

# Einflüsse aus wiederholtem Vorspannen der Schrauben in Normalkupplungen

**T 2277**

T 2277

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

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



**Bericht zum Forschungsvorhaben**

Einflüsse aus wiederholtem Vorspannen  
der Schrauben in Normalkupplungen

Berichter: Dr. Völkel  
Zimmermann

Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin  
Az IV 5-525/88

Datum des Berichtes: 25.10.1990

Auftrag: 25-15131-2

Textseiten: 20

Beilagen: 52

Das vorliegende Forschungsvorhaben wurde finanziell vom Institut für Bautechnik und vom Bundesverband Gerüstbau unterstützt. Das Versuchsmaterial stellten die Hersteller der untersuchten Kupplungen kostenlos zur Verfügung.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Allgemeines	5
2. Versuchsprogramm	6
2.1 Versuche über einen Zeitraum von 4 Wochen	6
2.2 Versuche über 9 Monate	6
3. Vorbereitung und Durchführung der Versuche	7
4. Versuchsergebnisse	9
4.1 Versuchsgruppe G7	9
4.2 Versuchsgruppe G8	11
4.3 Versuchsgruppe G1	11
4.4 Versuchsgruppe G3	13
4.5 Versuchsgruppe G4	14
4.6 Versuchsgruppe G6	15
5. Wertung der Ergebnisse	15

Zusammenstellung der Beilagen

Text	Bilder	Tabellen	Beilagen
Versuchsaufbau	1-2	-	1
G7, $\Delta F_V$ -t-Linien	3-4	-	2
G7, Vorspannungsverluste, abhängig von der Zeit	-	1-2	3-4
G8, $\Delta F_V$ -t-Linien	5	-	5
G8, Vorspannungsverluste, abhängig von der Zeit	-	3	6
G1, Versuchsablauf	6	-	7
G1, $\Delta F_V$ -t-Linien	7-19	-	8-12
G1, $F_V(t=0)$ und $\Delta F_V(t)$	-	4	13-14
G1, $F_V(t=0)$ bei wiederholter Vorspannung	20	-	15
G1, $\bar{F}_V(t)$ und (n)	21	-	16
G3, Versuchsablauf	22	-	17
G3, $\Delta F_V$ -t-Linien	23-36	-	18-22
G3, $F_V(t=0)$ und $\Delta F_V(t)$	-	5	23-24
G3, $F_V(t=0)$ bei wiederholter Vorspannung	37	-	25
G3, $\Delta \bar{F}_V(t)$ und (n)	38	-	26
G3, G1 Vergleich von $F_V(t=0)$	39	-	27
G3, G1 Vergleich von $\bar{F}_V(t=n)$	40	-	28
G4, Versuchsablauf	41	-	29
G4, $\Delta F_V$ -t-Linien	42-52	-	30-34
G4, $F_V(t=0)$ und $\Delta F_V(t)$	-	6	35-36
G4, $F_V(t=0)$ bei wiederholter Vorspannung	53	-	37
G4, $\Delta \bar{F}_V(t)$ und (n)	54	-	38

Text	Bilder	Tabellen	Beilagen
G6, Versuchsablauf	55	-	39
G6, $\Delta F_v$ -t-Linien	56-66	-	40-44
G6, $F_v(t=0)$ und $\Delta F_v(t)$	-	7	45-46
G6, $F_v(t=0)$ bei wiederholter Vorspannung	67	-	47
G6, $\Delta \bar{F}_v(t)$ und (n)	68	-	48
G6, G4 Vergleich von $F_v(t=0)$	69	-	49
Vergleich von $\Delta \bar{F}_v(t)$ und der zugehörigen Streuung $\sigma_x^2$ bei den Gruppen G1, G3, G4, G6	-	8	50
Vergleich $\Delta \bar{F}_v(t)$ nach $t = 30$ Tagen, abhängig von der Anzahl n der Vorspannvorgänge	70	-	51
Streuung $\sigma_x^2$ von $F_v(t)$ ( $t \leq 30$ d)	71	-	51
Materialkennwerte	-	9	52

## 1. Allgemeines

Das Forschungsvorhaben II.5-14215 der FMPA, das vom IfBt gefördert wurde (AZ. IV-5-376/83), hat für Gerüstkupplungen einige Ergebnisse gezeigt, die sicherheitsrelevante Auswirkungen haben können:

- Bei wiederholtem Vorspannen der Schrauben in den Kupplungen mit dem gleichen Anziehmoment wird eine zunehmend geringere Vorspannung in der Schraube erzielt, beim 10. Vorspannen im Mittel nur noch 66 % der ersten Vorspannung.
- Die Vorspannung in den Schrauben der Kupplungen nimmt an Stahl- und an Aluminiumrohren etwa gleich zeitabhängig ab, nach 10 Minuten nach dem Vorspannen im Mittel um 12 %, nach 7 Tagen im Mittel um 23 %, im Einzelfall bis zu 29 %.

Durch praxisnahe Versuche sollte geklärt werden, ob für beide Fälle die Reduzierung der Vorspannung in gleicher Größe zu erwarten ist, wenn

- die Schrauben in den Kupplungen nachgespannt werde, z. B. nach 24 Stunden und nach mehreren Wochen,
- zwischen den einzelnen Vorspannvorgängen größere Zeitabstände liegen,
- neue oder gebrauchte Kupplungen verwendet werden,
- die Kupplungen in den Pausen in nicht vorgespanntem Zustand im Freien der Witterung ausgesetzt sind oder in Räumen gelagert werden,
- zwei Kupplungen verschiedener Fabrikate verwendet werden.

Hinsichtlich der bisher bekannten Literatur zu Kupplungen wird auf die ausführliche Liste in o. a. Forschungsvorhaben verwiesen.

2. Versuchsprogramm

2.1 Versuche über einen Zeitraum von 4 Wochen

Zur Klärung der Frage, ob ein Nachspannen der Schrauben in den Kupplungen den Vorspannungsverlust über längere Zeit hin vorteilhaft beeinflusst, wurden zwei Gruppen von Kupplungen eines Fabrikats vorgesehen, die an Stahlrohren und an Aluminiumrohren angeschlossen wurden und deren Schrauben nach 24 Stunden und nach 3 Wochen mit  $M_A = 50 \text{ Nm}$  nachgespannt wurden. Außerdem wurde die an Stahlrohren angesetzte Gruppe in 2 Untergruppen von je 3 ungebrauchten und 3 gebrauchten Kupplungen aufgeteilt.

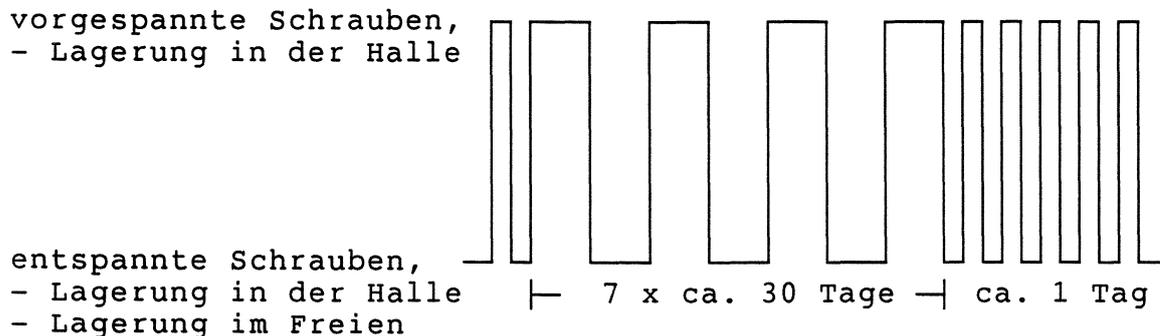
2.2 Versuche über 9 Monate

Für die Versuche mit größeren Zeitabständen zwischen den einzelnen Vorspannvorgängen waren zwei Fabrikate von Normalkupplungen vorgesehen, sie wurden mit L und P bezeichnet.

- L: BB 71 (Layher-Normalkupplung)
- P: BB 60 (plettac-Normalkupplung)

Jede Versuchsgruppe bestand aus  $n = 5$  Kupplungen (10 Versuche). Von den Kupplungen L sollten auch 2 Gruppen mit gebrauchten Kupplungen eingesetzt werden.

Die Versuche sollten ca. 9 Monate dauern, mit monatlichem Wechsel zwischen Phasen mit vorgespannten und entspannten Schrauben nach folgendem Ablaufschema:



Danach ergaben sich folgende Versuchsgruppen:

Gruppe Bez.	vorge- spannt in der Prüfhalle	entspannt		Fabrikat		unge- brauchte Kupplungen	ge- brauchte
		in der Prüf- halle	im Freien	L	P		
G1	x	x	-	x	-	x	-
G2	x	x	-	x	-	-	x <sup>4)</sup>
G3	x	-	x	x	-	x	-
G4	x	x	-	-	x	x	-
G5	x	x	-	-	x	-	x <sup>4)</sup>
G6	x	-	x	-	x	x	-
1) G7	x	x	-	x	-	x <sup>2)</sup>	x <sup>2)</sup>
G8 <sup>3)</sup>	x	x	-	x	-	x <sup>2)</sup>	-

1) 4-Wochen-Versuche in der Halle

2) 3 Kupplungen = 6 Versuche

3) 3 Kupplungen an Alu-Rohr  $\varnothing$  48,3 x 4

4) Versuche wurden nicht durchgeführt

### 3. Vorbereitung und Durchführung der Versuche

Das Material für die Versuche wurde jeweils aus der laufenden Produktion von den Firmen Layher (Normalkupplungen PA 8-BB 71 sowie Gerüstrohre aus Stahl  $\varnothing$  48,3 x 4 und Aluminium  $\varnothing$  48,3 x 4) und plettac (Normalkupplungen PA 8-BB 60) zur Verfügung gestellt. Tabelle 9, Beilage 52, enthält eine Zusammenstellung gemessener Materialkennwerte.

Da die Firmen nur ungebrauchte Kupplungen lieferten, wurde die für die Versuche erforderliche Anzahl "gebrauchter" Kupplungen durch 8- bis 10maliges Vorspannen der Schrauben mit  $M_A = 50$  Nm und anschließende mehrwöchige Lagerung der an Stahlrohren mit  $M_A = 50$  Nm befestigten Kupplungen in der Prüfhalle, künstlich "gealtert" und danach in den Versuchen als "gebrauchte" Kupplungen eingesetzt.

Die Schrauben der Kupplungen wurden mit je 2 Dehnungsmeßstreifen (DMS) bestückt. Dazu wurde jede Schraube im gewindelosen Schaftteil auf  $\varnothing 11,3$  mm abgedreht, um eine Beschädigung der DMS während des wiederholten Einsatzes der Schrauben zu vermeiden.

Danach wurde jede Schraube geeicht, d. h. in einer Zugprüfmaschine wurde mit einer besonderen Einbauvorrichtung die mit den DMS zu messende Schraubendehnung in Abhängigkeit von der Zugkraft in der Schraube festgestellt, um später bei den Versuchen aus den beim Vorspannen mit  $M_A = 50$  Nm erzielten Schraubendehnungen wiederum die tatsächlich erreichte Vorspannkraft  $F_v$  in jeder Schraube bzw. den über die Zeit eintretenden Vorspannungsverlust  $\Delta F_v$  ermitteln zu können.

Mit den so vorbereiteten Schrauben und mit Rohrabschnitten wurden die Kupplungen gruppenweise in einem Laborraum mit nahezu konstanten Temperaturen für die Versuche aufgebaut und die DMS der Schrauben mit den auf Stahlplättchen aufgeklebten Kompensations-DMS an eine Vielstellen-Meßanlage (Optilog) angeschlossen (s. Bilder 1 und 2, Beilage 1). Nach der Bezugsmessung an den ungespannten Schrauben wurden die 10 Schrauben der 5 Kupplungen der Reihe nach mit  $M_A = 50$  Nm mit einem Drehmomentenschlüssel von Hand vorgespannt. Unmittelbar bei Erreichen von  $M_A = 50$  Nm wurde die erste Messung durchgeführt. Nach dem Vorspannen der 10. Schraube wurden die Dehnungen im Minutentakt (bis etwa 10 Minuten), dann  $\frac{1}{4}$ -stündlich bis zu einer Stunde und danach in ansteigenden Zeitabständen täglich, dann wöchentlich einmal bis zum Ende des Versuchs gemessen.

Beim Nachspannen der Schrauben wurde jeweils zunächst wieder in Minutenabständen und danach wie beschrieben in ansteigenden Zeitabständen gemessen.

Am Ende eines Versuchs-Zyklus wurden die Schrauben nochmals unmittelbar vor und nach dem Entspannen gemessen.

In den Phasen ohne Vorspannung wurden die Schrauben immer im Laborraum aufbewahrt, während die Kupplungen ohne Schrauben den

Versuchsgruppen entsprechend im Laborraum blieben oder im Freien der Witterung ausgesetzt waren. Für die Lagerung im Freien wurden die Kupplungen auf der offenen Ballustrade einer Prüfhalle ausgelegt, wo sie weitgehend ungeschützt Wind, Sonne und Regen ausgesetzt waren, der Dachvorsprung lag ca. 10 m über der Ballustrade.

#### 4. Versuchsergebnisse

##### 4.1 Versuchsgruppe G7

Die Programme wurden mit den Gruppen G7 und G8 begonnen, da diese Versuche nur über 4 Wochen liefen und dadurch frühzeitig Ergebnisse vorlagen, die gegebenenfalls das vorgesehene Versuchsprogramm beeinflussen konnten. Die Gruppe G7 bestand aus je 3 ungebrauchten (G7.1) und 3 gebrauchten (G7.2) Normalkupplungen des Fabrikats L, angeschlossen an Stahlrohr  $\varnothing 48,3 \times 4$ . Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen wurden ausgewertet und in den Bildern 3 und 4, Beilage 2, als prozentualer Vorspannungsverlust gegenüber der Anfangsvorspannung in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ , dargestellt. In den Tabelle 1 und 2, Beilagen 3 und 4, sind in der Zeile 1 die mit  $M_A = 50$  Nm in den Schrauben 1 bis 6 erreichten Vorspannungen  $F_v$  [kN] aufgeführt. In den folgenden Zeilen mit Ausnahme der Zeile 8, sind für ausgewählte Zeitpunkte die prozentualen Vorspannungsverluste, bezogen auf die Anfangsvorspannung (Zeile 1), aufgeführt.

Nach 24 Std. und nach 3 Wochen wurden die Schrauben mit dem Drehmomentenschlüssel mit  $M_A = 50$  Nm nachgespannt. Dabei zeigte sich, daß nach 24 Std. bei einigen Schrauben ein Drehmoment von 55 bis 60 Nm erforderlich war, um die Haftreibung zu überwinden, danach ließen sich die Schrauben mit  $M_A = 50$  Nm nachspannen.

Nach 3 Wochen konnte die Haftreibung nur mit  $M_A = 60$  Nm überwunden werden, danach wurde mit  $M_A = 50$  Nm nur eine Verbesserung der Vorspannung um rd. 2 % erreicht, wie aus der Differenz

zwischen den Zeilen 10 und 11 hervorgeht. Beim ersten Nachspannen nach 24 Stunden wurden rd. 6 % Verbesserung erreicht (Differenz der Zeilen 6 und 7).

Die Zeile 8 zeigt, daß 10 Minuten nach dem Nachspannen ebenfalls ein charakteristisch großer Spannungsabfall zu verzeichnen ist, dieser jedoch nur der vorangegangenen Vorspannungsänderung entspricht, wie ein Vergleich mit Zeile 2 zeigt.

Vergleicht man die mit  $M_A = 50$  Nm erzielten Vorspannungen  $F_v$  ( $t = 0$ ) (Zeile 1 der Tabellen 1 und 2) miteinander, so erkennt man einen deutlichen Unterschied zwischen den ungebrauchten und den gebrauchten Kupplungen:

	min $F_v$	max $F_v$	$\bar{F}_v$	[kN]
G7.1 (ungebrauchte Kupplungen):	11,8	16,8	14,0	
G7.2 (gebrauchte Kupplungen):	7,7	9,8	8,8	

Unabhängig von den erzielten Vorspannkraften sind die Vorspannungsverluste  $\Delta F_v(t)$  weitgehend identisch. Auf die 1. Vorspannung  $F_v(t = 0)$  bezogen lagen sie im Mittel nach 10 Minuten bei 13,5 %/11,7 % (G 7.1/G 7.2) und bei 17,2 %/18,6 % nach 21 Tagen. Da demnach die zeitabhängigen Ergebnisse unabhängig von dem Zustand "gebraucht" oder "ungebraucht" sind, wurde auf die Versuche G2 und G5 verzichtet.

Der Versuch mit G7 wurde noch über weitere 3 Wochen fortgesetzt, der Spannungsabbau in den Schrauben betrug in dieser Zeit nur noch 1,4 bis 3,8 %, im Mittel 2,3 %.

Der Verlauf der  $\Delta F_v$ -t-Linien zeigt, daß das Nachspannen der Schrauben nur kurzzeitig, aber kaum auf Dauer eine signifikante Verbesserung bedeutet.

#### 4.2 Versuchsgruppe G8

Die Vergleichsversuche mit ungebrauchten Kupplungen an Aluminiumrohren ergaben keine signifikanten Unterschiede zu den Ergebnissen an Stahlrohren, wie die  $\Delta F_v$ -t-Linien in Bild 5, Beilage 5, und die Tabelle 3, Beilage 6, zeigen.

Beim Nachspannen nach 24 Stunden wurde bei wesentlich größerer Streuung der Ergebnisse (4,4 % bis 13,9 %) eine Verbesserung der Vorspannung im Mittel von 8 % (gegenüber 6,4 % bei G 7.1) erreicht, das Nachspannen mit  $M_A = 60$  Nm nach 28 Tagen brachte im Mittel 2,3 % Vorspannungsverbesserung. Durch das Nachspannen mit  $M_A = 50$  Nm wurde erreicht, daß nach 3 Tagen  $\Delta F_v$  mit 16,7 % dem  $\Delta F_v$  nach 24 Std. mit 16,1 % entsprach.

#### 4.3 Versuchsgruppe G1

Die Kupplungen der Gruppe G1, 5 ungebrauchte Kupplungen des Fabrikats L, wurden auch in den Pausen mit entspannten Schrauben in der Prüfhalle neben dem Versuchsstand gelagert, Temperatur und Luftfeuchtigkeit lagen mit geringen Schwankungen über die gesamte Dauer der Versuche im Mittel bei 20°C und 40 bis 60 % rel. Luftfeuchtigkeit.

Der Versuchsablauf ist in Bild 6, Beilage 7, dargestellt. Neben dem Flußdiagramm mit den Angaben der Zeitabschnitte mit vorgespannten und entspannten Schrauben und der fortlaufenden Nummerierung der Spannvorgänge sind die Bezeichnungen der Diagramme mit den Versuchsergebnissen aufgeführt.

Die Ergebnisse der Dehnungsmessungen an den Schrauben sind, ausgewertet als  $\Delta F_v$ -t-Linien in den Diagrammen der Bilder 7 bis 19, Beilagen 8 bis 12, dargestellt.

Das Bild 7, Beilage 8, zeigt den Vorspannungsverlust nach dem erstmaligen Vorspannen (G1 01) der 10 Schrauben in 5 Kupplungen mit  $M_A = 50$  Nm vom 23.02.1989 bis 24.02.1989 über  $t = 18^h 25'$ .

Der Vorspannverlust betrug in dieser Zeit  $t$  im Mittel  $\Delta \bar{F}_v = 22 \%$  von der Anfangsvorspannung  $F_v$  ( $t = 0$ ) und lag zwischen  $15,6 \%$  und  $31,7 \%$ .

Die Schrauben wurden entspannt und dann nach 5 Stunden erneut vorgespannt (2. Vorspannung G1 02). Beim 2. Vorspannen der Schrauben (G1 02) mit  $M_A = 50 \text{ Nm}$  wurden nicht die gleichen Vorspannkraftreichte erreicht, wie beim 1. Vorspannen (G1 01). Auf die gleiche Meßbasis bezogen lagen die erzielten Vorspannkraftreichte  $F_v$   $31,7 \%$  niedriger und bis  $10 \%$  höher als beim 1. Vorspannen G1 01, im Mittel  $3,7 \%$  niedriger.

Nach rd. 4,5 Wochen betrug die Vorspannungsverluste, bezogen auf die Werte des 1. Vorspannens,  $44,4 \%$  bis  $13,3 \%$ , im Mittel  $21 \%$ .

Im Bild 8, Beilage 8, ist die gleiche Darstellung für den 3. und 4. Vorspannungsvorgang (G1 11, G1 12) gewählt. Streuung und Vorspannungsverluste sind hier (mit den gleichen Kupplungen und Schrauben nach 6,5 Wochen Ruhepause) wesentlich geringer,  $20,1 \%$  bis  $10,6 \%$  im Mittel  $15,0 \%$  nach 6,5 Wochen.

Einen anderen Einblick in den Ablauf des Vorspannungsverlustes ergibt die Darstellung in den Bildern 9 bis 19, Beilagen 9 bis 12. Hier sind als Bezugswerte die Vorspannkraftreichte des jeweiligen Vorspannungsvorgangs gewählt worden. Es zeigt sich, daß nur beim 1. Vorspannen (G1 01) eine sehr große Streuung der Vorspannungsverluste zu verzeichnen ist und daß beim wiederholten Vorspannen die Vorspannungsverluste etwas abklingen.

In der Tabelle 4, Beilagen 13 und 14, sind die mit  $M_A = 50 \text{ Nm}$  erzielten Anfangsvorspannungen  $F_v$  ( $t = 0$ ) [kN] und die Vorspannungsverluste  $\Delta F_v$  ( $t = n$ ) [%] zu verschiedenen Zeitpunkten mit deren Streubreiten (min und max) und dem jeweiligen Mittelwert  $\bar{x}$  aus den Werten der 10 Schrauben aufgeführt, im Bild 20, Beilage 15, sind die erzielten Anfangsvorspannungen von der 1. bis zur 11. Vorspannung grafisch dargestellt. Nach der 6. Vorspannung wurden die 5 Schrauben mit geraden Nummern nicht mehr vor jedem

neuen Vorspannen geputzt, die Gewindegänge der Schrauben mit ungeraden Nummern wurden weiterhin vor jedem Vorspannen mit einer leicht gefetteten Bürste gereinigt. Die Mittelwerte der erzielten Vorspannung von diesen Teilmengen sind in der Grafik ebenfalls eingetragen. Der Einfluß der Reinigung der Gewinde vor dem Vorspannen wird hier deutlich erkennbar.

Im Bild 21, Beilage 16, sind die Mittelwerte der Vorspannungsverluste  $\Delta\bar{F}_v$  (%) für 1 Minute bis 30 Tage nach dem Vorspannen dargestellt. Es zeigt sich, daß der anfänglich starke Vorspannungsverlust nach jedem Spannvorgang mit nahezu gleicher Tendenz abklingt, jedoch von der 1 bis zur 9. Vorspannung kleiner wird (nach 45 Min. von 19,5 % bis 7,5 %, nach 30 Tagen von 19 % bis 13,5 %).

#### 4.4 Versuchsgruppe G3

Die Versuchsgruppe G3, ungebrauchte Kupplungen des Fabrikats L, wurde parallel zur Gruppe G1 vorgespannt und entspannt. In den Ruhepausen wurden die Schrauben wie bei G1 in der Halle neben dem Versuchsstand gelagert, während die Kupplungen im Freien der Witterung ausgesetzt wurden.

Bild 22, Beilage 17, zeigt den Versuchsablauf, die Bilder 23 bis 36, Beilagen 18 bis 22, die Vorspannungsverluste in Abhängigkeit von der Zeit ( $\Delta F_v$ -t-Linien). In der Tabelle 5, Beilagen 23 und 24, sind die mit  $M_A = 50$  Nm erzielten Vorspannkkräfte der einzelnen Schrauben und die Vorspannungsverluste nach unterschiedlichen Zeitabschnitten eingetragen.

Die Mittelwerte und Spannweiten der erzielten Vorspannkkräfte sind in Bild 37, Beilage 25, grafisch dargestellt. Auch hier ist der Einfluß der Reinigung der Schraubengewinde vor dem Vorspannen der Schrauben deutlich zu erkennen.

Das Bild 38, Beilage 26, zeigt wie Bild 21, Beilage 16, für die Gruppe G1, bei der Gruppe G3 die gleiche Tendenz der kleineren

Vorspannungsverluste mit steigender Anzahl der Vorspannvorgänge und der gleichen Tendenz des Abklingens von  $\Delta F_v$  mit der Zeit.

Vergleicht man die Ergebnisse von G1 und G3 (Bild 39, Beilage 27), so zeigt sich, daß die erreichten Vorspannungen  $F_v$  ( $t = 0$ ) bei der Gruppe G3 nahezu parallel zu den Ergebnissen der Gruppe G1, jedoch um 4,5 % niedriger liegen. Obwohl vom Aussehen her kein gravierender Unterschied zwischen den Kupplungen der Gruppe G1 (Lagerung in den Entspannungspausen in der Halle) und der Gruppe G3 (Lagerung im Freien) zu erkennen ist, hat offenbar doch eine Veränderung der Kontaktflächen zwischen Mutter und Kupplungsschelle bei der Gruppe G3 zu einem größeren Reibungswiderstand und damit zu kleineren Vorspannungen bei gleichem Anziehmoment geführt.

Der Vergleich der Vorspannungsverluste nach 1 Minute bis zu 30 Tagen (Bilder 21 und 38, Beilagen 16 und 26) zeigt im Bild 40, Beilage 28, nahezu identische Kurven.

#### 4.5 Versuchsgruppe G4

Parallel zu den Gruppen G1 und G3 (Fabrikat L) wurden, versetzt um 4 Wochen, die Gruppen G4 und G6 (Fabrikat P) geprüft, d. h. während der Ruhepausen von G1 und G3 waren G4 und G6 vorgespannt und umgekehrt, so daß für alle Versuchsgruppen gleiche Bedingungen gegeben waren.

Den Versuchsablauf von G4 zeigt Bild 41, Beilage 29. Den Verlauf von  $\Delta F_v$  nach der 1. und 2. Vorspannung, bezogen auf die Ausgangswerte von der 1. Vorspannung zeigt Bild 42, Beilage 30. In den Bildern 43 bis 52 sind die  $\Delta F_v$  auf die jeweiligen Anfangswerte  $F_v$  ( $t = 0$ ) bezogen. Die 6. bis 10. Vorspannung wurden mit nur kurzen Pausen nacheinander vorgenommen.

In der Tabelle 6, Beilagen 35 und 36, sind die Anfangsvorspannungen  $F_v$  ( $t = 0$ ) [kN] und einige ausgewählte  $\Delta F_v$  ( $t = n$ ) [%] aufgeführt.

In Bild 53, Beilage 37, sind die  $F_v$  ( $t = 0$ ) von der 1. bis zur 10. Vorspannung grafisch dargestellt. Dabei zeigt sich ein auffallender Unterschied zu den Ergebnissen von dem Fabrikat L. Sowohl geputzte wie ungeputzte Gewinde ergaben leicht ansteigende Vorspannungswerte mit wachsender Anzahl der Vorspannvorgänge nach der 3. bzw. 4. Vorspannung.

Der prozentuale Spannungsabfall  $\Delta F_v$  zeigt dagegen die gleichen Tendenzen bei zunehmender Zeit und die Verringerung des Vorspannungsverlustes mit zunehmender Anzahl der Vorspannvorgänge, wie die Darstellung der Versuchsergebnisse in Bild 54, Beilage 38 zeigt.

