

FORSCHUNGSVORHABEN AIF-Nr. 11149N / VGB-Nr. 170  
MPA-Auftrags-Nr. 890 201 001

## **Kennwerte für Stopfbuchspackungen**

Laufzeit: 01.05.1997 bis 30.04.1999

### **Ergänzungsband**

Verfasser:

Dipl.-Ing. Th. Klenk

06/1999

Staatliche Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart

Universität Stuttgart  
Staatliche Materialprüfungs-  
anstalt (MPA)

\_\_\_\_\_  
Name der Forschungsstelle(n)

11149N / IV

\_\_\_\_\_  
AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.05.97 bis 30.04.99

\_\_\_\_\_  
Bewilligungszeitraum

**Schlußbericht für den Zeitraum : 01.05.97 bis 30.04.99**

Forschungsthema :

Kennwerte für Stopfbuchspackungen

Stuttgart, den 19. Mai 1999

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

*H. Kadda*

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Projektleiters

# Versuchsübersicht Ergänzungsband

## 1 Stauchversuchsstand

### 1.1 Versuche an Einzelringen

Ermittlung: Packungskennlinie, Umlenkfaktoren  $K_i$  und  $K_a$ , Rückfederung

Einzelringe: $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$ Werkstoff	Stauchversuche Einzelringe			
	Spaltmaße <sup>+</sup>			
	Stobu 0 Grundring 0	Stobu 0 Grundring 1	Stobu 1 Grundring 0	Stobu 1 Grundring 1
R-P0-10-00-00-00-C1	2	2	2	2
R-F0-20-20-00-00-C2	2	2	2	2
R-F0-50-00-00-00-C3	2	2	2	2
R-F0-10-00-10-10-C4	2	2	2	2
R-F0-20-00-00-00-M1	2	2	-	-
F-F0-30-00-00-00-M2	2	2	-	-
R-S0-20-00-00-00-M3	2	2	-	-
R-P0-10-00-00-00-A4	1	-	-	-
R-F0-10-00-10-30-A2	2	2	-	-
R-P0-10-00-10-30-V2	2	-	-	-
R-P0-10-00-00-00-C1 1 Monat bei 450 °C warmgelagert	2	-	-	-

<sup>+</sup>Stobu 0 / Grundring 0 Stopfbuchsgehäuse  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=80\text{mm}$  / Grundringe  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=80\text{mm}$

Stobu 0 / Grundring 1 Stopfbuchsgehäuse  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=80\text{mm}$  / Grundringe  $\varnothing_i=62\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=80\text{mm}$

Stobu 1 / Grundring 0 Stopfbuchsgehäuse  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=82\text{mm}$  / Grundringe  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=82\text{mm}$

Stobu 1 / Grundring 1 Stopfbuchsgehäuse  $\varnothing_i=60\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=82\text{mm}$  / Grundringe  $\varnothing_i=62\text{mm}$ ,  $\varnothing_a=82\text{mm}$

### 1.2 Versuche mit mehreren Ringen

Ermittlung: Packungskennlinie, Rückfederung, axiale Flächenpressung im Stopfbuchsgrund

Einzelringe: $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$ Werkstoff	Stauchversuche mit mehreren Ringen		
	Spaltmaß: Stobu 0; Grundring 0		
	Ringanzahl		
	2	3	4
R-P0-10-00-00-00-C1	2	2	2 + Fuji-Folie
R-F0-20-20-00-00-C2	2	2	2
R-F0-50-00-00-00-C3	2	2	2
R-F0-10-00-10-10-C4	2	2	2
R-F0-10-00-10-30-A2	2	1	1

## 2 Reib- und Leckageversuchsstand

### 2.1 Stauchversuche

Ermittlung: Packungskennlinie

Einzelringe: $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$ Werkstoff	Versuche mit mehreren Ringen		
	Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0		
	1	3	5
R-P0-10-00-00-00-C1	1	2	2
R-F0-10-00-10-10-C4	-	1	1
R-P0-10-00-00-00-C1 3 Ringe + R-F0-10-00-10-10-C4 2 Ringe	-	-	1
R-F0-20-20-00-00-C2	1	-	1
R-F0-50-00-00-00-C3	-	1	1
R-F0-20-00-00-00-M1	-	-	1
F-F0-30-00-00-00-M2	-	-	1
R-P0-10-00-00-00-A4	-	-	1
R-F0-10-00-10-30-A2	-	1	-
	Spindeloberfläche: Ra 6 $\cong$ Rz 25		
R-P0-10-00-00-00-C1		1	

### 2.2 Reibversuche

Ermittlung: Stopfbuchsreibkraft, Veränderung der Brillenspannung beim Auf- bzw. Abwärtsfahren, Überprüfung von Ansätzen zur Ermittlung der Stopfbuchsreibkraft, Reibwerte  $\mu$

Werkstoff	Ringanzahl		
	Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Spindelgeschwindigkeit $v = 6$ mm/s; Raumtemperatur		
Einzelringe: $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$	1	3	5
R-P0-10-00-00-00-C1	1	2 + 1 ohne Vorverformung	1 + 1 Spindelbewegung zuerst bei hoher Flächenpressung
R-F0-10-00-10-10-C4	-	1	1
R-P0-10-00-00-00-C1 3 Ringe + R-F0-10-00-10-10-C4 2 Ringe	-	-	1
R-F0-20-20-00-00-C2	1	-	1
R-F0-50-00-00-00-C3	-	1	1
R-F0-20-00-00-00-M1	-	-	1
F-F0-30-00-00-00-M2	-	-	1
R-P0-10-00-00-00-A4	-	-	1
R-F0-10-00-10-30-A2	-	1	-
Einzelringe: $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$	Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Spindelgeschwindigkeit $v = 6$ mm/s; Hohe Temperaturen		
R-P0-10-00-00-00-C1	-	1 (350°C)	-
Einzelringe: $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$	Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Spindelgeschwindigkeit $v = 20 - 130$ mm/s; Raumtemperatur		
R-P0-10-00-00-00-C1	2	-	-
	Spindeloberfläche: Ra 6 $\cong$ Rz 25		
R-P0-10-00-00-00-C1		1	

## 2.3 Quasistatische Leckageversuche

Ermittlung: spezifische Leckagerate  $\lambda$  bzw. Leckageratenkennfeld ( $\sigma_{VU}$ ;  $\sigma_{BU}$ ),  
Veränderung der axialen Flächenpressung bei Druckaufgabe

<b>Einzelringe: <math>\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8</math> Werkstoff</b>	<b>2 Ringe; 40 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
R-F0-20-20-00-00-C2	1
R-F0-10-00-10-10-C4	1
R-F0-20-00-00-00-M1	1
F-F0-30-00-00-00-M2	1
	<b>2 Ringe; 160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
R-F0-20-20-00-00-C2	1
R-F0-10-00-10-10-C4	1
	<b>4 Ringe; 160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
R-F0-20-20-00-00-C2	1
R-F0-10-00-10-10-C4	1
F-F0-30-00-00-00-M2	1
	<b>160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1      3 Ringe +	1
R-F0-10-00-10-10-C4      2 Ringe	1
R-P0-10-00-10-30-T1      Packungssatz	1
	<b>4 Ringe, 160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Grundringe 0; Spindeldurchmesser 39,6 mm; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>4 Ringe, 160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Grundringe 0; Spindeldurchmesser 39,2 mm; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>4 Ringe; 160 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung Spindeloberfläche: Ra 6 <math>\cong</math> Rz 25</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>2 Ringe; 260 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>2 Ringe; 370 bar; Raumtemperatur; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1

## 2.4 Langzeit-Reib- und Leckageversuche

Ermittlung: axialer Spannungsabfall, spezifische Leckagerate  $\lambda(t, T, N)$  usw.

