

# **Forschungsbericht**

**Low-cycle-fatigue-Beanspruchung von auf  
Abscheren beanspruchten Schrauben mit  
Gewinde in der Scherfuge**

**T 2743**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

1997, ISBN 3-8167-4917-8

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>

TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG-HARBURG

STAHLBAU UND HOLZBAU

Heft 7

Forschungsbericht

**LOW-CYCLE-FATIGUE-BEANSPRUCHUNG VON  
AUF ABSCHEREN BEANSPRUCHTEN SCHRAUBEN  
MIT GEWINDE IN DER SCHERFUGE**

G. Valtinat

Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt-Nr. IV 1-5-713/93

Hamburg 1995

## 1 Einleitung und Problemformulierung

Die DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe 11/90 [1] läßt entsprechend dem Element (804) zu, daß in Scher-Lochleibungs-Verbindungen (SL-Verbindungen) der Gewindeteil der Schraube in die Scherfuge hineinragt, eine entsprechende Regelung ist auch im EUROCODE 3 [2] enthalten. Die Beanspruchbarkeit ist unter Zugrundlegung des Spannungsquerschnittes  $A_s$  als maßgebender Abscherfläche zu ermitteln. Für den Fall „Gewinde in der Scherfuge“ läßt [1] für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8 dieselbe Beanspruchbarkeit zu wie für Abscheren im Schaftquerschnitt; für HV-Schrauben (Festigkeitsklasse 10.9) ist durch die Anpassungsrichtlinie [3] eine Reduktion um 20 % von  $\alpha_a = 0,55$  auf 0,44 vorgeschrieben. Der EUROCODE 3 hingegen mindert die Beanspruchbarkeit höherfester Schrauben, also Schrauben der Güte 8.8 und höher, um 10 % gegenüber [1] ab. Die Festlegung über die Höhe der Beanspruchbarkeit resultierte aus einer größeren Anzahl von Versuchen an geschraubten Stab-Laschen-Verbindungen, die im statischen Versuch bis zum Versagen, d. h. bis zum Abscheren der Schrauben gefahren wurden [4, 5].

In [1], Element (714) ist das Erfordernis eines Betriebsfestigkeitsnachweises geregelt. Danach darf auf einen Betriebsfestigkeitsnachweis verzichtet werden, wenn die Anzahl der Spannungsspiele  $n$  kleiner als  $5 \times 10^6 (2\sigma/\Delta\sigma)^3$  ist, wobei  $\Delta\sigma$  die Längsspannungsschwingbreite unter den Bemessungswerten der veränderlichen Einwirkungen für den Tragsicherheitsnachweis ist. Das bedeutet, daß für Bauwerke, die aus Windlasten oder Erdbebenlasten keine periodische Anfachung erfahren, ein Betriebsfestigkeitsnachweis nicht zu führen ist. Solche Bauwerke sind in den Bereich der low-cycle-fatigue-Beanspruchung einzustufen, und SL-Verbindungen mit Gewinde in der Scherfuge können hierbei also mit statischen Rechenansätzen verwendet werden. Die Frage ist, ob die aus der Gebrauchsbelastung auftretenden, sich ändernden Scherbeanspruchungen des Schraubenschaftes auch genügend oft ertragen werden können.

Das in den Schraubenschaft gerollte Gewinde stellt aber im Vergleich zum glatten Schaft eine starke Kerbe dar, und es ist im Kerbgrund mit einer erheblich ungünstigeren Spannungsverteilung zu rechnen. Inwieweit die Spannungskonzentration Einfluß auf die Festigkeit im low-cycle-fatigue-Beanspruchungsbereich hat, ist bis jetzt nicht bekannt.

## 2 Bisherige Untersuchungen

Das Problem der low-cycle-fatigue-Beanspruchbarkeit von Schrauben, die mit Gewinde in der Scherfuge auf Abscheren beansprucht werden, wurde hier erstmalig in kleinerem Rahmen systematisch experimentell untersucht.

## 3 Durchgeführte Untersuchungen

### 3.1 Grundlegende Vorbemerkungen

SL-Verbindungen können ohne planmäßige Vorspannung und mit planmäßiger Vorspannung eingebaut werden. Die SL-Verbindungen können einmal durch sich ändernde Kräfte, deren Vorzeichen aber nicht wechselt und deren Schraubenschäfte nur in einer Richtung beansprucht werden (Typ 1), und zum anderen durch solche Kräfte, deren Vorzeichen wechseln und deren Schraubenschäfte in beiden Richtungen beansprucht werden (Typ 2), belastet werden. Grundsätzlich sollte man bei dem letztgenannten Typ 2 sicherstellen, daß ein ständiges Hin- und Herutschen mit einem Verschiebungsweg, der dem doppelten Lochspiel gleich ist, vermieden wird. Dies kann z. B. durch Paßschrauben oder durch GV-Verbindungen geschehen. Solche Verbin-

dungen sind zwar aufwendig, weil entweder das Lochaufreiben im zusammengelegten Zustand erfolgen muß oder weil eine Gleitflächenvorbehandlung zu erfolgen hat und die HV-Schrauben planmäßig vorgespannt werden müssen; aber für Fälle, bei welchen nur eine relativ kleine Kraft in der Gegenrichtung wirkt, kann auch schon allein eine Vorspannung ohne aufwendige Gleitflächenbehandlung ausreichen, um eine Gleitkraft in der erforderlichen Größe sicherzustellen und eine Verschiebung in dieser Richtung zu verhindern; dies ist zwar nicht normgerecht, weil Reibbeiwerte nicht behandelter Kontaktflächen nicht genormt sind, aber es kann ausreichend wirkungsvoll sein. Dann erhält man auch hier eine SL-Verbindungen vom Typ 1, in welcher die Schraubenschäfte nur in einer Richtung auf Abscheren beansprucht sind.

Im Typ 1 bei SL-Verbindungen können Scherbeanspruchungen zwischen 0 und dem Maximalwert auftreten. Eigenlasten sind in der Regel immer vorhanden, so daß ein Spannungsverhältnis  $R = \min \sigma / \max \sigma$  von ca. +0,1 als konservativ anzusehen ist.

Tritt nun der Fall ein, daß nicht der Schaft sondern das Gewinde in der Scherfuge liegt, was erlaubt ist, dann wird der Spannungsquerschnitt schwingend scherbeansprucht.

### 3.2 Untersuchungsprogramm

Als Versuchskörper wurde ein Schergerät entworfen, das unter Druck Scherbeanspruchungen in der Schraube erzeugt. Zum Einsatz kamen Schrauben nach DIN 933 mit dem Durchmesser M16 und M24, und zwar in der Anzahl wie folgt:

- 24 M16 x 120 DIN 933, 5.6
- 15 M24 x 100 DIN 933, 5.6
- 20 HV M16 x 120 DIN 933, 10.9
- 20 HV M24 x 120 DIN 933, 10.9.

Bei diesen Schrauben ist das Gewinde bis zum Kopf gefertigt, sie haben keinen großen Kopf. Als Schraubengüten wurden die Festigkeitsklassen 5.6 und 10.9 gewählt. Die Schrauben stammten von 3 verschiedenen Firmen.

Als Belastung wurde eine Oberspannung  $\max \tau$  und eine Unterspannung  $\min \tau$  mit einer Scherspannungsschwingbreite von  $\Delta \tau = \max \tau - \min \tau$  in der Größenordnung der Gebrauchsfähigkeitswerte gewählt. Das Verhältnis von  $R = \min \tau / \max \tau$  wurde konservativ mit +0,1 gewählt. Die zu erwartenden Lastwechselzahlen liegen niedrig, es handelt sich nicht um Dauerschwingversuche.

Für eine abgesicherte Aussage werden mindestens 6 Versuche auf einem Spannungshorizont benötigt. Insgesamt wurden 79 Schwingversuche gefahren.

### 3.3 Versuchskörper

Die Versuchskörper bestanden aus einem Schergerät nach Bild 1, Anlage 1, dessen Bauteile aus StE 460 und dessen Einsätze aus St 37 bestanden. Die Einsätze wurden für jeden Versuch entweder um  $120^\circ$  weitergedreht, da eine Beanspruchung innerhalb eines Schwingversuches immer nur auf derselben Stelle erfolgte, oder es wurden neue Einsätze verwendet. Die Versuchsvorrichtung war so variabel, daß verschiedene Schraubendurchmesser und verschiedene Blechdicken eingesetzt werden konnten. Nähere Angaben enthält die Tabelle 1.