#### 4.6 Versuchsgruppe G6

Bei der Gruppe G6 (Fabrikat P, Pausen mit entspannten Schrauben im Freien) sind keine gravierenden Unterschiede zu dem Ergebnissen der Gruppe G4 zu erkennen, wie die Beilagen 40 bis 49, zeigen. Die z. T. ansteigenden  $F_v$  ( $t = 0$ ) mit wachsender Anzahl der Vorspannvorgänge (Beilage 47) kann auf eine günstigere Form der Kontaktfläche zwischen Kupplungsschelle und Schraubenmutter-Rand beim Fabrikat P gegenüber Fabrikat L zurückgeführt werden. An den gegabelten Enden der Kupplungsschellen vom Fabrikat L sind Schleifspuren des beim Vorspannen gedrehten Mutterrandes zu erkennen, die beim Fabrikat P nicht festzustellen sind.

#### 5. Wertung der Ergebnisse

Die im Abschnitt 1 aufgelisteten Fragen lassen sich anhand der Ergebnisse wie folgt beantworten:

- Ein Nachspannen der Schrauben der Kupplungen nach einiger Zeit ist insofern zweifelhaft, als die Haftreibung mit dem Sollanziehmoment von  $M_A = 50 \text{ Nm}$  in der Regel nicht überwunden werden kann. Wird die Haftreibung durch Erhöhung des Anziehmoments überwunden und geht man danach mit dem Anziehmoment

wieder auf die vorgeschriebenen 50 Nm zurück, erzielt man zwar kurzfristig eine Erhöhung der Vorspannkraft, diese Erhöhung wird aber im weiteren zeitlichen Verlauf weitgehend wieder so abgebaut, als wenn das Nachspannen nicht erfolgt wäre.

- Hinsichtlich der Reduzierung der erzielten Vorspannkraft beim wiederholten Anziehen (nach vollständigem Lösen) bestätigen die Ergebnisse für das Kupplungsfabrikat L die Ergebnisse des vorhergehenden Forschungsvorhabens (siehe Abschnitt 1). Der Mittelwert der Vorspannkraft fällt bei der Serie G1 bis zum 11. Vorspannvorgang auf 69 % des Mittelwertes der Vorspannkraft beim ersten Vorspannvorgang. Bei der Serie G3, bei welcher die Kupplungen im Freien gelagert wurden, liegen die Mittelwerte der erzielten Vorspannkraft generell unter den Mittelwerten der Vorspannkraft der Serie G1 (etwa 5 kN). Der Mittelwert der Vorspannkraft fällt bei der Serie G3 bis zum 12. Vorspannvorgang auf 52 % des Mittelwertes der Vorspannkraft beim 2. Vorspannvorgang ab.
  
- Hinsichtlich der erzielten Vorspannkraft bei wiederholtem Anziehen stellen die Ergebnisse für das Fabrikat P gegenüber der generellen Tendenz für 4 Kupplungsfabrikate beim vorhergehenden Forschungsvorhaben eine Ausnahme dar. Der Mittelwert der Vorspannkraft steigt bei der Serie G4 bis zum 10. Vorspannvorgang auf 111 % des Mittelwertes der Vorspannkraft beim 1. Anziehen. Bei der Serie G6, bei welcher die Kupplungen im Freien gelagert wurden, liegen die Mittelwerte der erzielten Vorspannkraft überwiegend im Bereich unter den Mittelwerten der Vorspannkraft der Serie G4. Der Mittelwert der Vorspannkraft fällt bei der Serie G6 bis zum 10. Vorspannvorgang auf 88 % des Mittelwertes der Vorspannkraft beim 3. Anziehen.
  
- Minimalwerte der erzielten Vorspannkraft reichen von ca. 6 kN bei der Serie G3 bis zu 8 kN bei der Serie G6. Im vorhergehenden Forschungsvorhaben wurde ein rechnerischer Ansatz für Kupplungen als zweiseitige Reibverbindung vorgeschlagen:

$$F_R = 2 \cdot 2 \cdot \mu \cdot F_v.$$

Mit  $\mu = 0,25$  erhält man  $F_R = F_v$ . die zu erzielende Rutschlast  $F_R$  entspricht etwa der Vorspannkraft  $F_v$ . Bei einer Nominal-Traglast von Normalkupplungen der Klasse B von 13,5 kN nach den Bau- und Prüfgrundsätzen (15,0 nach DIN EN 74) muß nach dem rechnerischen Ansatz also in den Kupplungen mindestens eine Vorspannkraft von 13,5 kN (15,0kN) erzielt werden. In den Beilagen 15, 25, 27, 37, 47 und 49 ist jeweils die Ordinate  $F_v = 13,5$  kN eingetragen. In allen Versuchsgruppen gibt es danach Ergebnisse  $F_v < 13,5$  kN. Durch das Zurückgehen der Vorspannkraft beim wiederholten Anziehen beim Fabrikat L, sind die Bereiche  $F_v < 13,5$  kN besonders groß.

- Die zeitabhängige Abnahme der Vorspannkraft sowie die zugehörige Streuung der Ergebnisse klingen bei wiederholten Vorspannvorgängen ab, wie Tabelle 8, Beilage 50, und die Bilder 70 und 71, Beilage 51, zeigen. Beim 2. Vorspannvorgang betragen die Mittelwerte der Vorspannungsverluste  $\Delta \bar{F}_v$  nach 30 Tagen bei den Serien G1, G3, G4 und G6 zwischen 19,1 % und 20,9 %. Beim 6. Vorspannvorgang betragen die Mittelwerte der Vorspannungsverluste nach 30 Tagen bei den Serien G1 und G3 noch 13,5 % und 13,6 %, beim 5. Vorspannvorgang bei den Serien G4 und G6 noch 17,7 % und 15,5 %.
- Praxisnahe Versuchsbedingungen bringen keine Verbesserung gegenüber den Ergebnissen des vorhergehenden Forschungsvorhabens. Hinsichtlich der Reduzierung der erzielten Vorspannkraft beim wiederholten Anziehen zeigt sich sogar, daß Lagerung im Freien einen ungünstigen Einfluß hat. Bessere Resultate für das Fabrikat P ergeben sich sowohl bei der Lagerung in der Halle als auch im Freien und zeigen, daß durch geeignete konstruktive Gestaltung der Auflageflächen der Mutter auf der Kupplungsschelle der ungünstige Einfluß wiederholten Anziehens reduziert werden kann. Hinsichtlich der zeitabhängigen Abminderung der Vorspannkraft bringen wiederholte Vorspannvorgänge ein gewisses Abklingen des Verlustes. Hatte das vorhergehende Forschungsvorhaben noch einen mittleren Verlust von 23 % nach 7 Tagen gezeigt (nach dem erstmaligen Anziehen)

ergibt die vorliegende Untersuchung nach dem 2. Vorspannvorgang im Mittel einen Verlust von ca. 20 % nach 30 Tagen, nach dem 5. bzw. 6. Vorspannvorgang noch von ca. 15 %.

- Gebrauchte Kupplungen wurden von den Herstellern nicht zur Verfügung gestellt. Deshalb wurden Kupplungen z. T. künstlich gealtert (vgl. Abschnitt 3). Außerdem brachten die Versuche durch die Lagerung im Freien und das wiederholte Vorspannen eine versuchsbedingte Alterung. In diesem Sinne "gebrauchte Kupplungen" zeigen hinsichtlich der erzielten Vorspannkräfte ungünstigere Werte als "neuwertige" Kupplungen.

Die Untersuchung an 6 Fabrikaten von Normalkupplungen der Klasse B (BB) im vorhergehenden und in diesem Forschungsvorhaben haben 2 Einflüsse aufgezeigt, welche die Traglast (Rutschlast) reduzieren und welche bisher die Bau- und Prüfgrundsätze und DIN EN 74 nicht erfassen.

- Die Vorspannkraft in den Schrauben nimmt zeitabhängig ab, nach dem 1. Vorspannvorgang im Mittel um ca. 22 %, nach wiederholtem Vorspannen noch im Mittel um 15 %. Der Verlust ist bezogen auf die Vorspannkraft unmittelbar nach dem Vorspannen. Der größte Teil dieses Verlustes erfolgte in den ersten Minuten nach dem Vorspannen. Deswegen ist es wichtig, ergänzend zu den Regeln für die Durchführung der Rutschversuche einen Zeitpunkt für den Beginn des Versuchs nach dem Aufbringen der Vorspannkraft einheitlich festzulegen.
- Beim wiederholten Vorspannen der Schrauben wird bei den meisten Kupplungen eine zunehmend geringere Vorspannung in den Schrauben erzielt. Im Mittel wurden Einbußen bis zu etwa einem Drittel der Vorspannkraft, bezogen auf das erste Vorspannen, beobachtet. Nur bei einem Fabrikat war die Einbuße deutlich geringer.

Diese beiden Einflüsse bedingen eine Einbuße an Sicherheit  $\gamma_D$ , die sich als Produkt

$$\gamma_D = \gamma_z \cdot \gamma_w$$

darstellen läßt.

Der Einfluß der Zeitabhängigkeit  $\gamma_z$  kann etwa mit 1,1 angesetzt werden, wenn man berücksichtigt, daß die Rutschlast nicht zur Zeit  $t = 0$  nach dem Vorspannen ermittelt wird.

Der Einfluß des wiederholten Vorspannens  $\gamma_w$  könnte bei Berücksichtigung des Mittelwertes etwa mit 1,3 angegeben werden. Dabei sollte man aber im Auge behalten, daß Einzelwerte erheblich ungünstiger liegen können.

Damit wird

$$\gamma_D = \gamma_z \cdot \gamma_w = 1,1 \cdot 1,3 = 1,43.$$

Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  für die Unsicherheiten auf der Widerstandsseite, der in der Neufassung von DIN 4420 Teil 1, deren Weißdruck z. Z. erstellt wird, mit 1,1 angegeben ist, kann  $\gamma_D = 1,43$  nicht abdecken.

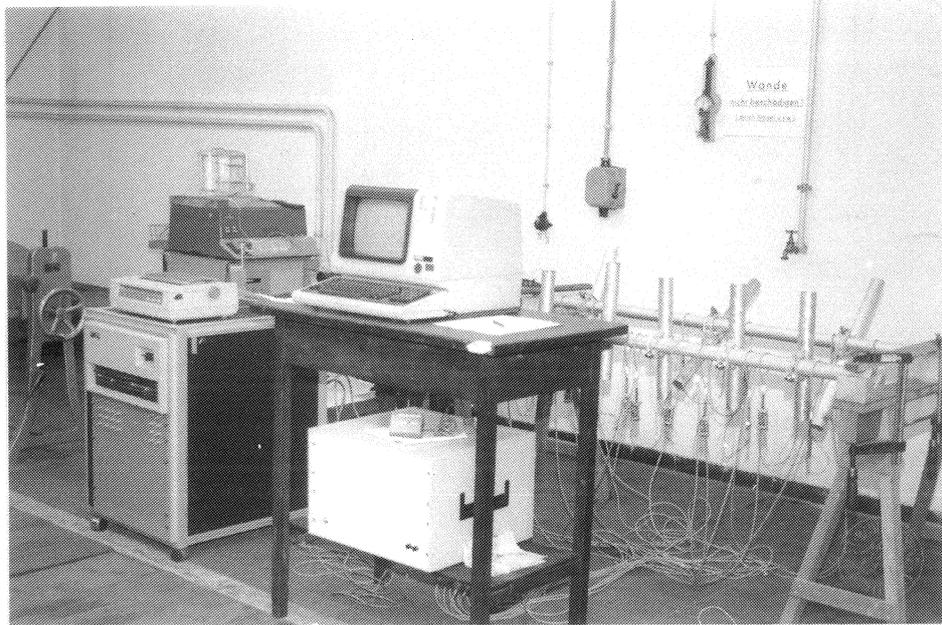
Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$ , der in der Neufassung der genannten Norm mit 1,5 angegeben ist, soll andere Einflüsse auf der Einwirkungsseite abdecken.

Insofern besteht bei der Verwendung von Normalkupplungen ein Sicherheitsdefizit. Daß dieser Sachverhalt noch nicht durch Schadensfälle aufgedeckt wurde, könnte u. a. an folgenden Gründen liegen:

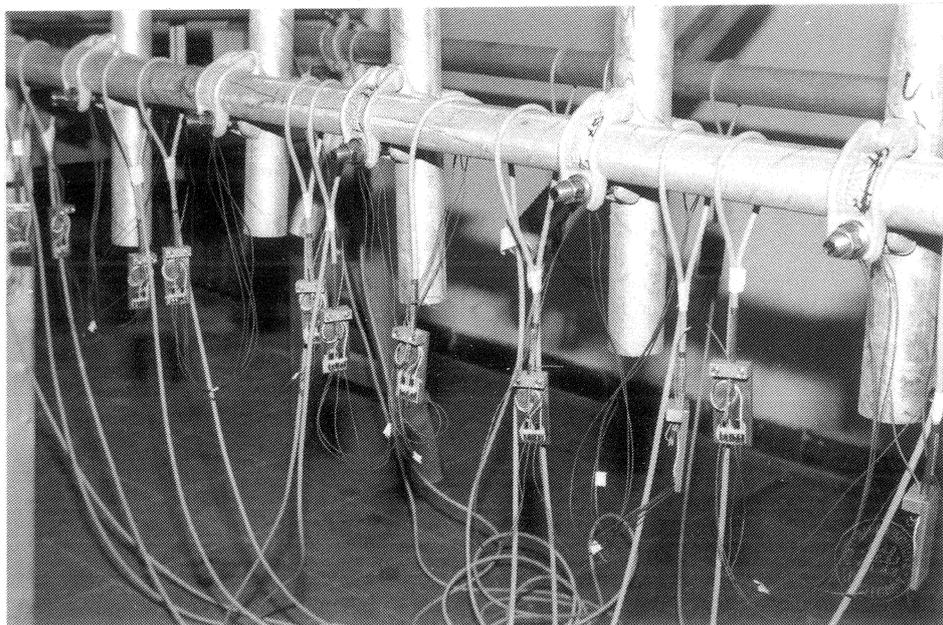
- Manche Kupplungsfabrikate haben einen höheren charakteristischen Wert der Rutschlast als den Nominalwert von 13,5 kN (bzw. 15,0 kN).
- Nicht alle Kupplungen in einem Gerüst sind voll ausgenutzt.
- Bei statisch unbestimmten Gerüstkonstruktionen kann durch Lastumlagerung ein Ausgleich erfolgen.
- Die charakteristischen Werte der Lasten werden nicht immer in voller Höhe erreicht.

Dennoch sollten, um das allgemein geforderte Sicherheitsniveau auch für Kupplungen zu erhalten, folgende Maßnahmen getroffen werden:

- In DIN EN 74 und den Bau- und Prüfgrundsätzen werden zusätzliche Prüfungen aufgenommen, die den Einfluß wiederholten Anziehens untersuchen. Bei wiederholtem Anziehen darf bei Kupplungen keine signifikante Reduzierung der Vorspannkraft auftreten.
- Kupplungen, für welche diese zusätzlichen Prüfungen nicht durchgeführt wurden oder welche sie nicht bestanden haben, dürfen nur unter Berücksichtigung eines erhöhten  $\gamma_M$  verwendet werden.
- Zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Abklingens der Vorspannkraft sollte für Kupplungen generell ein erhöhtes  $\gamma_M$  festgelegt werden.



**Bild 1. Versuchsaufbau zur Ermittlung des zeitabhängigen Vorspannungsabfalls in den Schrauben der Kupplungen mit Vielstellen-Meßanlage**



**Bild 2. Schrauben mit DMS und Kompensations-DMS auf Stahlplättchen**

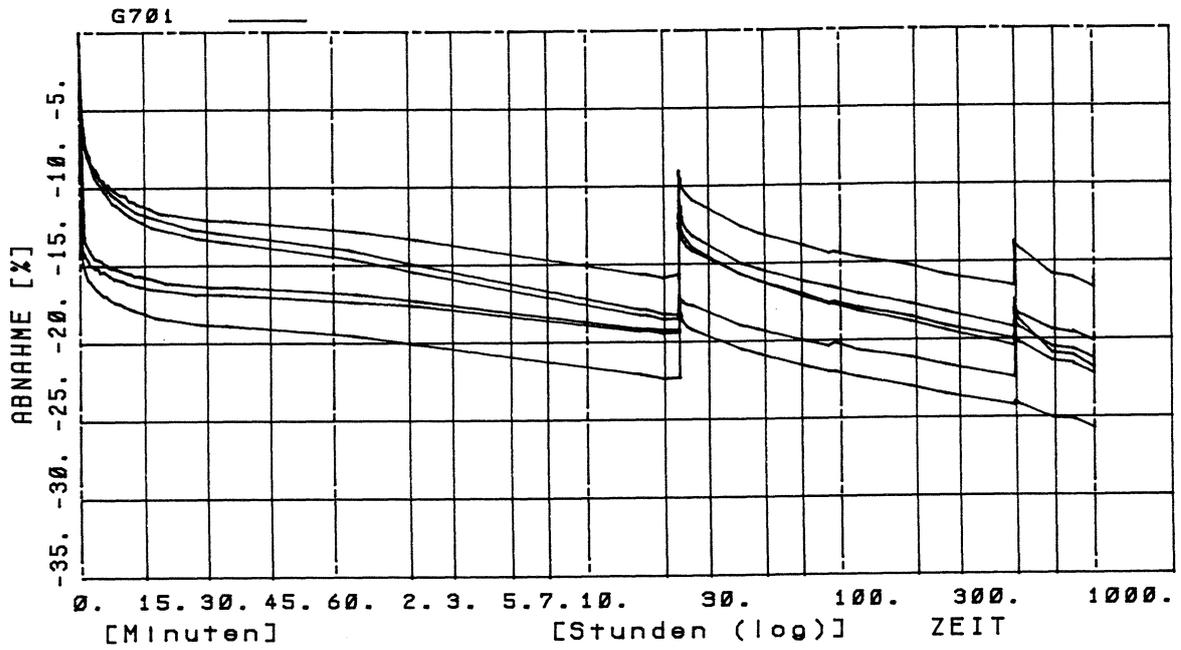


Bild 3. Prozentuale Vorspannungsverluste in den Schrauben der Gruppe G7.1 beim 4-Wochen-Versuch mit ungebrauchten Kupplungen vom Fabrikat L an Stahlrohren  $\varnothing 48,3 \times 4$

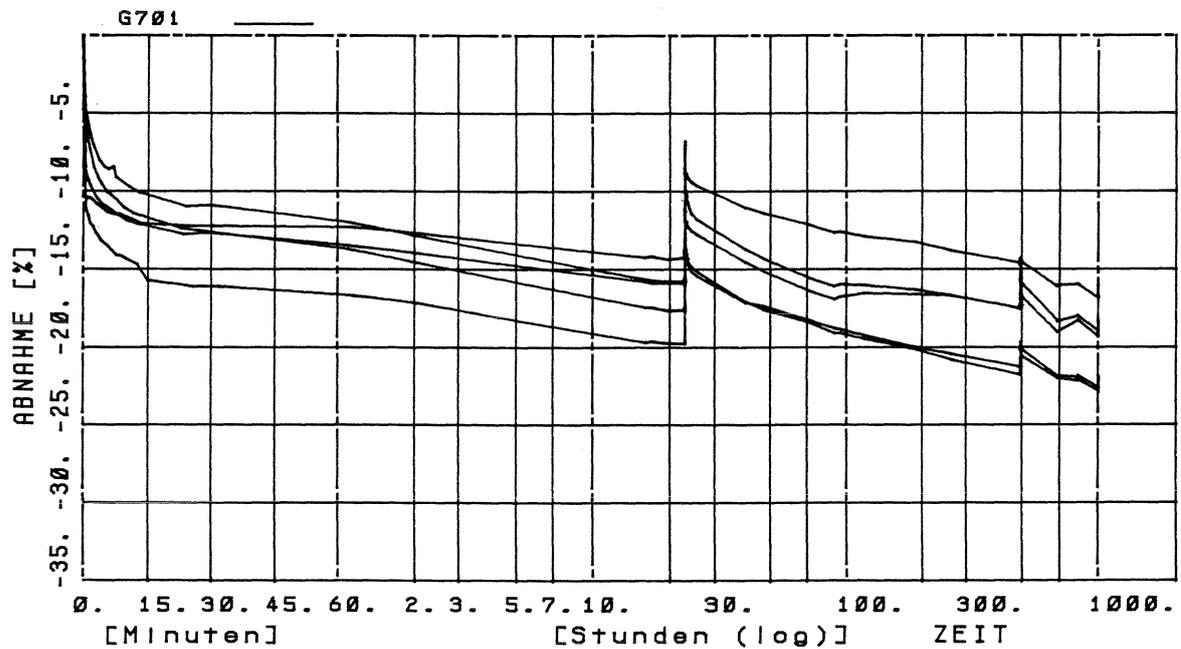


Bild 4. Gruppe G7.2 mit gebrauchten Kupplungen, Fabrikat L an Stahlrohren  $\varnothing 48,3 \times 4$

Tabelle 1. Vorspannungsverluste bei den Schrauben der Gruppe 7.1

4-Wochen-Versuch mit ungebrauchten Kupplungen des  
Fabrikats L an Stahlrohren  $\varnothing 48,3 \times 4$

1	-2	3	4	5	6	7	8	9
Zeile Nr.	Vorspannung [kN] Vorspannungsverlust $\Delta F_v$ nach Zeit t in [%]	Schrauben Nr.:						Mit- tel- wert $\bar{x}$
		1	2	3	4	5	6	
1	1. Vorspannung $F_v$ (t = 0) [kN]	16,8	11,8	15,1	12,7	13,7	13,6	14,0
2	$\Delta F_v$ nach 10' [%]	15,3	10,2	17,4	11,3	15,9	10,8	13,5
3	$\Delta F_v$ nach 33'	16,4	12,2	18,8	13,5	16,8	12,9	15,1
4	$\Delta F_v$ nach 1 <sup>h</sup>	16,9	12,9	19,5	14,6	17,3	14,1	15,9
5	$\Delta F_v$ nach 2 <sup>h</sup>	17,3	13,4	20,0	15,4	17,6	14,9	16,4
6	$\Delta F_v$ nach 24 <sup>h</sup>	19,3	15,7	22,3	18,5	19,3	18,3	18,9
7	nachgespannt mit $M_A = 50$ Nm nach 24 <sup>h</sup> 1)	9,0	9,1	17,3	11,6	10,9	16,9	12,5
8	10' nach dem Vorspannen (auf Zeile 7 bezogen)	2,7	0,8	1,3	1,2	2,3	0,4	1,5
9	$\Delta F_v$ nach 48 <sup>h</sup> 1)	15,3	13,1	20,8	16,1	16,0	19,2	16,8
10	$\Delta F_v$ nach 21 <sup>d</sup>	19,2	16,5	24,2	20,3	19,9	22,4	20,4
11	nachgespannt mit $M_A = 50$ Nm nach 21 Tagen 1)	17,5	13,9	24,1	19,7	18,3	17,8	18,6
12	$\Delta F_v$ nach 42 Tagen	19,6	16,2	25,5	21,5	20,7	21,6	20,9

1) auf Zeile 1 bezogen

Tabelle 2. Vorspannungsverluste bei den Schrauben der Gruppe 7.2

4-Wochen-Versuch mit "gebrauchten" Kupplungen des  
Fabrikats L an Stahlrohren  $\varnothing 48,3 \times 4$

1	- 2	3	4	5	6	7	8
Zeile Nr.	Vorspannung [kN]	Schrauben Nr.:					Mit- tel- wert $\bar{x}$
	Vorspannungsverlust $\Delta F_v$ nach Zeit t in [%]	1	2	3	4	5	
1	1. Vorspannung $F_v$ (t = 0) [kN]	9,8	9,1	7,7	8,3	8,9	8,8
2	$\Delta F_v$ nach 10'	14,3	11,5	9,8	11,9	11,0	11,7
3	$\Delta F_v$ nach 33'	16,1	12,2	10,9	12,7	12,6	12,9
4	$\Delta F_v$ nach 1 <sup>h</sup>	16,7	12,2	11,9	13,6	13,7	13,6
5	$\Delta F_v$ nach 2 <sup>h</sup>	17,1	12,7	12,9	14,0	14,5	14,2
6	$\Delta F_v$ nach 24 <sup>h</sup>	19,8	14,2	15,9	15,8	17,5	16,6
7	nachgespannt mit $M_A = 50$ Nm nach 24 <sup>h</sup>	12,7	6,7	8,8	10,7	13,6	10,5
8	10' nach dem Vorspannen (auf Zeile 7 bezogen)	1,5	2,4	1,6	1,6	0,8	1,6
9	$\Delta F_v$ nach 48 <sup>h</sup>	17,6	11,4	14,3	15,1	17,3	15,1
10	$\Delta F_v$ nach 21 <sup>d</sup>	21,7	14,4	17,4	17,4	21,1	18,4
11	nachgespannt mit $M_A = 50$ Nm nach 21 Tagen	19,7	14,2	15,0	16,6	20,7	17,2
12	$\Delta F_v$ nach 42 <sup>d</sup>	22,1	16,4	18,4	18,6	22,1	19,5

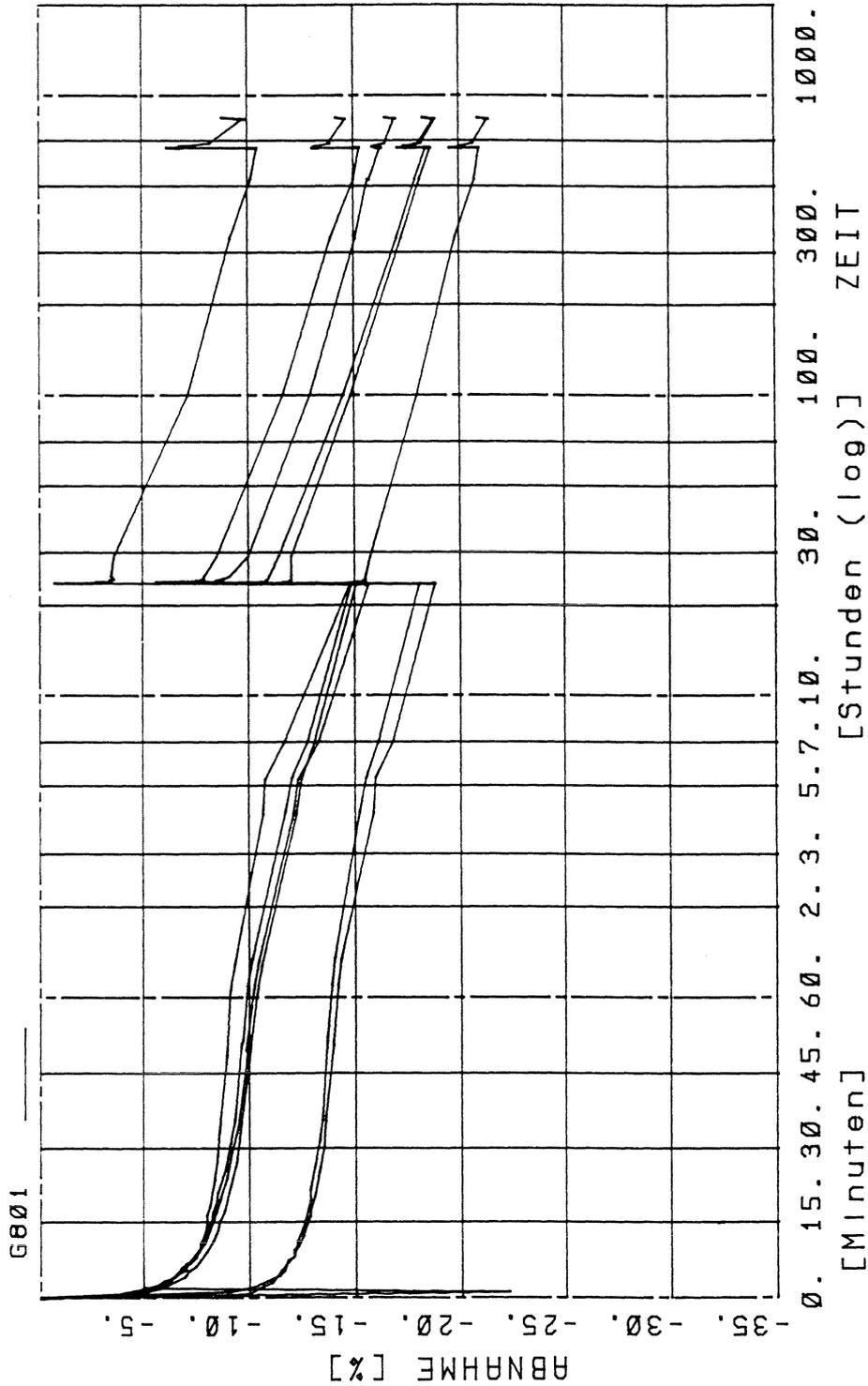


Bild 5. Prozentuale Vorspannungsverluste in den Schrauben der Gruppe G8 beim 4-Wochen-Versuch mit ungebrauchten Kupplungen vom Fabrikat L an Aluminiumrohren (AlMgSi1F28,  $\varnothing$  48,3 x 4)