<b>Einzelringe: Ø40xØ56x8 Werkstoff</b>	
	<b>160 bar; 200 °C; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Vorverformung 40 N/mm<sup>2</sup>; Vorspannung 27 N/mm<sup>2</sup>; 7000 Spindelzyklen</b>
R-F0-20-20-00-00-C2    2 Ringe + R-F0-50-00-00-00-C3    2 Ringe	1
	<b>4 Ringe; 160 bar; 300 °C; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Vorverformung 50 N/mm<sup>2</sup>; Vorspannung 30 N/mm<sup>2</sup>; 9000 Spindelzyklen</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1

Ermittlung: axialer Spannungsabfall, Stopfbuchsreibungskraft

<b>Einzelringe: Ø40xØ56x8 Werkstoff</b>	<b>4 Ringe; RT Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0; Vorspannung 22 N/mm<sup>2</sup>; 500 Spindelzyklen</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1

## 2.5 Wärmespannungen

<b>Einzelringe: Ø40xØ56x8 Werkstoff</b>	
	<b>3 Ringe; Aufheizen einer mit 50 N/mm<sup>2</sup> vorverformten und mit 17,5 N/mm<sup>2</sup> vorgespannten Packung; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>Aufheizen und Abkühlen einer mit 40 N/mm<sup>2</sup> vorverformten und mit 20 N/mm<sup>2</sup> vorgespannten Packung; Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b>
R-F0-20-20-00-00-C2    2 Ringe + R-F0-50-00-00-00-C3    2 Ringe	1

t: Zeit

T: Temperatur

N: Anzahl Spindelzyklen

### 3 Relaxationsversuchsstand

Ermittlung: axialer Spannungsabfall

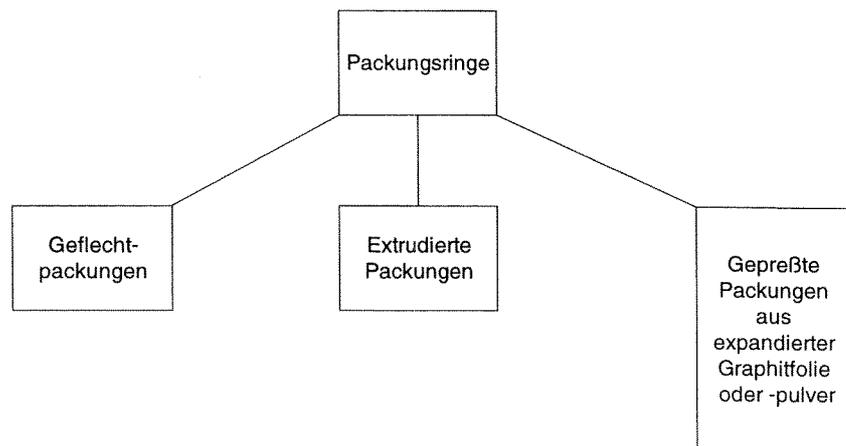
<b>Einzelringe: Ø40xØ56x8</b> <b>Werkstoff</b>	
	<b>6 Ringe; 150 °C;</b> <b>Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b> <b>ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>6 Ringe; 300 °C;</b> <b>Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b> <b>ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>6 Ringe; 400 °C;</b> <b>Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b> <b>ohne Spindelbewegung</b>
R-P0-10-00-00-00-C1	1
	<b>6 Ringe; 200 °C;</b> <b>Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b> <b>ohne Spindelbewegung</b>
R-F0-20-20-00-00-C2	1
	<b>5 Ringe; 200 °C;</b> <b>Spaltmaß: Stobu 0; Grundringe 0;</b> <b>ohne Spindelbewegung</b>
F-F0-30-00-00-00-M2	1

### 4 Untersuchungen der HEW

Reibwerte  $\mu$  bezogen auf axiale Flächenpressung (Brillenkraft),  
Medium Stickstoff und Wasser: Ergebnisse der HEW (H. Hacker)

## Codierung der untersuchten Packungswerkstoffe

Zur Unterscheidung der entweder in Form von Einzelringen oder Meterware gelieferten Werkstoffe wurden diese zuerst nach dem Herstellverfahren unterteilt.



**Bild:** Packungsarten

Danach erfolgt eine Einteilung nach den unterschiedlichen Grundwerkstoffen sowie weiteren Angaben zu Bindemitteln und Verstärkungen bzw. Einlagen. Damit ergibt sich der folgende erweiterbare elfstellige Code zur Bezeichnung der Packungsmaterialien, **Tabelle a** und **Tabelle b**.

Stelle	Lieferform		Herstellverfahren		Grundwerkstoff		Bindemittel		Verstärkung, Einlagen		Art		Werkstoff	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
	R	F		1		0	0		0	0		0	0	
	M	W		2		1			1			1		
		P		3		2			2			2		
		E		4		3			3			3		
		S		5								4		

**Tabelle a:** Sachmerkmaliste

Stelle	
1	R=einbaufertige vorgepreßte Ringe M=Meterware
2, 3	F=Flechten W=Wickeln P=Pressen E=Extrudieren S=Sonstige
4, 5	1=flexibler Graphit 2=PTFE, rein 3=PTFE-Compound 4=Faserwerkstoff außer PTFE 5=Sonstige
6, 7	00=ohne 1=Elastomer-Basis 2=Fluorpolymer-Basis 3=Sonstige
8, 9	00=ohne 1=Garn, Draht 2=Folie 3=Formteile, z.B. Winkelringe an Kanten oder Zwischenringe bei Schichtwerkstoff usw.
10, 11	00=ohne 1=Prox-, C-, G-Fasern, organische Fasern 2=anorganische Fasern 3=Metall 4=Sonstige

**Tabelle b:** Sachmerkmaliste

Diese Art der Kurzbezeichnung ist auf alle untersuchten Packungsringprodukte anwendbar.

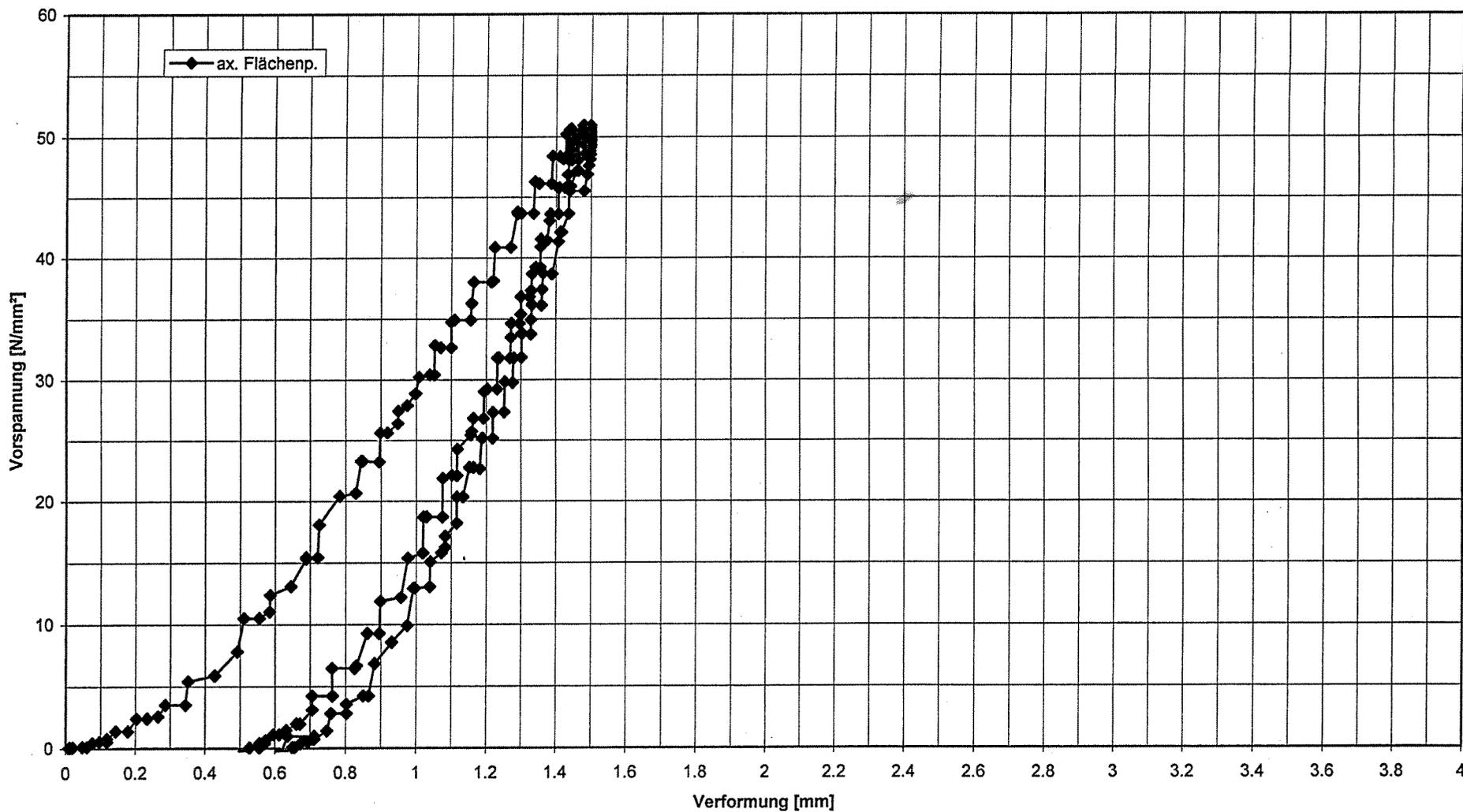
Ergänzend wird diesem Code noch ein Buchstabe **B** und eine Zahl **Z** angefügt. Dabei bezeichnet der angehängte Buchstabe den Hersteller des Packungsringes und die Zahl codiert die Produktbezeichnung des jeweiligen Herstellers

Das Beispiel „**R-P0-10-00-00-00-X14**“ bedeutet einbaufertig vorgepreßter Ring aus gepreßtem flexiblen Graphit ohne Bindemittel und ohne Verstärkungen bzw. Einlagen, Produkt 14 des Herstellers X.