Tabelle 1: Angaben zum Schergerät

Abmessungen der Schrauben	Mittelteil und zugehörige Einsatzscheibe $t_1$ in mm	Laschen und zugehörige Einsatzscheibe $t_2$ in mm
M16 x 120, 5.6	12	10
M24 x 100, 5.6	20	10
HV M16 x 120, 10.9	20	10
HV M24 x 120, 10.9	30	15

## 4 Versuchsergebnisse

### 4.1 Mechanische Kennwerte der verwendeten Schrauben

Die mechanischen Kennwerte der verwendeten Schrauben sind in den Tabellen 2 a bis e, Anlagen 2 bis 6 zusammengestellt. Danach erfüllen die Schraubenwerkstoffe die Forderungen nach DIN ISO 898 Teil 1, lediglich 2 der HV M24 der Firma VSP liegen an der oberen Grenze der Festigkeitsklasse bzw. sind darüber (12.9) vergütet.

### 4.2 Ergebnisse der Schwingfestigkeitsversuche

Die Ergebnisse der Schwingversuche sind mit allen Einzelangaben zu den Versuchen in den Tabellen 3 bis 6, Anlage 7 bis 10 zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Schwingversuche sind ferner als  $\log \Delta\tau$  -  $\log N$  - Diagramme in den Bildern 2 bis 8, Anlagen 11 bis 17 zusammengestellt. Die Bilder 2 bis 5 enthalten jeweils die Ergebnisse und Trendlinien für die

- 24 M16 x 120 DIN 933, 5.6 (Bild 2)
- 15 M24 x 100 DIN 933, 5.6 (Bild 3)
- 20 HV M16 x 120 DIN 933, 10.9 (Bild 4)
- 20 HV M24 x 120 DIN 933, 10.9. (Bild 5).

Das Bild 2 enthält auf dem Spannungsniveau  $\Delta\tau = 350 \text{ N/mm}^2$  zwei Ausreißer mit relativ hohen Lastwechselzahlen, diese werden nicht weiter in die Berechnungen der Trendlinien einbezogen.

Die Bilder 6 und 7 enthalten jeweils die Ergebnisse für alle 5.6-Schrauben bzw. für alle 10.9-Schrauben und die zugehörigen Trendlinien sowie die gemittelten Linien für die

- 24 M16 x 120 DIN 933, 5.6 + 15 M24 x 100 DIN 933, 5.6 (Bild 6),
- 20 HV M16 x 120 DIN 933, 10.9 + 20 HV M24 x 120 DIN 933, 10.9 (Bild 7).

Das Bild 8 enthält schließlich die Ergebnisse für alle Schrauben, die zugehörigen Trendlinien und eine gemittelte Linie über alle Ergebnisse

- 24 M16 x 120 DIN 933, 5.6 + 15 M24 x 100 DIN 933, 5.6 + 20 HV M16 x 120 DIN 933, 10.9 + 20 HV M24 x 120 DIN 933, 10.9. (Bild 8).

Die Trendlinien sind im  $\log \Delta\tau$  -  $\log N$  - Diagramm Geraden und haben die Form:

$$\log N = a \log \Delta\tau + b$$

oder

$$\log \Delta\tau = (\log N - b)/a.$$

Die ermittelten Konstanten sind in der Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Konstanten a und b der Trendlinien

Schrauben	Konstante a	Konstante b
24 M16 x 120 DIN 933, 5.6	-1,7715	9,0851
15 M24 x 100 DIN 933, 5.6	-2,8865	11,9260
20 HV M16 x 120 DIN 933, 10.9	-3,3637	12,9525
20 HV M24 x 120 DIN 933, 10.9	-2,9053	11,7691
24 M16 5.6 + 24 M24, 5.6	-2,2930	10,4701
20 HV M16 10.9 + 20 HV M24, 10.9	-3,1777	12,4610
24 M16, 5.6 + 15 M24, 5.6 + 20 HV M16, 10.9 + 20 HV M24, 10.9	-2,5423	10,9997

## 5 Beurteilung der Ergebnisse

Die Versuche sollten so gefahren werden, daß ein Überblick über die Scherschwingfestigkeit im low-cycle-fatigue-Bereich erhalten werden kann. Das Bild 8 erlaubt diesen Überblick. Es reicht von 20 000 Lastwechseln bis etwa 300 000 Lastwechseln.

Wenn man die Ausnutzung der Scherspannung einer 5.6-Schraube mit Gewinde in der Scherfuge im Gebrauchszustand wie folgt errechnet und diesen Wert ungünstigerweise gleich  $\Delta\tau$  setzt:

$$- \Delta\tau_{\text{Serv}} = 0,6 \times f_u / 1,5 = 0,6 \times 500 / 1,5 = 200 \text{ N/mm}^2,$$

dann ergibt sich mit der oben genannten Trendlinie für 5.6-Schrauben eine ertragbare Schwingwechselzahl von

$$N = 156 \text{ 000 Lastwechsel.}$$

Wenn man analog die Ausnutzung der Scherspannung einer 10.9-Schraube mit Gewinde in der Scherfuge in Anlehnung an [3] im Gebrauchszustand wie folgt errechnet und diesen Wert ungünstigerweise gleich  $\Delta\tau$  setzt:

$$- \Delta\tau_{\text{Serv}} = 0,44 \times f_u / 1,5 = 0,44 \times 1000 / 1,5 = 293 \text{ N/mm}^2,$$

dann ergibt sich mit der oben genannten Trendlinie für 10.9-Schrauben eine ertragbare Schwingwechselzahl von

$$N = 42 \text{ 000 Lastwechsel.}$$

Aus der Trendlinie über alle Ergebnisse erhält man für die

5.6-Schrauben:  $N = 140\,000$  Lastwechsel,  
 10.9-Schrauben:  $N = 53\,000$  Lastwechsel.

Schon bei der halben Ausnutzung ergeben sich folgende Werte:

5.6-Schrauben:  $\Delta\tau_{\text{Serv}} = 100\text{ N/mm}^2$ ;  $N = 820\,000$  Lastwechsel,  
 10.9-Schrauben:  $\Delta\tau_{\text{Serv}} = 150\text{ N/mm}^2$ ;  $N = 290\,000$  Lastwechsel.

Diese Werte bestätigen, soweit dies mit der hier vorliegenden Versuchsanzahl überhaupt möglich ist, die bisherige Erfahrung, daß die Nutzlasten mindestens ca. 100 000 mal ertragen werden können.

## 6 Zusammenfassung

Es sollte in Pilotversuchen geprüft werden, wie oft Nutzlasten im low-cycle-fatigue-Bereich von Schrauben, die mit dem Gewinde in die Scherfuge hineinragen, auf Abscheren ertragen werden können. Hierzu wurden 79 entsprechende Versuche an 5.6-Schrauben und an 10.9-Schrauben gefahren. Naturgemäß unterscheiden sich die Ergebnisse für die beiden Festigkeitsklassen, jedoch liegen sie nicht sehr weit auseinander, wie man anhand des Bildes 8 erkennen kann.

Die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens wurde durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin, bereitgestellt, hierfür danke ich dem Institut bestens.



Hamburg, den 27.12.1995

## Literatur

- [1] DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe 11/90.
- [2] DIN ENV 1993-1-1: 1992 (EUROCODE 3) + Korrigendum (vom 22.04.1993).
- [3] DAST-Richtlinie 103, 11/93 - Nationales Anpassungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von [2]. Köln 1993.
- [4] Valtinat, G. und P. Dangelmaier: Last-Verformungs-Verhalten und Tragkapazität von Schraubenverbindungen des Stahlbaus mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde. DAST-Gemeinschaftsprogramm SCHRAUBENVERBINDUNGEN, Programm 1.14, AiF-Nr. 5724. Bericht des Arbeitsbereichs Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Hamburg, den 12.02.1986.
- [5] Valtinat, G. und P. Dangelmaier: Untersuchungen des Abscherverhaltens von geschraubten Laschenverbindungen mit in die Scherfuge hineinragendem Gewinde. Forschungsvorhaben AiF-Nr. 7062. Bericht des Arbeitsbereichs Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Hamburg, im November 1990.

