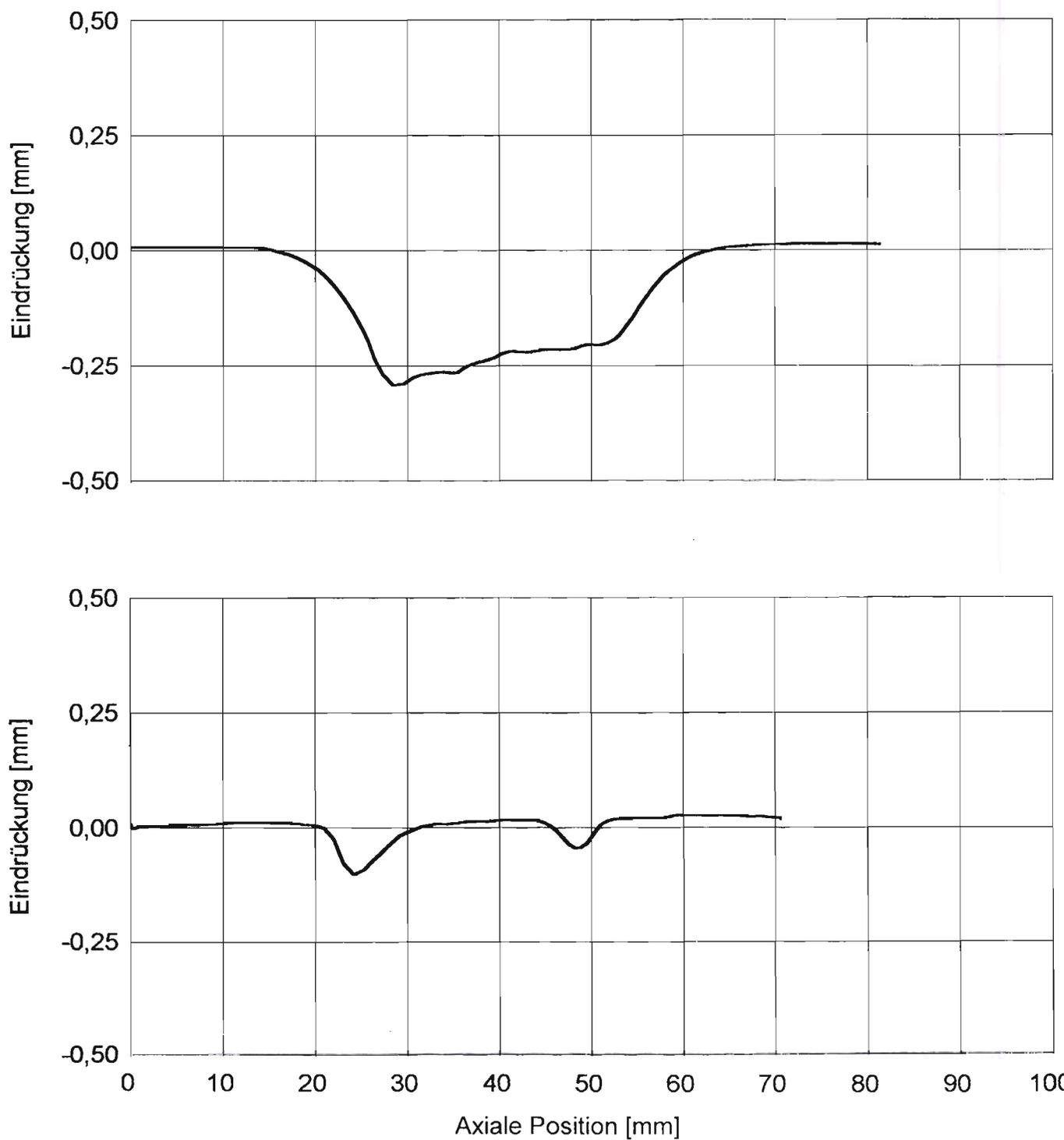
Grafische Darstellung der Ergebnisse der Versuche mit der Kupplung Nr. 12. Dabei wurden die Mittelwerte der Drehwinkelsteifigkeiten über dem Vergleichswert $t^3 \cdot E / 10^6$ aufgetragen. Die Einzelpunkte gleicher Materialien mit Ausnahme des Rohrtyps A wurden durch Linienzüge verbunden.



Bilder 21 und 22: Videoplots der Aufzeichnungen während des Versuchs 1 der Versuchsreihe C12. Dargestellt ist die Kupplung in der Anfangs- bzw. Endposition des Versuchs (oberes Foto, linke bzw. rechte Bildhälfte) sowie bei Erreichen der Umkehrpunkte bei einem Drehwinkel von $+4^\circ$ bzw. $-4,5^\circ$ (unteres Foto, linke bzw. rechte Bildhälfte).



