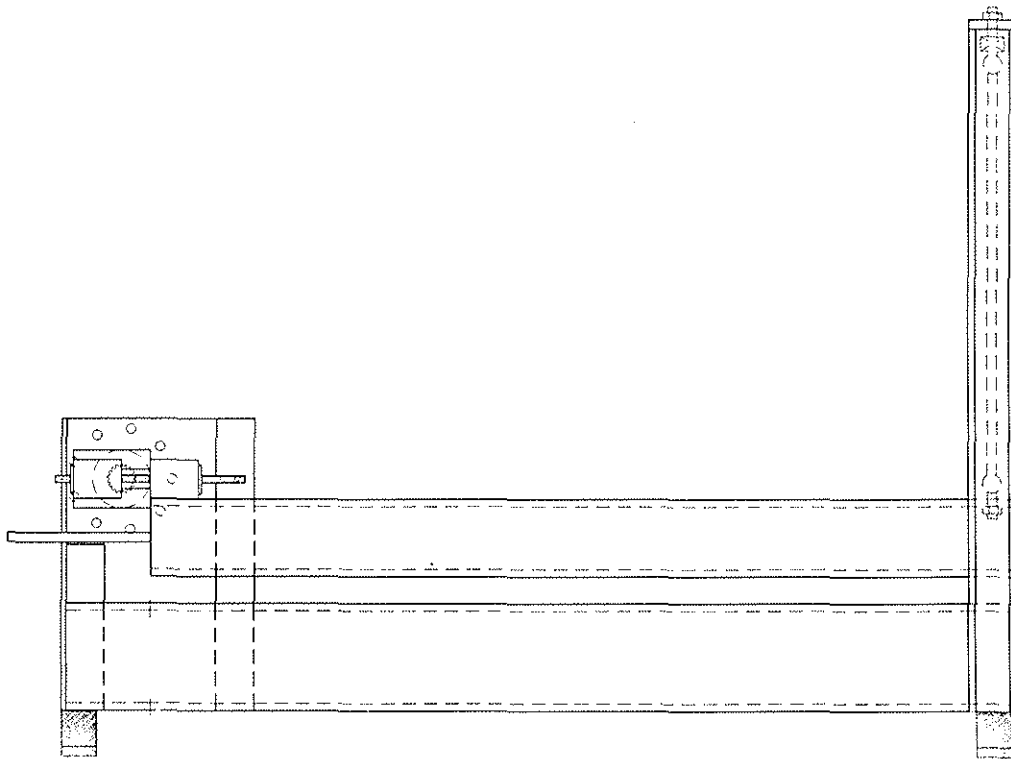


# Biegegerät zur Prüfung von stiftförmigen Verbindungsmitteln

von

Jürgen Ehlbeck und Hartmut Werner



Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abt. Ingenieurholzbau

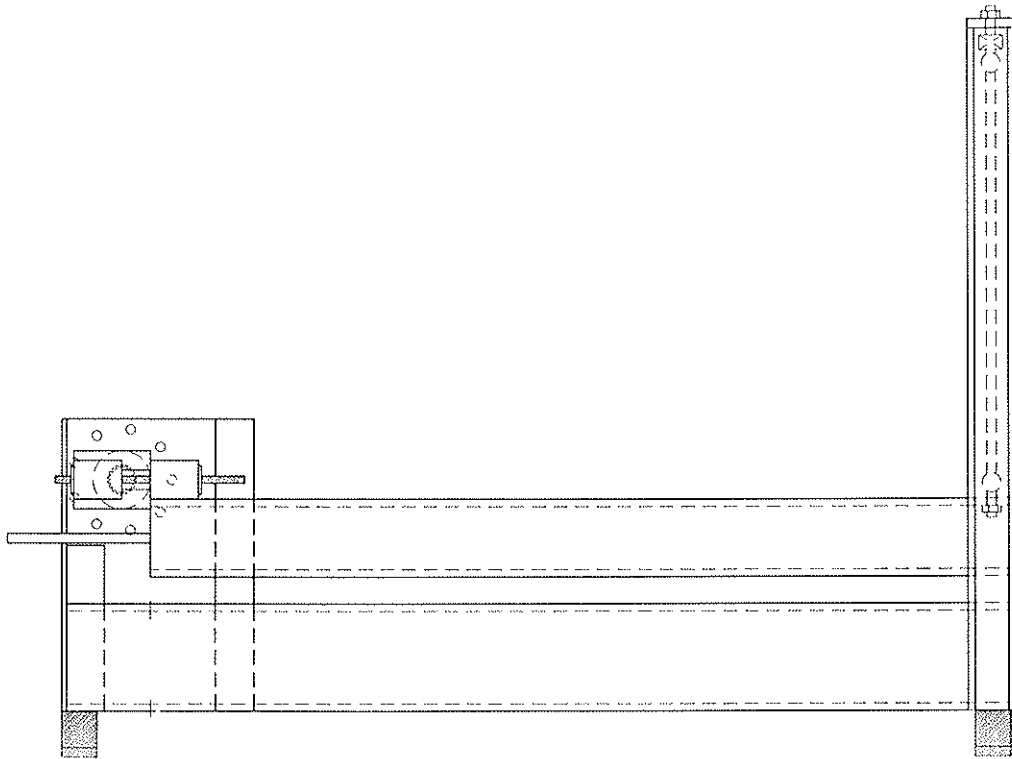
Universität Fridericiana Karlsruhe

1991

# Biegegerät zur Prüfung von stiftförmigen Verbindungsmitteln

von

Jürgen Ehlbeck und Hartmut Werner



Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Abt. Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

1991

## Vorwort

Die internationalen Bemühungen zur Harmonisierung der technischen Baubestimmungen haben auch im Holzbau dazu geführt, daß neben einer Bemessungsnorm, dem EUROCODE 5, eine Vielzahl von Bezugsnormen zu schaffen sind. Eine wesentliche Grundlage zur Vereinheitlichung der Normung auf europäischer Ebene sind Prüfnormen für den Bereich des Ingenieurholzbauens. Die Prüfung des Biegeverbandes von stiftartigen Verbindungsmitteln ist eine unverzichtbare Voraussetzung für die Anwendung der bekannten Tragfähigkeitstheorien für Holzverbindungen mit solchen Verbindungsmitteln. Die Diskussionen in der Arbeitsgruppe WG 1 des CEN/TC 124 "Holzbauwerke" regten zur Entwicklung eines geeigneten Prüfgerätes an, das in diesem Forschungsbericht beschrieben wird.

Der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) danken wir für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Die technische Abwicklung des Auftrages lag in Händen des Herrn Dipl.-Ing. H. Werner. Mit beigetragen zum Gelingen der Arbeit haben Herr G. Rüd mit vielen hilfreichen Ideen und Herr H. Heck mit der handwerklichen Verwirklichung. Herr cand.ing. A. Bißwurm hat bei der Versuchsauswertung und der Berichtsanzfertigung tatkräftig mitgewirkt. Allen Beteiligten ist für ihr großes Interesse an dieser Entwicklungsarbeit zu danken.

Jürgen Ehlbeck

## **Biegegerät zur Prüfung von stiftförmigen Verbindungsmitteln**

### **Inhalt**

1	Einleitung	2
2	Konstruktionsprinzip	2
3	Biegegerät	5
4	Biegeversuche	13
5	Zusammenfassung	15
6	Literatur	16

8 Anlagen

## **1 Einleitung**

Im Rahmen der europäischen Normungsarbeit (CEN) werden zur Zeit zahlreiche Prüfnormen von der Arbeitsgruppe CEN TC 124 WG 1 - "Timber Structures - Test Methods" erarbeitet. Ein Normentwurf (prEN 409: 1990 Holzbauwerke - Bestimmung des Fließmoments von stiftförmigen Verbindungsmitteln - Nägel) befaßt sich dabei mit der Bestimmung des Fließmoments von Nägeln bis zu einem Durchmesser von 8 mm. Mit dieser Prüfmethode wurden bereits von EHLBECK, SIEBERT und WERNER (1990) Untersuchungen durchgeführt.

Als weitere Bezugsnorm für den EUROCODE 5 wird eine Prüfnorm zur Bestimmung des Fließmoments von Verbindungsmitteln mit einem Durchmesser von mehr als 8 mm benötigt. Für diese Verbindungsmittel liegen jedoch mit dem in prEN 409 angegebenen Prinzip bis heute keine Erfahrungen vor. Zur Prüfung von stiftförmigen Verbindungsmitteln mit Durchmessern von 8 mm bis 30 mm wurde daher ein Bieegerät entwickelt und gebaut, welches für zukünftige Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Verbindungstechnik im Holzbau die einfache aber wirklichkeitsnahe Bestimmung des Fließmomentes stiftförmiger Verbindungsmittel ermöglicht.

## **2 Konstruktionsprinzip**

Einen wesentlichen Einfluß auf die Tragfähigkeit von Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln bei Beanspruchung auf Abscheren hat der Biege-widerstand des Verbindungsmittels, der durch das aufnehmbare Fließmoment charakterisiert werden kann. Die Streckgrenze oder Zugfestigkeit des Stahls des Ausgangsmaterials eignen sich in der Regel nicht zur Bestimmung des Fließmoments, da einerseits die im Zugversuch ermittelten Kenngrößen sich nicht ohne weiteres auf eine Biegebeanspruchung übertragen lassen, und andererseits die Verfestigung des Stahls infolge Kaltverformung bei der Herstellung der endgültigen Gestalt der Verbindungsmittel dabei nicht berücksichtigt werden. Weiterhin ist bei verschiedenen Verbindungsmitteln, wie z.B. bei Gewindestangen oder Sechskant-Holzschrauben die Geometrie sehr schwer zu erfassen, so daß sich das plastische Widerstandsmoment rechnerisch nicht eindeutig ermitteln läßt.

Aus diesen Gründen hat man sich auf europäischer Ebene darauf geeinigt, eine Prüfmethode zur Bestimmung des Fließmoments von stiftförmigen Verbindungsmitteln zu schaffen.

Als Grundlage für die Bestimmung des Fließmomentes diene die von JOHANSEN (1988) beschriebene "Nordtest-Methode". Das Prinzip dieser Prüfung besteht darin, das zu prüfende Verbindungsmittel so zu belasten, daß sich die Lastpunkte entlang des Verbindungsmittels während der Prüfung nicht verändern. Diese Forderung kann mit der in **Bild 1** dargestellten Anordnung erfüllt werden. In Anlehnung an prEN 409 sollen die Abstände  $l_1$  und  $l_3$  zwischen den aufgebrachten Lasten und dem nächsten Auflagerpunkt (siehe **Bild 1**) mindestens  $2d$  betragen, wobei  $d$  der Verbindungsmittelnenddurchmesser ist. Die freie Länge  $l_2$  soll zwischen  $d$  und  $3d$  betragen.