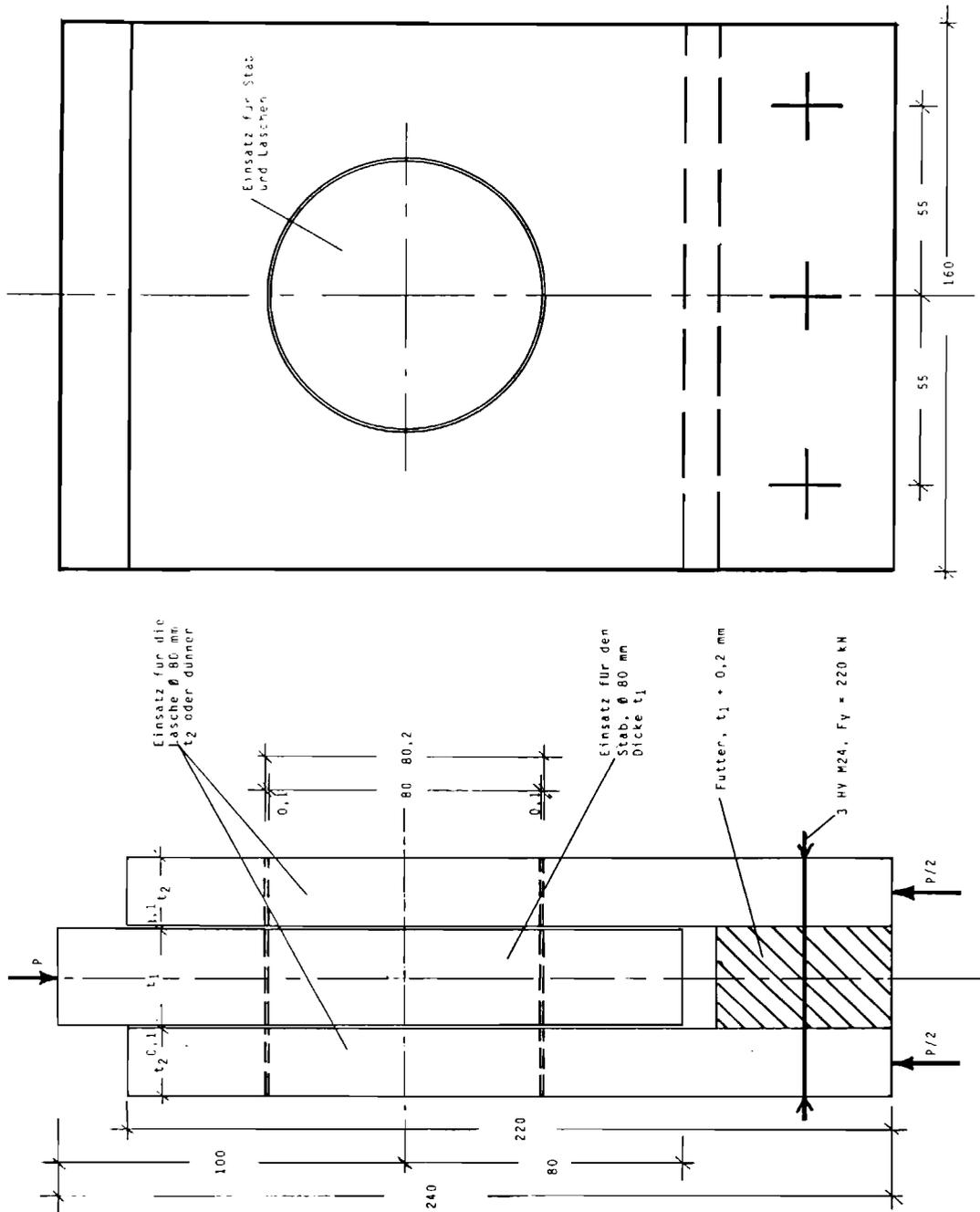


Bild 1: Ausbildung des Schergerätes

 <b>TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG - HARBURG</b>		<b>Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau</b> Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat		<b>Denickestraße 17</b> 21073 Hamburg	
<b>Zugversuch nach DIN 50 145</b>			<b>Hamburg, den 31.8.94</b>		
<b>Vorhaben:</b> Low-cycle-Beanspruchung von Schrauben mit Gewinde in der Scherfuge <b>Bearbeiter:</b> Jessen <b>Probenform:</b> DIN 150898 (Rundprobe, Gewindeköpfe)					
- Prüftemperatur = Raumtemperatur - Dehngeschwindigkeit: $\epsilon = 0,02 \text{ %/s}$ bis $\epsilon_g = 1,4 \text{ %}$ - Weggeschwindigkeit: $v = 0,02 \text{ mm/s}$ ab $\epsilon_g$ bis zum Bruch - Statische Streckgrenze ermittelt bei $2\epsilon_{el} \leq \epsilon_s \leq 7\epsilon_{el}$ und $\epsilon_s = \text{konstant}$ für 10 Minuten					
Meßwerte		Probe AF M16 5.6/1	Probe AF M16 5.6/2	Probe AF M16 5.6/3	Probe
d	[mm]	12,00	12,03	11,98	
d'	[mm]	6,00	6,00	6,10	
L <sub>0</sub>	[mm]	60,00	60,00	60,00	
L <sub>u</sub>	[mm]	74,30	74,00	74,10	
F <sub>0.01</sub>	[kN]				
F <sub>1.0</sub>	[kN]				
F <sub>0.2</sub>	[kN]				
F <sub>eH</sub>	[kN]	55,2	54,4	55,1	
F <sub>eL</sub>	[kN]				
F <sub>eS</sub>	[kN]	48,4	48,7	48,1	
F <sub>m</sub>	[kN]	65,1	65,3	64,6	
F <sub>E</sub>	[kN]				
$\epsilon_E$	[‰]				
<b>Ergebnisse</b>					
S <sub>0</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	113,1	113,7	112,7	
S <sub>u</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	28,3	28,3	29,2	
R <sub>p0.01</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p1.0</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p0.2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eH</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	488	479	489	
R <sub>eL</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eS</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	428	428	427	
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	576	575	573	
A	[%]	24	23	24	
Z	[%]	75	75	74	
E	[N/mm <sup>2</sup> ]				

Tabelle 2b: Werkstoffkennwerte der Schrauben M24 DIN 933, 5.6

		Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat		Denickestraße 17 21073 Hamburg	
Zugversuch nach DIN 50 145			Hamburg, den 31.8.94		
<b>Vorhaben:</b> Low-cycle-Beanspruchung von Schrauben mit Gewinde in der Scherfuge <b>Bearbeiter:</b> Jessen <b>Probenform:</b> DIN 150898 (Rundprobe, Gewindeköpfe)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüftemperatur = Raumtemperatur</li> <li>- Dehngeschwindigkeit: <math>\epsilon = 0,02 \text{ %/s}</math> bis <math>\epsilon_g = 1,4 \text{ %}</math></li> <li>- Weggeschwindigkeit: <math>v = 0,02 \text{ mm/s}</math> ab <math>\epsilon_g</math> bis zum Bruch</li> <li>- Statische Streckgrenze ermittelt bei <math>2\epsilon_{el} \leq \epsilon_s \leq 7\epsilon_{el}</math> und <math>\epsilon_s = \text{konstant}</math> für 10 Minuten</li> </ul>					
Meßwerte		Probe AF M24 5.6/1	Probe AF M24 5.6/2	Probe	Probe
d	[mm]	9,96	9,90		
d'	[mm]	5,20	5,20		
L <sub>0</sub>	[mm]	50,00	50,00		
L <sub>u</sub>	[mm]	63,60	62,70		
F <sub>0.01</sub>	[kN]				
F <sub>1.0</sub>	[kN]				
F <sub>0.2</sub>	[kN]				
F <sub>eH</sub>	[kN]	32,6	33,1		
F <sub>eL</sub>	[kN]				
F <sub>eS</sub>	[kN]	28,7	26,8		
F <sub>m</sub>	[kN]	41,8	40,4		
F <sub>E</sub>	[kN]				
$\epsilon_E$	[‰]				
<b>Ergebnisse</b>					
S <sub>0</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	77,9	77,0		
S <sub>u</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	21,2	21,2		
R <sub>p0.01</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p1.0</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p0.2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eH</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	418	430		
R <sub>eL</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eS</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	368	348		
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	536	525		
A	[%]	27	25		
Z	[%]	73	72		
E	[N/mm <sup>2</sup> ]				