Tabelle 3. Vorspannungsverluste bei den Schrauben der Gruppe 8

4-Wochen-Versuch mit Kupplungen des Fabrikats L an Aluminiumrohren  
 $\varnothing 48,3 \times 4$

1	-2	3	4	5	6	7	8	9
Zeile Nr.	Vorspannung [kN]	Schrauben Nr.:						Mit- tel- wert $\bar{x}$
	Vorspannungsverlust $\Delta F_v$ nach Zeit t in [%]	1	2	3	4	5	6	
1	1. Vorspannung $F_v$ (t = 0) [kN]	12,2	10,4	11,1	10,7	5,2	17,7	11,2
2	$\Delta F_v$ nach 10' [%]	12,1	7,6	12,2	7,7	7,4	8,0	9,2
3	$\Delta F_v$ nach 15'	12,6	8,1	12,7	8,1	7,8	8,3	9,6
4	$\Delta F_v$ nach 5 <sup>h</sup>	15,5	12,0	16,0	12,3	10,6	12,4	13,1
5	$\Delta F_v$ nach 24 <sup>h</sup>	18,0	14,8	18,9	15,7	14,7	14,8	16,1
6	nachgespannt mit $M_A = 50$ Nm nach 24 <sup>h</sup> 1) [%]	6,5	5,6	14,5	11,1	0,8	10,0	8,1
7	$\Delta F_v$ nach 30 <sup>h</sup> 1)	9,9	8,4	15,7	12,0	3,6	11,3	10,2
8	$\Delta F_v$ nach 102 <sup>h</sup>	12,9	11,6	17,9	14,8	7,6	14,5	13,1
9	$\Delta F_v$ nach 28 <sup>d</sup>	16,2	15,1	21,0	18,6	10,3	18,4	16,6
10	nachgespannt mit $M_A = 60$ Nm nach 28 <sup>d</sup> 1)	16,1	13,0	19,6	17,1	6,1	17,7	14,9
11	$\Delta F_v$ nach 29 <sup>d</sup>	16,5	13,8	20,6	18,1	8,2	18,2	15,9
12	$\Delta F_v$ nach 35 <sup>d</sup>	17,0	14,5	21,4	18,8	10,0	18,8	16,7

1) auf Zeile 1 bezogen

Bezeichnung der zugehörigen Diagramme	Zustand der Schrauben ent- spannt                      n. Vor- spannung	Datum	Zeit- dauer
G1 01		23.02.89 1.	18,5 Std.
G1 02		24.02.89 2.	4,5 Wo.
G1 11		28.03.89 3.	6,5 Wo.
G1 12		11.05.89 4.	40 10 Min.
G1 31		19.06.89 5.	5,5 Wo.
G1 51		01.08.89 6.	6,0 Wo.
G1 61		22.09.89 7.	7,6 Wo.
G1 62		20.11.89 8.	8,0 Wo.
G1 63		20.12.89 9.	4,3 Wo.
G1 64		29.01.90 10.	4,5 Wo.
G1 65		29.01.90 11.	3,5 Std.
G1 65			

Lagerung: in der Halle

in der Halle

Bild 6. Versuchsablauf, Versuchsgruppe G1,  
(Fabrikat L, ungebraucht)

Versuchsgruppe G1 (Fabrikat L, ungebraucht)

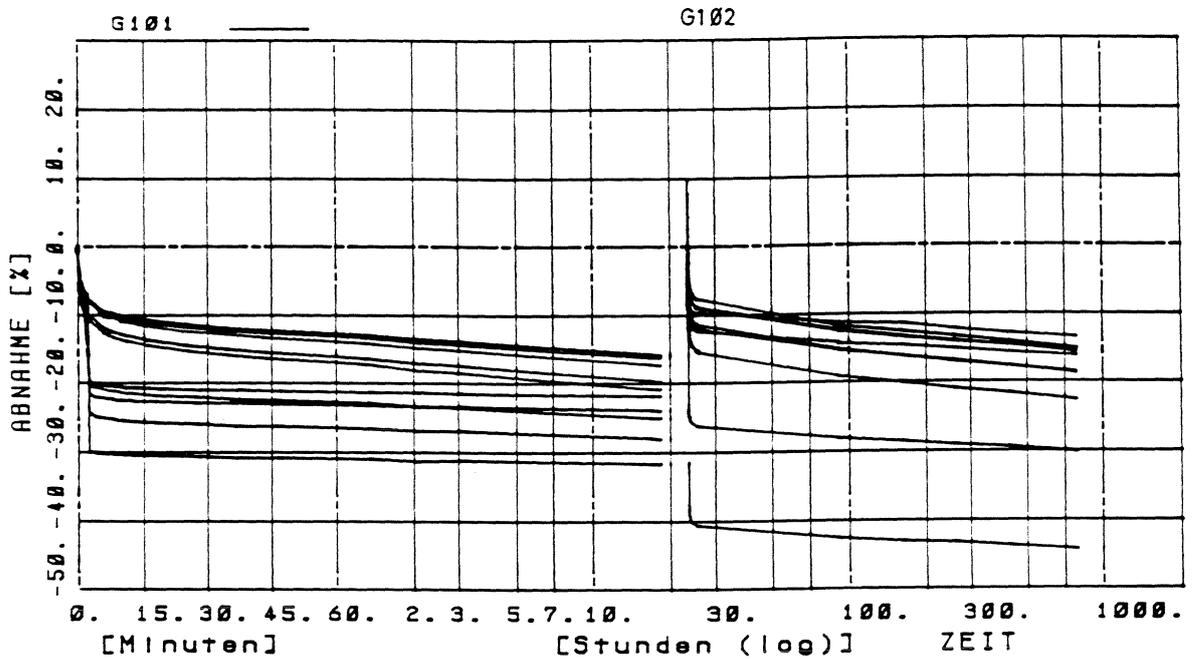


Bild 7. G1 01 und G1 02. 2. Vorspannung G1 02 bezogen auf die  $F_v(t = 0)$ -Werte von G1 01

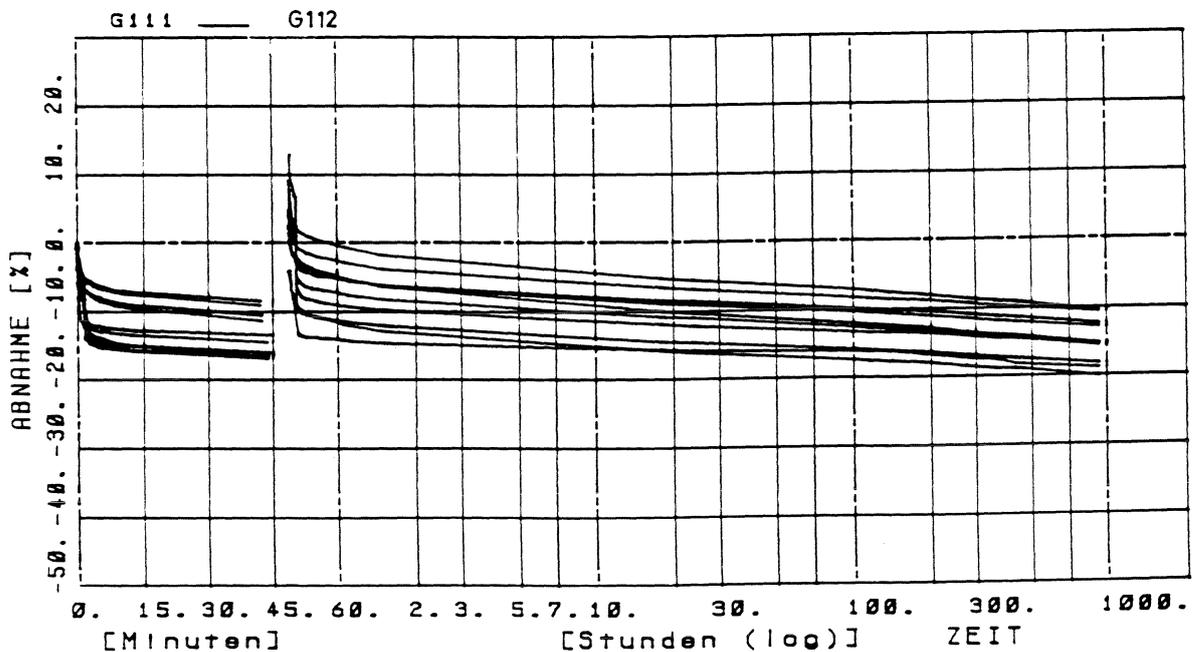


Bild 8. G1 11 und G1 12. 2. Vorspannung G1 12 bezogen auf die  $F_v(t = 0)$ -Werte von G1 11

Versuchsgruppe G1 (Fabrikat L, ungebraucht. Die Meßwerte sind auf die Anfangswerte des jeweiligen Vorspannvorgangs bezogen)

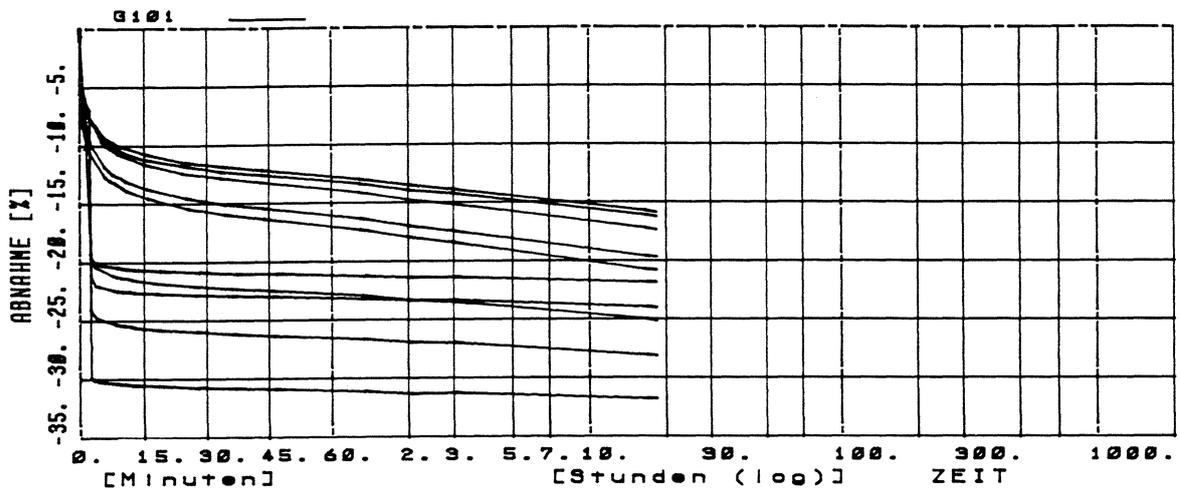


Bild 9. G1 01 (1. Vorspannung)

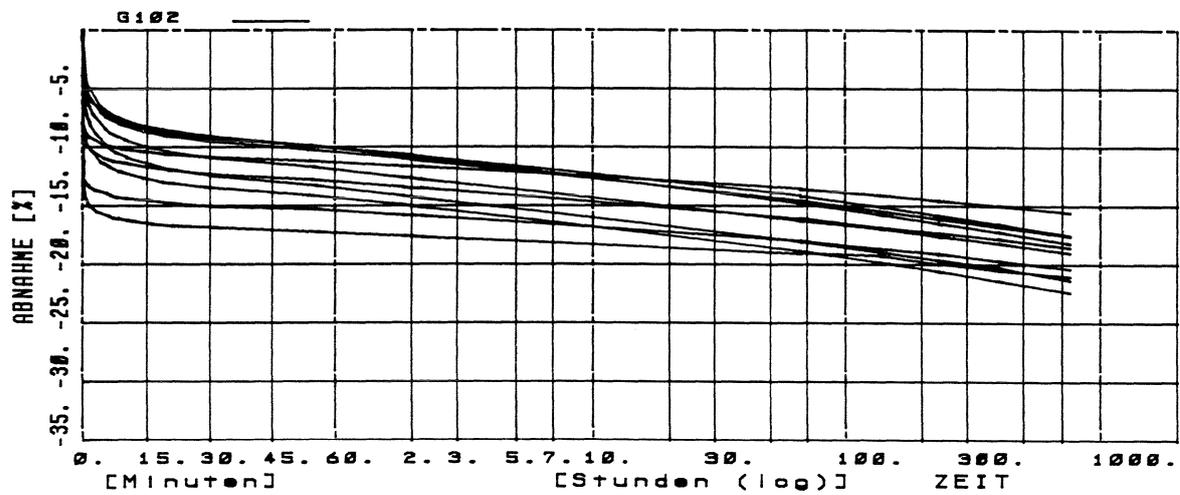


Bild 10. G1 02 (2. Vorspannung)

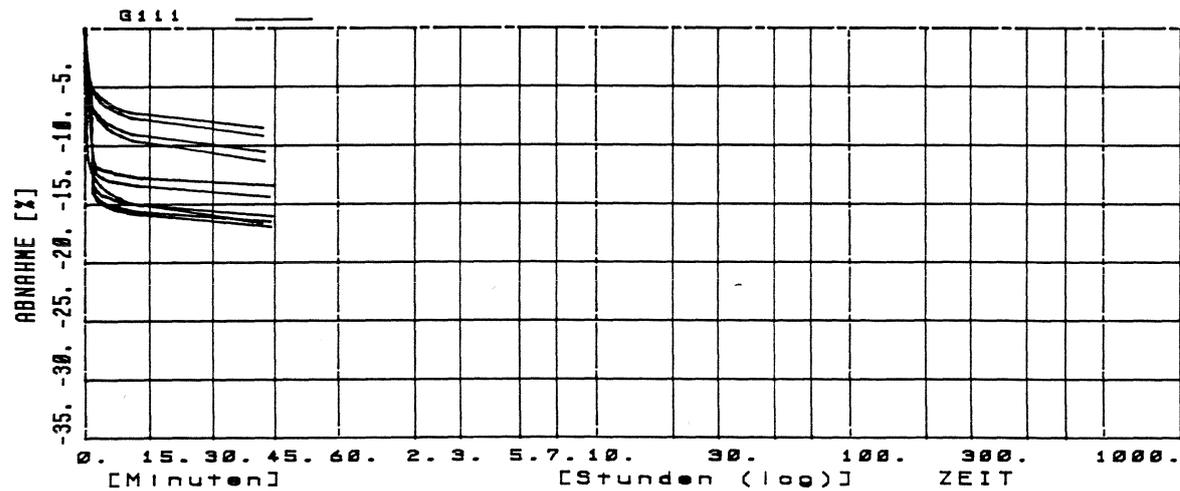


Bild 11. G1 11 (3. Vorspannung)

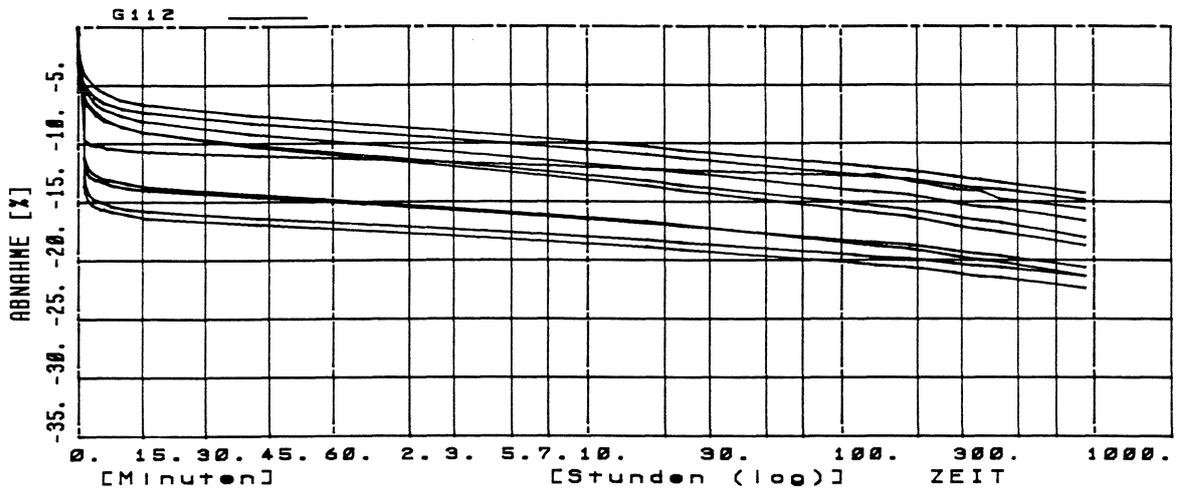


Bild 12. G1 12 (4. Vorspannung)

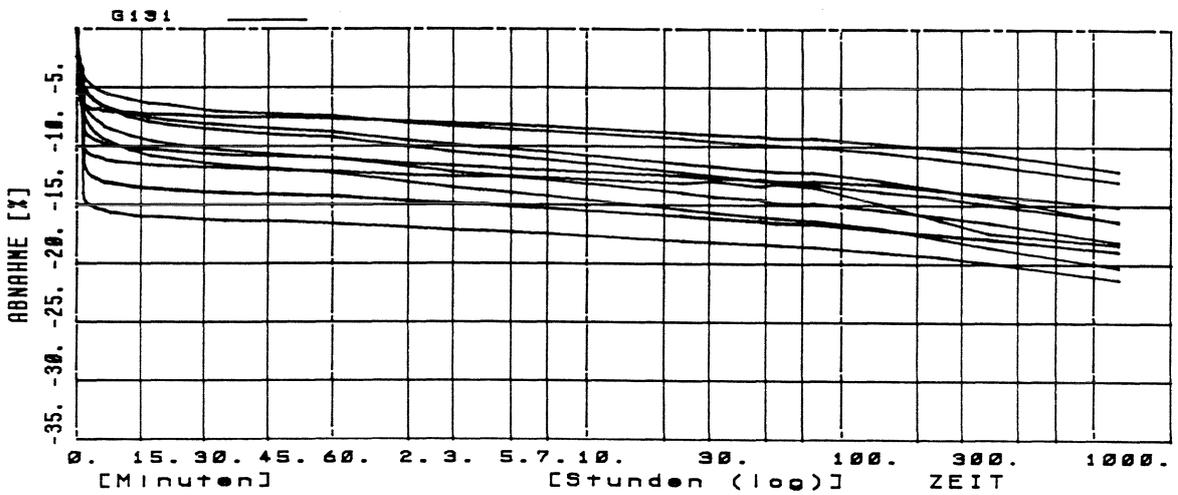


Bild 13. G1 31 (5. Vorspannung)

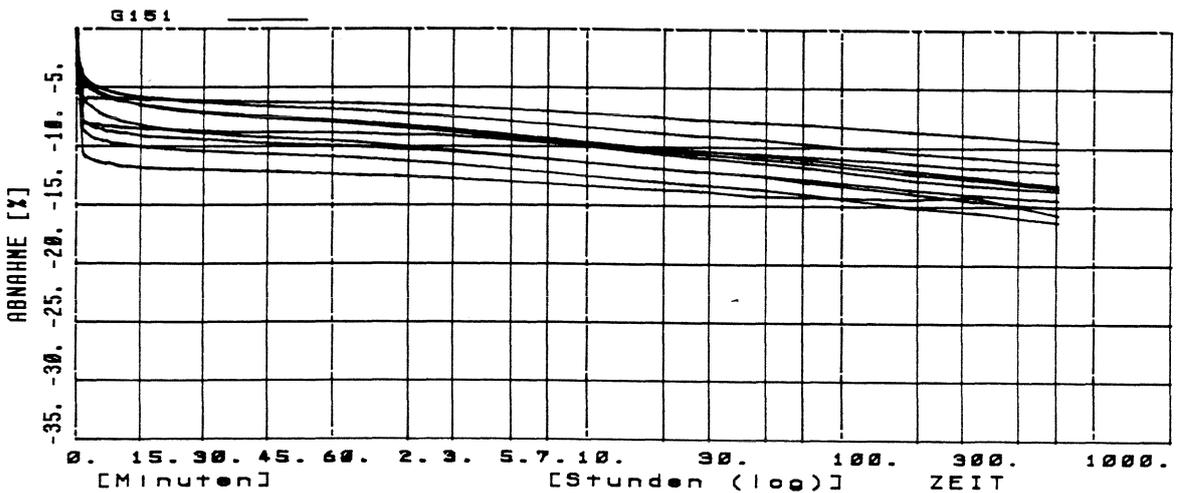


Bild 14. G1 51 (6. Vorspannung)

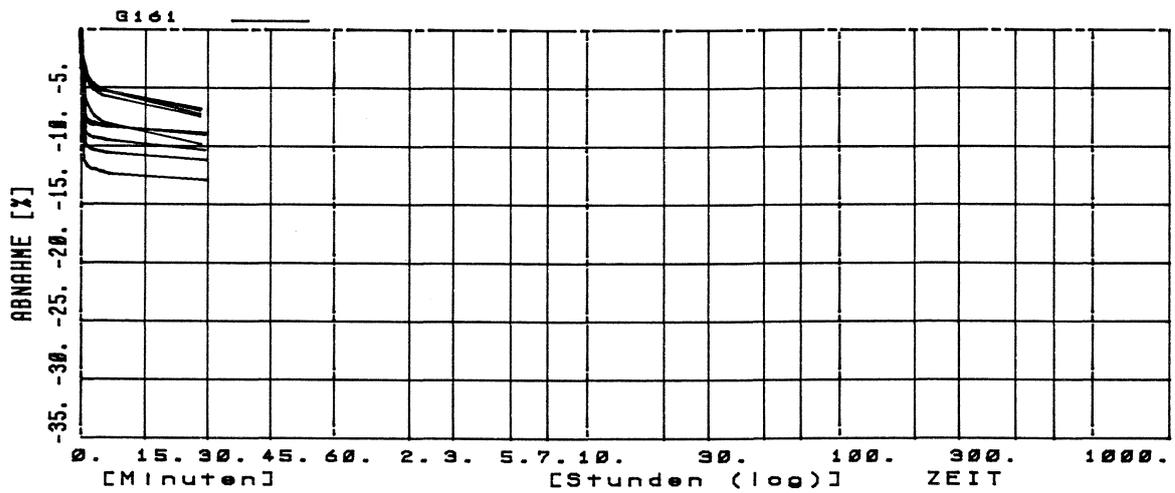


Bild 15. G1 61 (7. Vorspannung)

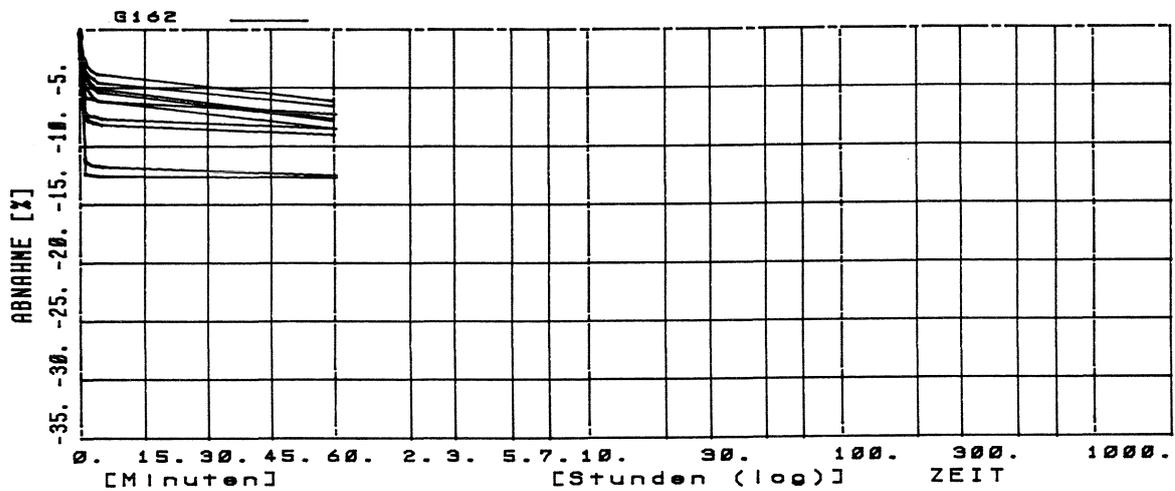


Bild 16. G1 62 (8. Vorspannung)

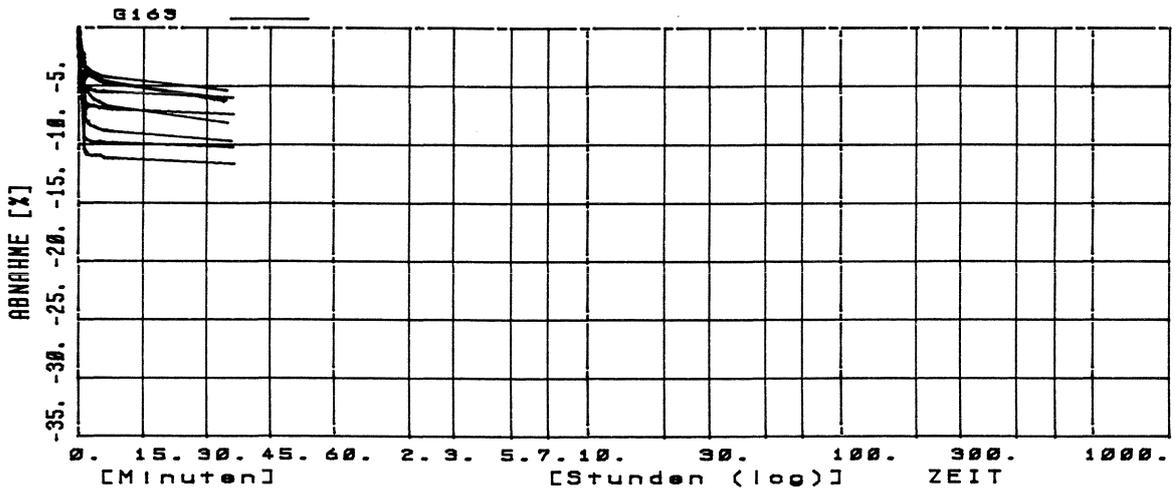


Bild 17. G1 63 (9. Vorspannung)