Bilder 23 und 24: Videoplots der Aufzeichnungen während des Versuchs 1 der Versuchsreihe B12 (oben) bzw. des Versuchs 2 der Versuchsreihe C12 (unten). Dargestellt sind die Kupplungen bei Erreichen der Umkehrpunkte (jeweils linke bzw. rechte Bildhälfte).



Bilder 25 und 26: Oberflächenprofile in axialer Richtung im Bereich typischer Eindrückungen der Kupplung Nr. 12 an den Gerüstrohren nach den Versuchen 2 mit den Rohrtypen A (oben bzw. I (unten)

Tabelle 6: Ergebnisse der Versuche mit einer Kupplung/Rohr-Kombination bei unterschiedlichen Versuchs- und Montagebedingungen am Beispiel der Kupplung Nr. 03 (Schraubkupplung aus geschmiedetem und verzinktem Stahl) in Verbindung mit dem Rohrtyp C (blanker Stahl mit einer Wanddicke von 2,6 mm)

Einfluß des Belastungsniveaus			
Umkehrpunkte	Drehwinkelsteifigkeit [kNm/rad]		
	1. Schleife	2. Schleife	Mittelwert
±0,2 kNm	96,5	108,9	102,7
±0,4 kNm	38,8	44,0	41,4
±0,6 kNm	23,8	25,0	24,4
±0,8 kNm	16,3	15,8	15,7
±0,8 kNm (weitere Schleifen)	16,0	15,6	
±0,8 kNm (weitere Schleifen)	15,4	15,5	
±0,8 kNm (weitere Schleifen)	15,4	-	
Einfluß einer wiederholten Montage der Kupplung			
	Drehwinkelsteifigkeit [kNm/rad]		
	1. Schleife	2. Schleife	Mittelwert
Erstmontage	29,5	30,9	30,2
Ausbau und Wiedereinbau	38,3	41,7	40,0
Ausbau und Wiedereinbau	66,2	69,4	67,8
kein Ausbau, Mutter nachgezogen	41,0	42,3	41,7
kein Ausbau, Mutter nachgezogen	52,6	54,6	53,6
Wiedereinbau an neuer Position des Rohres ¹⁾	32,5	35,3	33,9
Mutter nachgezogen	55,3	57,9	56,6
Mutter nachgezogen	55,2	57,0	56,1
Mutter nachgezogen	55,7	53,2	54,5
<u>Anmerkungen:</u>			
Anzugsmoment der Mutter: 50 Nm			
1) Längsrohr verschoben, Querrohr gedreht			