Tabelle 2c: Werkstoffkennwerte der Schrauben HV M16 DIN 933, 10.9

 <b>TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG - H A R B U R G</b>		Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat		Denickestraße 17 21073 Hamburg	
Zugversuch nach DIN 50 145			Hamburg, den 1.9.94		
<b>Vorhaben:</b> Low-cycle-Beanspruchung von Schrauben mit Gewinde in der Scherfuge <b>Bearbeiter:</b> Jessen <b>Probenform:</b> DIN 150898 (Rundprobe, Gewindeköpfe)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüftemperatur = Raumtemperatur</li> <li>- Dehngeschwindigkeit: <math>\varepsilon = 0,02 \text{ %/s}</math> bis <math>\varepsilon_g = 1,4 \text{ %}</math></li> <li>- Weggeschwindigkeit: <math>v = 0,02 \text{ mm/s}</math> ab <math>\varepsilon_g</math> bis zum Bruch</li> <li>- Statische Streckgrenze ermittelt bei <math>2\varepsilon_{el} \leq \varepsilon_s \leq 7\varepsilon_{el}</math> und <math>\varepsilon_s = \text{konstant}</math> für 10 Minuten</li> </ul>					
Meßwerte		Probe BCB M16 10.9/1	Probe BCB M16 10.9/2	Probe BCB M16 10.9/3	Probe
d	[mm]	11,98	11,98	12,07	
d'	[mm]	8,40	8,20	8,30	
L <sub>0</sub>	[mm]	60,00	60,00	60,00	
L <sub>u</sub>	[mm]	66,50	66,60	66,90	
F <sub>0.01</sub>	[kN]				
F <sub>1.0</sub>	[kN]				
F <sub>0.2</sub>	[kN]				
F <sub>eH</sub>	[kN]				
F <sub>eL</sub>	[kN]				
F <sub>eS</sub>	[kN]	112,0	111,0	112,1	
F <sub>m</sub>	[kN]	125,2	123,5	125,3	
F <sub>E</sub>	[kN]				
$\varepsilon_E$	[‰]				
<b>Ergebnisse</b>					
S <sub>0</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	112,7	112,7	114,4	
S <sub>u</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	55,4	52,8	54,1	
R <sub>p0.01</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p1.0</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p0.2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eH</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eL</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eS</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	994	985	980	
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	1111	1096	1095	
A	[%]	11	11	12	
Z	[%]	51	53	53	
E	[N/mm <sup>2</sup> ]				



Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau  
Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat

Denickestraße 17  
21073 Hamburg

Zugversuch nach DIN 50 145

Hamburg, den 1.9.94

**Vorhaben:** Low-cycle-Beanspruchung von Schrauben mit Gewinde in der Scherfuge

**Bearbeiter:** Jessen

**Probenform:** DIN 150898 (Rundprobe, Gewindeköpfe)

- Prüftemperatur = Raumtemperatur

- Dehngeschwindigkeit:  $\epsilon = 0,02$  %/s bis  $\epsilon_g = 1,4$  %

- Weggeschwindigkeit:  $v = 0,02$  mm/s ab  $\epsilon_g$  bis zum Bruch

- Statische Streckgrenze ermittelt bei  $2\epsilon_{el} \leq \epsilon_s \leq 7\epsilon_{el}$

und  $\epsilon_s =$  konstant für 10 Minuten

Meßwerte		Probe VSP M24 10.9/1	Probe VSP M24 10.9/2	Probe VSP M24 10.9/3	Probe
d	[mm]	17,95	17,97	17,93	
d'	[mm]	12,70	12,20	13,60	
L <sub>0</sub>	[mm]	36,00	36,00	36,00	
L <sub>u</sub>	[mm]	43,70	44,50	42,10	
F <sub>0,01</sub>	[kN]				
F <sub>1,0</sub>	[kN]				
F <sub>0,2</sub>	[kN]				
F <sub>eH</sub>	[kN]				
F <sub>eL</sub>	[kN]				
F <sub>eS</sub>	[kN]	314,5	277,9	324,9	
F <sub>m</sub>	[kN]	341,4	301,6	355,7	
F <sub>E</sub>	[kN]				
$\epsilon_E$	[‰]				
<b>Ergebnisse</b>					
S <sub>0</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	253,1	253,6	252,5	
S <sub>u</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	126,7	116,9	145,3	
R <sub>p0,01</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p1,0</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p0,2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eH</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eL</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eS</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	1243	1096	1287	
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	1349	1189	1409	
A	[%]	21	24	17	
Z	[%]	50	54	42	
E	[N/mm <sup>2</sup> ]				



Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau  
Prof. Dr.-Ing. G. Valtinat

Denickestraße 17  
21073 Hamburg

Zugversuch nach DIN 50 145

Hamburg, den 2.9.94

**Vorhaben:** Low-cycle-Beanspruchung von Schrauben mit Gewinde in der Scherfuge

**Bearbeiter:** Jessen

**Probenform:** DIN 150898 (Rundprobe, Gewindeköpfe)

- Prüftemperatur = Raumtemperatur

- Dehngeschwindigkeit:  $\dot{\epsilon} = 0,02 \text{ %/s}$  bis  $\epsilon_0 = 1,4 \text{ %}$

- Weggeschwindigkeit:  $v = 0,02 \text{ mm/s}$  ab  $\epsilon_0$  bis zum Bruch

- Statische Streckgrenze ermittelt bei  $2\epsilon_{el} \leq \epsilon_s \leq 7\epsilon_{el}$

und  $\epsilon_s = \text{konstant}$  für 10 Minuten

Meßwerte		Probe AF M24 10.9/1	Probe AF M24 10.9/2	Probe	Probe
d	[mm]	17,97	18,02		
d'	[mm]	12,10	11,70		
L <sub>0</sub>	[mm]	36,00	36,00		
L <sub>u</sub>	[mm]	44,50	45,10		
F <sub>0.01</sub>	[kN]				
F <sub>1.0</sub>	[kN]				
F <sub>0.2</sub>	[kN]				
F <sub>eH</sub>	[kN]				
F <sub>eL</sub>	[kN]				
F <sub>eS</sub>	[kN]	254,3	256,8		
F <sub>m</sub>	[kN]	281,9	284,4		
F <sub>E</sub>	[kN]				
$\epsilon_E$	[‰]				
<b>Ergebnisse</b>					
S <sub>0</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	253,6	255,0		
S <sub>u</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	115,0	107,5		
R <sub>p0.01</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p1.0</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>p0.2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eH</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eL</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]				
R <sub>eS</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	1003	1007		
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	1111	1115		
A	[%]	24	25		
Z	[%]	55	58		
E	[N/mm <sup>2</sup> ]				

Tabelle 3: Ergebnisse der Schwingversuche mit M16 x 120 DIN 933, 5.6

Nr.	Her- steller	P-o [kN]	$\tau$ -o [N/mm <sup>2</sup> ]	Spannungsquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]:						$\Delta P/2$ [kN]	$\Delta P$ [kN]	N	$\Delta \tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Frequenz [Hz]	Ausgl.gerade kompl.		ohne Ausr. (6, 10)	
				P-u [kN]	$\tau$ -u [N/mm <sup>2</sup> ]	P-m [kN]	$\tau$ -m [N/mm <sup>2</sup> ]	157,00	a= b=						a= b=	a= b=		
1			90	573,25	9	57,32	49,5	315,29	40,5	81	28.712	515,92	15	a= b=	-1,71523 9,08506	a= b=	-2,01096 9,76785	
2			70	445,86	7	44,59	38,5	245,22	31,5	63	36.693	401,27	15	N		N		
3			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	50.709	343,95	20					
4			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	68.094	343,95	20					
5			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	46.770	343,95	20					
6			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	317.037	343,95	20					
7			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	48.941	343,95	20					
8			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	34.639	343,95	15					
9			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	44.674	343,95	15					
10			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	100.000	343,95	15					
11			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	105.000	229,30	15					
12			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	127.000	229,30	15					
13			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	121.000	229,30	15					
14			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	119.500	229,30	15					
15			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	90.000	229,30	15					
16			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	135.000	229,30	15					
17			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	102.000	229,30	15					
18			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	99.000	229,30	15					
19			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	103.000	229,30	15					
20			40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	96.000	229,30	15					
21			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	38.000	343,95	15					
22			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	36.500	343,95	15					
23			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	36.000	343,95	15					
24			60	382,17	6	38,22	33	210,19	27	54	35.500	343,95	15					