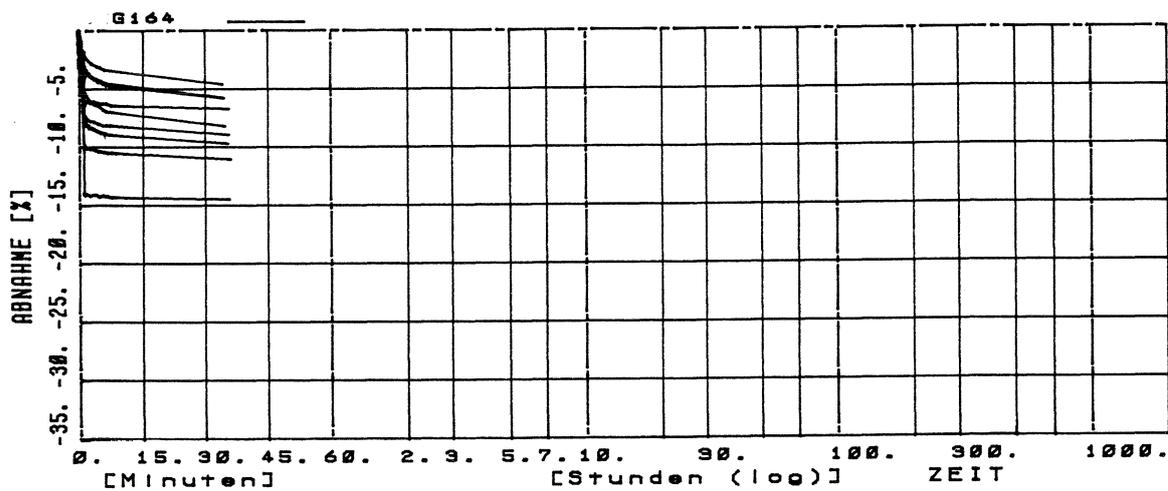


Bild 18. G1 64 (10. Vorspannung)

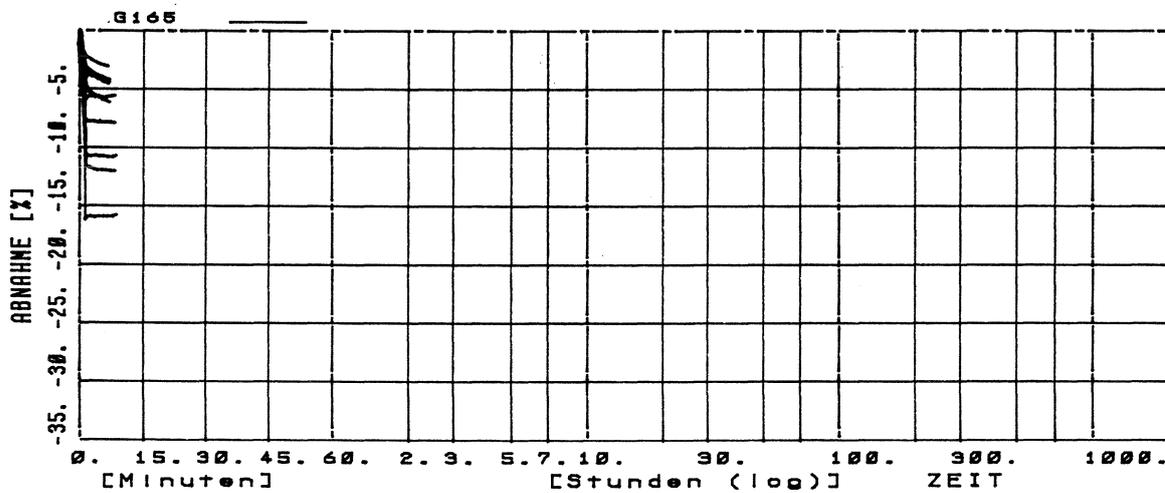


Bild 19. G1 65 (11. Vorspannung)

Tabelle 4. Versuchsgruppe G1.  
Anfangsvorspannungen und Vorspannungsverluste nach unterschiedlicher Dauer der Vorspannung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Versuchs- schritt	Vorspannkraft $F_V$ [kN], $\Delta F_V$ [%]													
	Schraube Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	min	max	$\bar{x}$
G1 01	$F_V (t = 0)$	20,3	21,6	17,2	21,1	18,0	22,5	25,0	21,0	21,5	21,0	17,2	25,0	20,9
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	21,7	19,9	31,5	18,8	27,7	15,1	23,7	15,4	24,4	16,5	15,1	31,5	21,5
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G1 02	$F_V (t = 0)$	22,3	23,3	15,1	22,0	12,3	22,1	24,8	21,5	21,5	20,8	12,3	24,8	20,6
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	17,8	14,9	16,2	13,2	13,9	11,3	12,0	11,6	15,7	11,5	11,3	17,8	13,8
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	21,0	21,2	20,3	18,9	18,5	17,4	15,5	17,4	22,3	18,1	15,5	22,3	19,1
G1 11	$F_V (t = 0)$	20,1	21,2	19,4	21,6	19,1	20,2	19,7	20,9	21,3	23,5	19,1	23,5	20,7
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	12,9	10,4	15,9	11,2	16,4	8,5	16,1	8,9	13,8	16,4	8,5	16,4	13,1
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G1 12	$F_V (t = 0)$	19,3	23,1	19,9	22,5	20,6	21,2	22,2	21,2	22,8	22,6	19,3	23,1	21,5
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	11,9	12,2	16,1	12,5	17,7	10,1	18,2	9,4	16,0	11,3	9,4	18,2	13,5
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	15,2	17,5	20,1	18,2	21,0	14,5	22,0	13,8	20,8	16,1	13,8	22,0	17,9
G1 31	$F_V (t = 0)$	21,1	24,1	20,6	23,0	18,4	22,3	21,4	22,0	20,2	21,5	18,4	24,1	21,5
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	12,8	13,1	17,5	14,5	12,1	8,8	15,4	11,4	8,4	10,7	8,4	17,5	12,5
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	17,7	17,1	20,4	19,2	14,4	12,1	18,3	15,5	11,1	15,1	11,1	20,4	16,1
G1 51	$F_V (t = 0)$	17,6	21,8	17,1	20,6	12,9	21,4	16,5	18,0	17,2	20,6	12,9	21,8	18,4
	$\Delta F_V (t = 12^h)$	13,3	11,2	7,1	8,2	9,8	9,4	11,2	9,8	12,3	9,7	7,1	13,3	10,2
	$\Delta F_V (t = 30^d)$	15,8	15,0	9,5	11,4	12,0	13,1	14,5	13,7	16,3	13,4	9,5	16,3	13,5



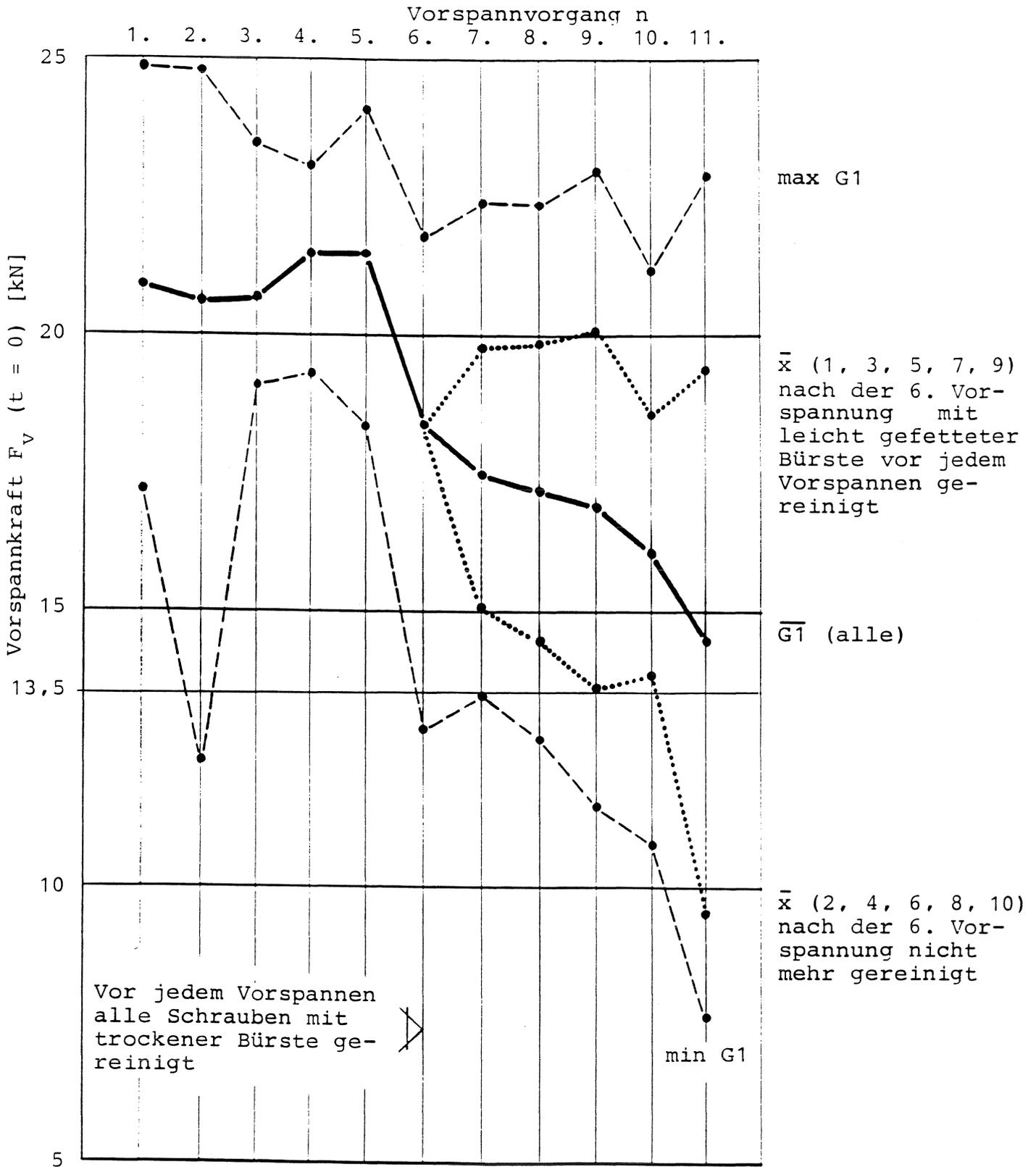


Bild 20. Versuchsgruppe G1 (Fabrikat L)  
Vorspannkraft  $F_V (t = 0)$  bei wiederholter  
Vorspannung der Schrauben

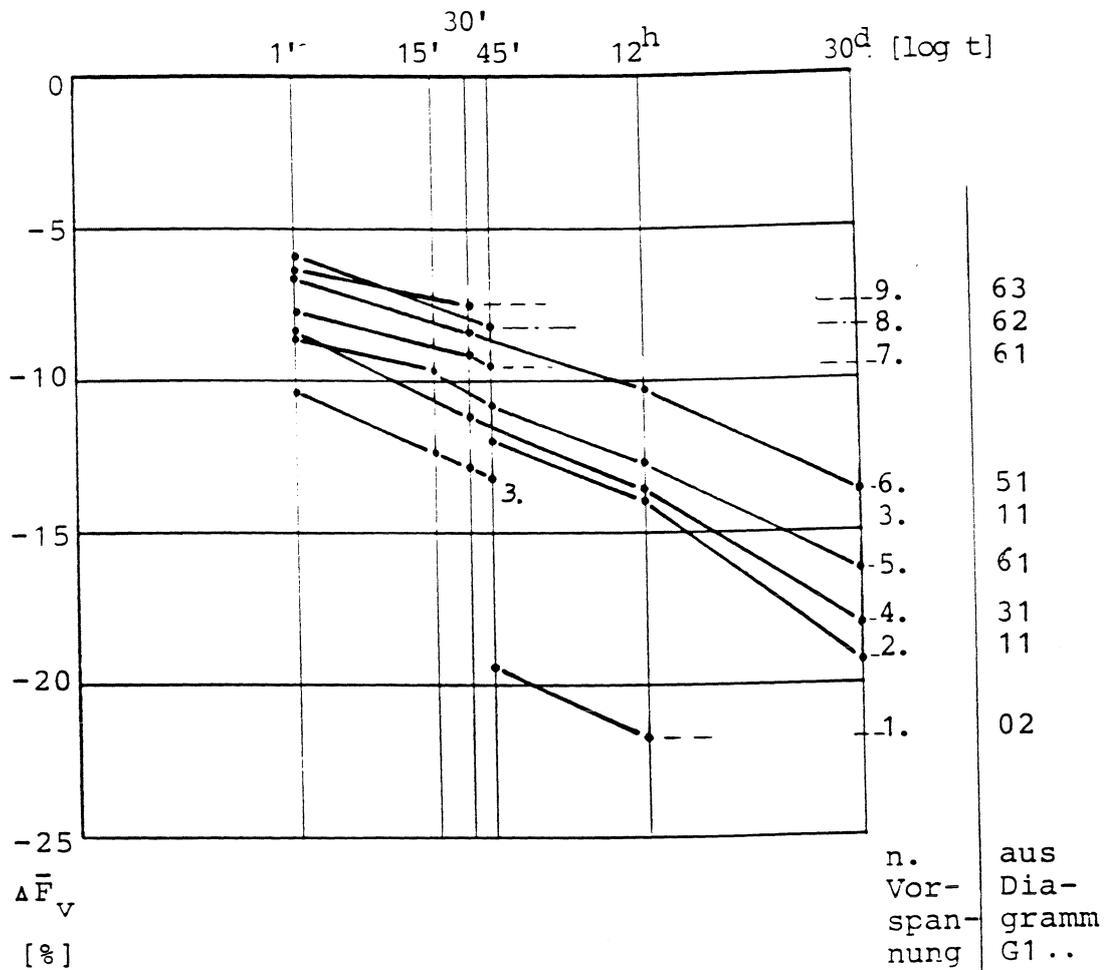


Bild 21. Mittlerer Vorspannungsverlust  $\Delta\bar{F}_v$  in den Schrauben der Gruppe G1 in Abhängigkeit von der Zeit und von der Anzahl n der Vorspannvorgänge

Bezeichnung der zugehörigen Diagramme	Zustand der Schrauben		Datum	Zeit- dauer
	ent- spannt	n. Vor- spannung		
G3 01	[Diagramm]		1. 23.02.89	24 Std.
	[Diagramm]		24.02.89	
G3 02	[Diagramm]		2. 28.03.89	4,5 Wo.
	[Diagramm]			
G3 11	[Diagramm]		3. 11.05.89	10 Min.
	[Diagramm]			
G3 12	[Diagramm]		4. 19.06.89	5,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 31	[Diagramm]		5. 01.08.89	6,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 51	[Diagramm]		6. 22.09.89	7,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 61	[Diagramm]		7. 20.11.89	9,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 62	[Diagramm]		8. 20.12.89	4,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 63	[Diagramm]		9.	5,0 Wo.
	[Diagramm]			
G3 64	[Diagramm]		10.	3 Std.
	[Diagramm]			
G3 65	[Diagramm]		11.	
	[Diagramm]			
G3 66	[Diagramm]		12. 29.01.90	
	[Diagramm]			
Lagerung:	im Freien	in der Halle		

Bild 22. Versuchsablauf, Versuchsgruppe G3,  
(Fabrikat L, ungebraucht)

Versuchsgruppe G3 (Fabrikat L, ungebraucht)

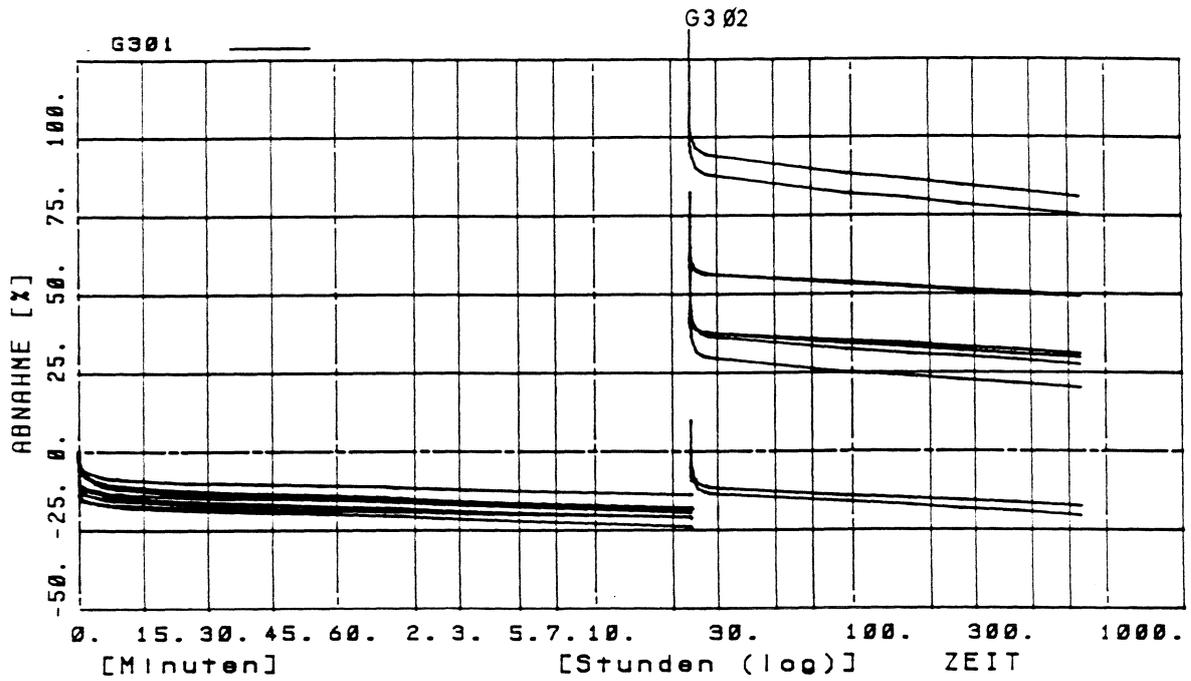


Bild 23. G3 01 und G3 02, bezogen auf die Anfangswerte von G3 01

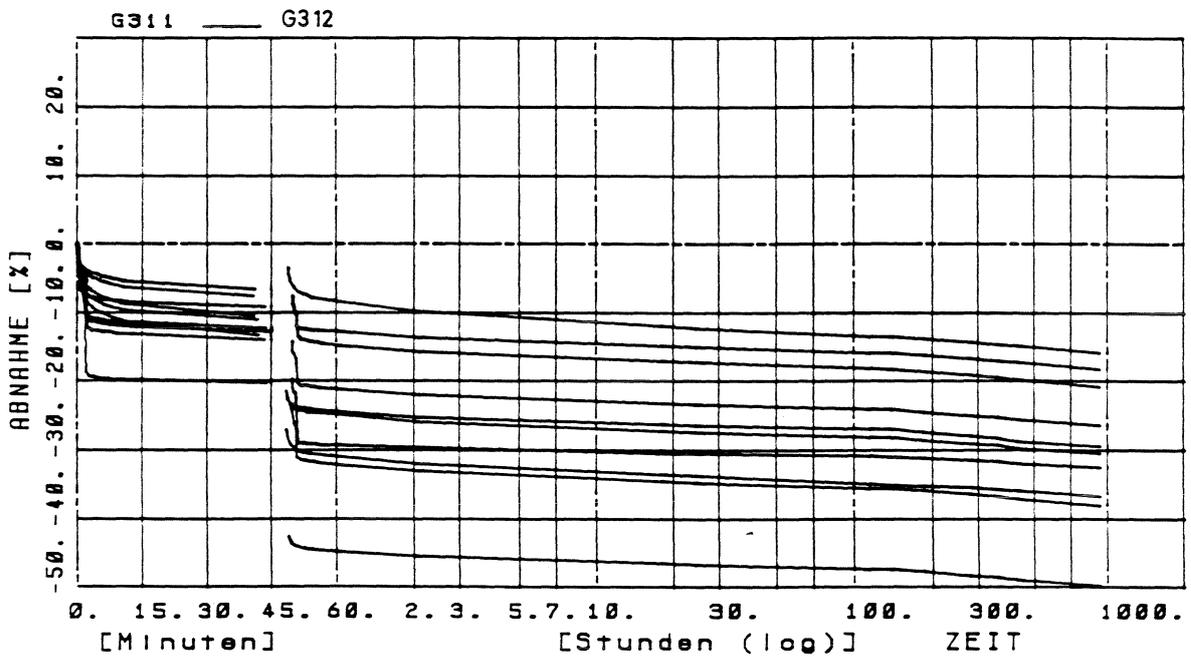


Bild 24. G3 11 und G3 12, bezogen auf die Anfangswerte von G3 11

Versuchsgruppe G3 (Fabrikat L, ungebraucht. Die Meßwerte sind auf die Anfangswerte des jeweiligen Vorspannvorgangs bezogen)

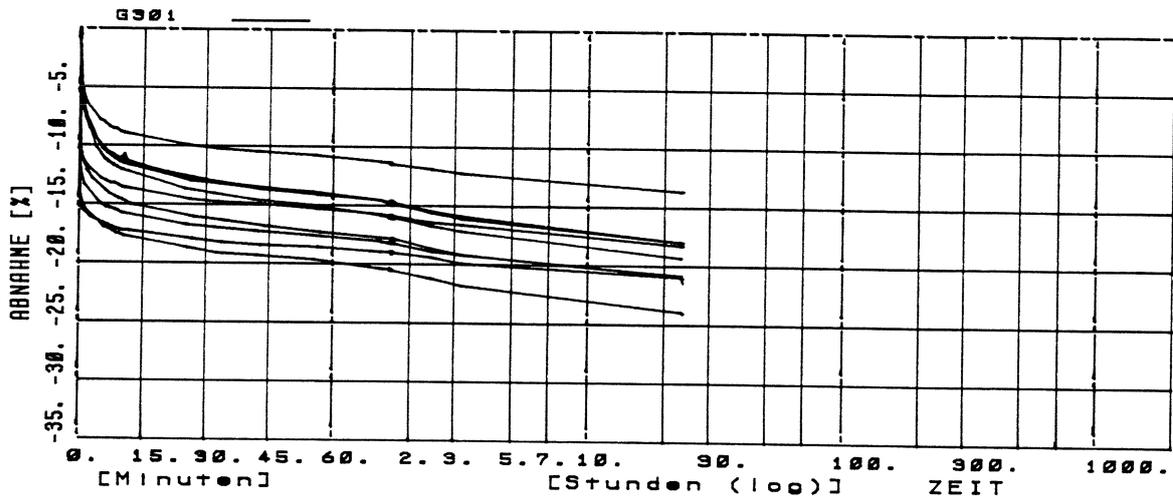


Bild 25. G3 01 (1. Vorspannung)

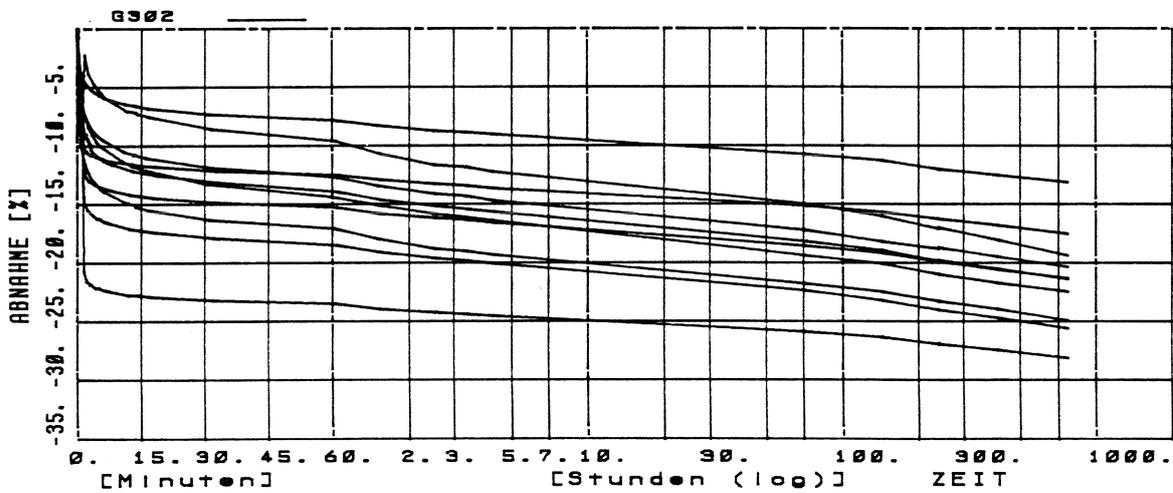


Bild 26. G3 02 (2. Vorspannung)

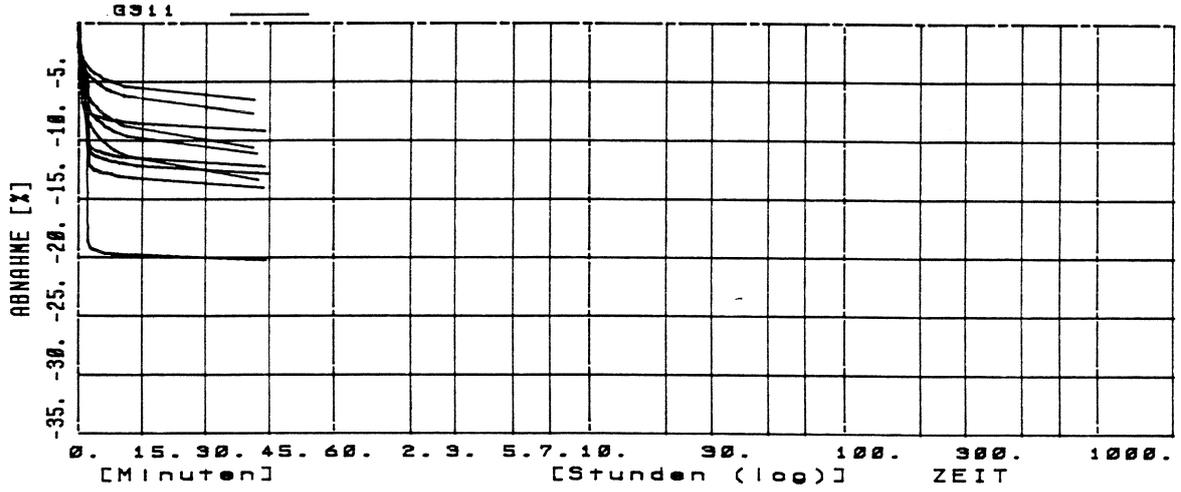


Bild 27. G3 11 (3. Vorspannung)