Die Drehachse ist so anzuordnen, daß sich der rechte Winkel zwischen Pendelstab und Hebel um nicht mehr als  $0,1$  rad ändert. Der Hebel muß im Verhältnis zum Verbindungsmittel sehr steif sein. Sein Eigengewicht kann bei der Bestimmung von  $M_y$  in der Regel vernachlässigt werden, wenn es kleiner als die gemessene Höchstlast  $F_{\max}$  ist. Ansonsten ist das Eigengewicht des Hebelarms zu berücksichtigen. Das Fließmoment des Verbindungsmittels ist definiert als das Biegemoment bei der tatsächlichen Versagenslast, z.B. infolge spröden Bruches, die das Verbindungsmittel bei der Prüfung aufnehmen kann oder das Biegemoment bei einer Verformung des Verbindungsmittels von  $45^\circ$ . Der kleinere Wert ist dabei definitionsgemäß maßgebend.

Das Fließmoment ist nach folgender Beziehung zu berechnen, wenn das Eigengewicht des Hebelarms nicht berücksichtigt werden muß:

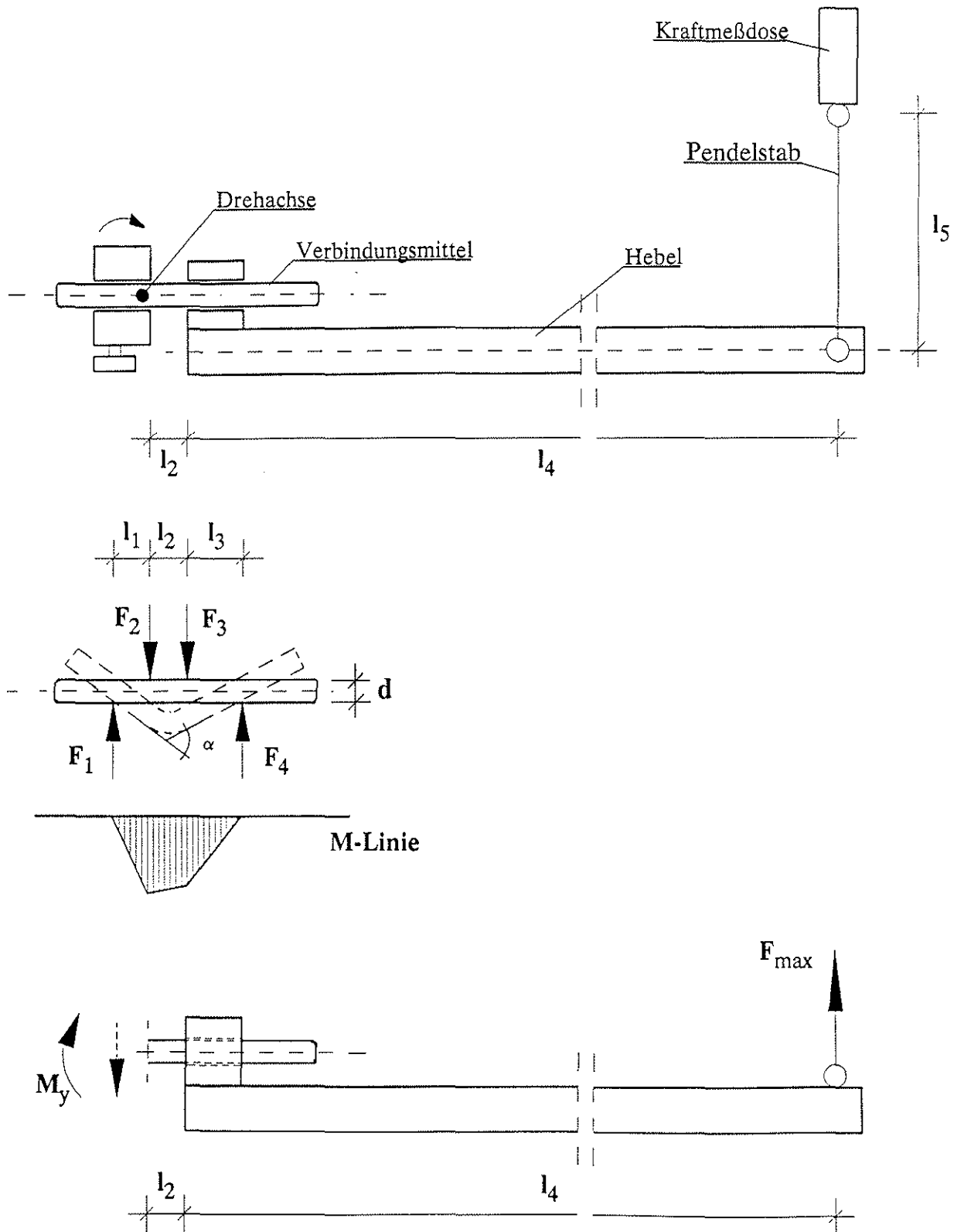
$$M_y = F_{\max} \cdot (l_2 + l_4) \quad (1)$$

$F_{\max}$             Höchstlast im Versagenszustand oder bei einem Biegewinkel des Verbindungsmittels von  $45^\circ$

$l_2$                 freie Verbindungsmittellänge (s. **Bild 1**)

$l_4$                 Hebellänge (s. **Bild 1**)

$\alpha$                 Biegewinkel (s. **Bild 1**)



**Bild 1:** Prüfanordnung und Verbindungsmittelbelastung

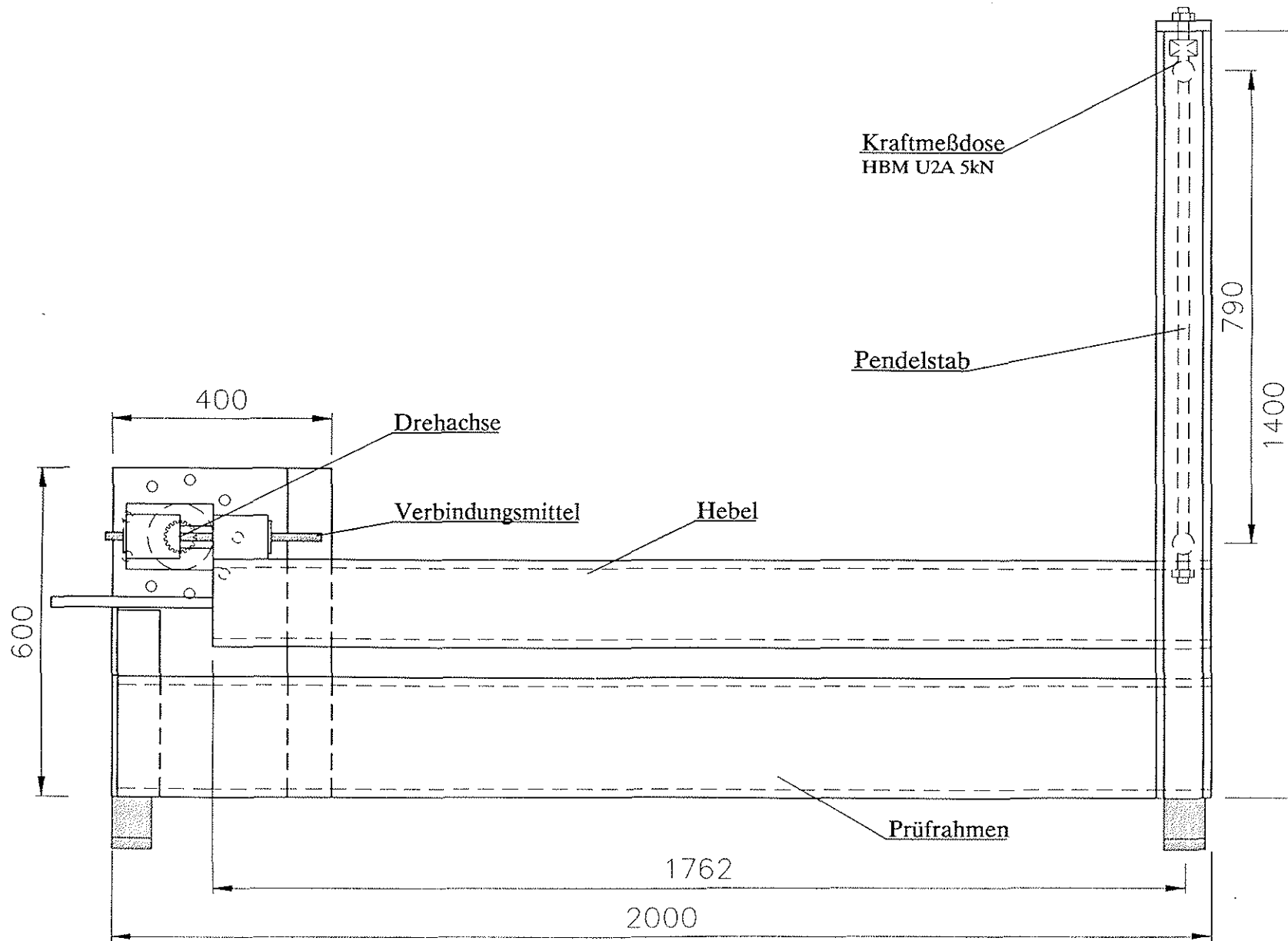
### 3 Biegegerät

Zur Erprobung dieser Prüfmethode für Verbindungsmittel mit mehr als 8 mm Durchmesser wurde am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe ein Biegegerät konstruiert, welches die oben genannten Forderungen erfüllt. **Bild 2** zeigt das Prüfgerät in der Gesamtansicht. In **Bild 3 und 4** ist die Lagerung des Verbindungsmittel im Biegegerät in Seiten- und Vorderansicht detailliert dargestellt.