Tabelle 4: Ergebnisse der Schwingversuche mit M24 x 100 DIN 933, 5.6

Nr.	Her- steller	M24x100 DIN 933 5.6				Spannungsquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]:						AP/2 [kN]	AP [kN]	N	$\Delta t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Frequenz [Hz]	Ausgleichsgerade	
		P-o [kN]	$\tau$ -o [N/mm <sup>2</sup> ]	P-u [kN]	$\tau$ -u [N/mm <sup>2</sup> ]	P-m [kN]	$\tau$ -m [N/mm <sup>2</sup> ]	353,00	a= -2,88652	b= 11,92599								
1	AF	140	396,60	14	39,66	77	218,13	63	126	36.000	356,94	13	$\Delta t$					
2	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	53.000	331,44	13	N					
3	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	48.000	331,44	13	1	13540,0133				
4	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	43.000	331,44	13	10	6097,90824				
5	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	48.000	331,44	13	100	2746,2665				
6	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	43.000	331,44	13	1000	1236,81423				
7	AF	130	368,27	13	36,83	71,5	202,55	58,5	117	38.500	331,44	13	10000	557,014199				
8	AF	80	226,63	8	22,66	44	124,65	36	72	185.000	203,97	20	20000	438,104763				
9	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	141.000	229,46	20	100000	250,858061				
10	AF	100	283,29	10	28,33	55	155,81	45	90	75.000	254,96	15	3,00E+05	171,449029				
11	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	130.000	229,46	20/15	1,00E+06	112,976952				
12	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	119.000	229,46	20/15	2,00E+06	88,6590289				
13	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	158.000	229,46	20/15						
14	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	126.000	229,46	20/15						
15	AF	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	125.000	229,46	20/15						

Tabelle 5: Ergebnisse der Schwingversuche mit HV M16 x 120 DIN 933, 10.9

Nr.	Schraube: M16x120 DIN 933 10.9										Spannungsquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]:		157,00		Ausgleichsgerade
	Her- steller	P-o [kN]	t-o [N/mm <sup>2</sup> ]	P-u [kN]	t-u [N/mm <sup>2</sup> ]	P-m [kN]	t-m [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta P/2$ [kN]	$\Delta P$ [kN]	N	$\Delta t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Frequenz [Hz]	a= b=	$\Delta t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
1	AF	100	636,94	10	63,69	55	350,32	45	90	8.000	573,25	15	15	-3,36466	
2	AF	80	509,55	8	50,96	44	280,25	36	72	8.100	458,60	15	15	12,95247	
3	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	35.200	286,62	20	20	1 7072,3245	
4	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	108.000	229,30	20	20	10 3567,42905	
5	AF	45	286,62	4,5	28,66	24,75	157,94	20,25	40,5	76.000	257,96	20	20	100 1799,48615	
6	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	47.000	286,62	20	20	1000 907,698618	
7	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	34.000	286,62	20	20	10000 457,862251	
8	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	55.000	286,62	20	20	20000 372,620434	
9	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	27.000	286,62	20	20	100000 230,955338	
10	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	46.000	286,62	20	20	3.00E+05 166,618917	
11	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	41.000	286,62	20	20	1.00E+06 116,498724	
12	AF	50	318,47	5	31,85	27,5	175,16	22,5	45	48.000	286,62	20	20	2.00E+06 94,8097491	
13	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	66.600	229,30	20	20		
14	AF	35	222,93	3,5	22,29	19,25	122,61	15,75	31,5	235.000	200,64	20/25	20/25		
15	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	124.000	229,30	20	20		
16	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	121.600	229,30	20	20		
17	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	171.600	229,30	20	20		
18	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	114.000	229,30	20	20		
19	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	100.000	229,30	20	20		
20	AF	40	254,78	4	25,48	22	140,13	18	36	101.000	229,30	20	20		

Tabelle 6: Ergebnisse der Schwingversuche mit M24 x 120 DIN 933, 10.9

Nr.	Hersteller	M24x120 DIN 933 10.9		Spannungsquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]:						353,00	ΔP/2 [kN]	ΔP [kN]	Lastwechsel N	Δt [N/mm <sup>2</sup> ]	Frequenz [Hz]	Ausgleichsgerade	
		P-o [kN]	τ-o [N/mm <sup>2</sup> ]	P-u [kN]	τ-u [N/mm <sup>2</sup> ]	P-m [kN]	τ-m [N/mm <sup>2</sup> ]	a=	b=								
1	VSP	120	339,94	12	33,99	66	186,97	54	108	68.200	305,95	15	15	Δt [N/mm <sup>2</sup> ]	-2,91		
2	VSP	120	339,94	12	33,99	66	186,97	54	108	34.000	305,95	15	15	N	11,77		
3	VSP	120	339,94	12	33,99	66	186,97	54	108	33.000	305,95	15	15	1	11242,71		
4	VSP	120	339,94	12	33,99	66	186,97	54	108	35.100	305,95	15	15	10	5089,52		
5	VSP	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	43.000	280,45	15	15	100	2304,00		
6	VSP	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	42.800	280,45	15	15	1000	1043,01		
7	AF	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	41.000	280,45	15	15	10000	472,16		
8	AF	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	40.000	280,45	15	15	20000	371,95		
9	AF	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	40.000	280,45	15	15	100000	213,75		
10	AF	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	42.600	280,45	15	15	3,00E+05	146,45		
11	AF	110	311,61	11	31,16	60,5	171,39	49,5	99	37.700	280,45	15	15	1,00E+06	96,76		
12	VSP	90	254,96	9	25,50	49,5	140,23	40,5	81	76.200	229,46	15	15	2,00E+06	76,22		
13	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	86.000	216,71	15	15				
14	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	101.000	216,71	15	15				
15	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	113.000	216,71	15	15				
16	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	111.000	216,71	15	15				
17	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	95.000	216,71	15	15				
18	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	95.000	216,71	15	15				
19	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	90.000	216,71	15	15				
20	AF	85	240,79	8,5	24,08	46,75	132,44	38,25	76,5	104.000	216,71	15	15				