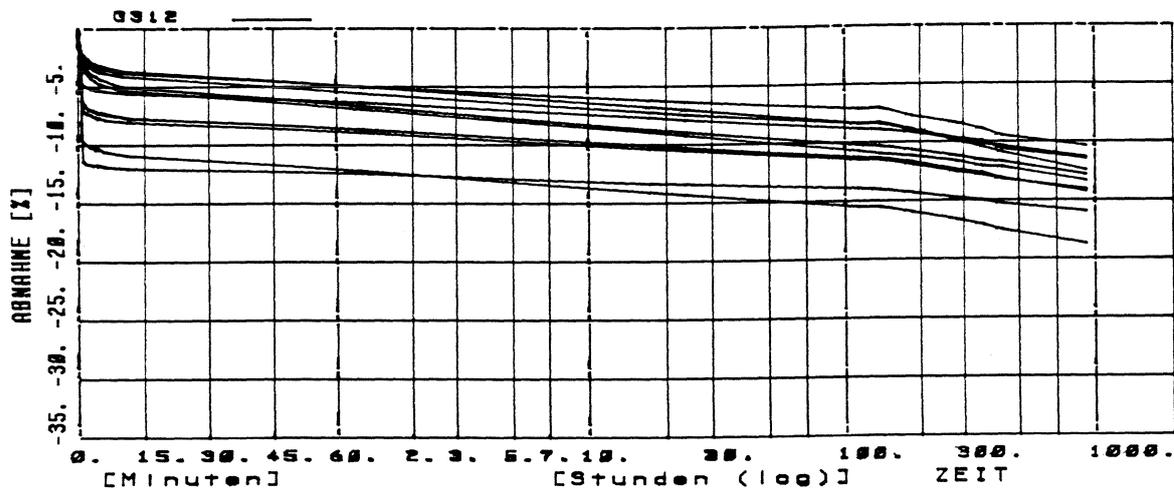


Bild 28. G3 12 (4. Vorspannung)

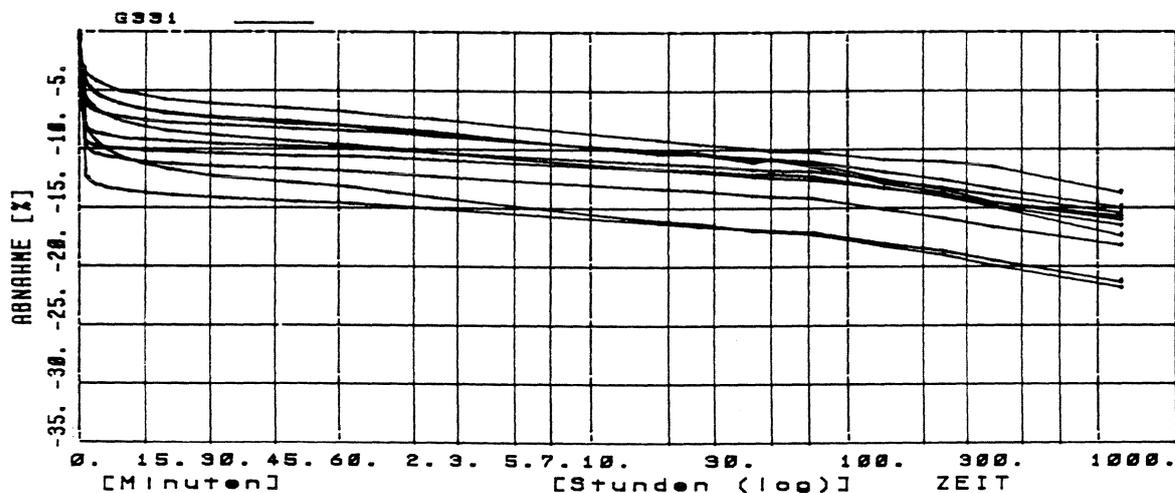


Bild 29. G3 31 (5. Vorspannung)

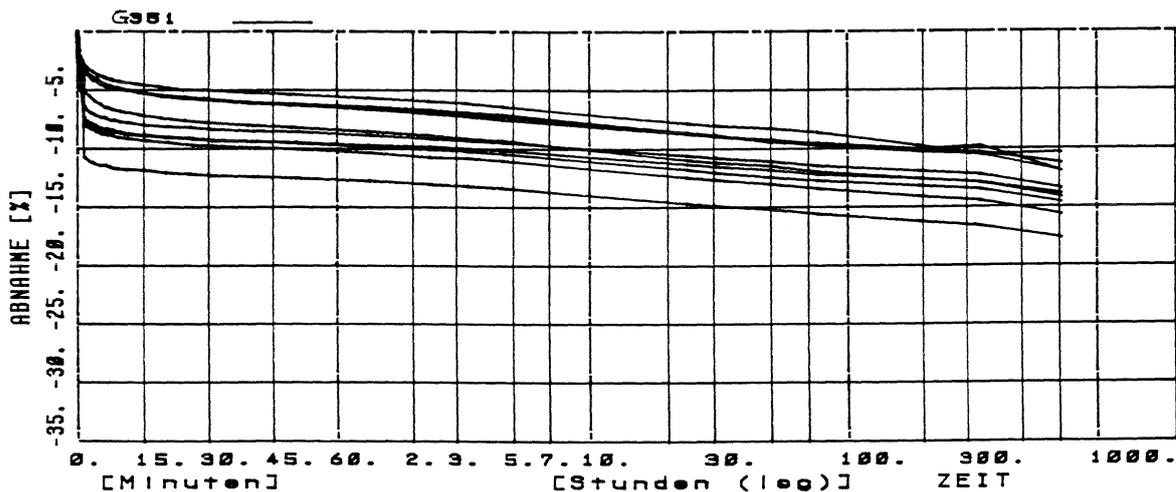


Bild 30. G3 51 (6. Vorspannung)

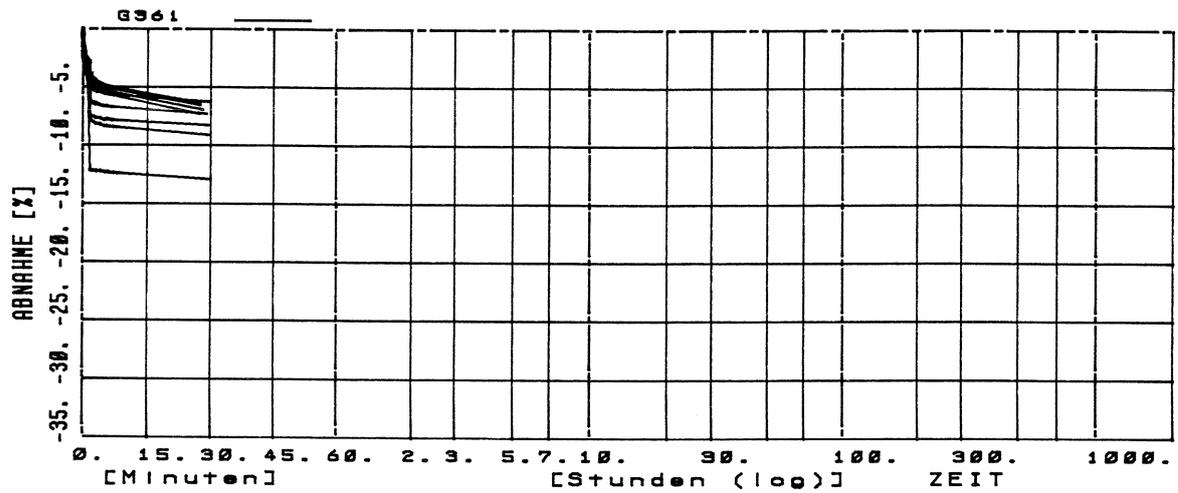


Bild 31. G3 61 (7. Vorspannung)

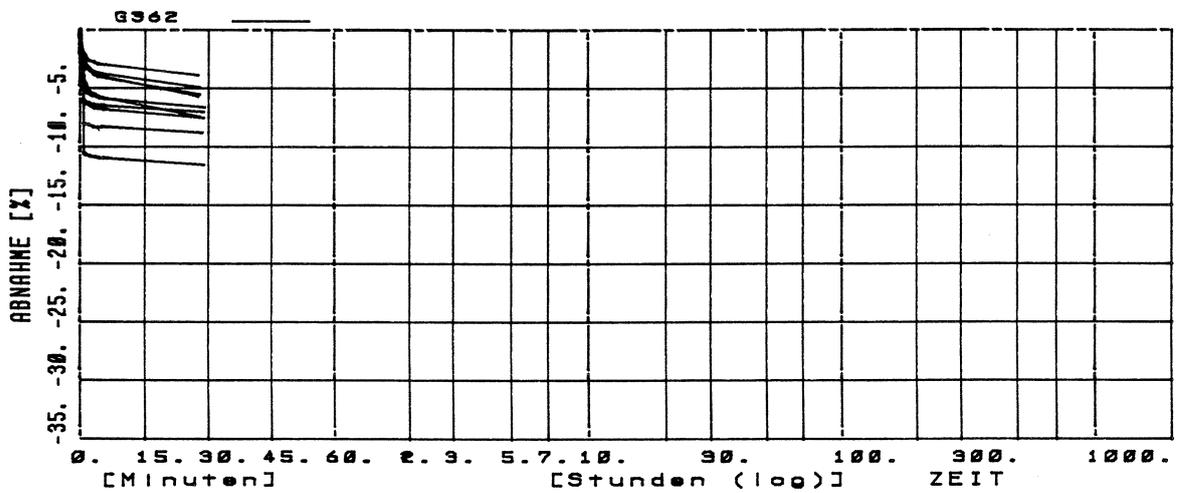


Bild 32. G3 62 (8. Vorspannung)

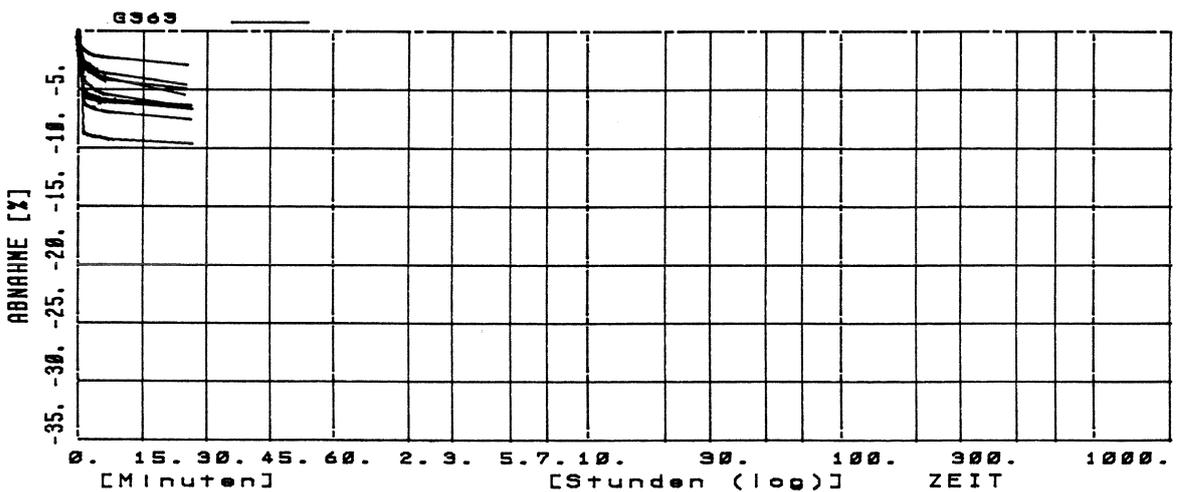


Bild 33. G3 63 (9. Vorspannung)

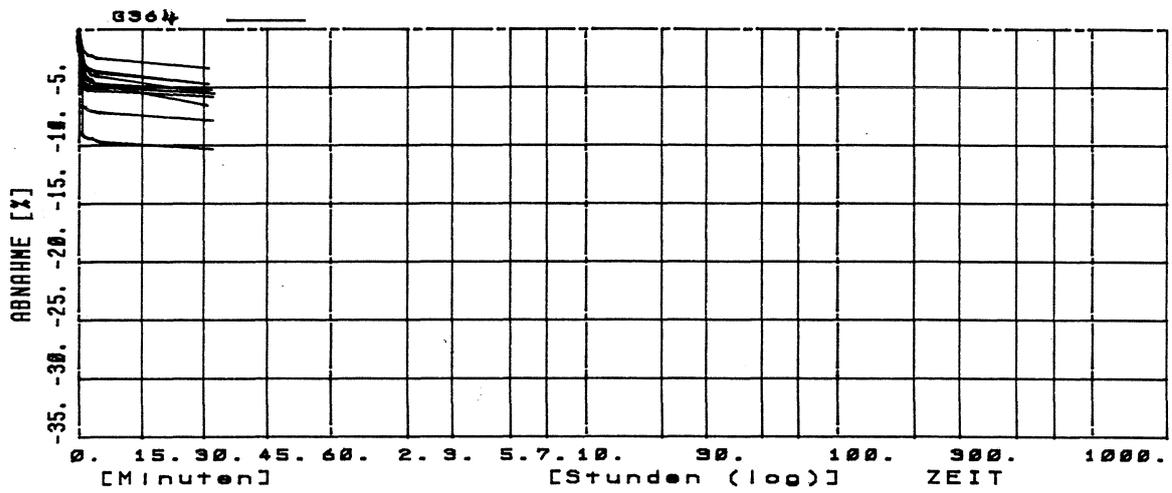


Bild 34. G3 64 (10. Vorspannung)

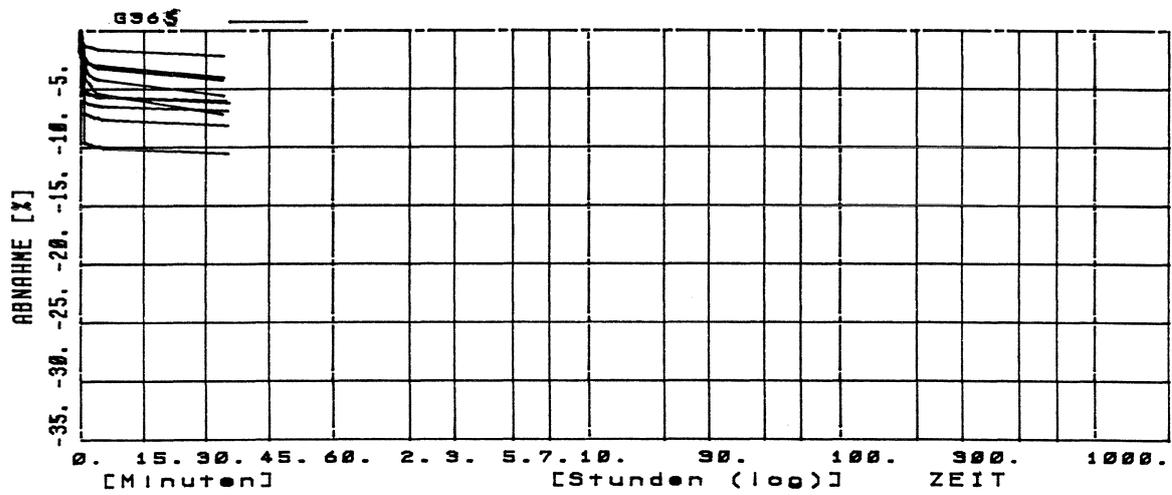


Bild 35. G3 65 (11. Vorspannung)

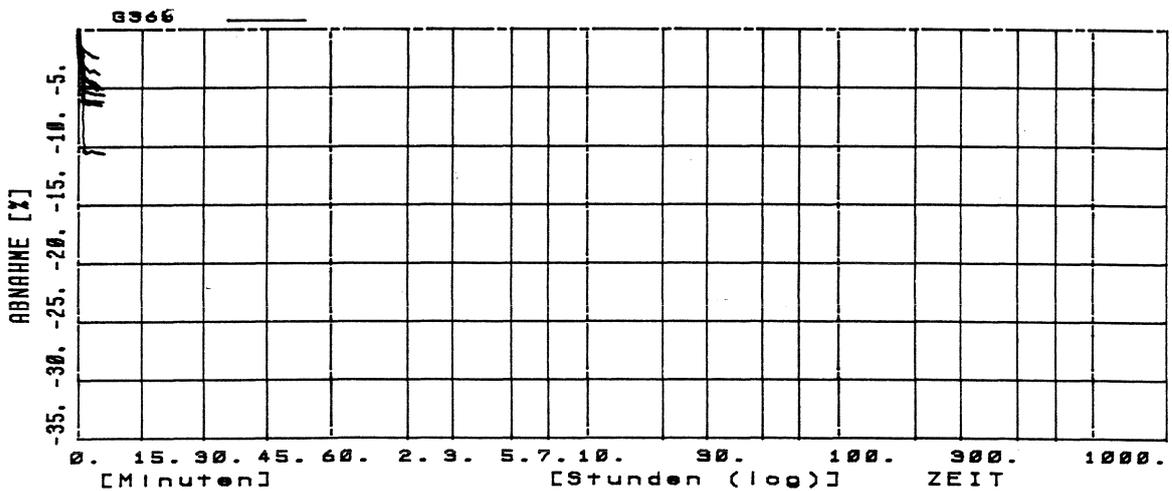


Bild 36. G3 66 (12. Vorspannung)

Tabelle 5. Versuchsgruppe G3.

Anfangsvorspannungen und Vorspannungsverluste nach unterschiedlicher Dauer der Vorspannung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Versuchsschritt n	Vorspannkraft $F_v$ [kN], $\Delta F_v$ [%]													
	Schraube Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	min	max	$\bar{x}$
G3 01	$F_v$ (t = 0)	8,2	7,6	10,8	8,7	12,6	10,8	8,2	12,1	11,6	13,7	7,6	13,7	10,4
	$\Delta F_v$ (t = 12 <sup>h</sup> )	19,9	15,7	20,4	18,0	17,3	12,8	23,0	16,8	19,8	18,1	12,8	23,0	18,2
	$\Delta F_v$ (t =	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G3 02	$F_v$ (t = 0)	18,2	7,5	19,6	9,5	20,7	18,5	19,9	19,4	21,2	21,3	7,5	21,3	17,6
	$\Delta F_v$ (t = 12 <sup>h</sup> )	16,0	12,4	13,8	19,6	16,8	9,2	20,3	15,0	24,7	16,7	9,2	24,7	16,5
	$\Delta F_v$ (t = 30 <sup>d</sup> )	19,7	16,7	16,0	22,7	19,8	12,0	23,8	18,7	26,8	21,0	12,0	26,8	19,7
G3 11	$F_v$ (t = 0)	17,2	14,7	21,3	21,2	20,5	14,4	17,9	15,2	16,7	17,7	14,4	21,3	17,7
	$\Delta F_v$ (t = 45')	12,8	13,4	19,9	11,1	12,2	6,6	9,3	7,6	14,0	7,5	6,6	19,9	11,4
	$\Delta F_v$ (t =	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G3 12	$F_v$ (t = 0)	15,9	8,4	17,1	20,5	17,5	11,3	16,5	11,1	12,7	13,9	8,4	20,5	14,5
	$\Delta F_v$ (t = 12 <sup>h</sup> )	9,6	6,2	13,1	8,0	9,9	5,8	7,2	8,2	13,4	6,7	5,8	13,4	8,8
	$\Delta F_v$ (t =	13,7	11,8	15,7	12,4	13,7	10,0	10,9	12,8	18,2	11,1	10,0	18,2	13,0
G3 31	$F_v$ (t = 0)	18,3	17,9	16,0	18,3	17,3	14,1	15,3	10,4	17,2	13,8	10,4	18,3	15,9
	$\Delta F_v$ (t = 12 <sup>h</sup> )	15,7	15,3	11,4	11,1	12,9	9,6	9,6	8,4	10,8	9,5	8,4	15,7	11,4
	$\Delta F_v$ (t = 30 <sup>d</sup> )	20,2	20,6	15,9	15,1	17,2	15,5	14,0	12,3	14,5	15,0	12,3	20,6	16,0
G3 51	$F_v$ (t = 0)	12,9	12,2	17,4	10,8	17,2	8,0	15,4	12,1	13,1	14,8	8,0	17,4	13,4
	$\Delta F_v$ (t = 12 <sup>h</sup> )	11,0	9,9	11,5	7,8	9,9	7,7	13,8	6,9	10,6	7,9	6,9	13,8	9,7
	$\Delta F_v$ (t = 30 <sup>d</sup> )	14,6	15,2	15,6	11,3	13,3	11,9	17,6	10,3	13,9	11,9	10,3	17,6	13,6



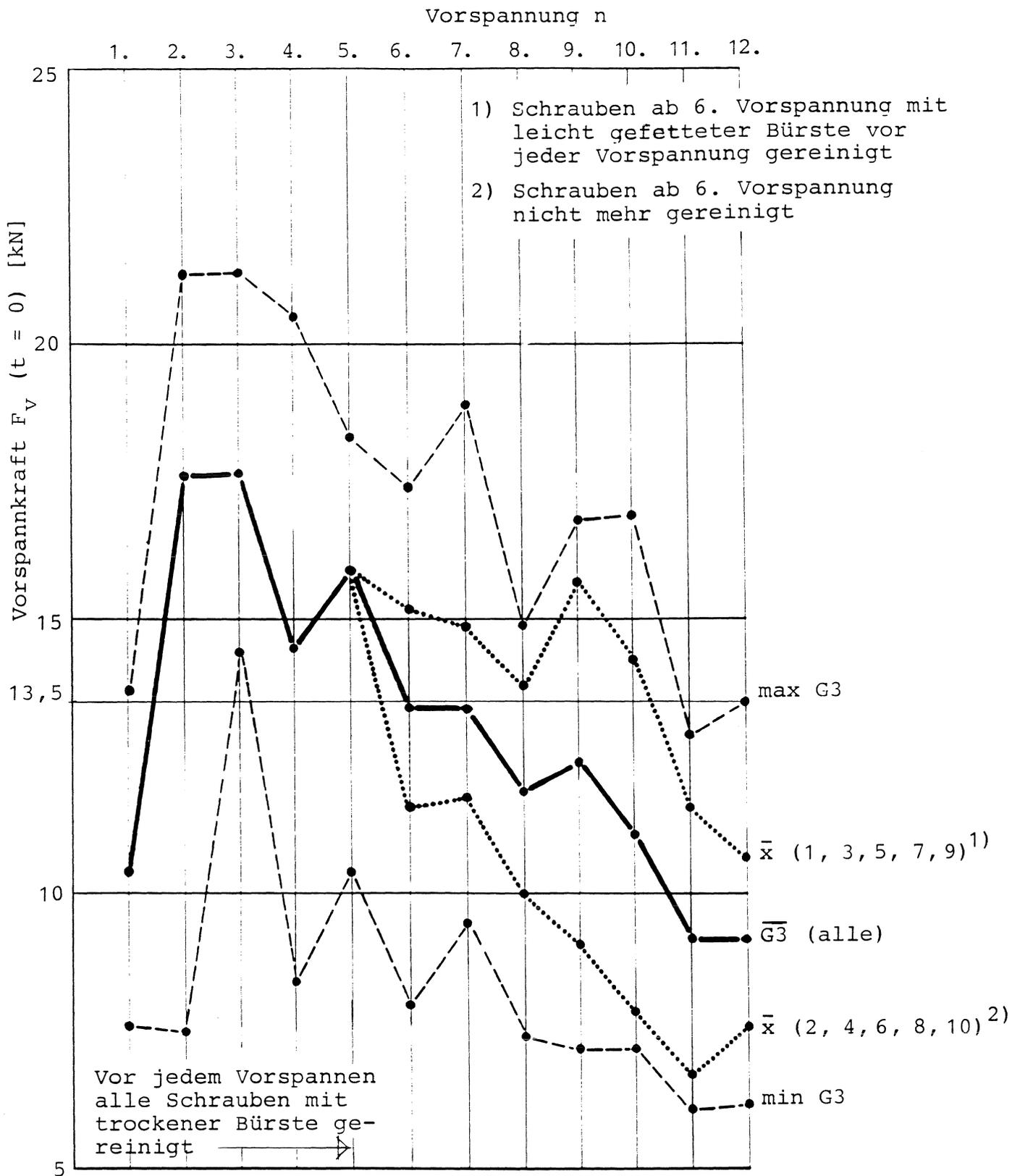


Bild 37. Versuchsgruppe G3 (Fabrikat L)  
Vorspannkraft  $F_v (t = 0)$  bei wiederholter  
Vorspannung der Schrauben

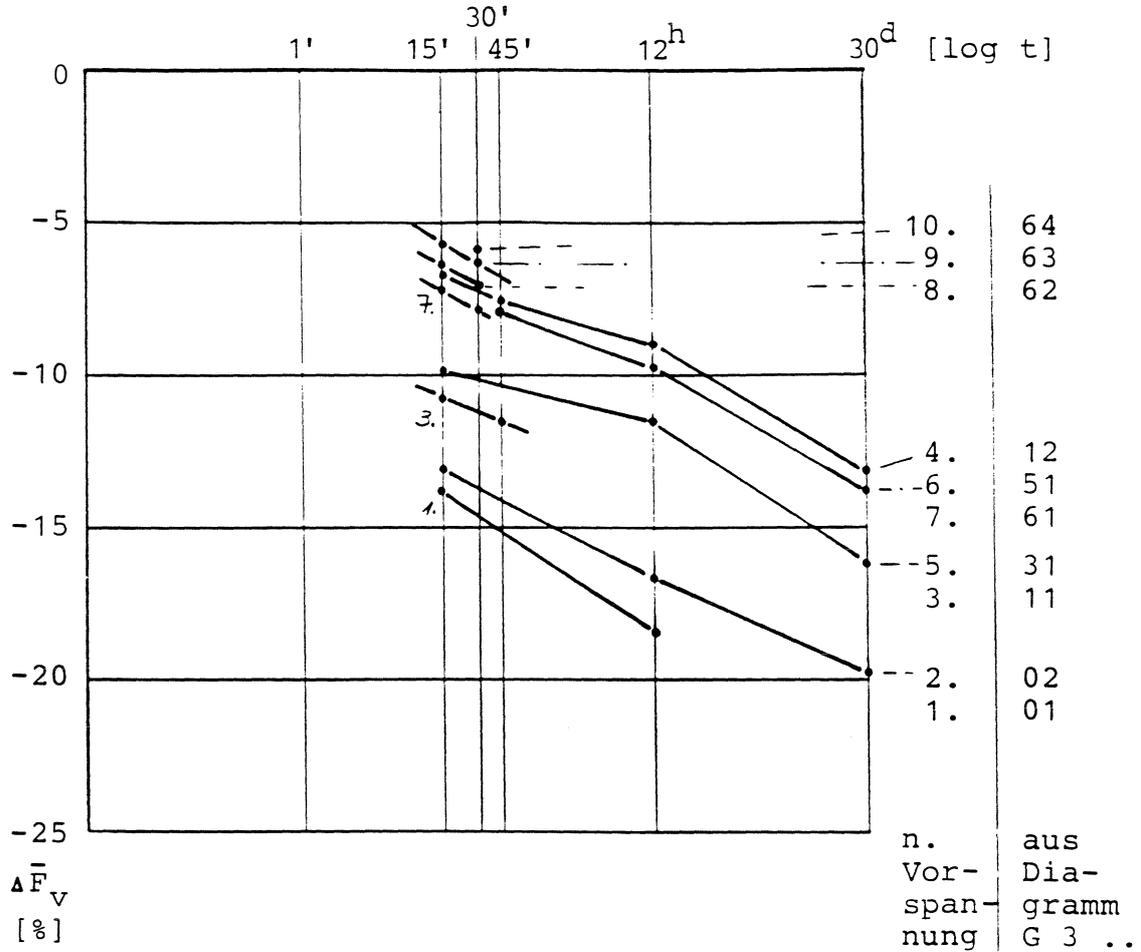


Bild 38. Mittlerer Vorspannungsverlust  $\Delta\bar{F}_v$  in den Schrauben der Gruppe G3 in Abhängigkeit von der Zeit und von der Anzahl n der Vorspannvorgänge