Das zu prüfende Verbindungsmittel wird jeweils an den Enden in einer Hülse gehalten. Zur Zeit stehen Hülsen mit einem Innendurchmesser von 8,5; 10,5; 12,5; 16,5; 20,5; 24,5 und 30,5 mm zur Aufnahme unterschiedlicher Verbindungsmittel zur Verfügung. Die passenden Hülsen für das zu prüfende Verbindungsmittel werden in die Hülsenhalterung eingeschoben und mit einer Fixierungsschraube gesichert. Die Hülsenhalterung auf der Drehachse ist in der Nut des Keilwellenaufsatzes verschieblich, sodaß die freie Länge  $l_2$  dem Durchmesser des Verbindungsmittels angepaßt werden kann. Weiterhin ist es mit dieser Konstruktionsart gelungen, die Drehachse und die Verbindungsmittelachse in einem Punkt zu schneiden, sodaß die Änderung des rechten Winkels zwischen Hebel und Zugstab während der Prüfung auf ein Minimum reduziert werden konnte. Die andere Hülsenhalterung ist auf dem Hebel aufgeschweißt. Dieser Hebel verläuft rechtwinklig zu einem Pendelstab, der die Verbindung mit einer Kraftmeßdose herstellt. Die Hebellänge  $l_4$  beträgt bei diesem Biegegerät 1762 mm. Das Gesamtgewicht  $G_{\text{ges}}$  des Hebels beträgt 394 N, das Gewicht  $G_3$ , das an der Stelle von  $F_3$  auf dem Verbindungsmittel lastet, beträgt mit der Hülse 224 N. Zur Kraftmessung wird ein Kraftaufnehmer mit DMS-Meßsystem der Firma HBM vom Typ U2A mit einer Nennlast von 5 kN verwendet. Zur exakten Krafteinleitung ist der Pendelstab durch wartungsfreie Gelenkösen mit der Kraftmessdose und dem Hebel verbunden.

Die Verbiegung des Verbindungsmittels erfolgt mit einem Hydraulik-Schwenkmotor vom Typ HSKG VIII der Firma Henninger, Marktoberdorf, mit einem maximalen Drehmoment von 3800 Nm. Die Ringzellenkonstruktion dieses Schwenkmotors mit einer zentrischen Welle ist in **Bild 5** dargestellt. Durch die Welle (1), den Flanschdeckel (2), das Gehäuse (3) und den Deckel (4) wird eine Ringzelle gebildet, die durch das wellenfeste Kolbensegment (6) und das gehäusefeste Trennsegment (7) in zwei Kammern unterteilt wird. Bei





**Bild 2:** Biegegerät (Gesamtansicht)

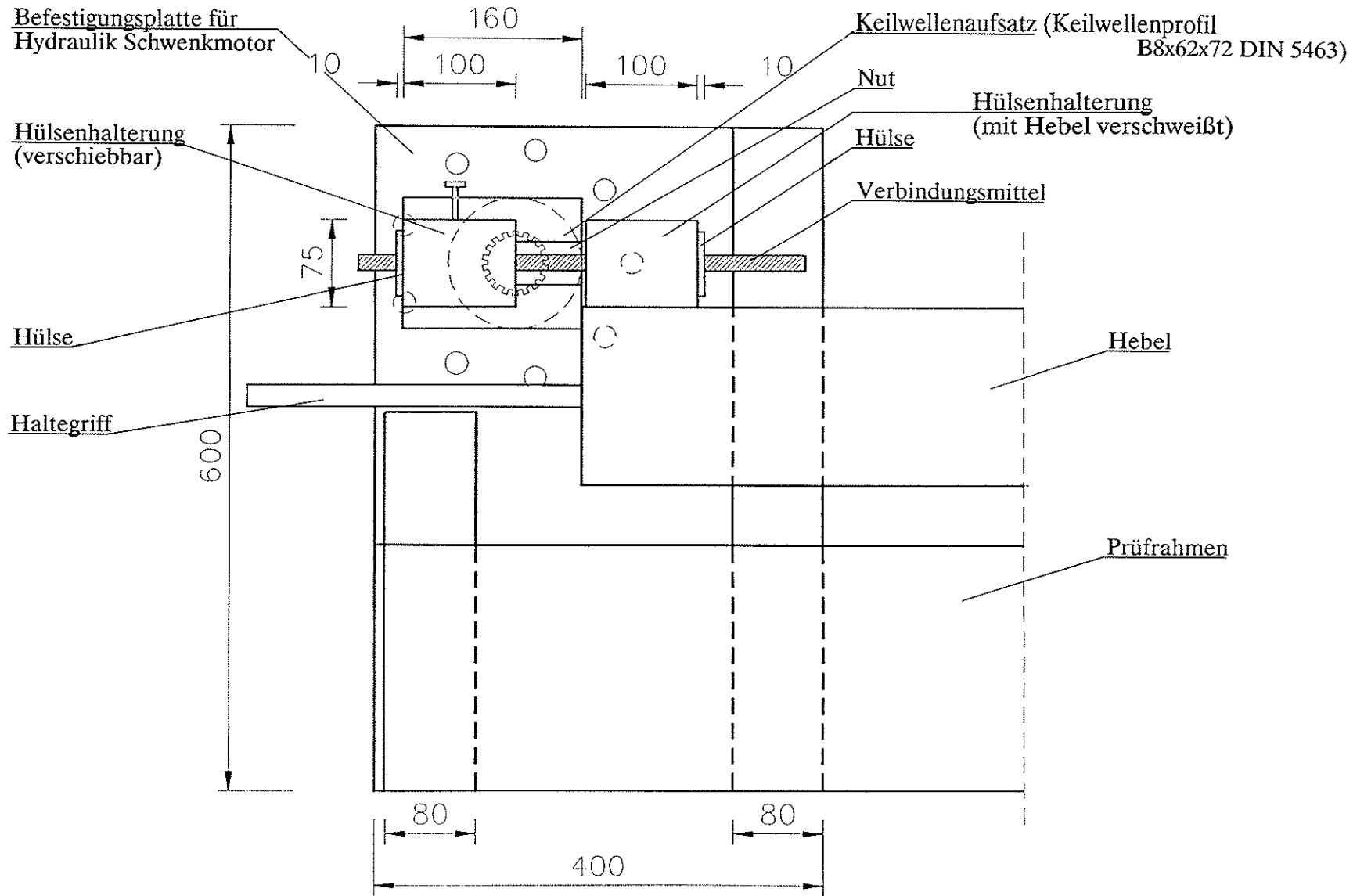
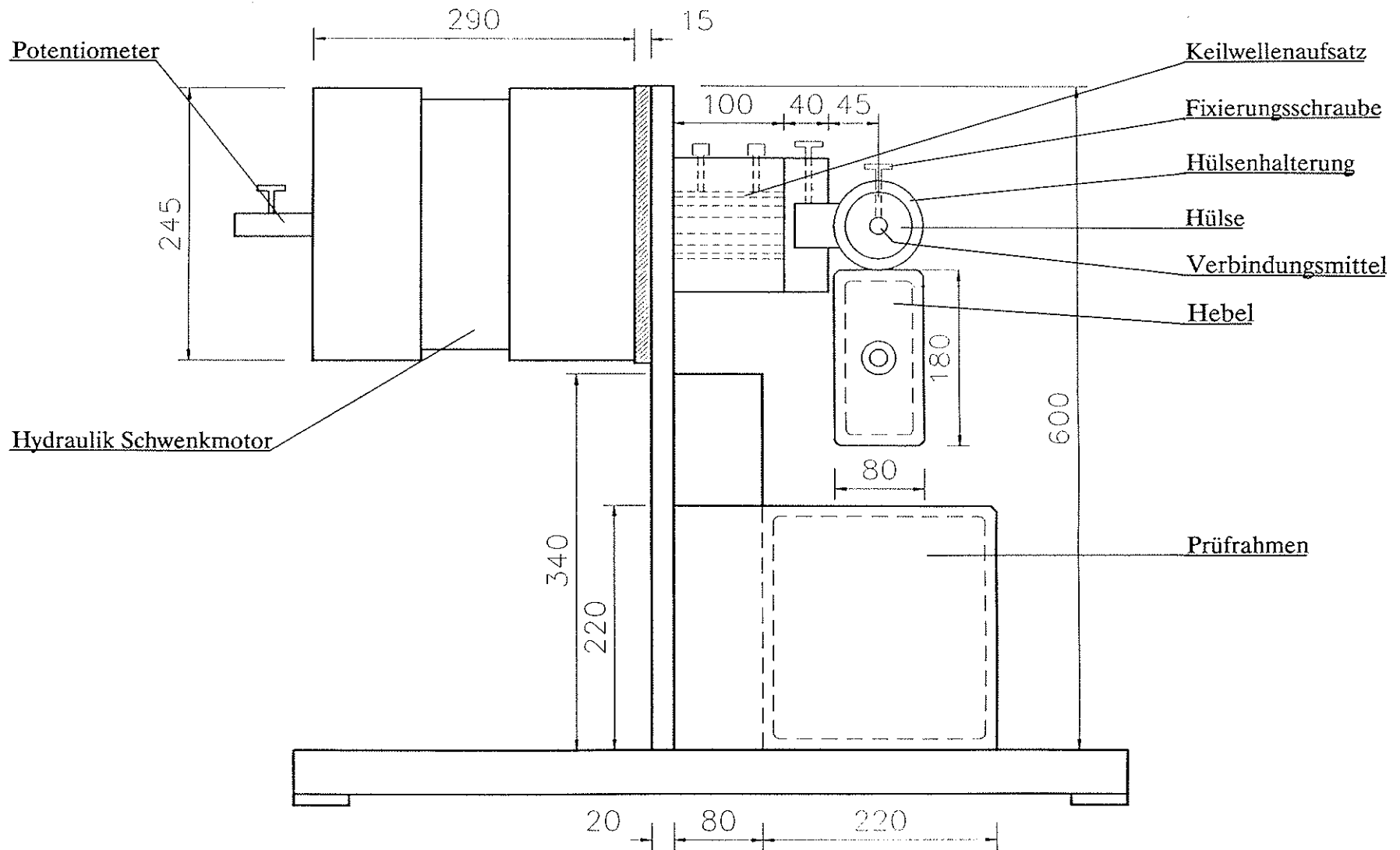
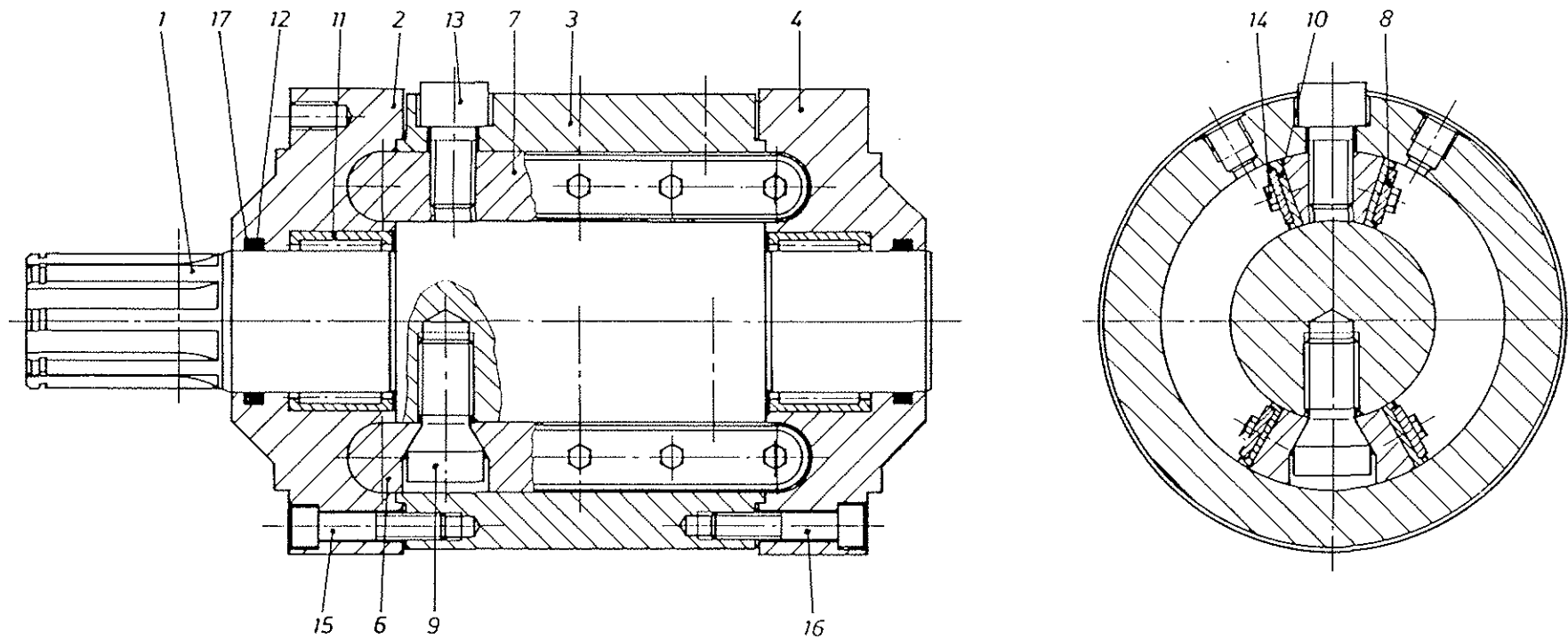