Schrauben M16x120 DIN 933 5.6

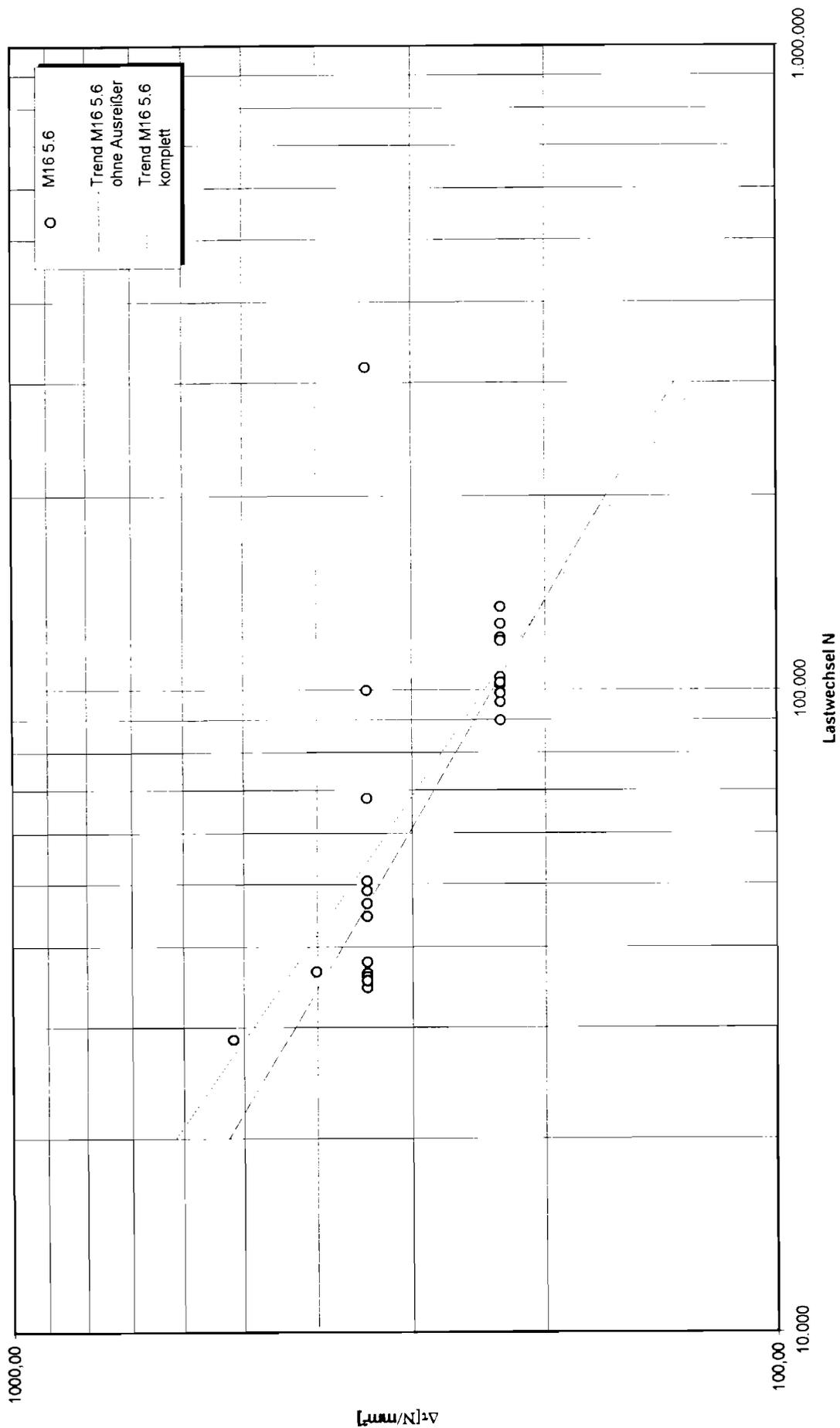


Bild 2: Log  $\Delta\tau$  - log N - Diagramm für M16 x 120 DIN 933, 5.6

Schrauben M24x100 DIN 933 5.6

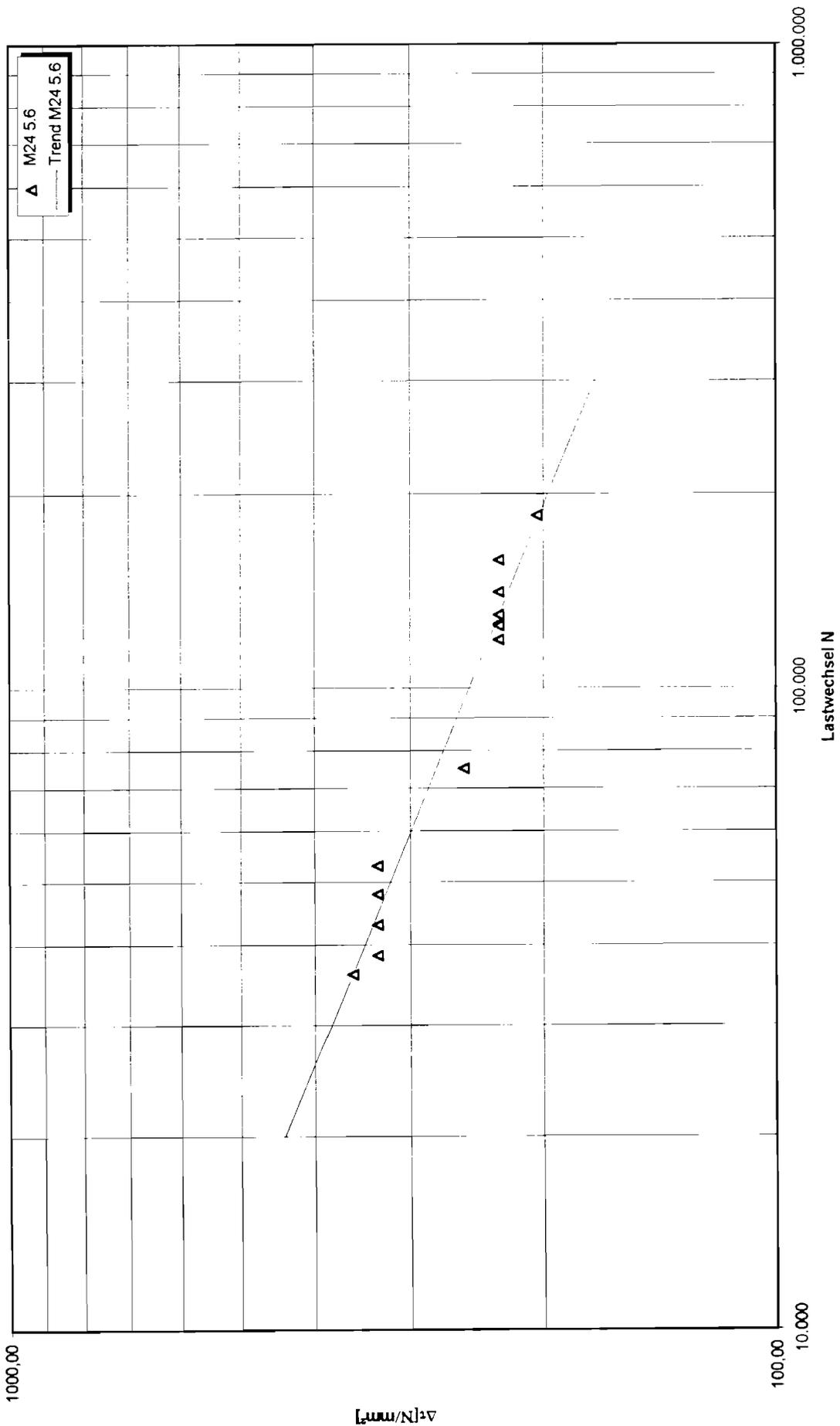


Bild 3: Log Δτ - log N - Diagramm für M24 x 100 DIN 933, 5.6

Schrauben M16x120 DIN 933 10.9

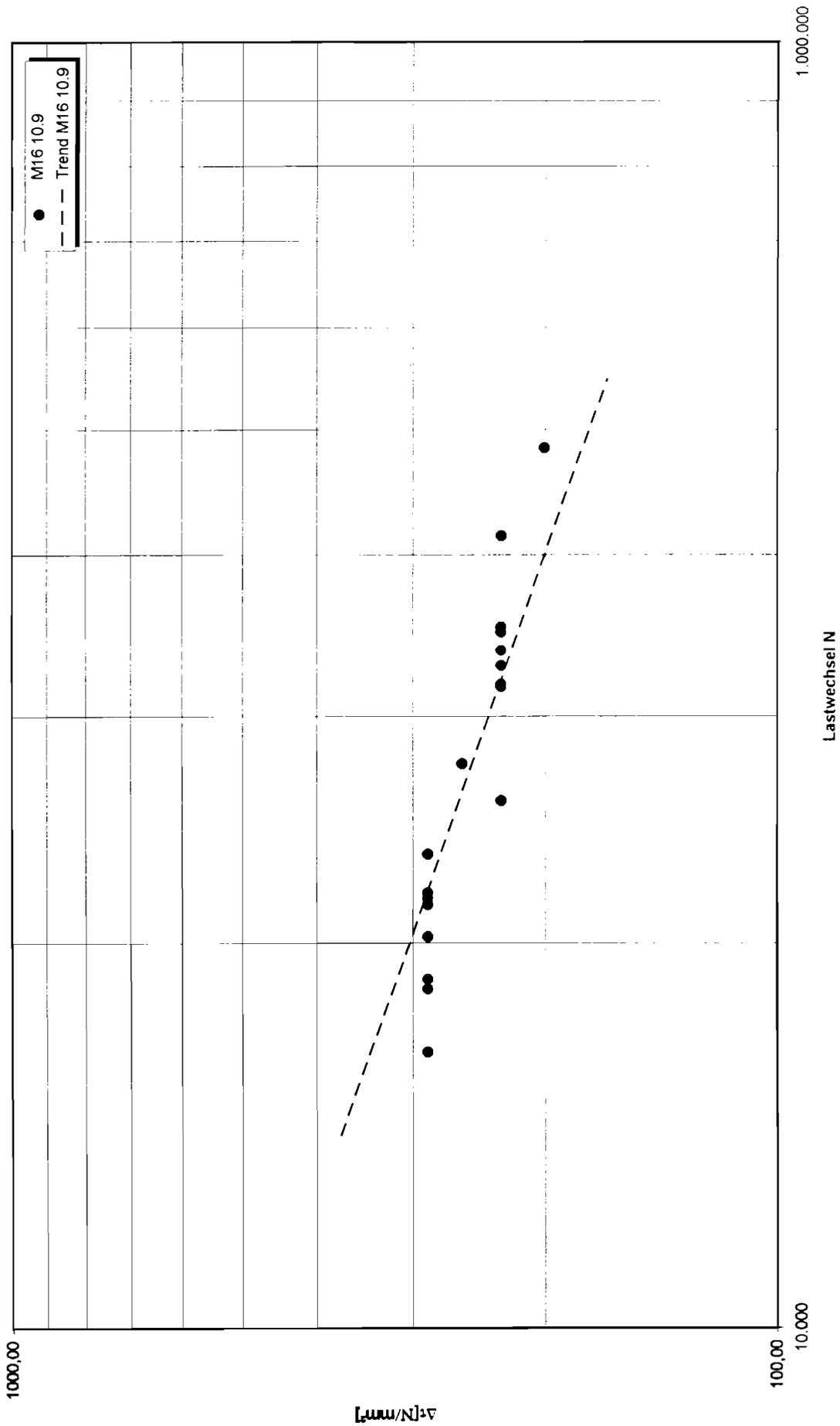