# **1 Stauchversuchsstand**

## **1.1 Versuche an Einzelringen**

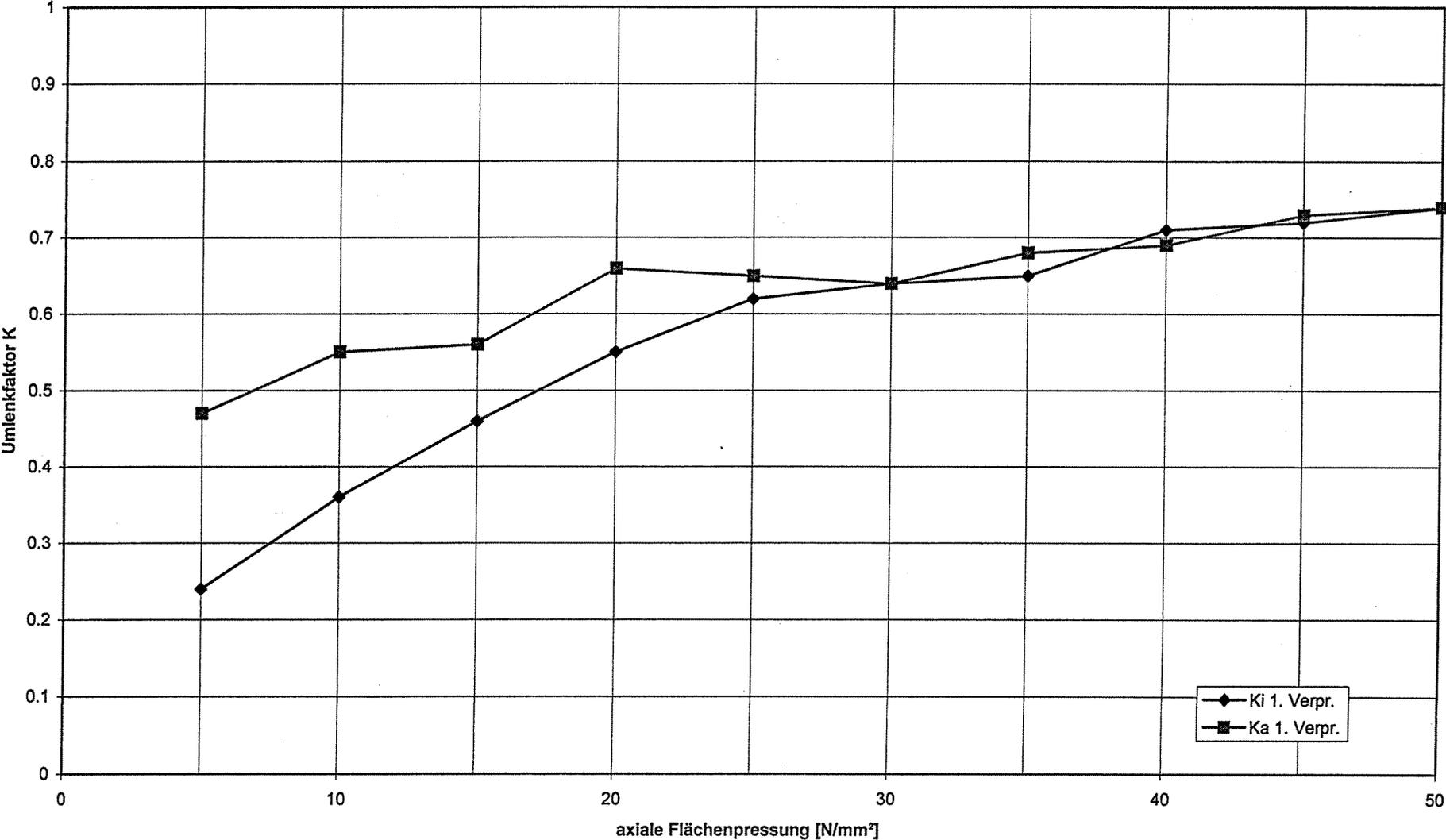
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