Bild 3: Detail Verbindungsmittellagerung (Seitenansicht)



**Bild 4:** Detail Verbindungsmittellagerung (Vorderansicht)

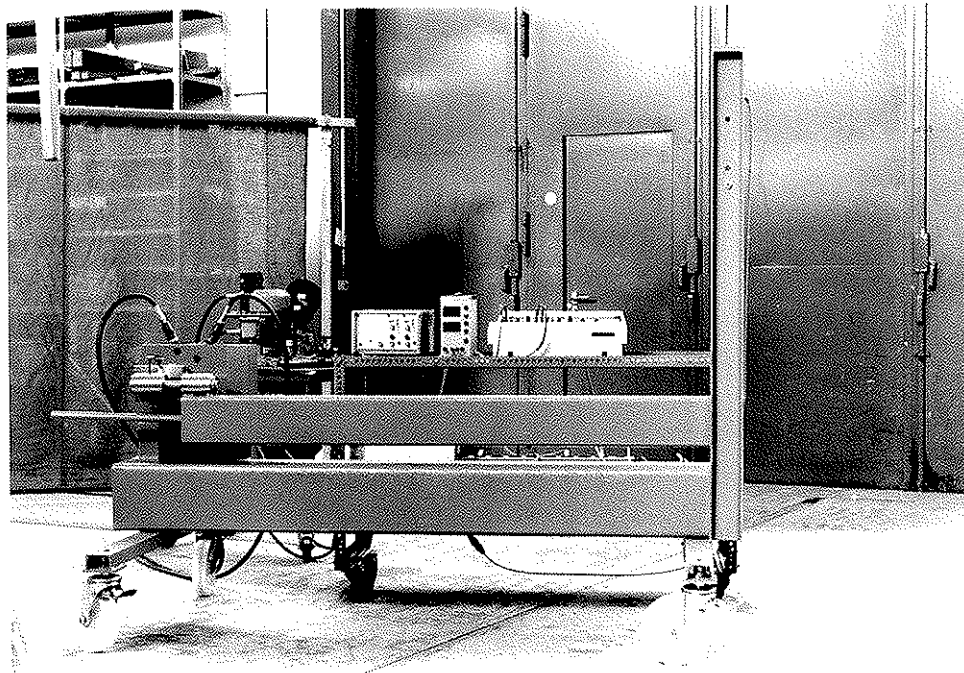


- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| 1 Welle              | 11 Nadellager       |
| 2 Flanschdeckel      | X 12 Roto-Ring      |
| 3 Gehäuse            | 13 Zylinderschraube |
| 4 Deckel             | X 14 Halteschraube  |
| 6 Kolbensegment      | 15 Zylinderschraube |
| 7 Trennsegment       | 16 Zylinderschraube |
| 8 Halteplatte        | X 17 Stützring      |
| 9 Befestigungsbolzen |                     |
| X 10 Dichtung        | X = Verschleißteile |

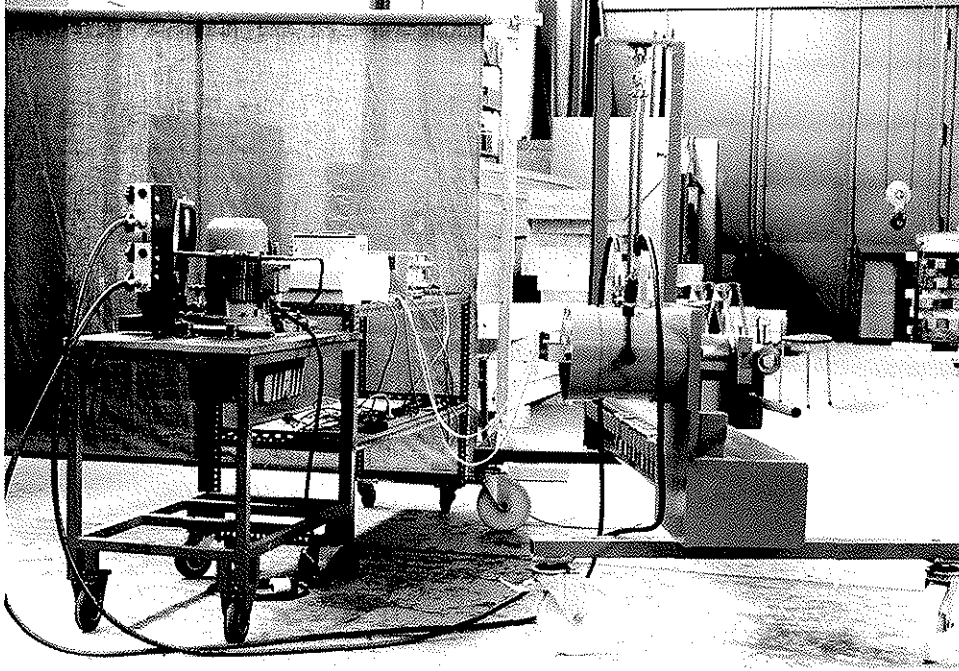
Bild 5: Hydraulik Schwenkmotor

Beaufschlagung einer dieser Kammern mit einem Druckmedium bewirkt eine Kraft auf das Kolbensegment, infolge ihres Abstandes vom Drehpunkt, ein Drehmoment an der Welle, das für beide Drehrichtungen gleiche Größe aufweist. Als Druckmedium wird Hydrauliköl HLP 46 verwendet. Der maximale Schwenkwinkel bei diesem Typ beträgt  $240^\circ$ . Von der Mittelstellung steht in jede Drehrichtung die Hälfte des maximalen Schwenkwinkels ( $120^\circ$ ) zur Verfügung. Der Schwenkmotor kann sowohl mit einer handbetriebenen Pumpe als auch mit einer elektrischen Zahradpumpe betrieben werden. Zur Zeit ist die Pumpe durch ein handbetätigtes Wegeventil mit dem Motor gekoppelt. Jedoch besteht die Möglichkeit das Wegeventil durch ein elektronisch geregeltes Proportionalventil auszutauschen. Die Verdrehung bzw. der Biegewinkel wird mit Hilfe eines Potentiometers an der Welle des Schwenkmotors aufgenommen und in Abhängigkeit von der gemessenen Kraft auf einen X-Y-Schreiber übertragen. Aus den aufgezeichneten Kraft-Biegewinkel-Diagrammen können die Fließmomente berechnet oder, in geeignetem Maßstab aufgetragen, direkt abgelesen werden.

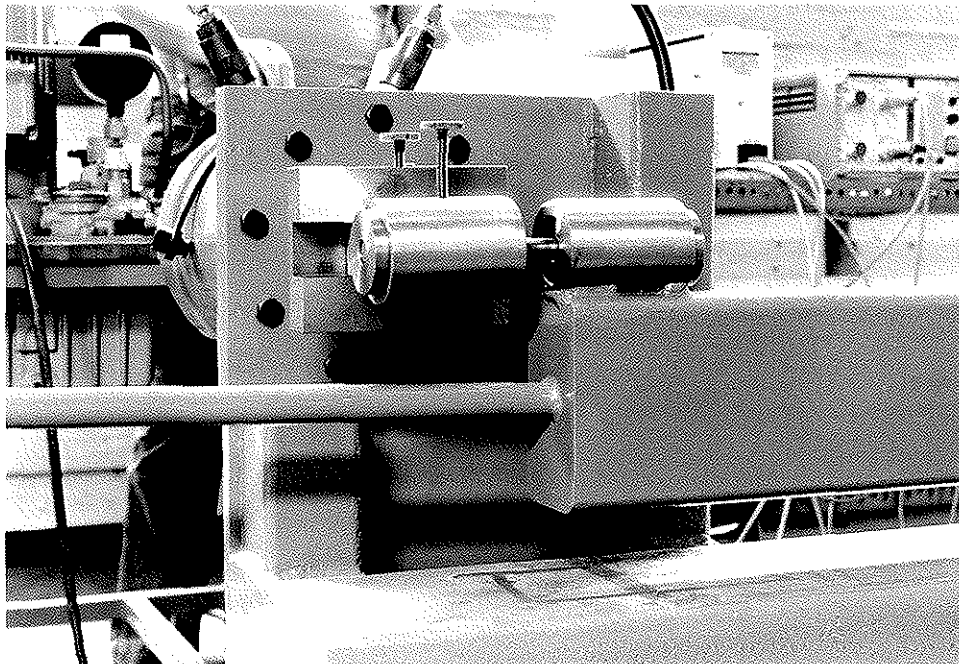
**Bild 6 bis 8** zeigen das Biegegerät einschließlich einzelner Konstruktionsdetails.