Bild 4: Log Δε - log N - Diagramm für HV M16 x 120 DIN 933, 10.9

Schrauben M24x120 DIN 933 10.9

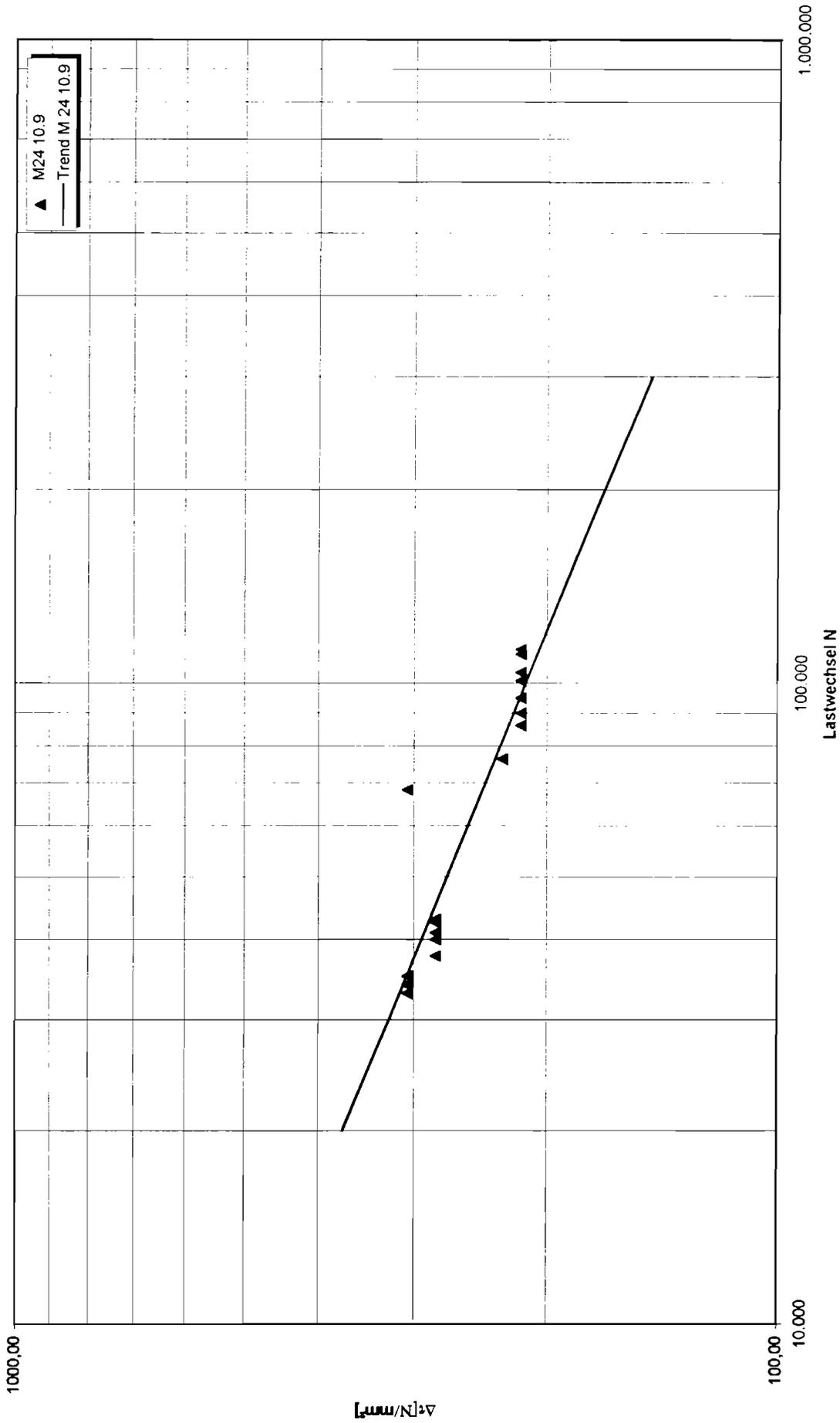


Bild 5: Log  $\Delta\tau$  - log N - Diagramm für HV M24 x 120 DIN 933, 10.9

Schrauben M24, M16 DIN 933 5.6

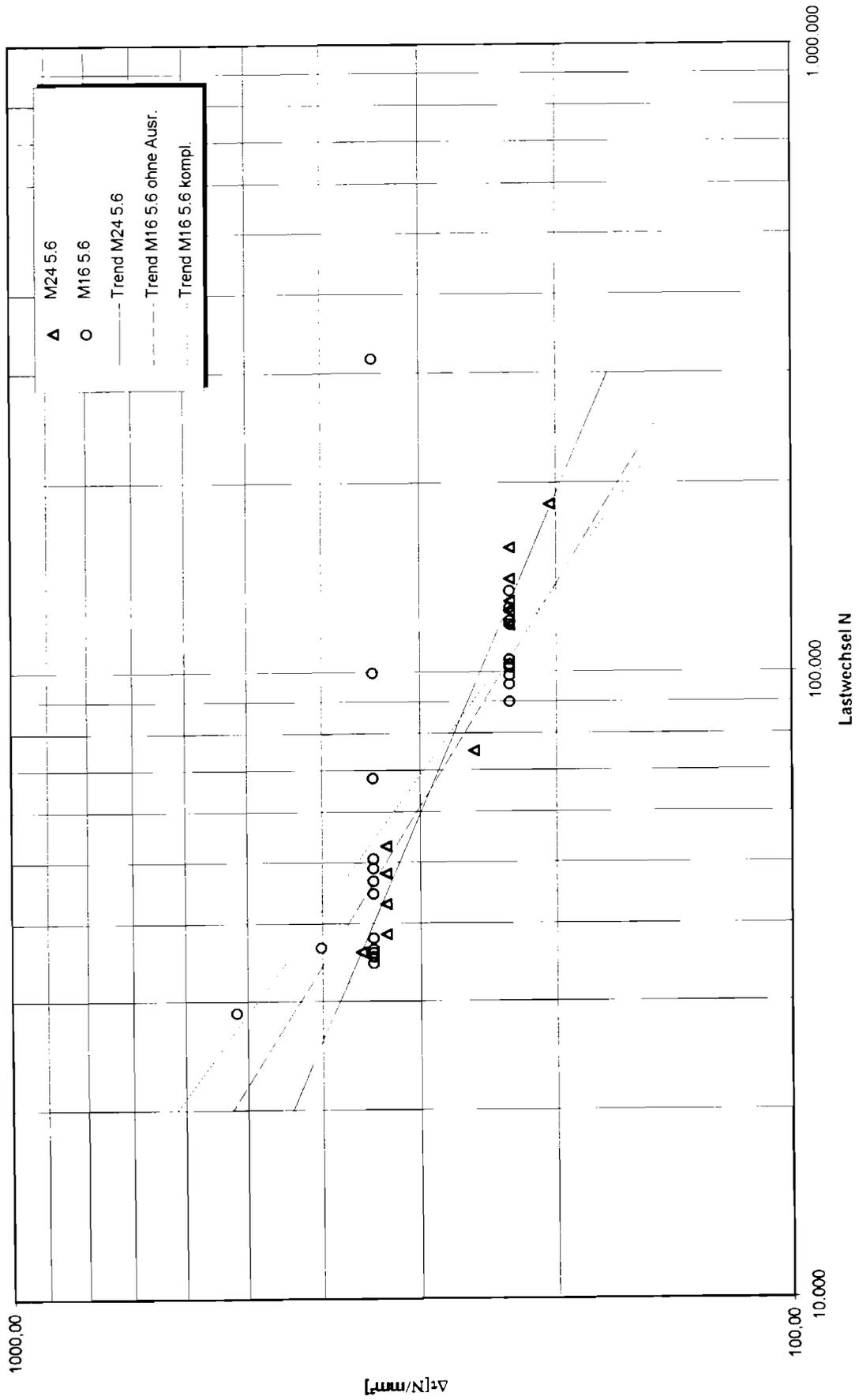


Bild 6: Log  $\Delta\tau$  - log N - Diagramm für M16 x 120 DIN 933, 5.6 + M24 x 100 DIN 933, 5.6