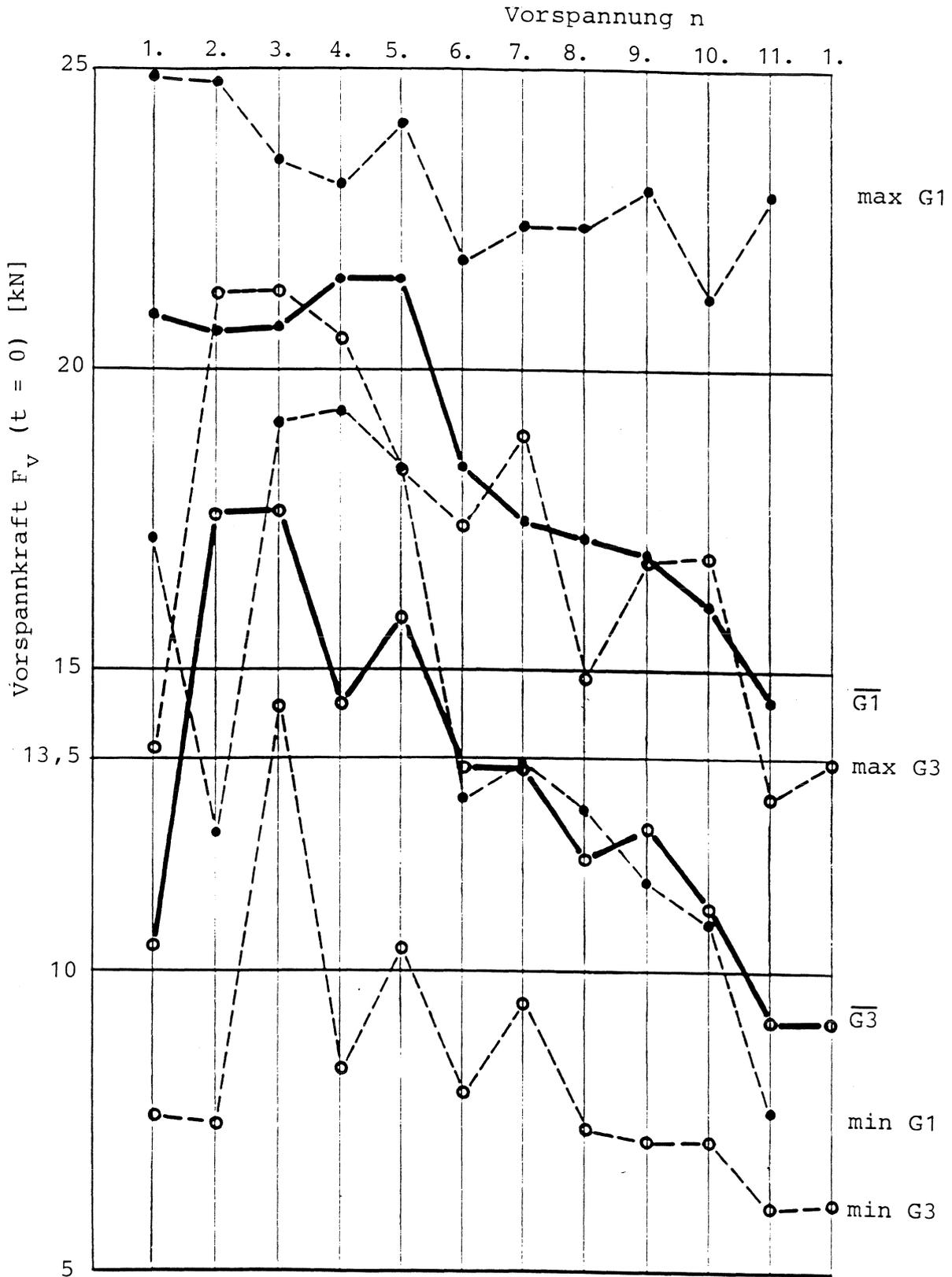


Bild 39. Vergleich der Ergebnisse von  $F_v (t = 0)$  in den Versuchsgruppen G1 und G3

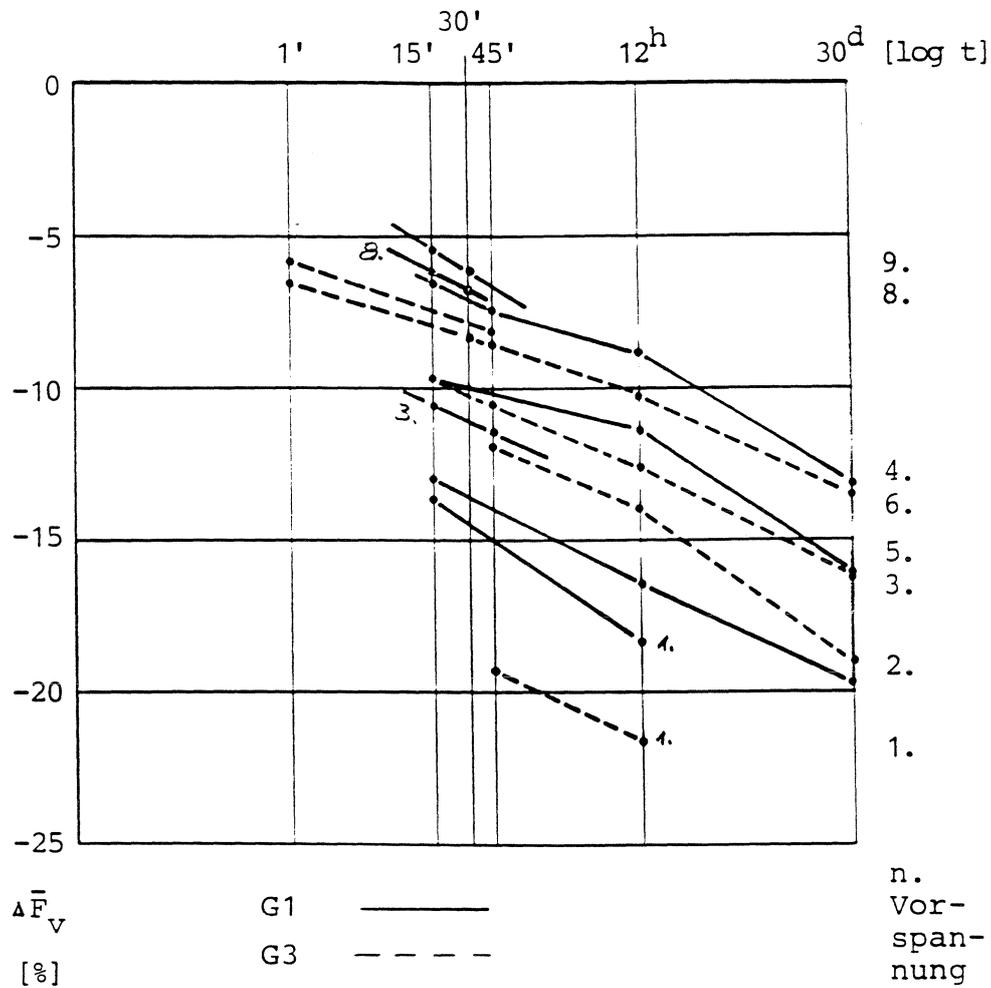


Bild 40. Vergleich der Ergebnisse  $\Delta \bar{F}_v$  (t = n) in den Versuchsgruppe G1 und G3

Bezeichnung der zugehörigen Diagramme	Zustand der Schrauben		Datum	Zeit- dauer
	ent- spannt	n. Vor- spannung		
G4 01	[Diagramm]		28.03.89	1 Std.
G4 02	[Diagramm]		27.04.89	29 Tage
G4 11	[Diagramm]		26.06.89	60 Tage
	[Diagramm]		31.07.89	35 Tage
G4 21	[Diagramm]		25.10.89	86 Tage
	[Diagramm]		16.11.89	22 Tage
G4 41	[Diagramm]		21.12.89	35 Tage
	[Diagramm]		25.01.90	35 Tage
G4 51	[Diagramm]		25.01.90	4,5 Std.
G4 52	[Diagramm]			
G4 53	[Diagramm]			
G4 54	[Diagramm]			
G4 55	[Diagramm]			
Lagerung: in der Halle		in der Halle		

Bild 41. Versuchsablauf, Versuchsgruppe G4,  
(Fabrikat P, ungebraucht)

Versuchsgruppe G4 (Fabrikat P, ungebraucht)

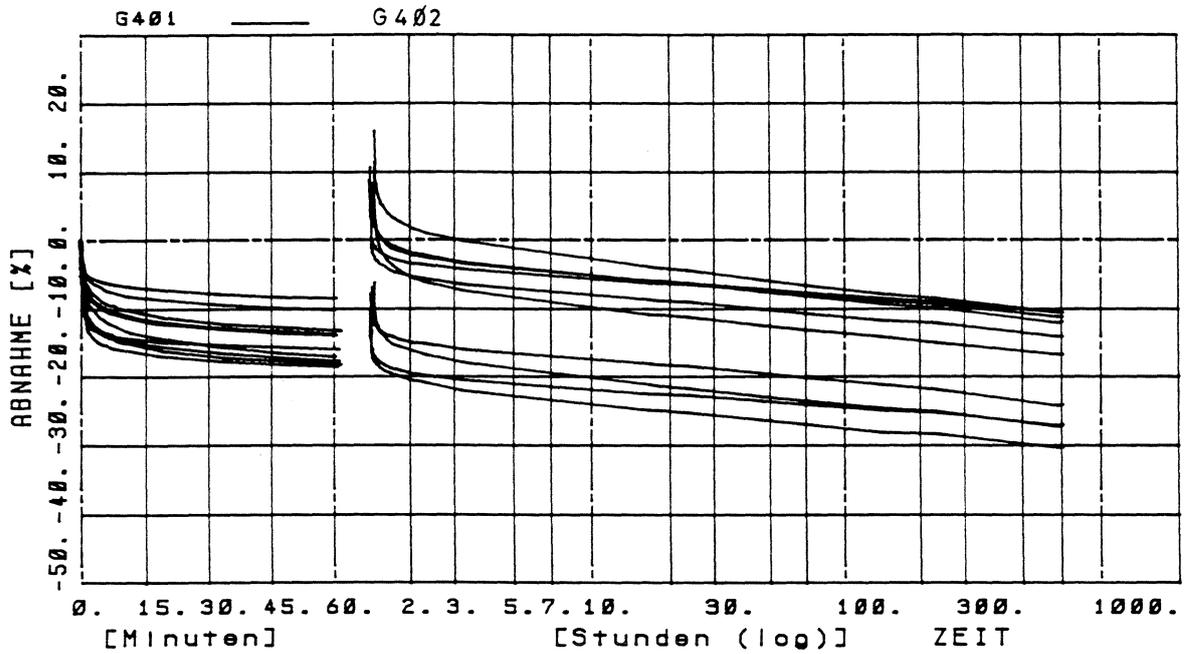


Bild 42. G4 01 und G4 02. 2. Vorspannung G4 02 bezogen auf die  $F_v(t = 0)$ -Werte von G4 01

Versuchsgruppe G4 (Fabrikat P, ungebraucht. Die Meßwerte sind auf die Anfangswerte des jeweiligen Vorspannvorgangs bezogen)

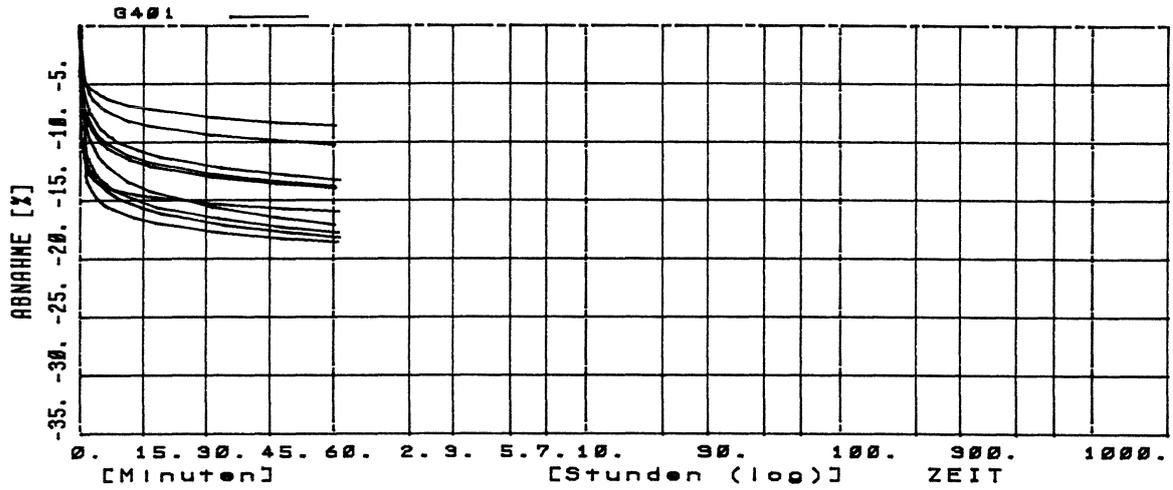


Bild 43. G4 01 (1. Vorspannung)

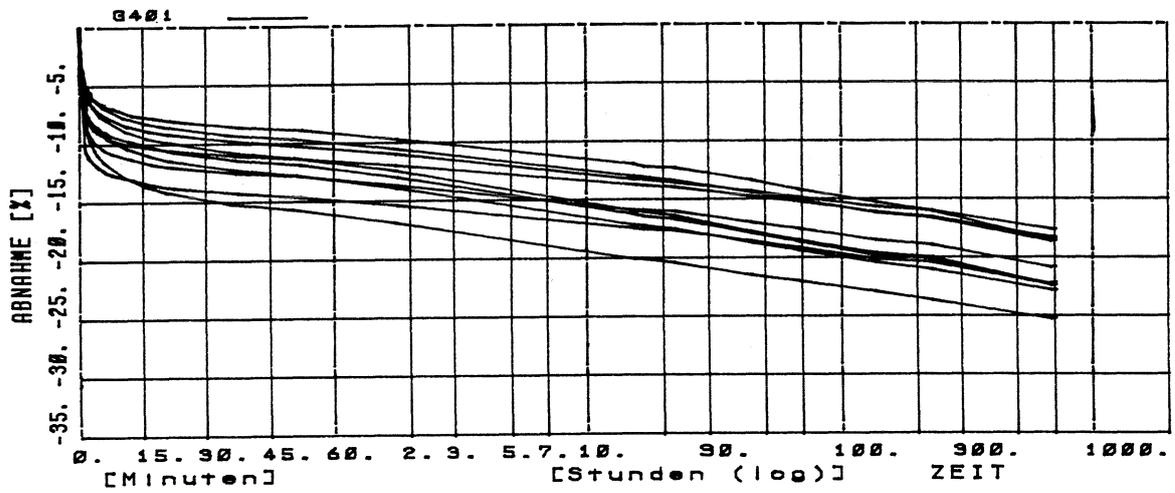


Bild 44. G4 02 (2. Vorspannung)

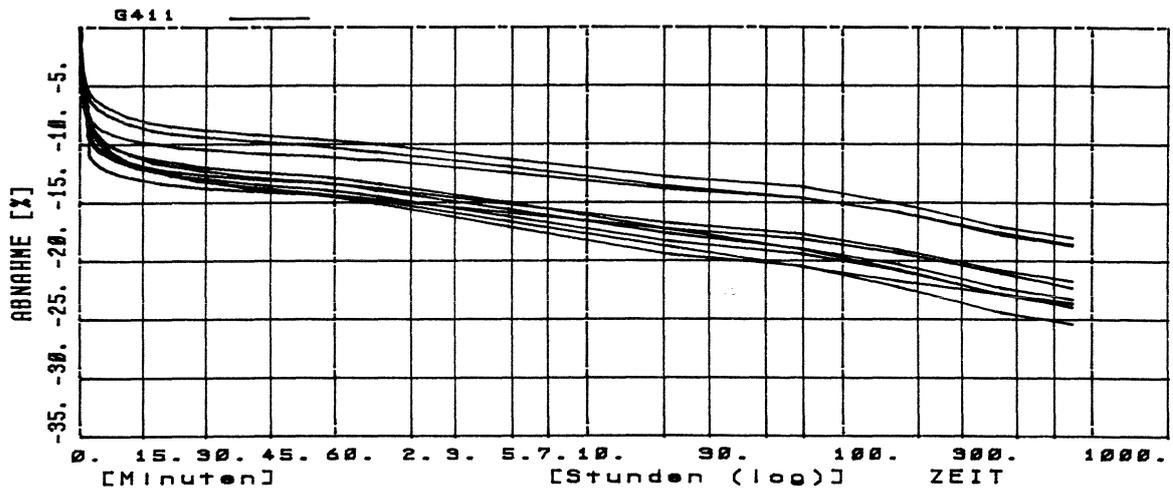


Bild 45. G4 11 (3. Vorspannung)

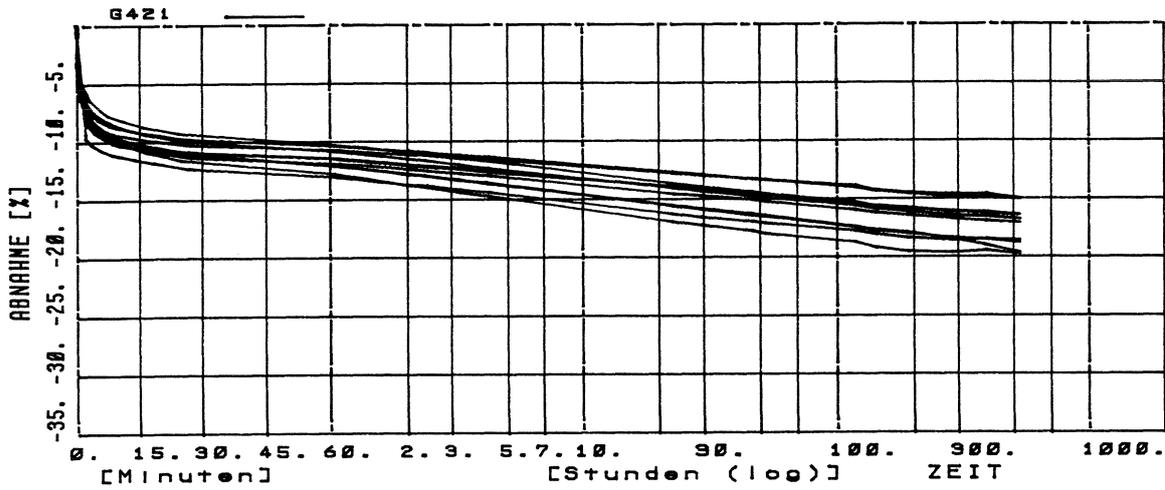


Bild 46. G4 21 (4. Vorspannung)

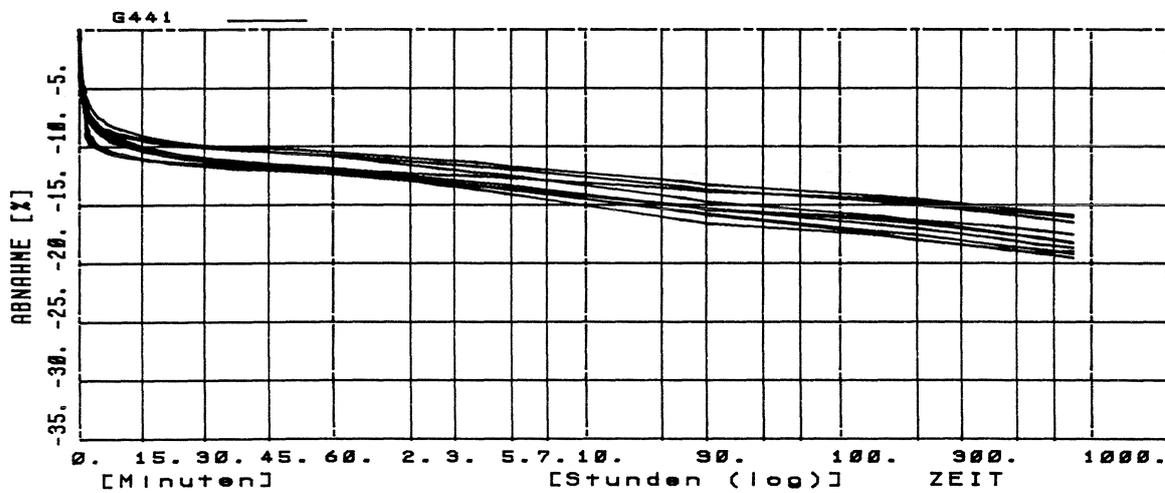


Bild 47. G4 41 (5. Vorspannung)

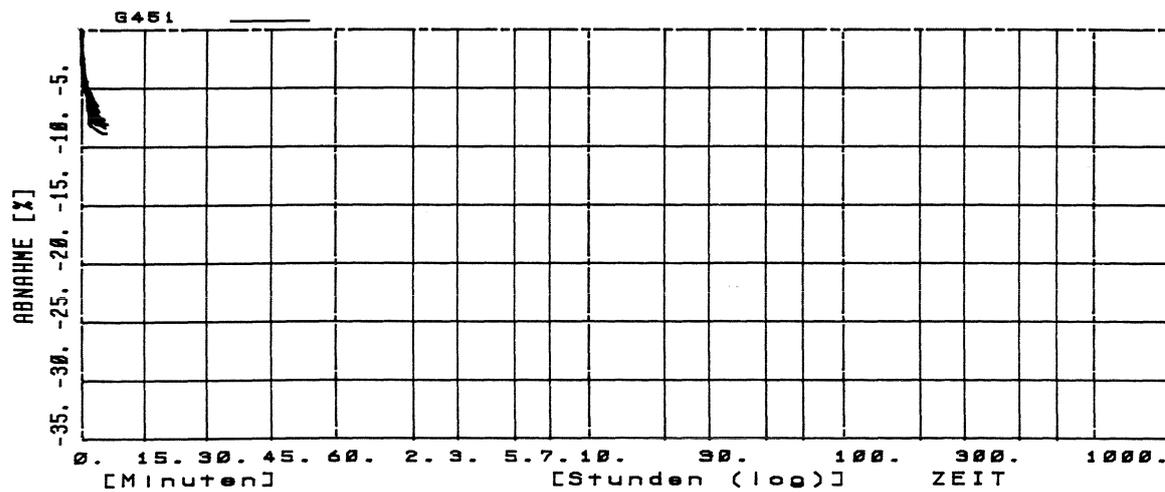


Bild 48. G4 51 (6. Vorspannung)

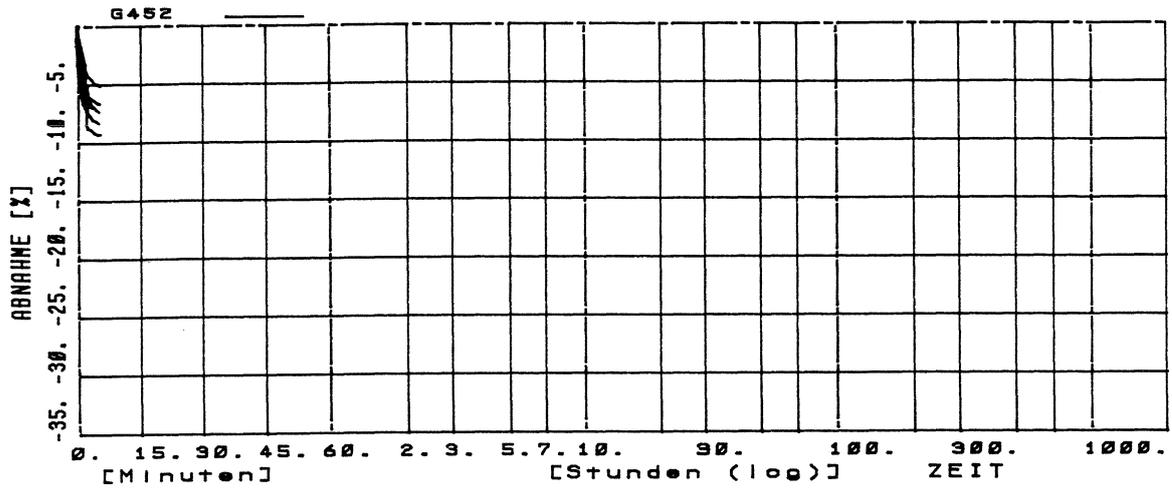


Bild 49. G4 52 (7. Vorspannung)

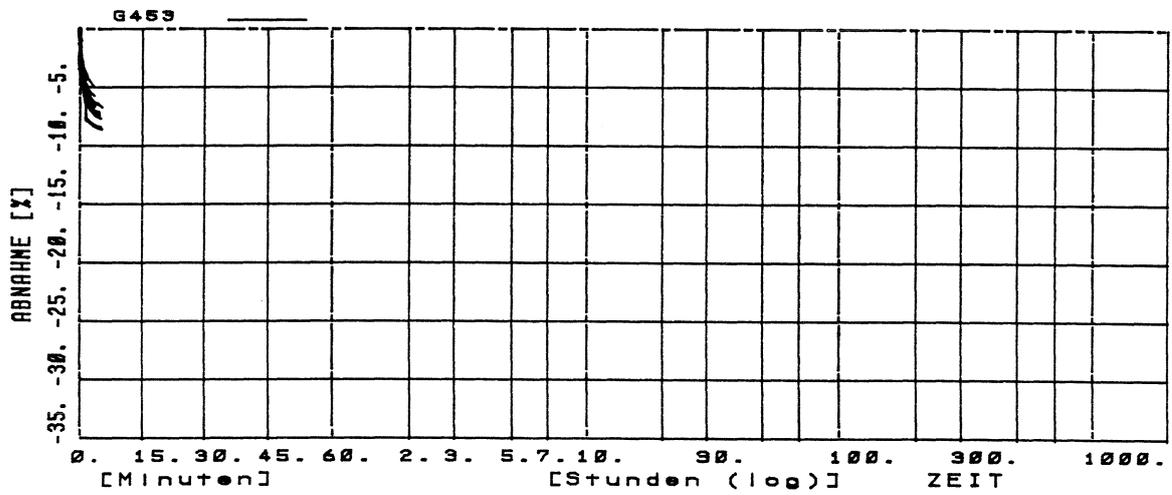


Bild 50. G4 53 (8. Vorspannung)