**Bild 6:** Versuchsaufbau



**Bild 7:**           Hydraulik-Schwenkmotor mit Zahnradpumpe



**Bild 8:**           Detail Verbindungsmittellagerung

#### 4 Biegeversuche

Um die Funktionstüchtigkeit des Prüfgerätes nachzuweisen, wurden die in **Tabelle 1** angegebenen Biegeversuche durchgeführt. Dabei wurden Stabdübel und Gewindestangen mit unterschiedlichen Durchmessern und Stahlgüten gebogen. Das Verbindungsmittel wurde so belastet, dass die Höchstlast in  $(30 \pm 5)$  Sekunden erreicht wurde. **Bild 9** zeigt einen verbogenen Stabdübel im Biegegerät. Bei den Versuchen wurde jeweils eine freie Verbindungsmittellänge  $l_2$  von  $2d$  eingehalten.

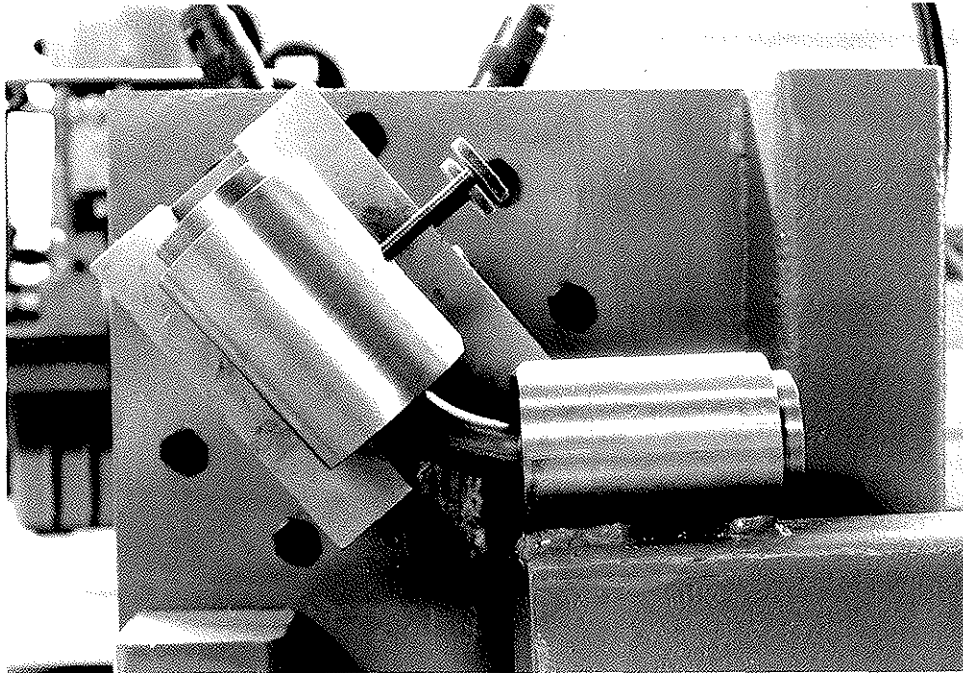
**Tabelle 1:** Übersicht der durchgeführten Biegeversuche

Reihe	Verbindungsmittel	Stahlgüte	Durchmesser [mm]	Anzahl der Versuche
1	Stabdübel	St 37 blank	8	10
2	Stabdübel	Automatenstahl 9S20K	8	3
3	Stabdübel	St 37 blank	16	10
4	Stabdübel	St 37 blank	24	10
5	Gewindestangen	Güte 8.8	M 16	5

In **Bild 10 bis 17** (Anlage 1 bis 8) sind die Kraft-Biegewinkel-Diagramme der einzelnen Versuche dargestellt. Man erkennt deutlich das elastisch-plastische Verhalten der stählernen Verbindungsmittel. In **Tabelle 2 und 3** sind die Einzelergebnisse sowie der Mittelwerte einer Versuchsreihe zusammengestellt. Bei der Ermittlung des Fließmomentes  $M_y$  wurde das Gewicht  $G_3$  des Hebelarms, das an der Stelle von  $F_3$  auf dem Verbindungsmittel lastet wie folgt berücksichtigt:

$$M_y = \max \begin{cases} F_{\max} \cdot (l_4 + l_2) - G_3 \cdot l_2 \\ F_{\max} \cdot l_4 \end{cases}$$

mit  $l_4 = 1,762 \text{ m}$  ;  $l_2 = 2d$  ;  $G_3 = 224 \text{ N}$



**Bild 9:** Verbogener Stabdübel im Biegegerät

Aus dem Fließmoment wurde eine Fließspannung nach folgender Beziehung errechnet:

$$f_y = M_y / W_y$$

mit dem plastischen Widerstandsmoment

$$W_y = d^3 / 6.$$

Im durchplastizierten Zustand beeinflussen die Kerbspannungen in den Gewindestangen die Höhe des Fließmomentes nur wenig. Daher kann nach Untersuchungen von SCHEER, PEIL und NÖLLE (1988) in die Gleichung zur Ermittlung des plastischen Widerstandsmoments der Durchmesser  $d_{sp}$  eingesetzt werden, wobei  $d_{sp}$  der zur Berechnung des Spannungsquerschnittes verwendete Durchmesser ist. Vergleicht man die errechneten Fließspannungen mit den Nennwerten für die Streckgrenze bzw. der Zugfestigkeit des Ausgangsmaterials so hat sich bestätigt, daß nur im Biegeversuch das Fließmoment richtig bestimmt werden kann. Ausgehend von den Fließmomenten für handelsübliche Verbindungsmittel aus gewöhnlichem Stahl können bei einer ausreichenden Anzahl von Versuchen aus den o.g. Kennwerten des Stahls und der Geometrie des Verbindungsmittels Beziehungen für das Fließmoment abgeleitet werden.



Tabelle 2: Ergebnisse der Stabdübelbiegeversuche

Versuch	Stahlgüte	Durchmesser d [mm]	Höchstlast $F_{max}$ [N]	Fließmoment $M_y$ [Nm]	rechn. Fließ- spannung $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1.1	St 37 blank	8	30,0	52,9	620
1.2	St 37 blank	8	31,7	55,9	655
1.3	St 37 blank	8	26,7	47,0	551
1.4	St 37 blank	8	27,5	48,5	568
1.5	St 37 blank	8	24,2	42,6	500
1.6	St 37 blank	8	31,7	55,9	655
1.7	St 37 blank	8	33,3	58,7	688
1.8	St 37 blank	8	26,7	47,0	551
1.9	St 37 blank	8	23,3	41,1	481
1.10	St 37 blank	8	30,0	52,9	620
Mittelwerte				50,2	589
2.1	9 S 20 K	8	38,3	67,5	791
2.2	9 S 20 K	8	38,3	67,5	791
2.3	9 S 20 K	8	43,3	76,3	894
Mittelwerte				70,4	825
3.1	St 37 blank	16	248	438	641
3.2	St 37 blank	16	232	409	599
3.3	St 37 blank	16	250	441	647
3.4	St 37 blank	16	256	452	662
3.5	St 37 blank	16	258	456	668
3.6	St 37 blank	16	238	420	615
3.7	St 37 blank	16	264	466	683
3.8	St 37 blank	16	254	449	657
3.9	St 37 blank	16	244	431	631
3.10	St 37 blank	16	256	452	662
Mittelwerte				441	647
4.1	St 37 blank	24	767	1378	598
4.2	St 37 blank	24	767	1378	598
4.3	St 37 blank	24	733	1316	571
4.4	St 37 blank	24	760	1365	592
4.5	St 37 blank	24	760	1365	592
4.6	St 37 blank	24	787	1414	614
4.7	St 37 blank	24	753	1352	587
4.8	St 37 blank	24	760	1365	592
4.9	St 37 blank	24	753	1352	587
4.10	St 37 blank	24	753	1352	587
Mittelwerte				1364	592

Tabelle 3: Ergebnisse der Biegeversuche mit Gewindestangen M 16

Versuch	Stahlgüte	Durchmesser		Höchstlast $F_{\max}$ [N]	Fließmoment $M_y$ [Nm]	rechn. Fließspannung $f_y^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
		d [mm]	$d_{sp}$ [mm]			
5.1	Güte 8.8	16	14.1	226	398	852
5.2	Güte 8.8	16	14.1	230	406	868
5.3	Güte 8.8	16	14.1	240	423	906
5.4	Güte 8.8	16	14.1	234	413	883
5.5	Güte 8.8	16	14.1	242	427	914
Mittelwerte					413	885