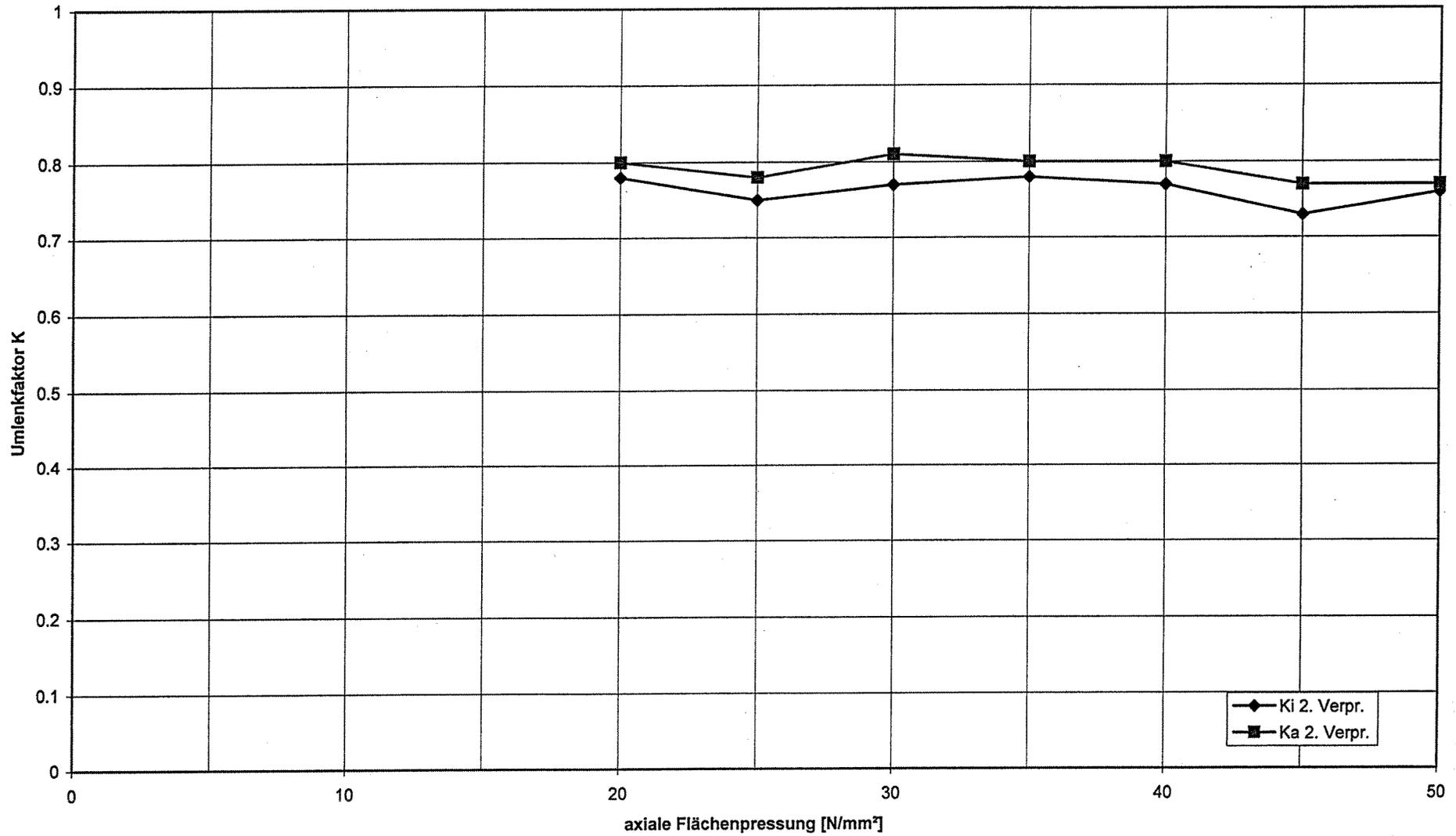
Ringe: Ø60xØ80x10

Umlenfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

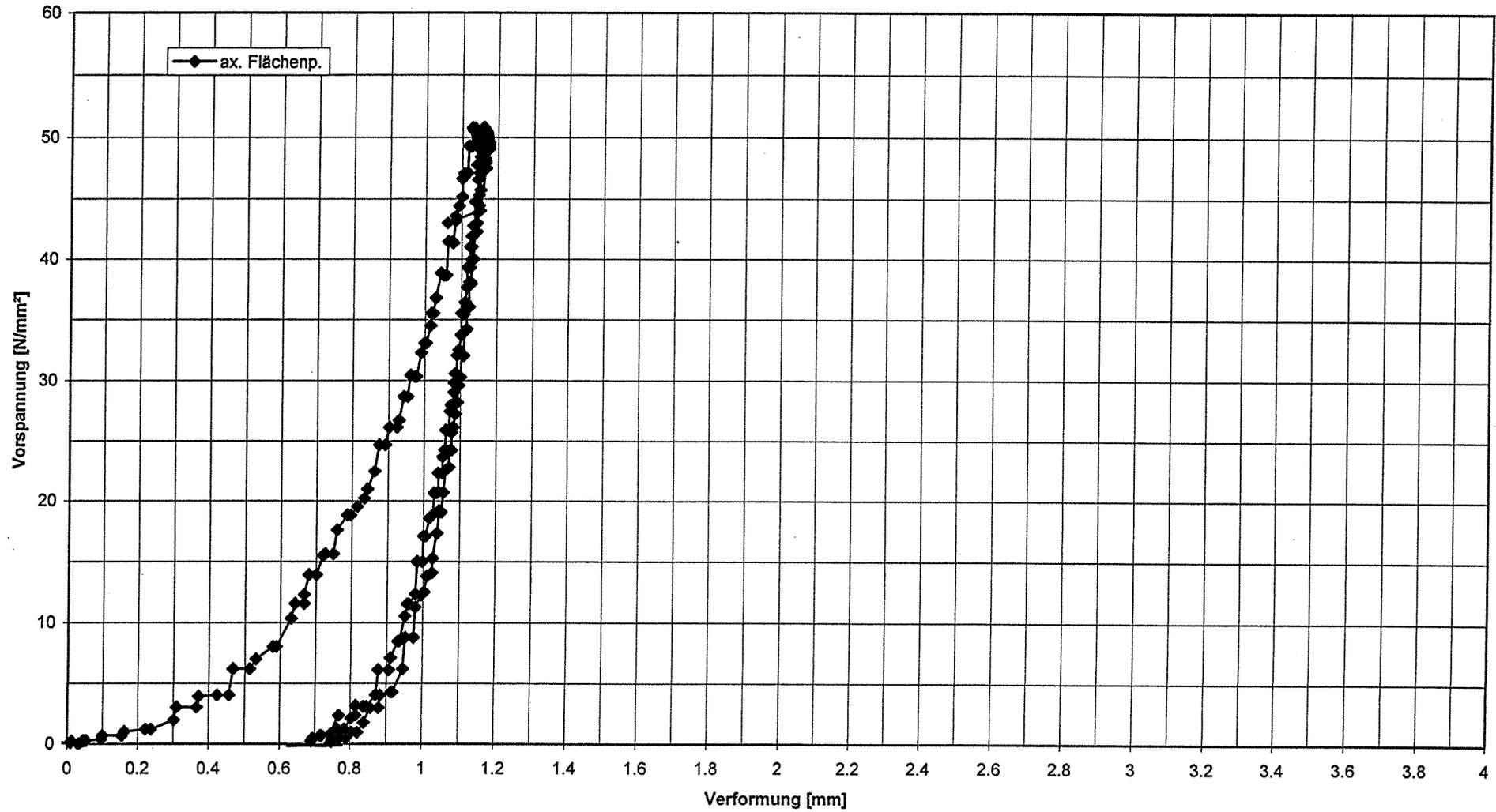
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

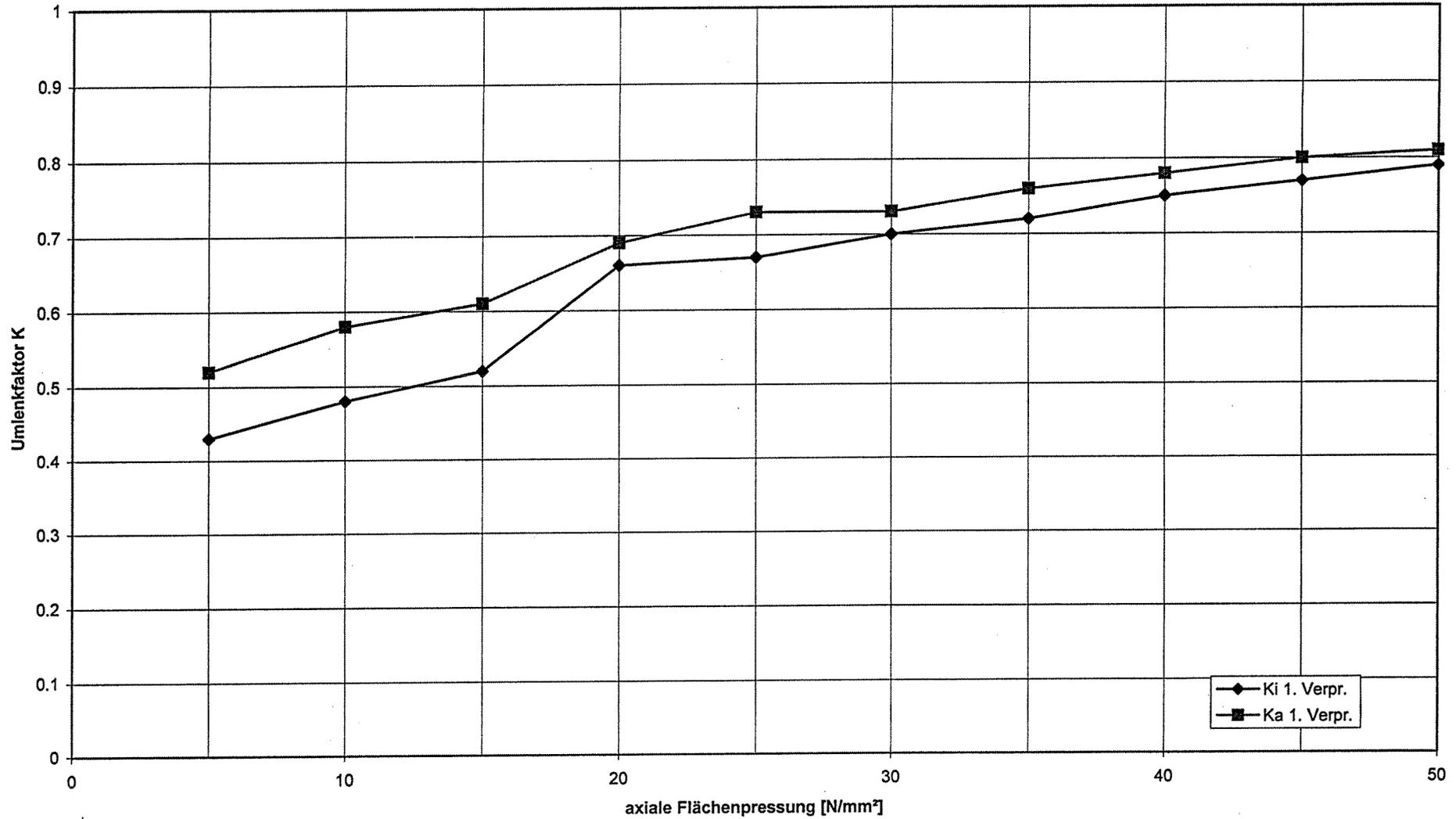
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