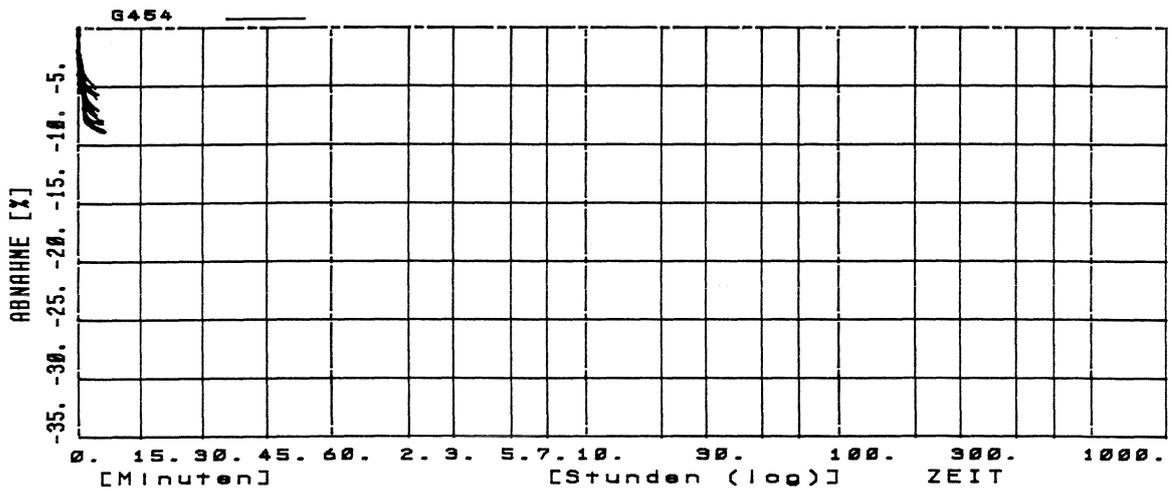


Bild 51. G4 54 (9. Vorspannung)

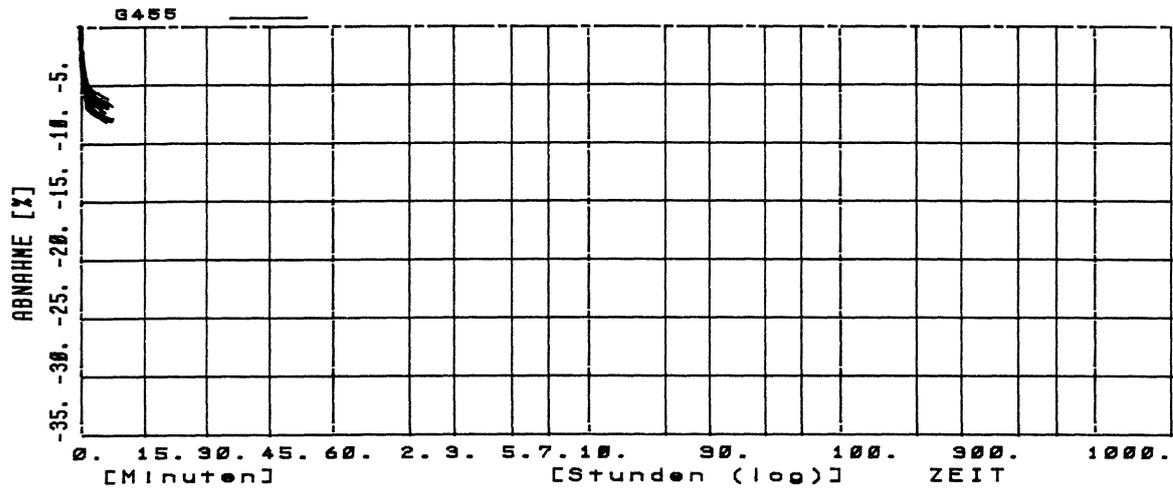


Bild 52. G4 55 (10. Vorspannung)





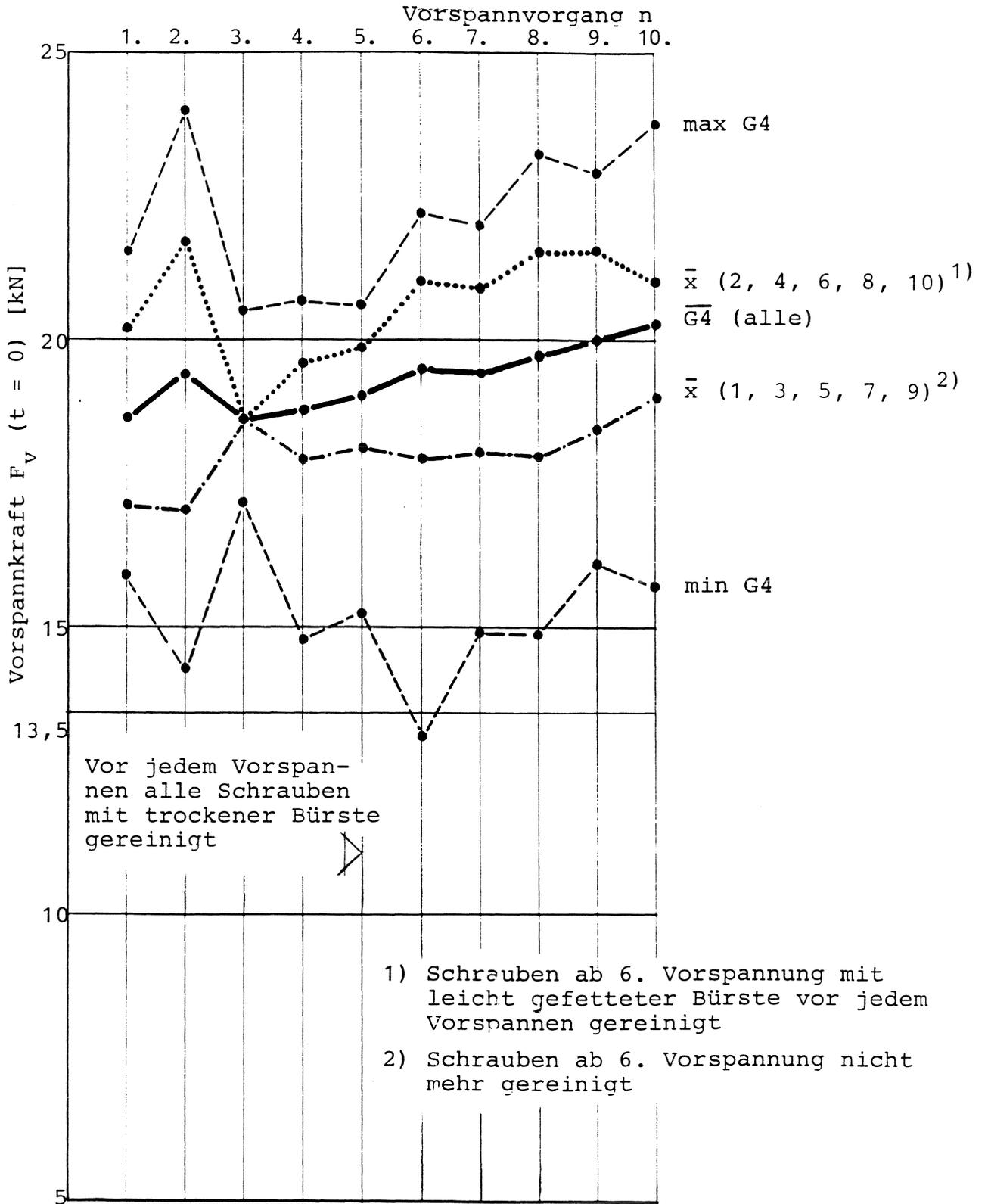


Bild 53. Versuchsgruppe G4 (Fabrikat P)  
 Vorspannkraft  $F_v$  ( $t = 0$ ) bei wiederholter  
 Vorspannung der Schrauben

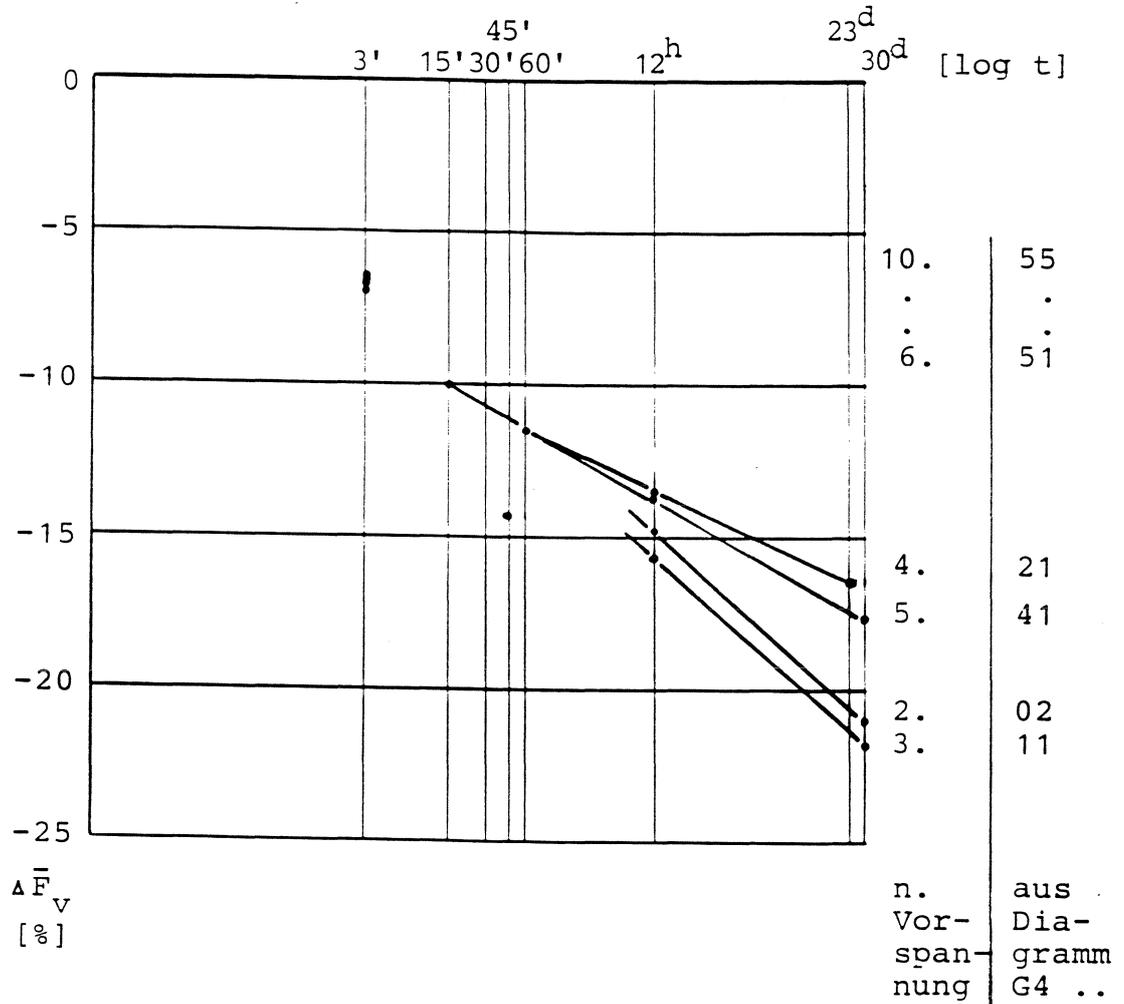


Bild 54. Mittlerer Vorspannungsverlust  $\Delta\bar{F}_v$  in den Schrauben der Gruppe G4 in Abhängigkeit von der Zeit und von der Anzahl n der Vorspannvorgänge

Bezeichnung der zugehörigen Diagramme	Zustand der Schrauben		Datum	Zeit- dauer
	ent- spannt	n. Vor- spannung		
G6 01		1.	29.03.89	4 Std.
G6 02		2.	27.04.89	29 Tage
G6 11		3.	26.06.89	60 Tage
			31.07.89	35 Tage
G6 21		4.	25.10.89	86 Tage
			16.11.89	22 Tage
G6 41		5.	21.12.89	35 Tage
			25.01.90	35 Tage
G6 51		6.		0,5 Std.
G6 52		7.		
G6 53		8.		3,5 Std.
G6 54		9.		
G6 55		10.	29.01.90	
Lagerung:	im Freien	in der Halle		

Bild 55. Versuchsablauf, Versuchsgruppe G6,  
(Fabrikat P, ungebraucht)

Versuchsgruppe G6 (Fabrikat P, ungebraucht)

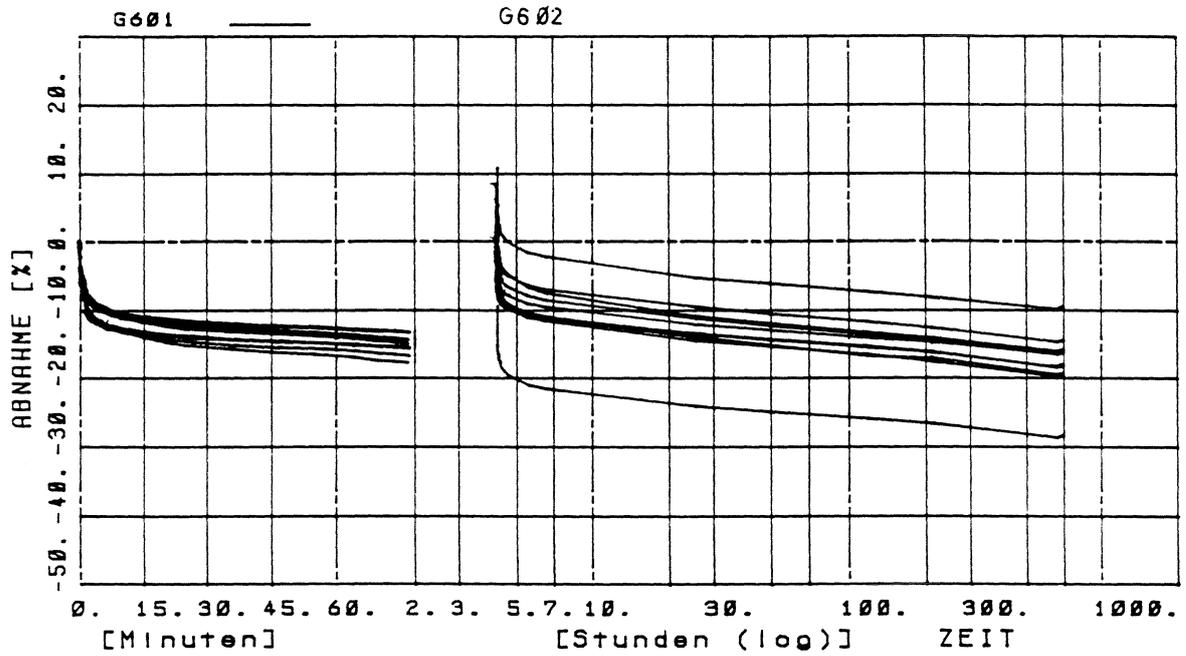


Bild 56. G6 01 und G6 02, bezogen auf die Ausgangswerte von G6 01

Versuchsgruppe G6 (Fabrikat P, ungebraucht. Die Meßwerte sind auf die Anfangswerte des jeweiligen Vorspannvorgangs bezogen)

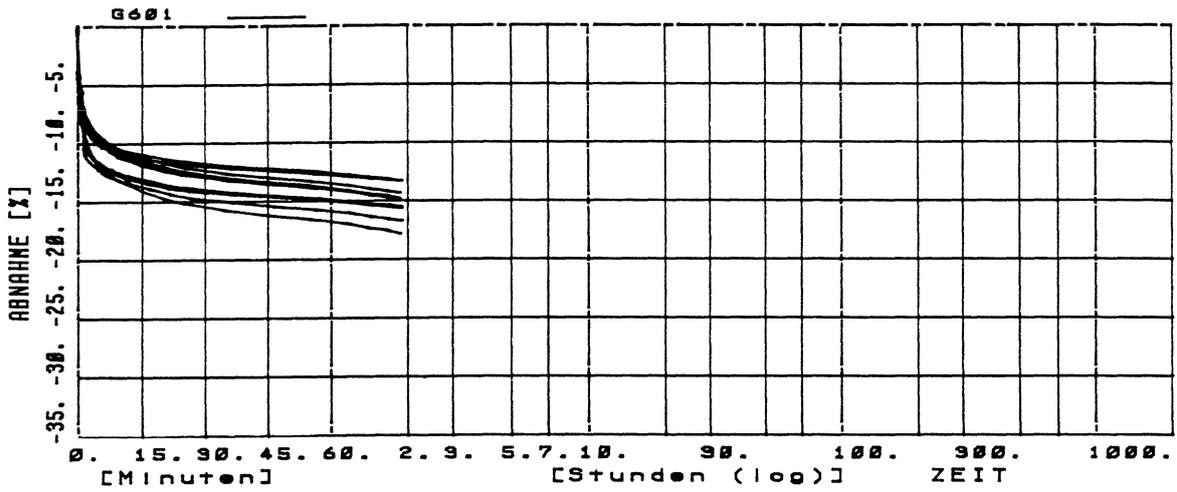


Bild 57. G6 01 (1. Vorspannung)

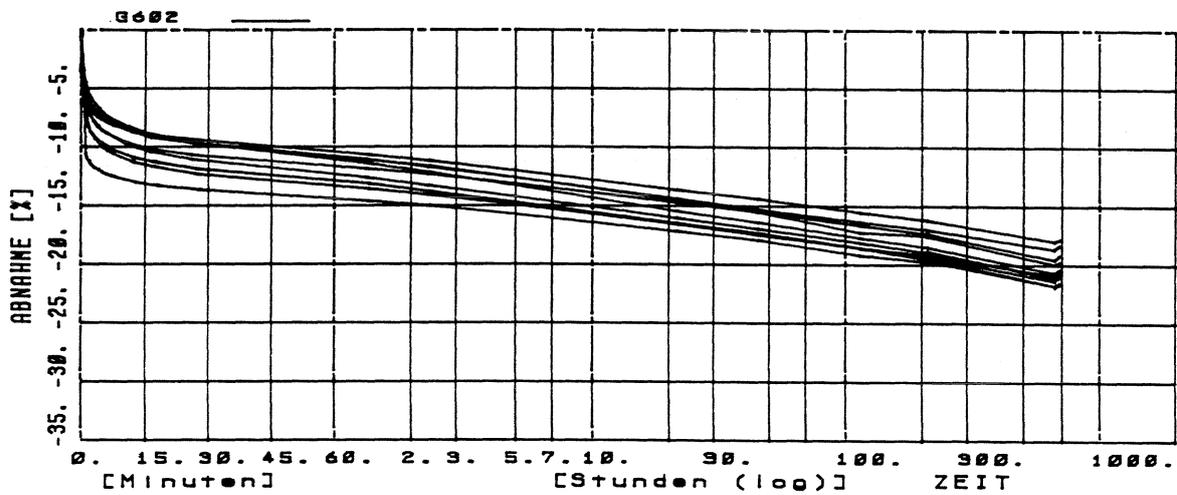


Bild 58. G6 02 (2. Vorspannung)

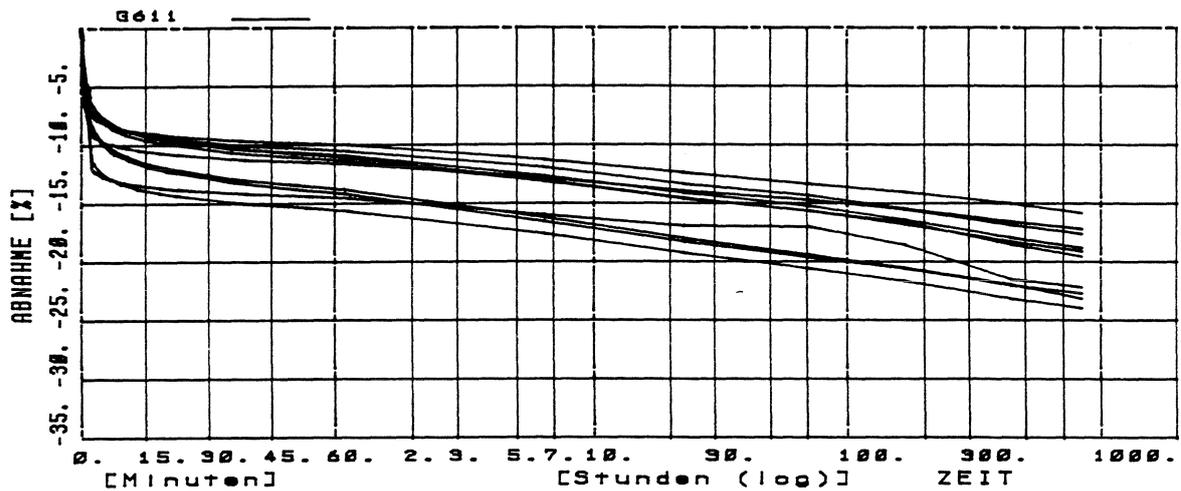


Bild 59. G6 11 (3. Vorspannung)

zum Bericht 25-15131-2

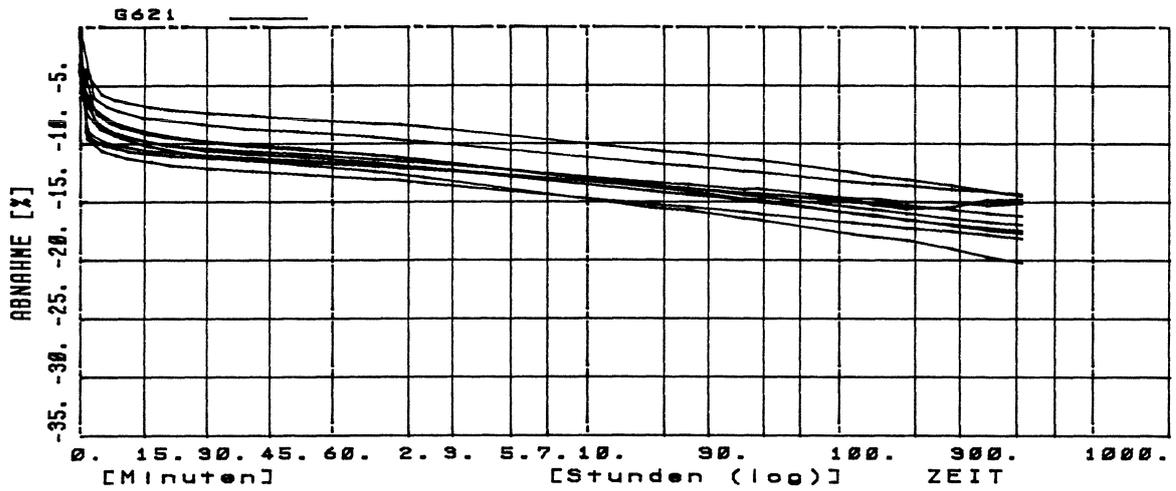


Bild 60. G6 21 (4. Vorspannung)

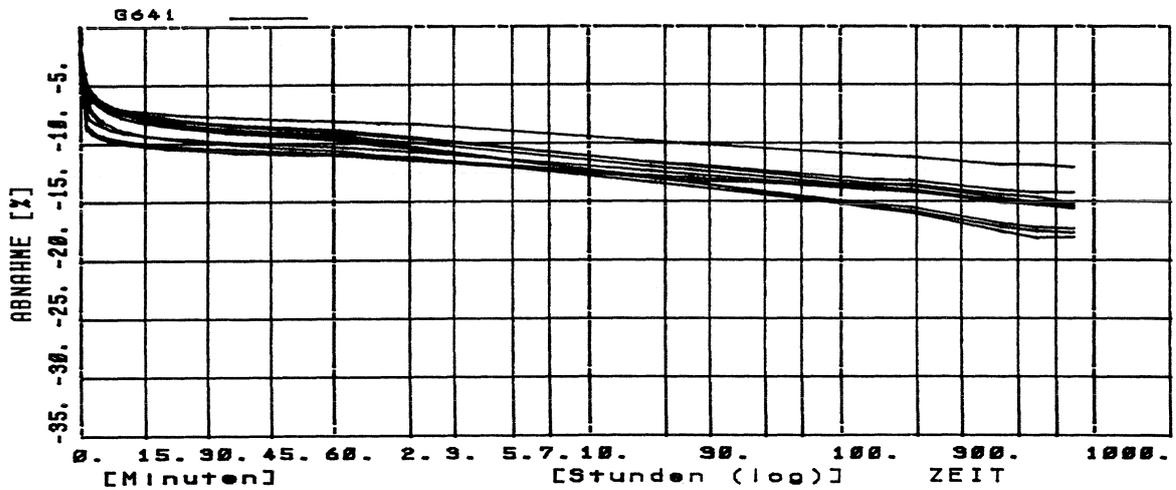


Bild 61. G6 41 (5. Vorspannung)

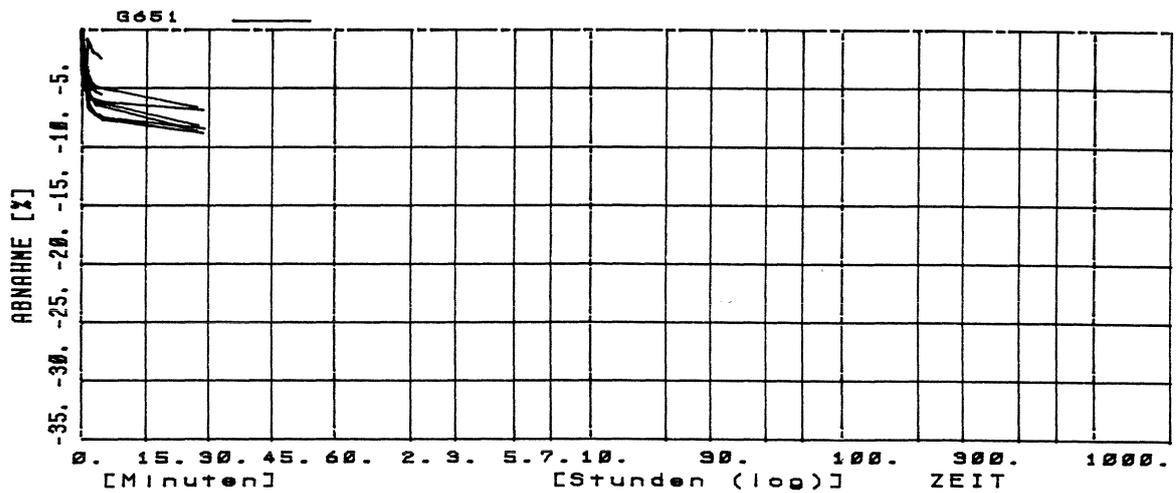


Bild 62. G6 51 (6. Vorspannung)

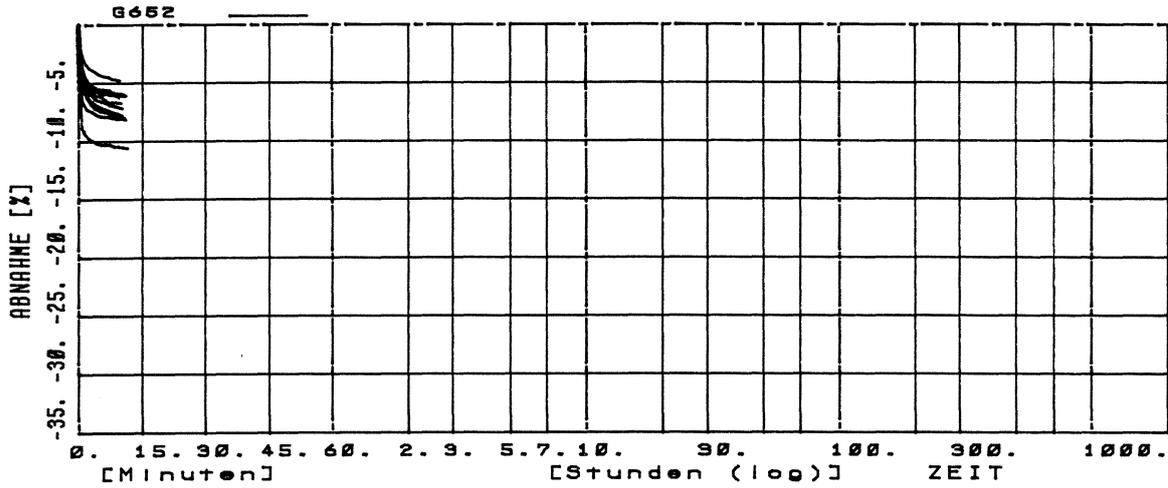


Bild 63. G6 52 (7. Vorspannung)