$$1) \quad f_y = \frac{M_y \cdot 6}{d_{sp}^3}$$

## 5 Zusammenfassung

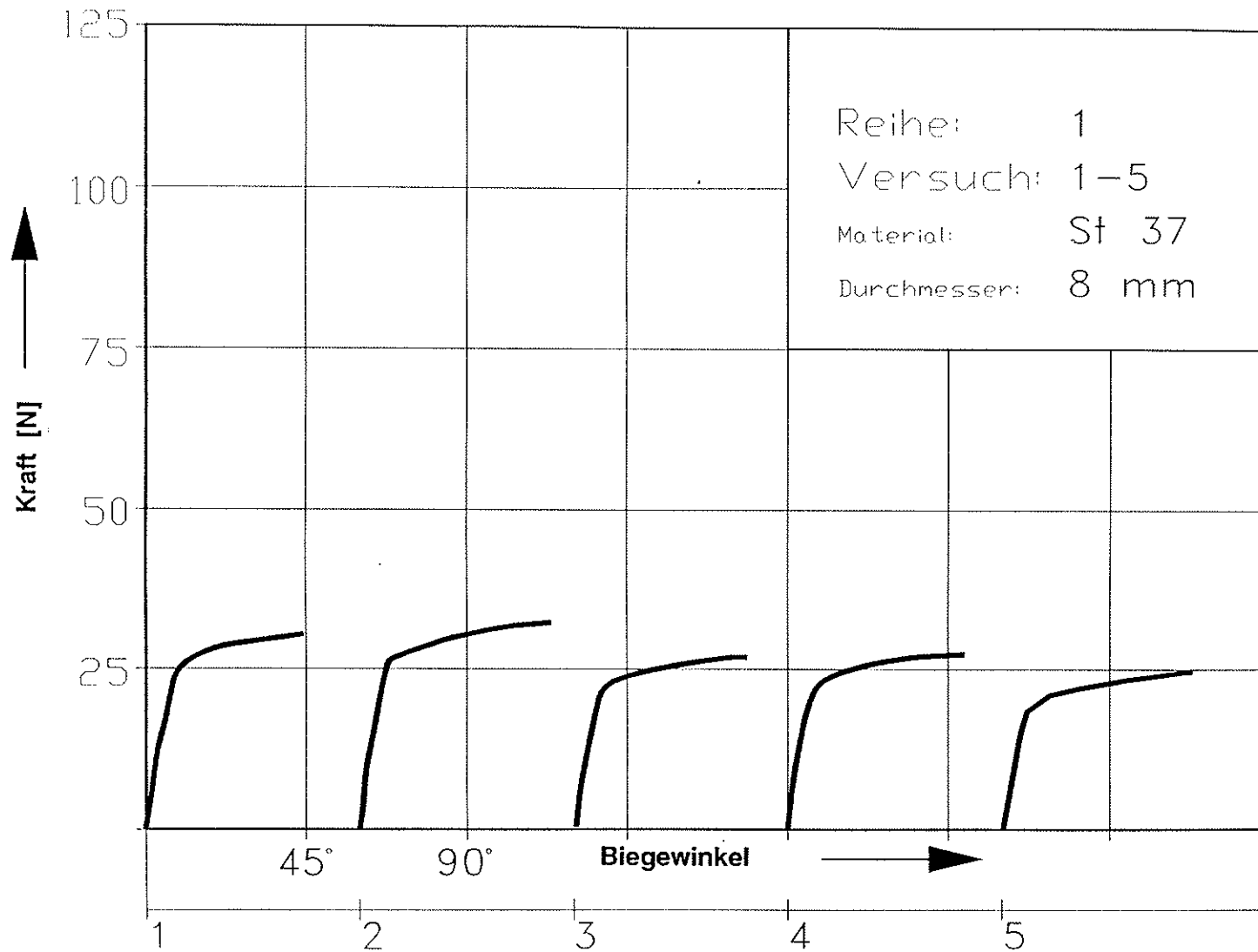
Zur Bestimmung des Fließmomentes von stiftförmigen Verbindungsmitteln mit Durchmessern von 8 mm bis 30 mm wurde ein Biegegerät entwickelt und gebaut. Als Grundlage diente das in prEN 409 Anhang A beschriebene Konstruktionsprinzip für ein Nagelbiegegerät. Das zu prüfende Verbindungsmittel wird so belastet, daß sich die Lastpunkte entlang des Verbindungsmittels während der Prüfung nicht verändern. Bei der Konstruktion des Biegegeräts ist es gelungen, daß sich die Drehachse des hydraulischen Schwenkmotors und die Verbindungsmittelachse in einem Punkt schneiden, sodaß die Änderung des rechten Winkels zwischen Hebel und Pendelstab während der Prüfung auf ein Minimum reduziert werden konnte. Weiterhin ist die Halterung des Verbindungsmittels verschieblich, damit die freie Länge  $l_2$  dem Durchmesser des Verbindungsmittels angepaßt werden kann.

Um die Funktionstüchtigkeit des Prüfgerätes nachzuweisen, wurden Stabdübel und Gewindestangen mit unterschiedlichen Durchmessern und Stahlgüten gebogen. Bei der Ermittlung des Fließmoments wurde das Gewicht des Hebels

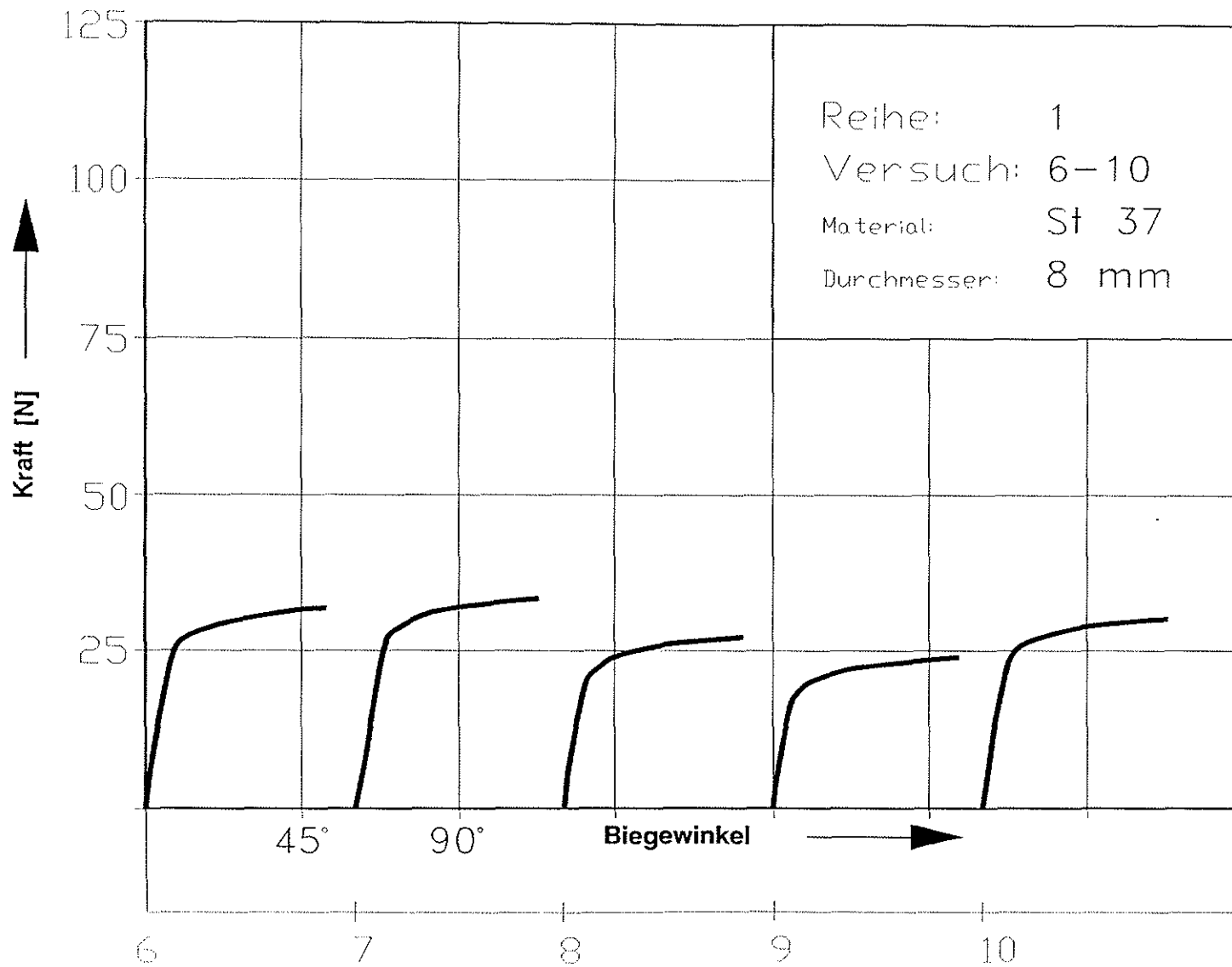
berücksichtigt. Es hat sich bestätigt, daß nur in einem Biegeversuch das Fließmoment richtig bestimmt werden kann. Ausgehend von den Fließmomenten können aber bei einer ausreichenden Anzahl von Versuchen für handelsübliche Verbindungsmittel aus Streckgrenze oder Zugfestigkeit des Ausgangsmaterials und der Geometrie des Verbindungsmittels Beziehungen für das Fließmoment abgeleitet werden.

## 6 Literatur

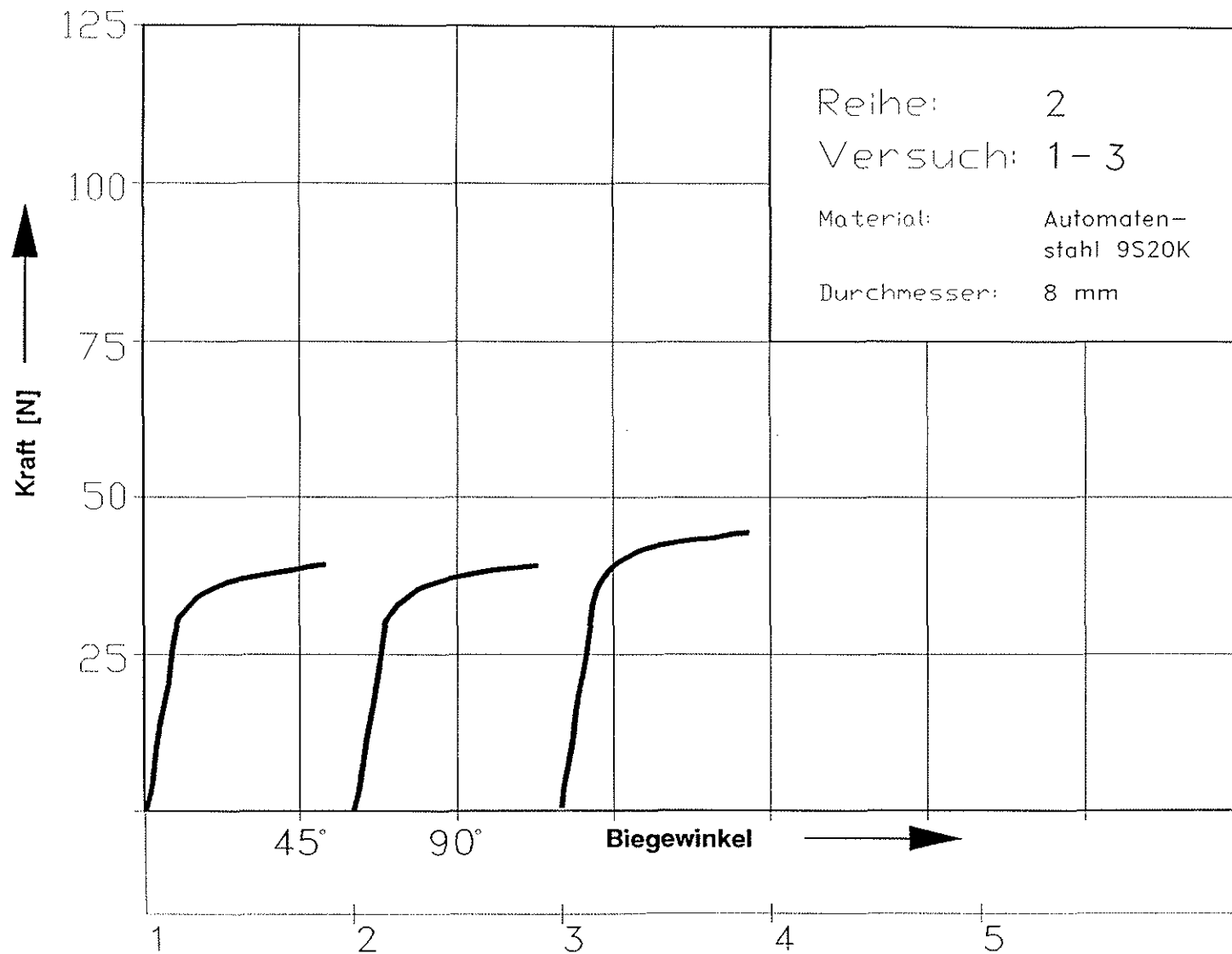
- Ehlbeck, J.; Siebert, W.; Werner, H. 1990:** Nail and nail wire bending tests. Karlsruhe: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH) -Bericht für die CEN-Arbeit
- Johansen, M. 1988:** Bending strength of nails - Testing of proposal for Nordtest-method. Hørsholm, Dänemark: Danish Building Research Institute -Documentation of SBI-projekt R13-78: "Nails in wood: Bending strength"
- Scheer, J.; Peil, U.; Nölle, H 1988:** Schrauben mit planmäßiger Biegebeanspruchung. In: Der Stahlbau 57(1988), Nr. 8, S. 237-245