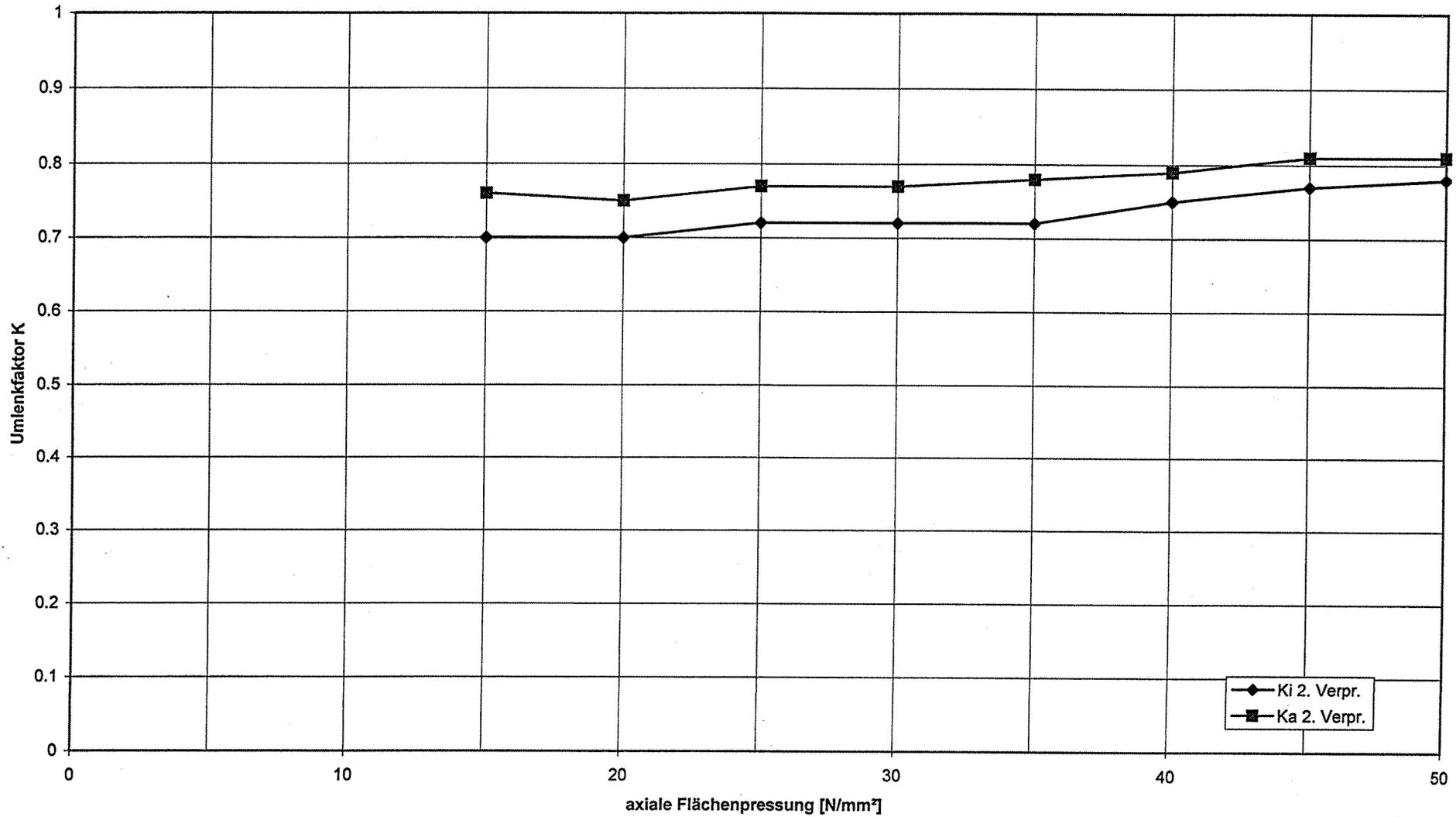
Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

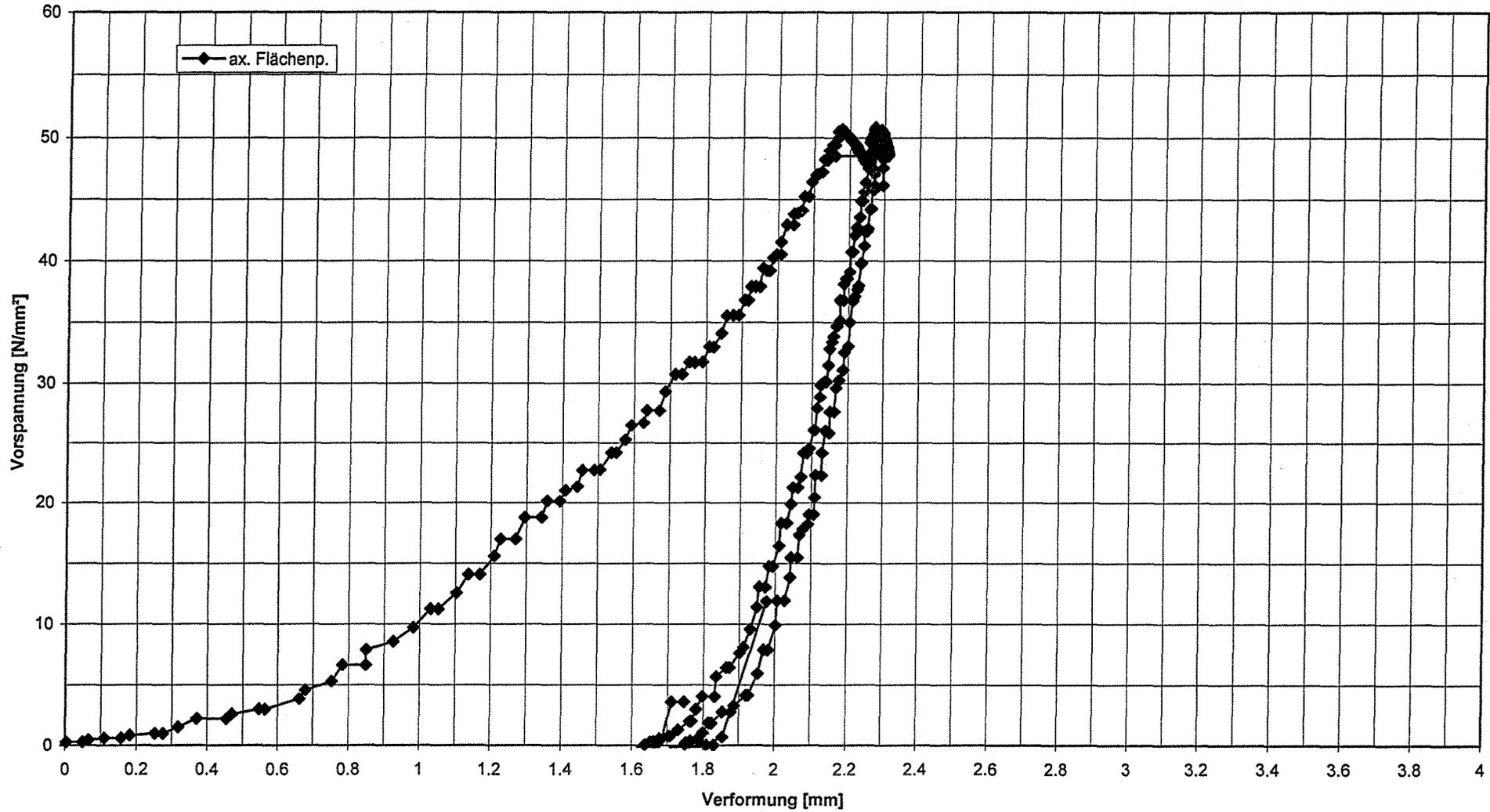
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