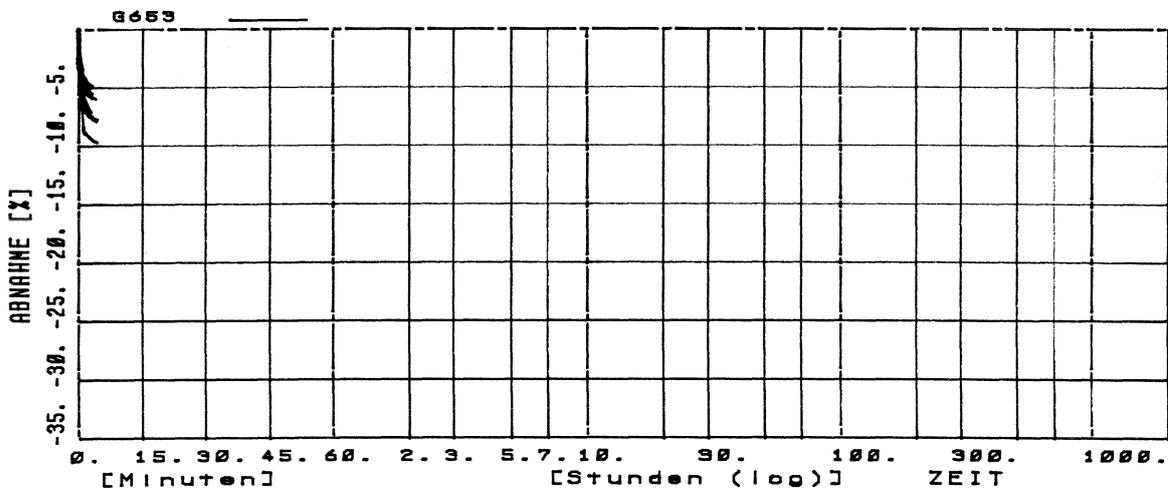


Bild 64. G6 53 (8. Vorspannung)

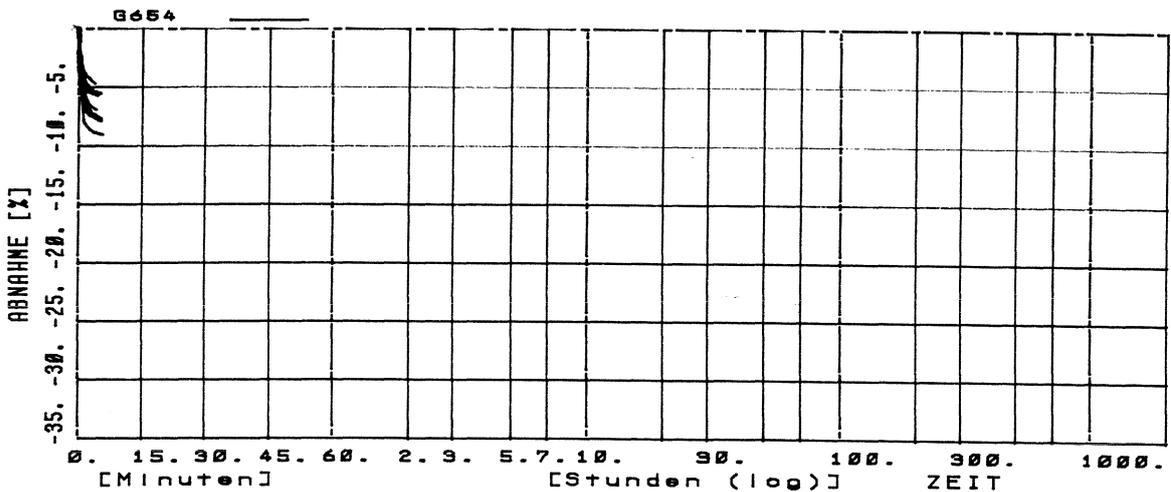


Bild 65. G6 54 (9. Vorspannung)

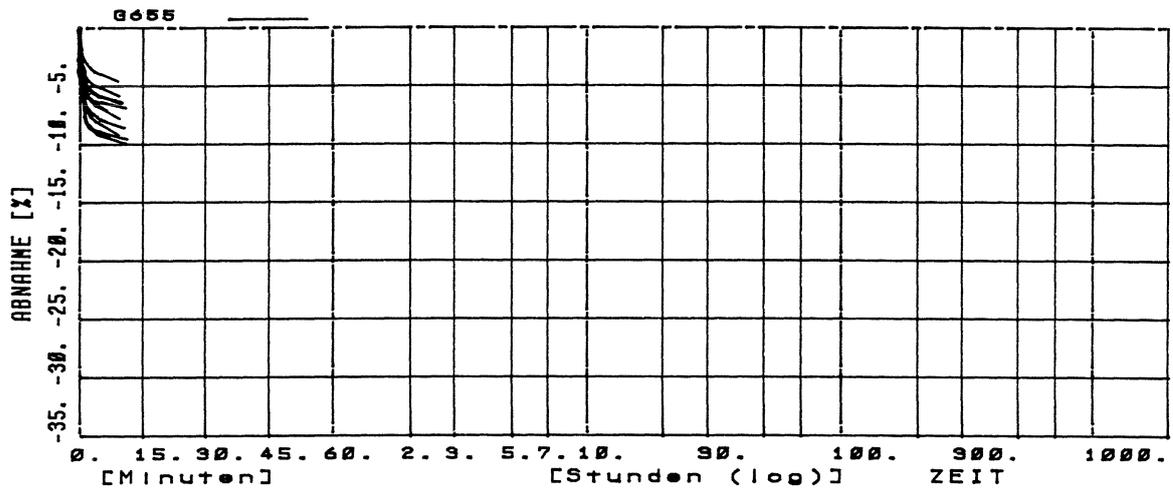


Bild 66. G6 55 (10. Vorspannung)





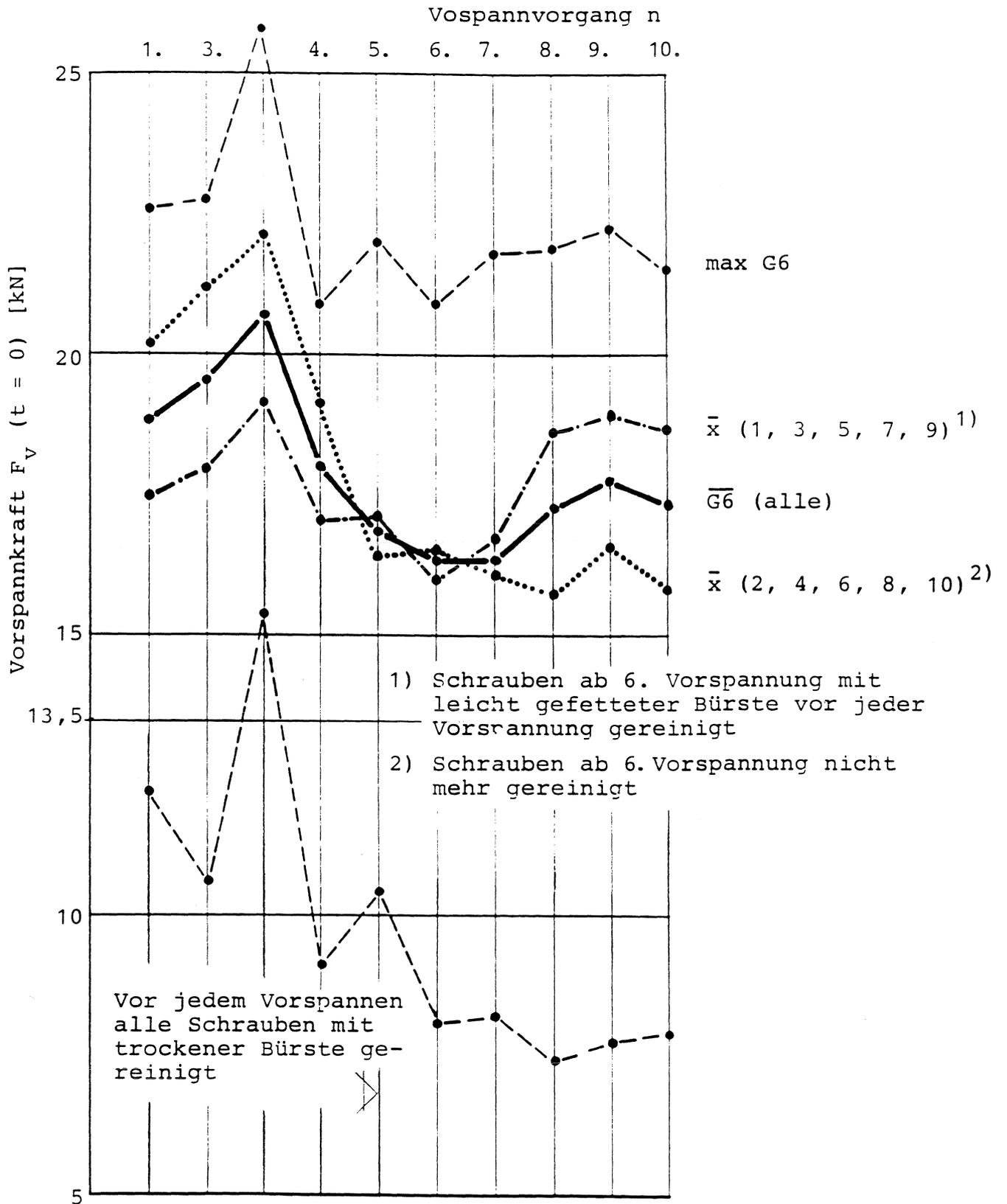


Bild 67. Versuchsgruppe G6 (Fabrikat P)  
 Vorspannkraft  $F_V (t = 0)$  bei wiederholter  
 Vorspannung der Schrauben

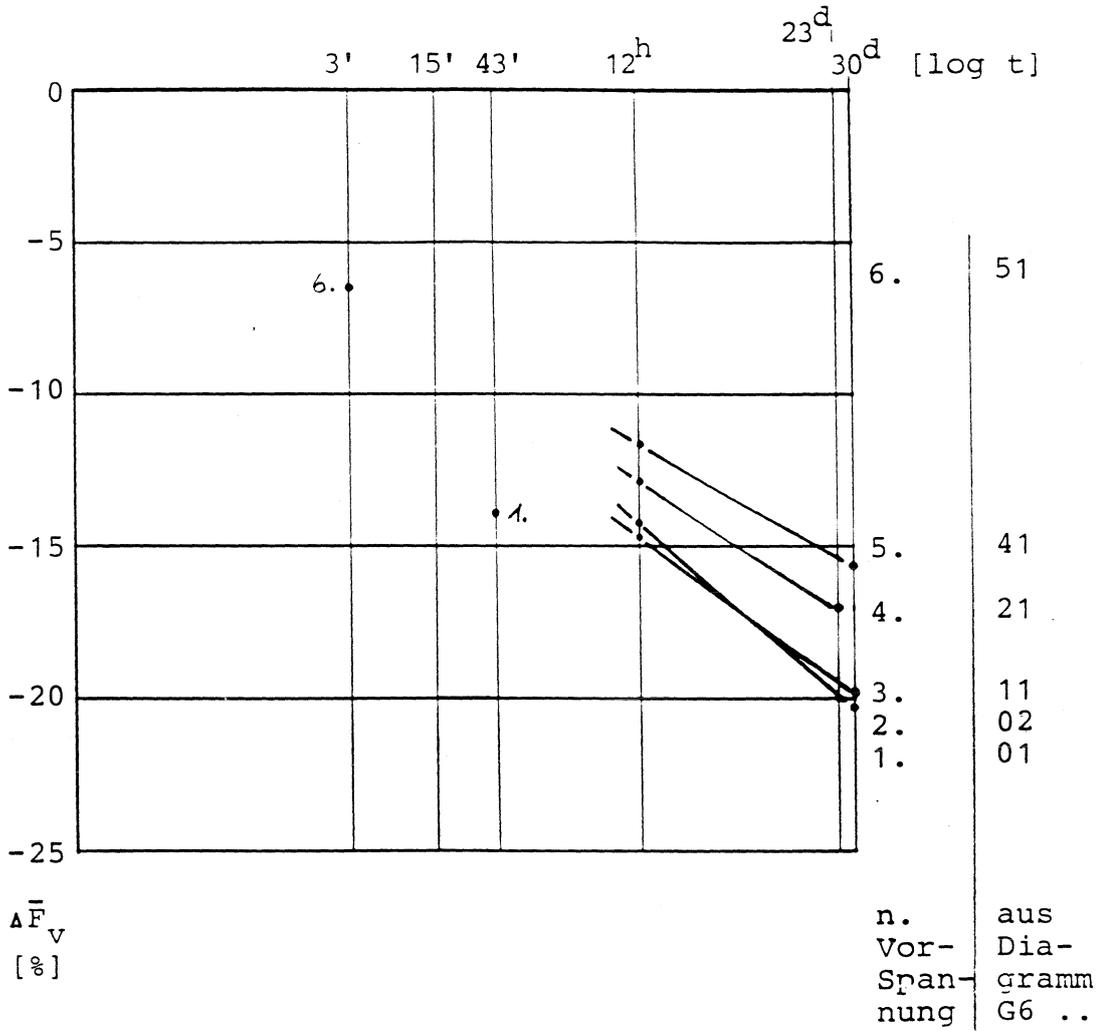


Bild 68. Mittlerer Vorspannungsverlust  $\Delta \bar{F}_v$  in den Schrauben der Gruppe G6 in Abhängigkeit von der Zeit und von der Anzahl n der Vorspannvorgänge

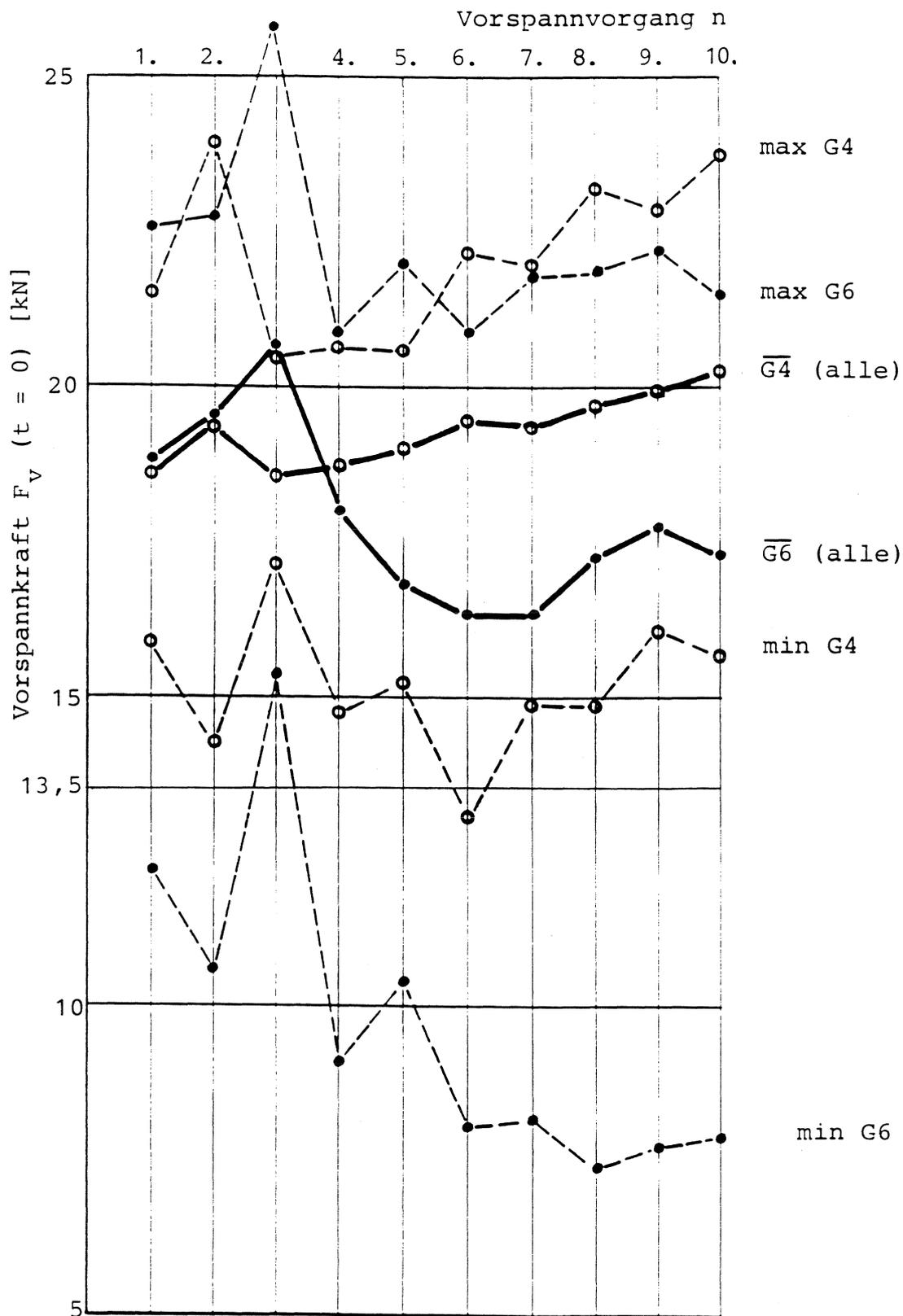


Bild 69. Vergleich der Ergebnisse von  $F_v (t = 0)$  in den Versuchsgruppen G4 und G6

Tabelle 8. Zusammenstellung der zeitabhängigen Abnahme der Vorspannkraft  $\Delta\bar{F}_V$  (30 d) und der zugehörigen Streuungen

Versuch		$\Delta\bar{F}_V$ (30 d) [%]	$\sigma_x^2$	Versuch		$\Delta F_V$ (30 d) [%]	$\sigma_x^2$
G1	01		(29,4)	G3	01		(7,8)
	02	-19,1	4,6		02	-19,7	17,9
	11		(9,9)		11		(15,9)
	12	-17,9	8,8		12	-13,0	6,0
	31	-16,1	9,1		31	-16,0	6,9
	51	-13,5	4,4		51	-13,6	5,1
	61		(4,2)		61		(4,2)
	62		(6,2)		62		(4,8)
	63		(4,8)		63		(3,3)
	64		(9,4)		64		(3,7)
	65				65		(5,5)
					66		(4,2)
G4	01		(11,3)	G6	01		(1,7)
	02	-20,9	6,3		02	-20,1	1,8
	11	-21,6	6,8		11	-19,7	7,8
	21	-16,5	5,7		21		(5,4)
	41	-17,7	1,8		41	-15,5	3,3
	51		(0,9)		51		(3,3)
	52		(1,5)		52		(7,3)
	53		(1,3)		53		(2,0)
	54		(1,8)		54		(1,7)
	55		(0,5)		55		(2,9)

Die eingeklammerten Werte der Streuung  $\sigma_x^2$  sind für  $t < 30$  d angegeben

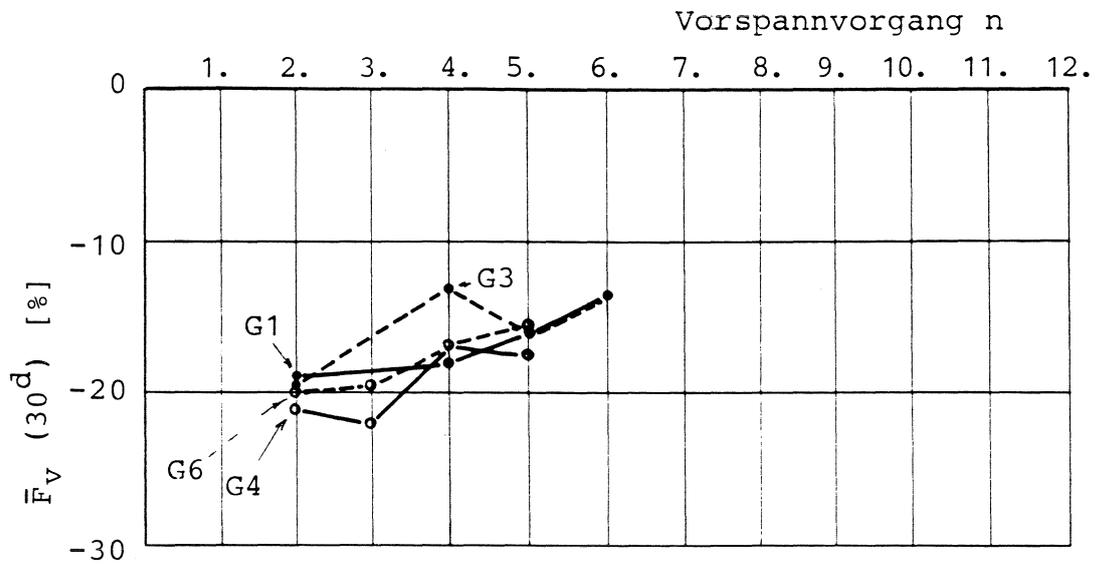


Bild 70. Mittlere Abnahme der Vorspannung nach 30 Tagen

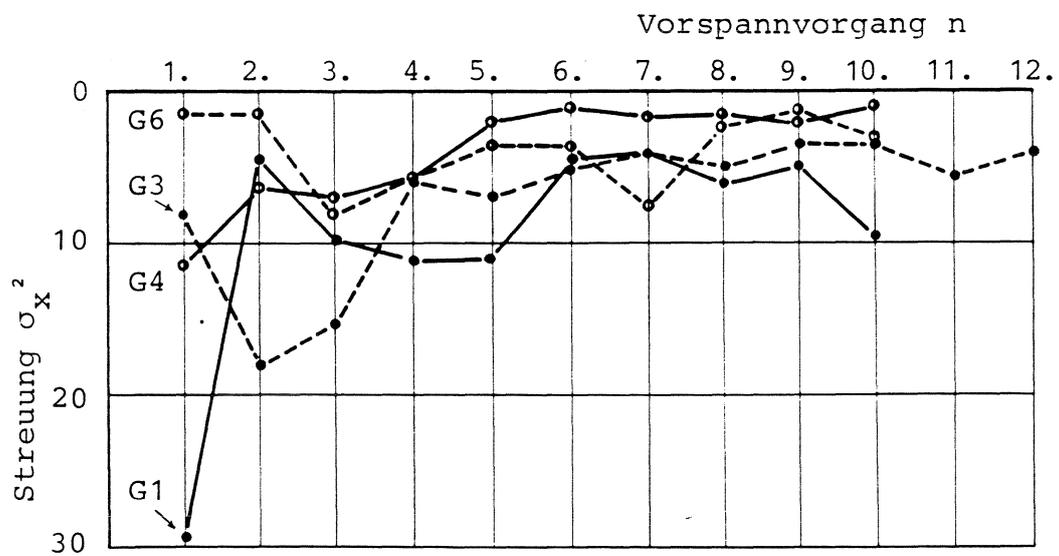


Bild 71. Streuung  $\sigma_x^2$  der Vorspannungsverluste  $\Delta F_v$  (t)

Tabelle 9. Materialkennwerte

1	2	3	4	5	6	7	8
	Probe		Dehn- grenze $R_{p0,2}$	Zug- festig- keit $R_m$	Bruch- dehnung		Bemerkungen
	Breite b	Dicke s			$A_5$	$A_{10}$	
Nr.	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	
1.1	3,82	12,06	318	441	32	21	Proben aus 5 Stahlrohr- abschnitten Ø 48,3 x 4 $\bar{E} = 264\ 730\ \text{N/mm}^2$
1.2	3,99	12,06	315	428	33	24	
2.1	3,79	12,00	332	449	31	22	
2.2	3,98	12,00	304	423	34	24	
3.1	4,00	12,03	315	449	33	24	
3.2	3,96	12,01	329	452	35	27	
4.1	3,92	11,98	315	432	34	24	
4.2	3,88	11,99	313	427	38	30	
5.1	3,81	12,09	327	441	33	23	
5.2	3,86	11,95	328	447	35	28	
A.1	3,77	12,06	243	273	17	13	Proben aus 2 Alu-Röhren Ø 48,3 x 4 AlMgSi1F28 $\bar{E} = 66\ 920\ \text{N/mm}^2$
A.2	3,86	12,06	243	274	17	13	
L	M 14, 5.6		567				im einfachen Zug- versuch ermittelt
P	M 14, 5.6		535 (Bruch im Gewindeteil)				
Schrauben L und P			aus n = 60 Schrauben- eichungen ermittelt:			$\bar{E} = 210\ 300\ \text{N/mm}^2$	



### Summary to the Report of the Research Project

#### Effects of repeated Tightening the Screws of Normal Couplers

IfBt Az IV-1-5-525/88; FMIPA 25-15131-2

In the previous research project 25-14215 it was established that the pre-stress in the screw of couplers drops away with the time and that the size of the pre-stress becomes smaller for repeated tightening procedures. In this research project it should be examined whether these phenomena occur in the same extent for test conditions close to those on building site. For this purpose tests were carried through with two further coupler types. In the sequel of those the same couplers repeatedly were stored in the laboratory for one month tightened and stored in the laboratory or in the open air for one month untightened. The pre-stresses were measured via strain gauges.

The second research project in the main confirmed the results of the first one. Storing in the open air even yields a favourable result.

- The pre-stress drops away with the time after the first tightening procedure about 22 % in the mean, after repeated tightening procedures about 15 % in the mean. The loss is related to the pre-stress immediately after the tightening procedure. The biggest part of the loss occurs in the first minutes after the tightening procedure.
- For repeated tightening procedures the initial pre-stress becomes smaller for the most coupler types. In the mean the reduction amounted about 30 %. For one coupler type the reduction was less significant.



Résumé au rapport du projet de recherche

Effets résultant du serrage répété des vis dans des  
accouplements normaux

Numéro de référence du IfBt: IV-1-5-525/88

Numéro de référence de la FMIPA: 25-15131-2

Dans le projet de recherche précédant on a constaté que dans les vis des accouplements la précontrainte décroît en dépendance du temps et que la valeur de la précontrainte diminue dans le cas de serrage répété. Le but de ce projet de recherche était de mettre au clair si ces phénomènes se présentent de la même étendue dans des essais sous des conditions pratiques. A ces fins des essais supplémentaires sur deux types d'accouplements ont été effectués, dans lesquels à plusieurs reprises les accouplements étaient précontraints pour un mois et ensuite, pour un autre mois, déposés dans le laboratoire on dans le plein air en état non précontraint. Les forces de précontrainte ont été mesurées à l'aide d'extensomètres à fil électriques.

Le deuxième projet de recherche confirme en principe les résultats du premier. Déposant les éprouvettes en plein air cause même des résultats plus défavorables.

- La précontrainte dans les vis diminue en dépendance du temps, d'environ 22 % après le premier processus de précontrainte, d'encore 15 % après une précontrainte répétée en moyenne. La perte est rapportée à la force de précontrainte immédiate après le serrage. La plus grande partie de la perte se produit pendant les premières minutes après le serrage.
- Pour la plupart des types d'accouplement un serrage répété résulte à une réduction permanente de la précontrainte. En moyenne des pertes de 30 % ont été observées. Pour un certain type d'accouplement la perte était clairement moins grande.