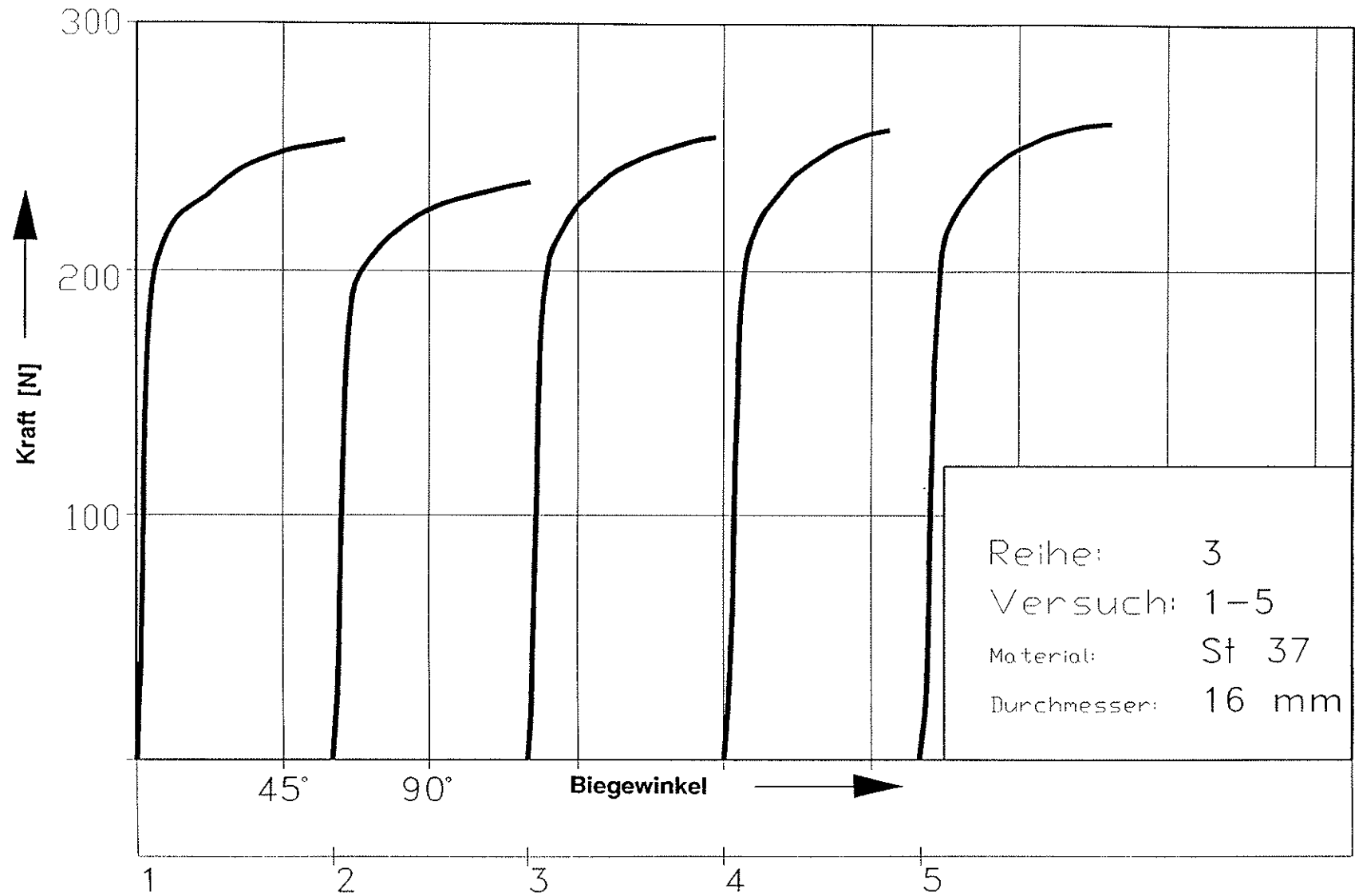
**Bild 10:** Kraft - Biege Winkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 8 mm St 37 blank)



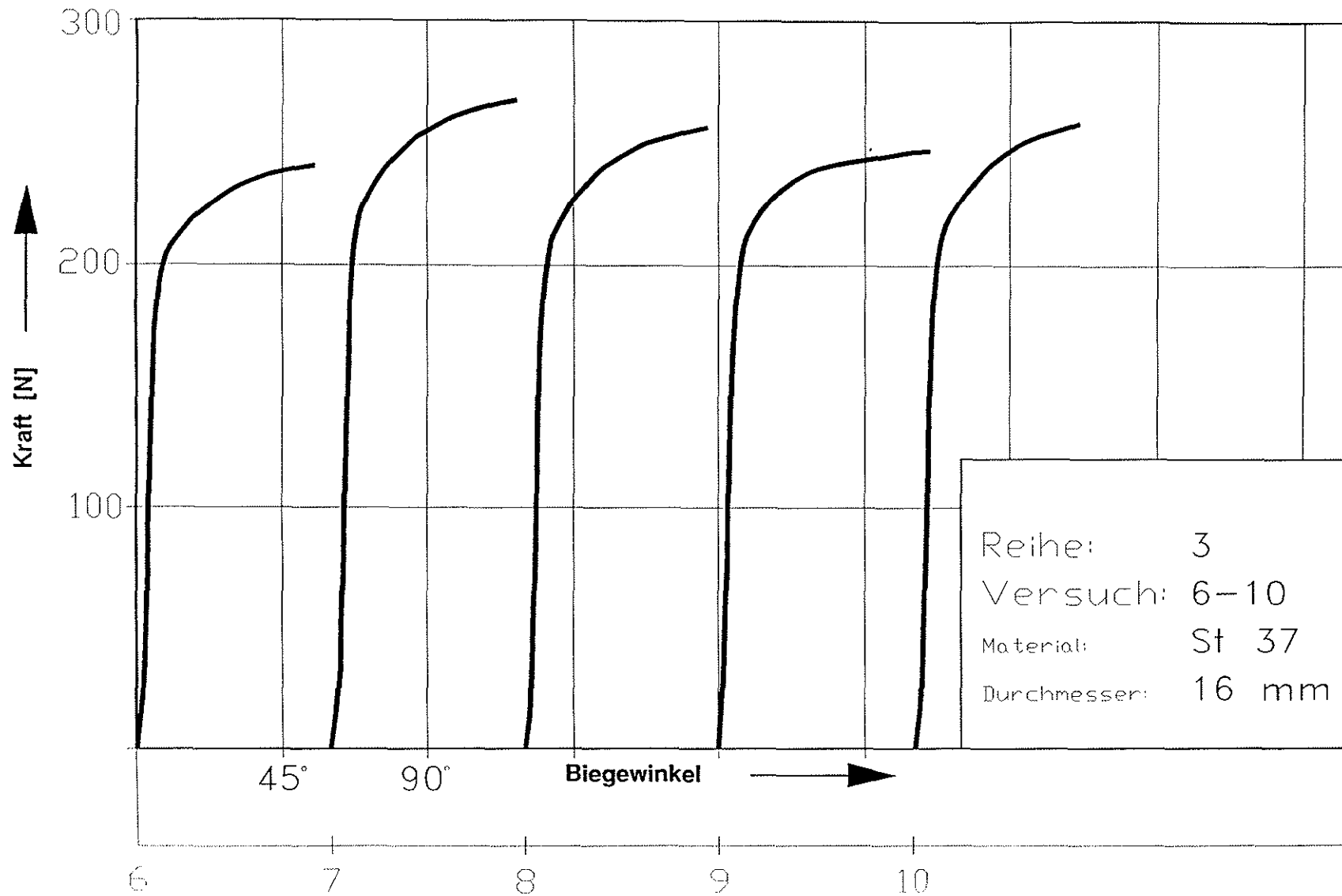
**Bild 11:** Kraft - Biegewinkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 8 mm St 37 blank)