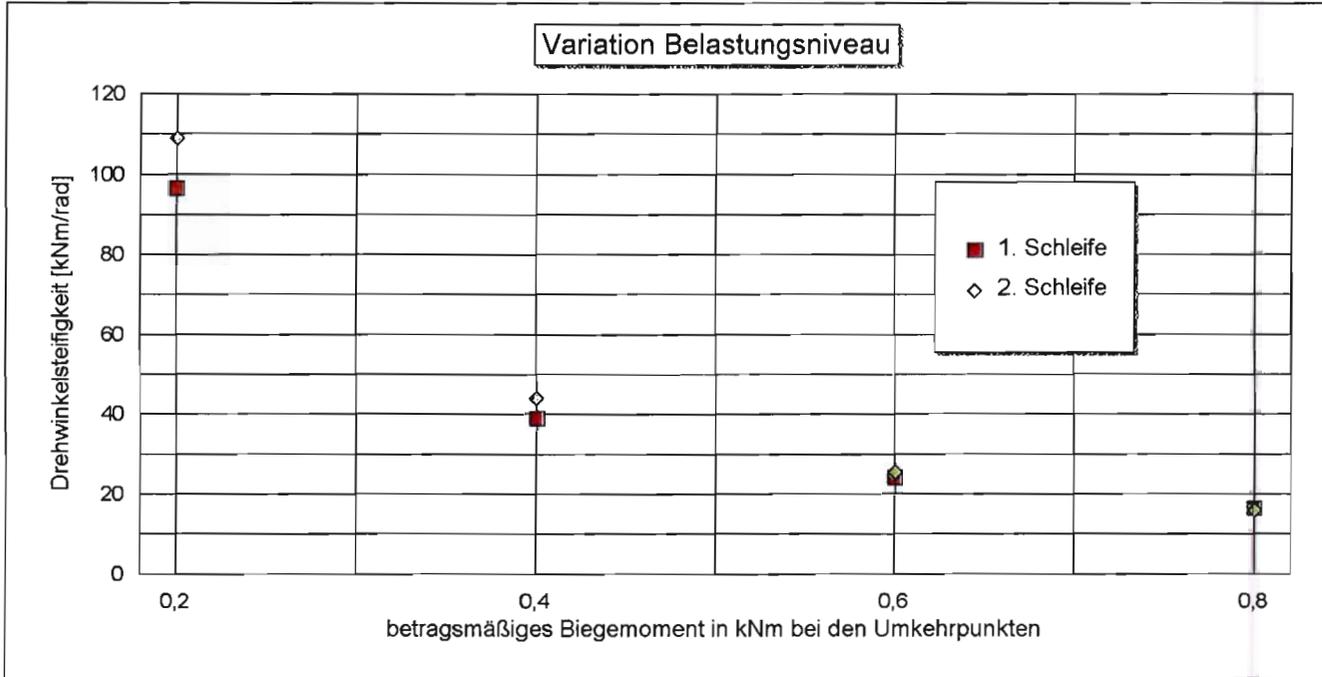


Bild 27: Grafische Darstellung der Ergebnisse des Versuchs zur Untersuchung des Einflusses des Belastungsniveaus auf die Drehwinkelsteifigkeit der Gerüstverbindung

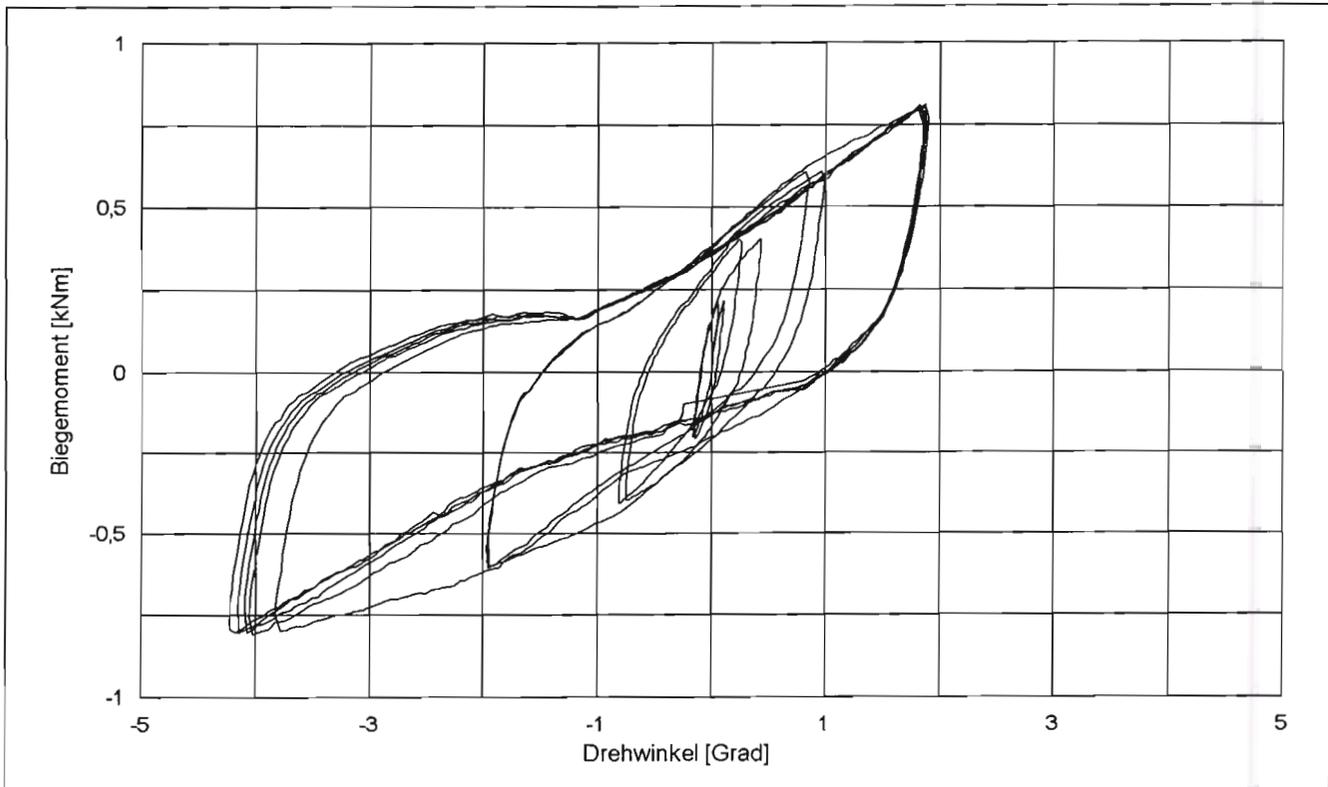


Bild 28: Biegemoment-Drehwinkel-Kurve des Versuchs zur Untersuchung des Einflusses des Belastungsniveaus auf die Drehwinkelsteifigkeit der Gerüstverbindung