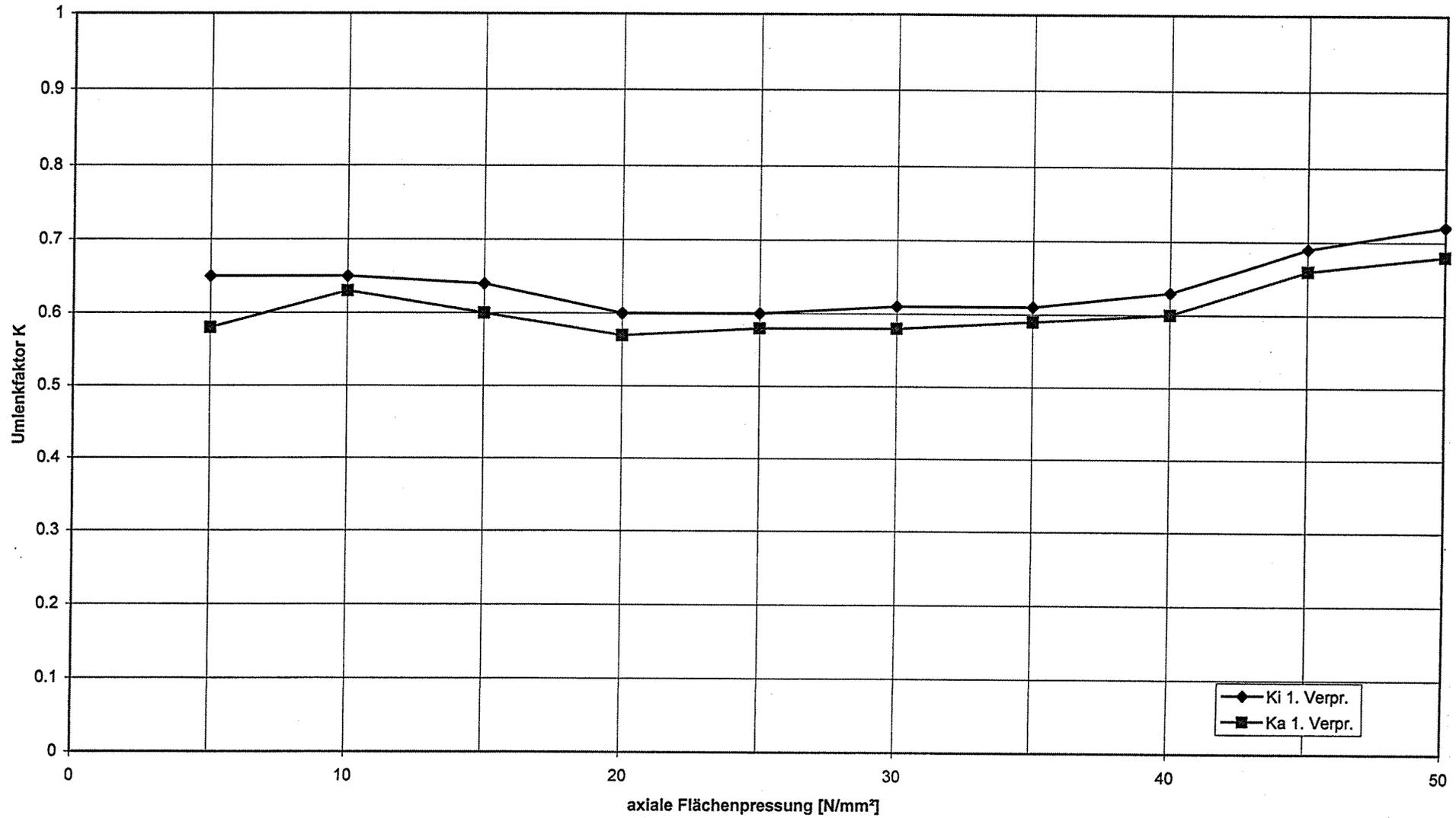
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

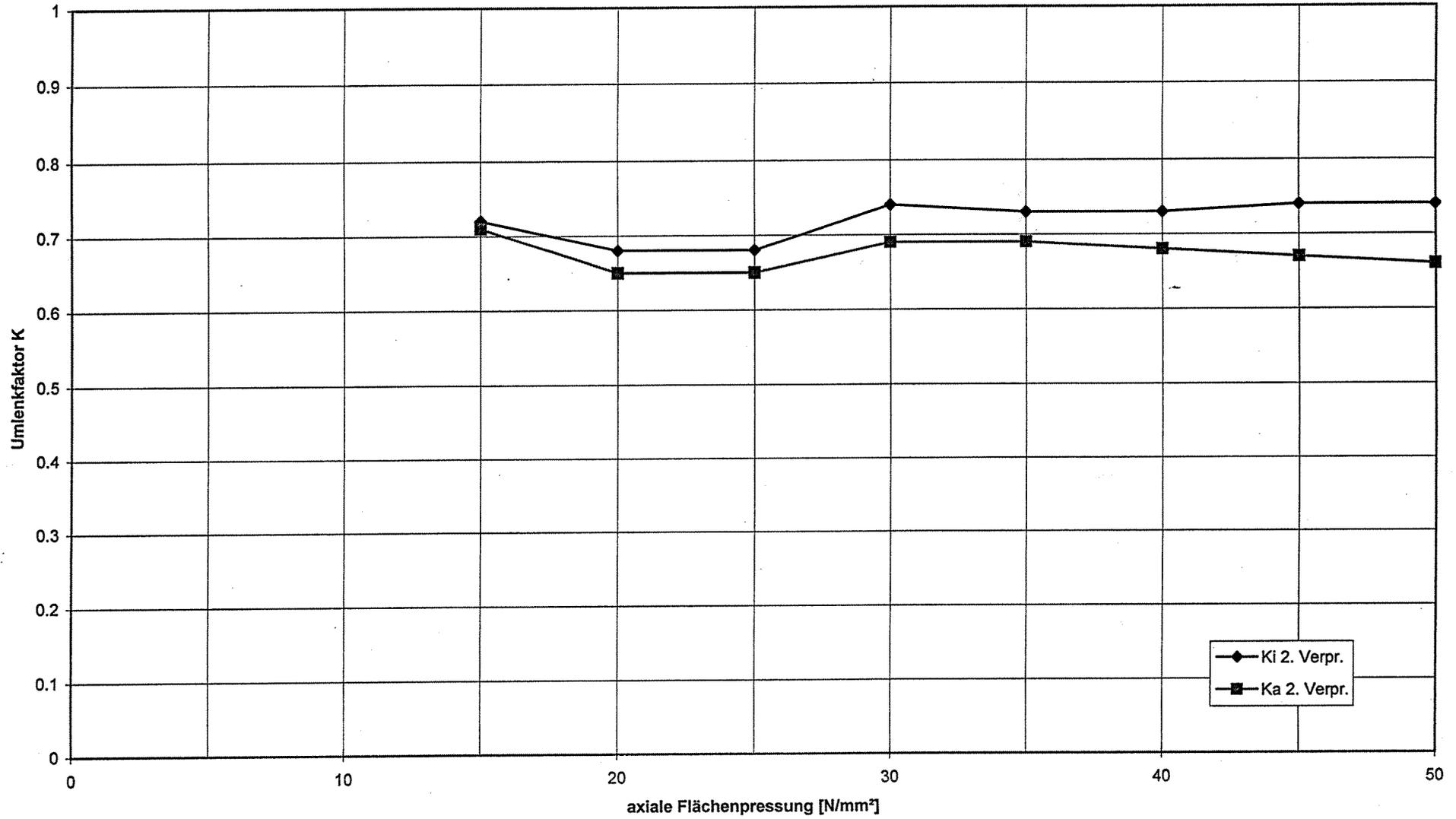
Ringe: Ø60xØ80x10

Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

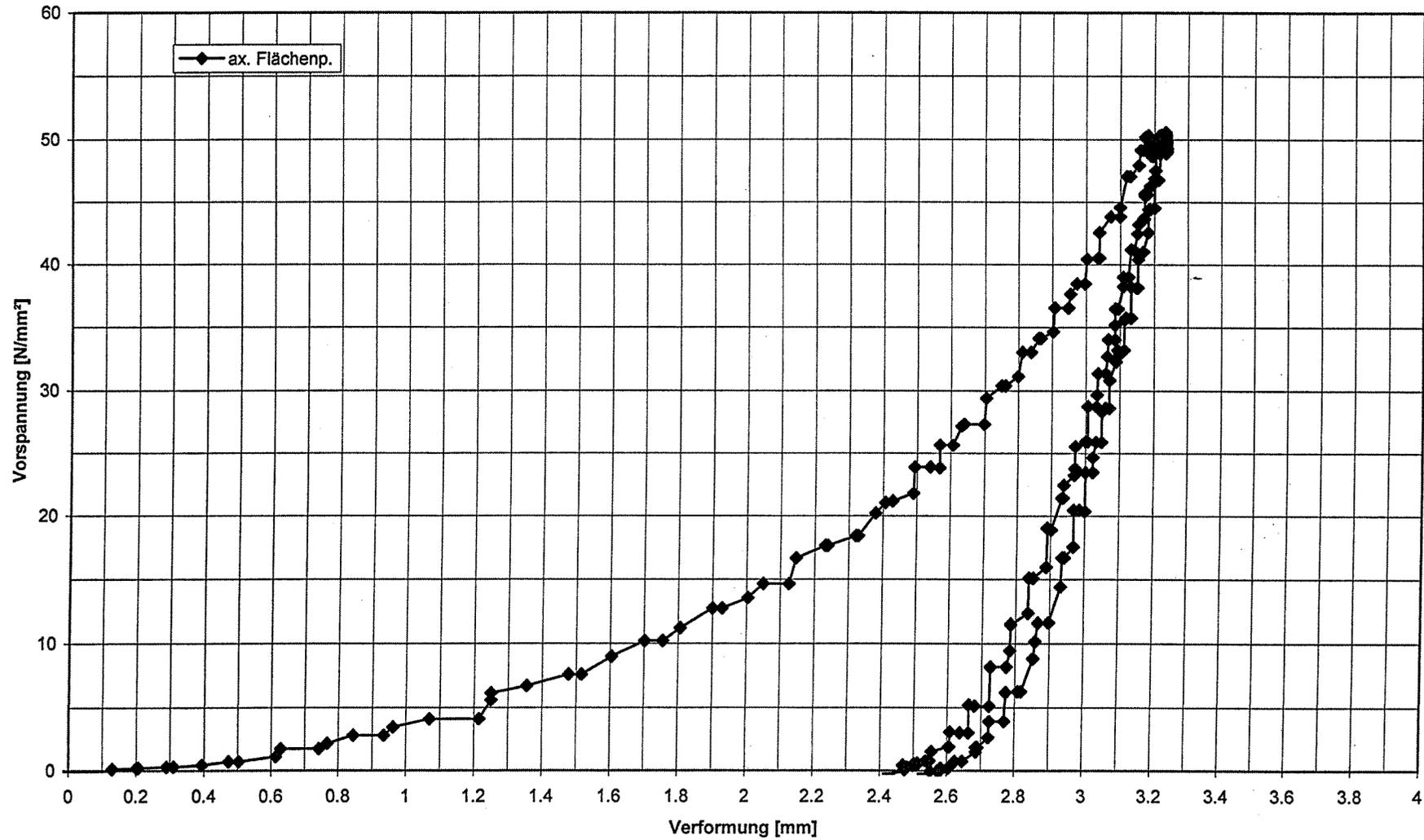
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