Schrauben M24, M16 DIN 933 10.9

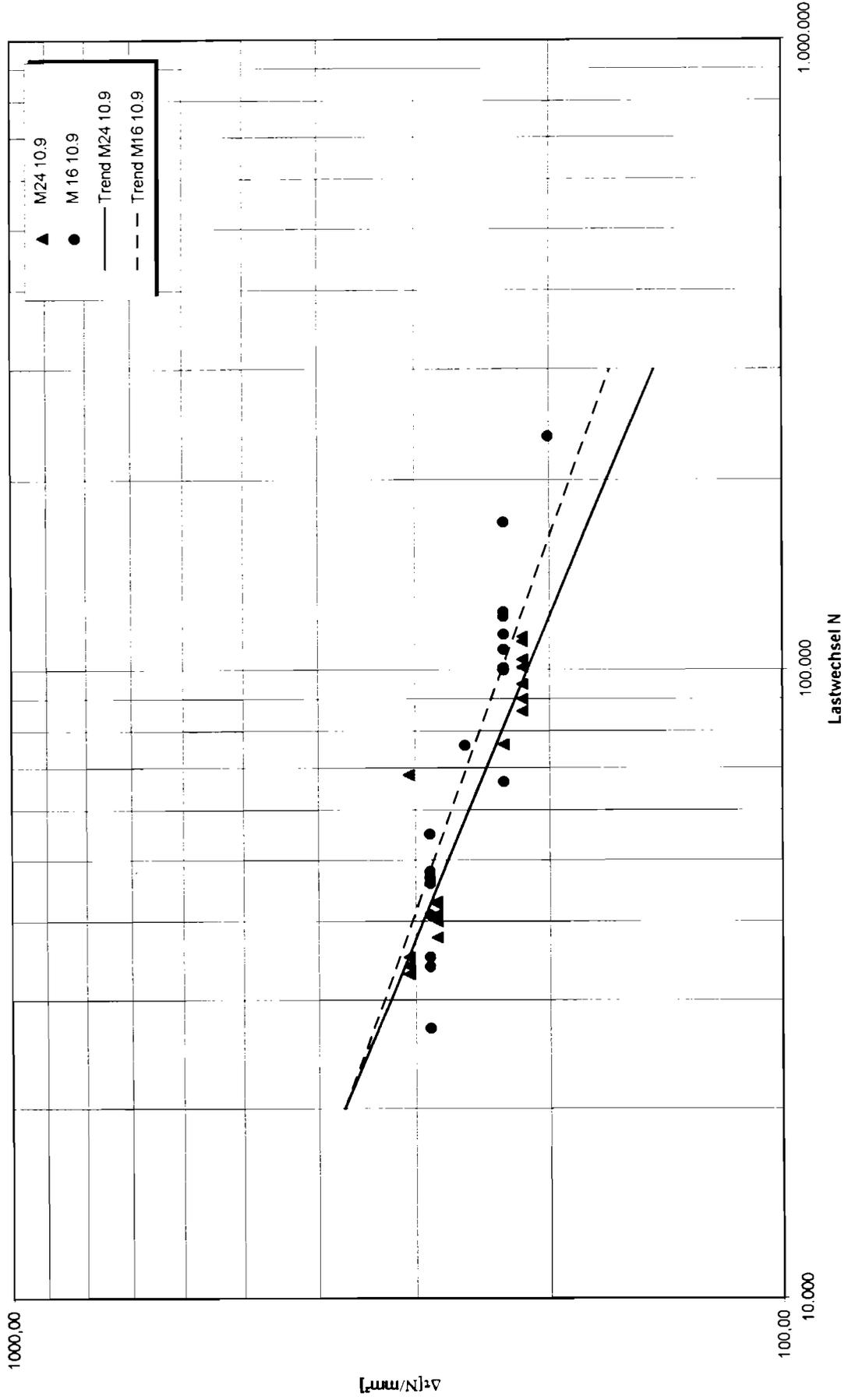
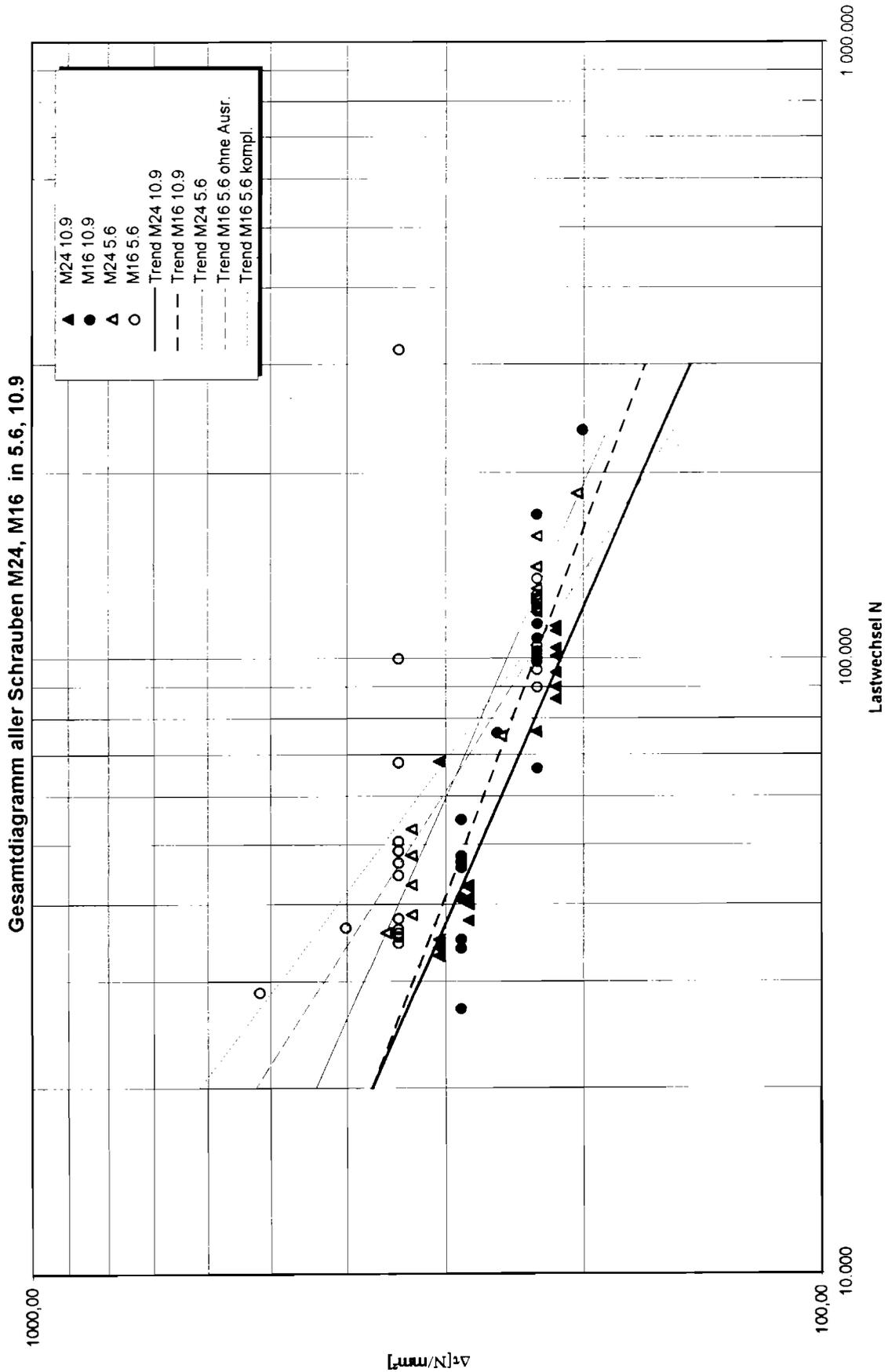


Bild 7: Log Δτ - log N - Diagramm für HV M16 x 120 DIN 933, 10.9 + HV M24 x 120 DIN 933, 10.9



**Bild 8:** Log  $\Delta\tau$  - log N - Diagramm für M16 x 120 DIN 933, 5.6 + M24 x 100 DIN 933, 5.6 + HV M16 x 120 DIN 933, 10.9 + HV M24 x 120 DIN 933, 10.9