**Bild 12:** Kraft - Biegewinkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 8 mm Automatenstahl 9S20K)

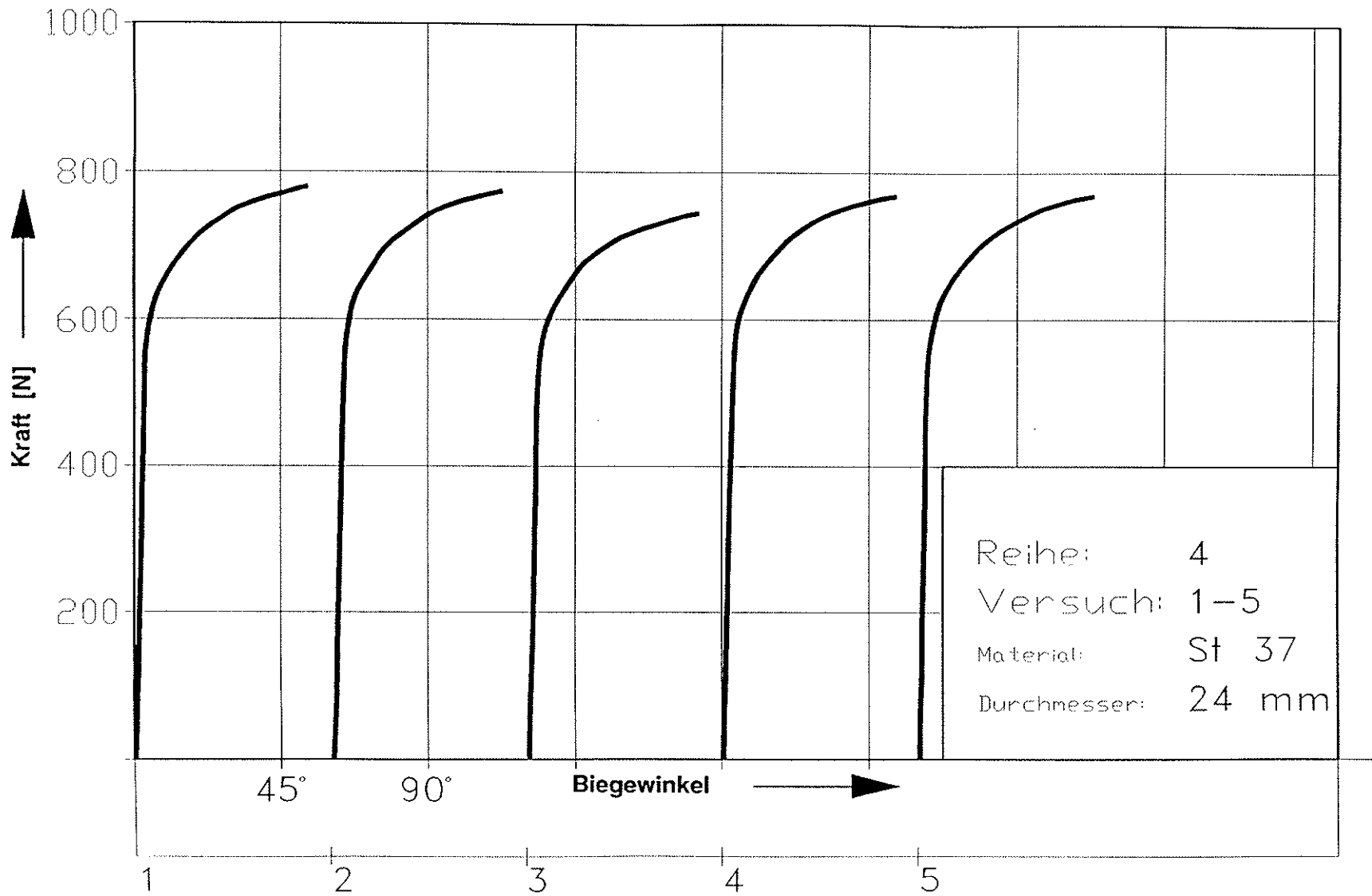


**Bild 13:** Kraft - Biege Winkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 16 mm St 37 blank)

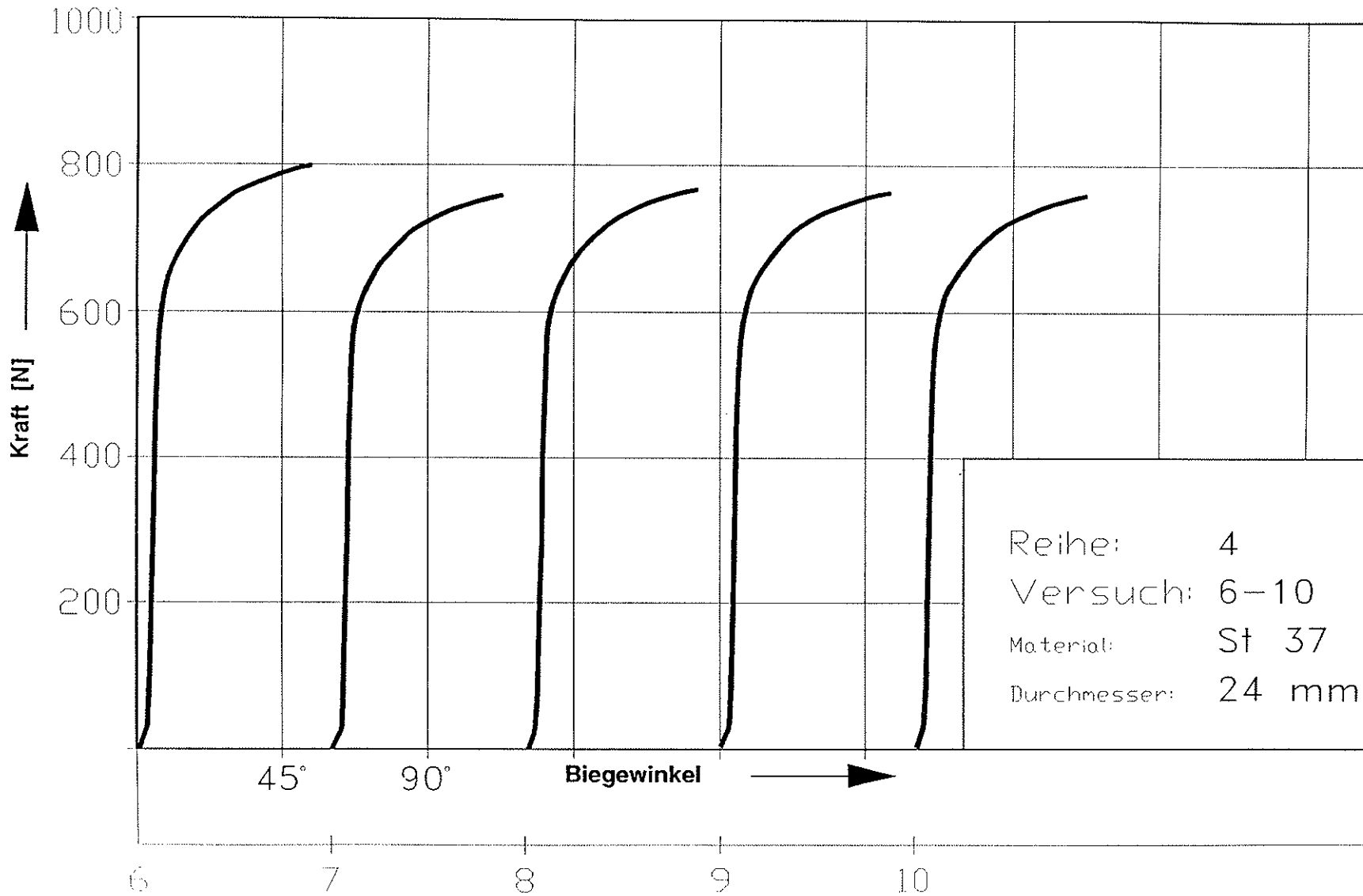


**Bild 14:** Kraft - Biege Winkel - Diagramme  
(Stabdübel d = 16 mm St 37 blank)

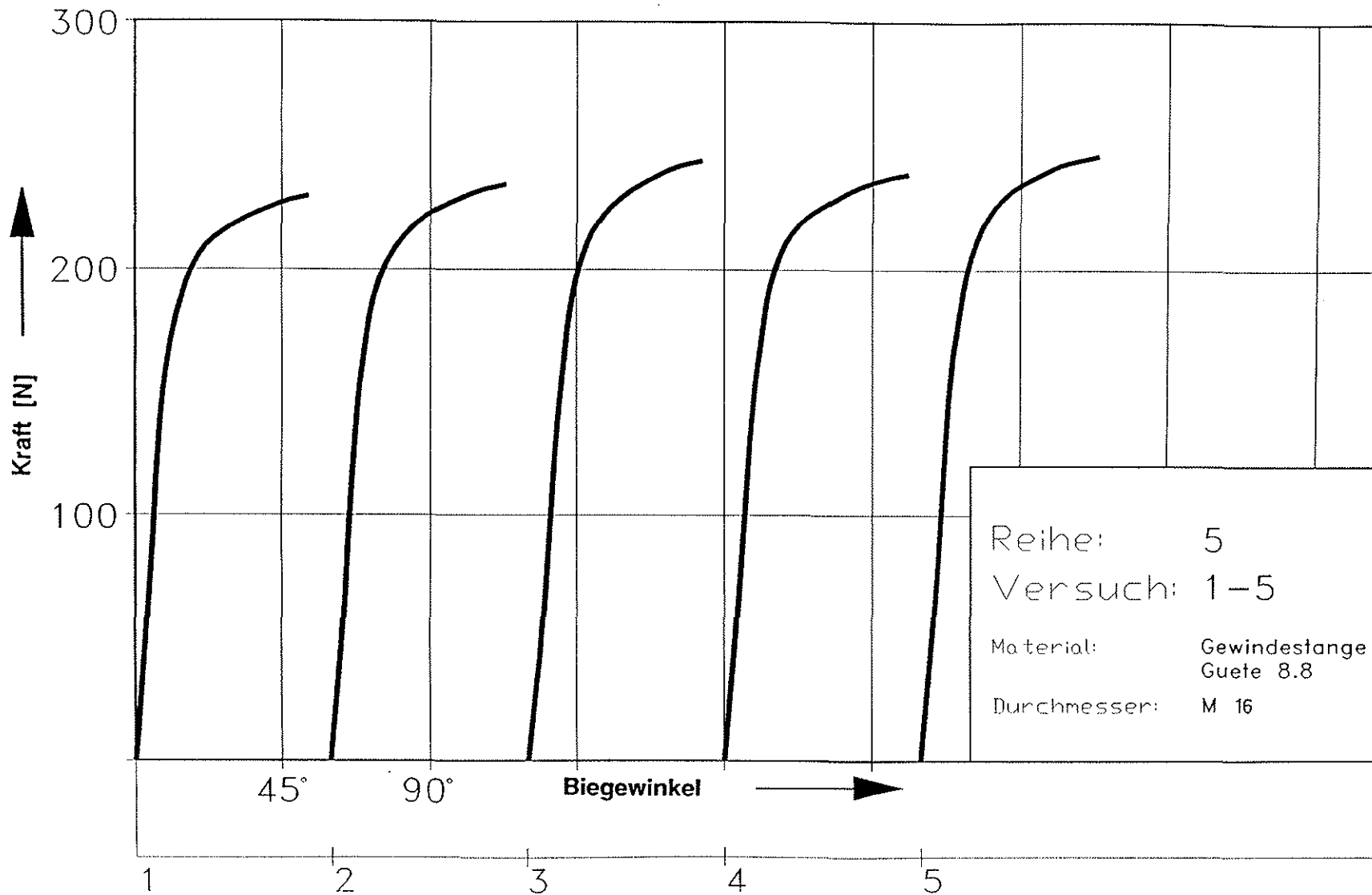




**Bild 15:** Kraft - Biege Winkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 24 mm St 37 blank)



**Bild 16:** Kraft - Biegewinkel - Diagramme  
 (Stabdübel d = 24 mm St 37 blank)



**Bild 17:** Kraft - Biege Winkel - Diagramme  
(Gewindestange M 16 Stahlgüte 8.8)