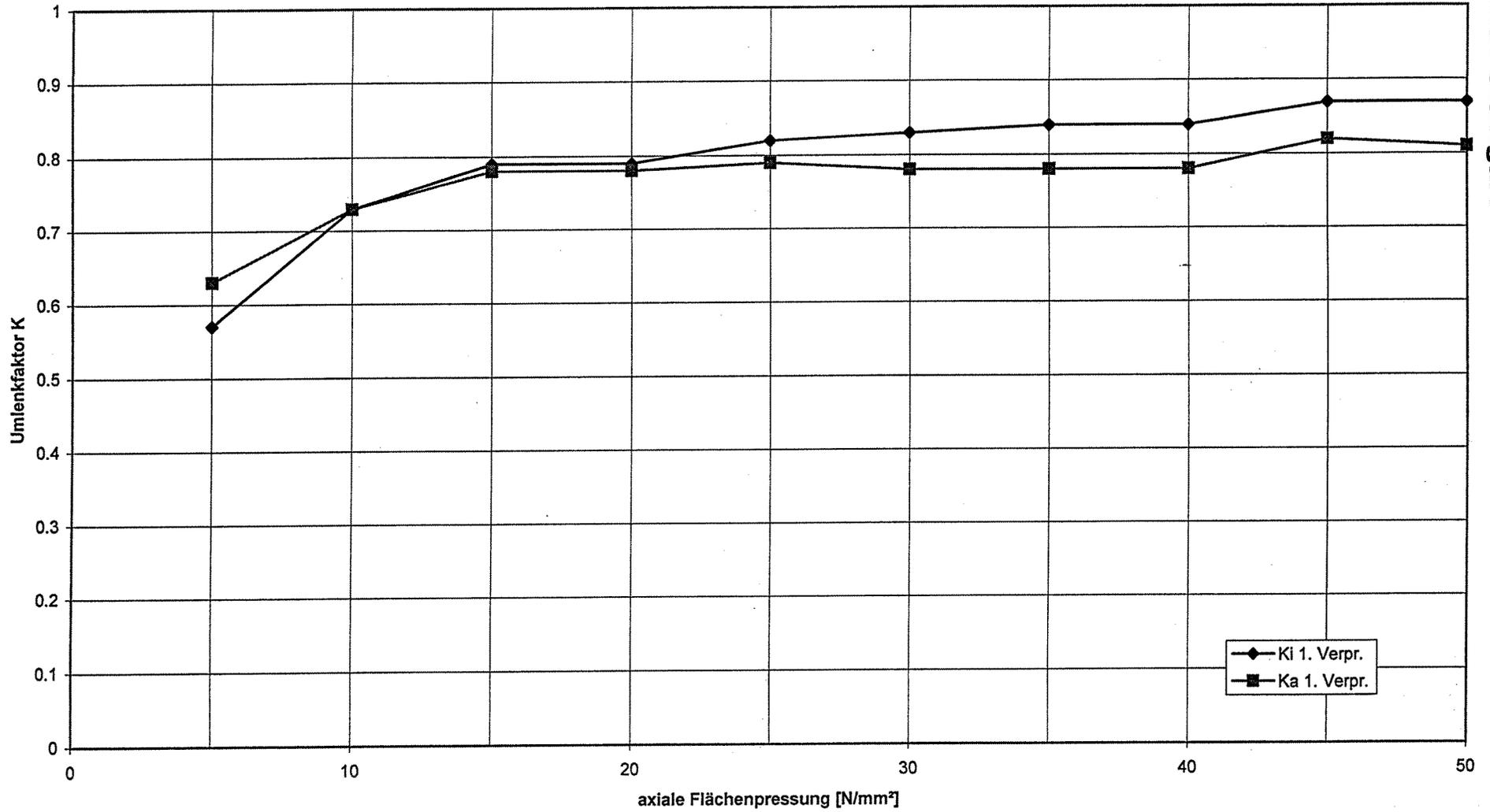
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

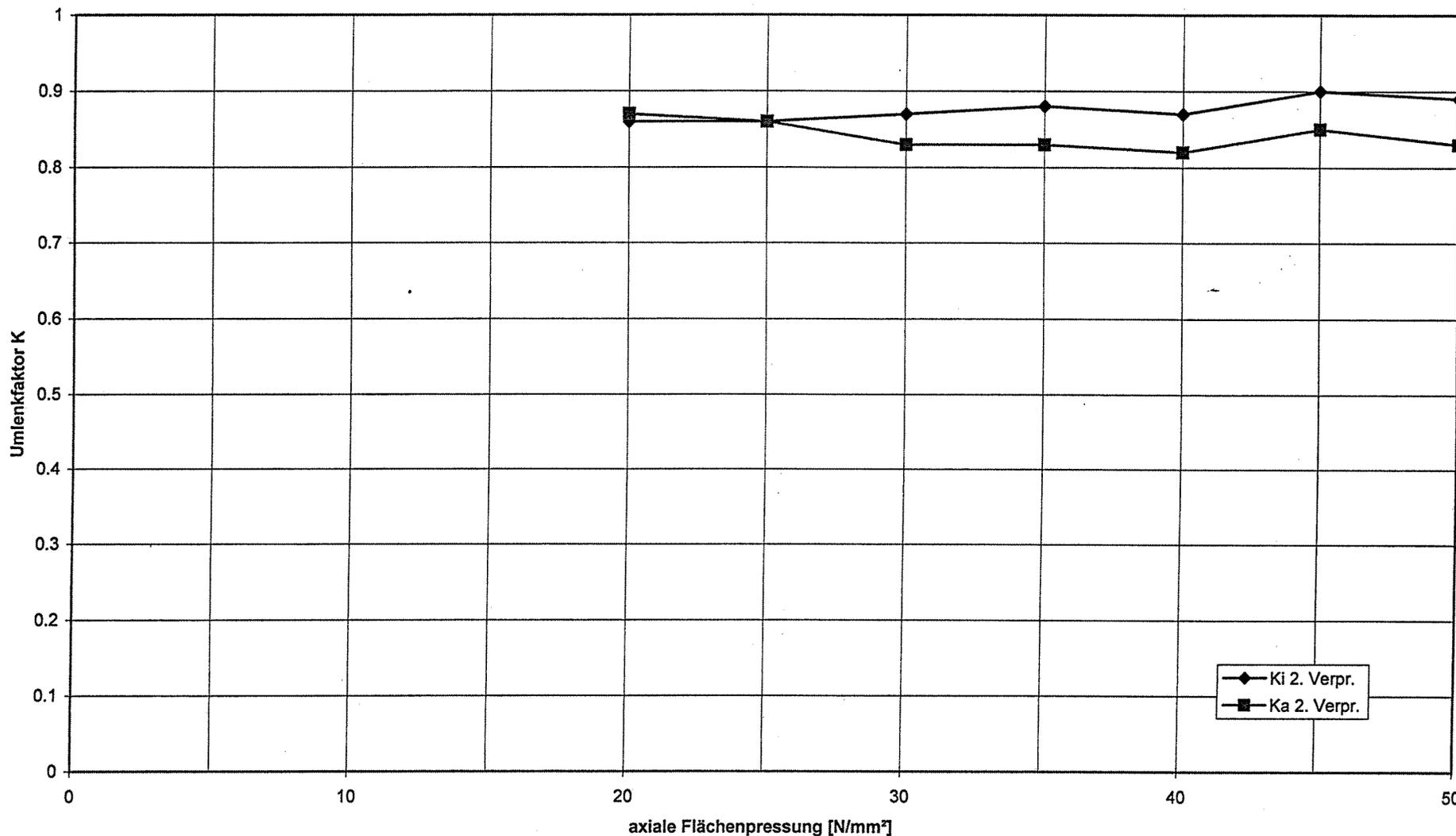
Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

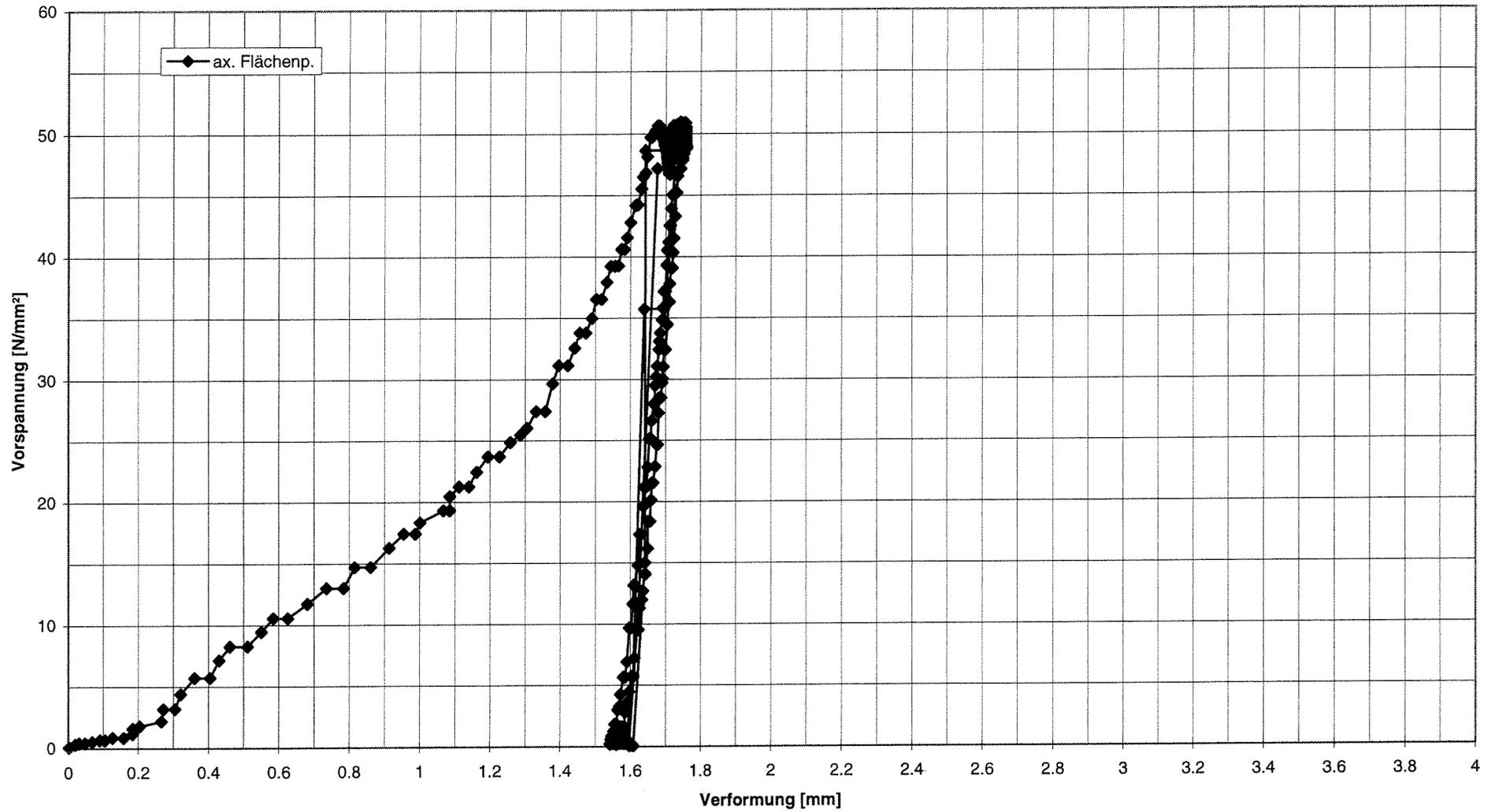
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x9

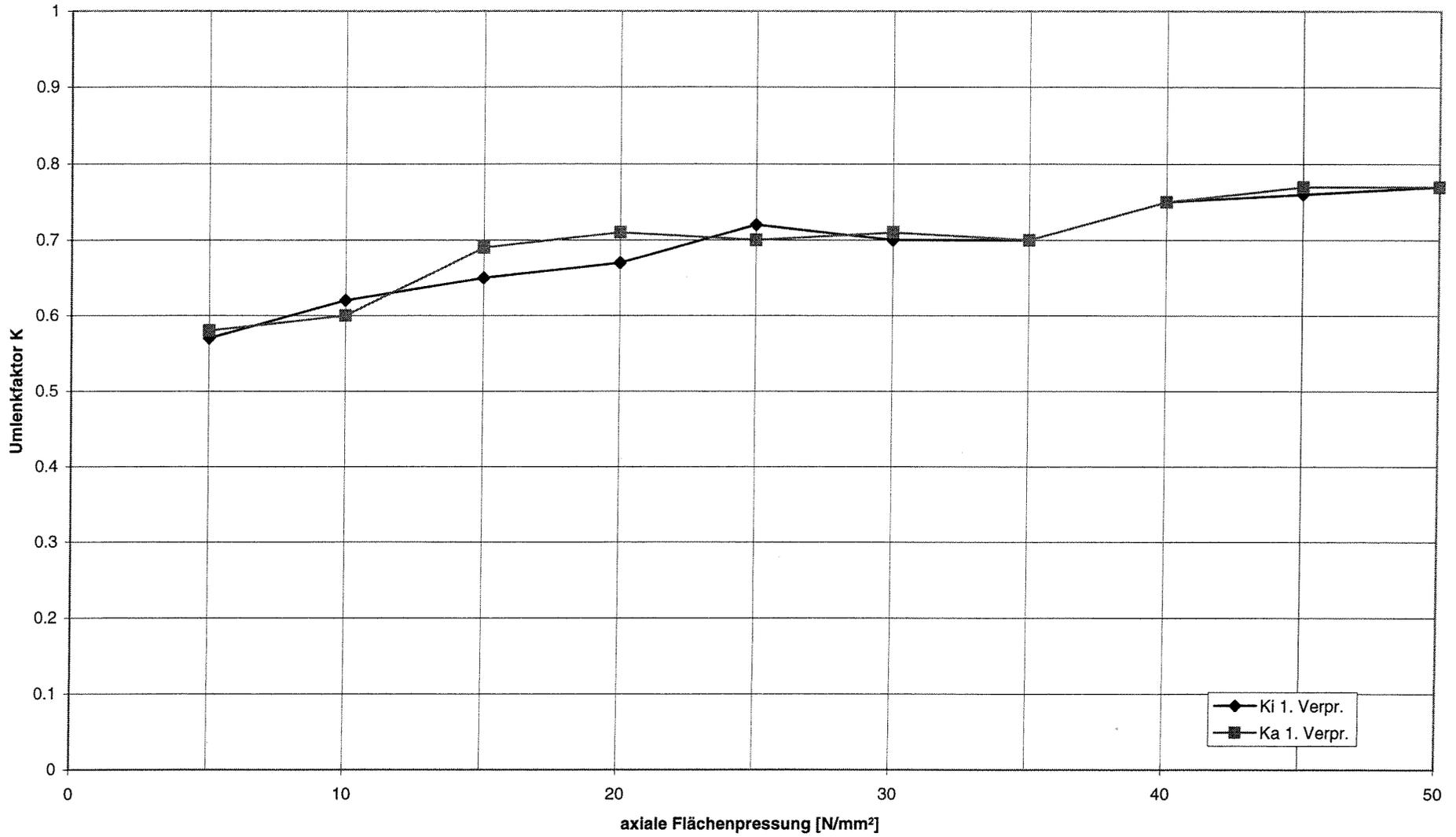
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-00-00-00-M1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

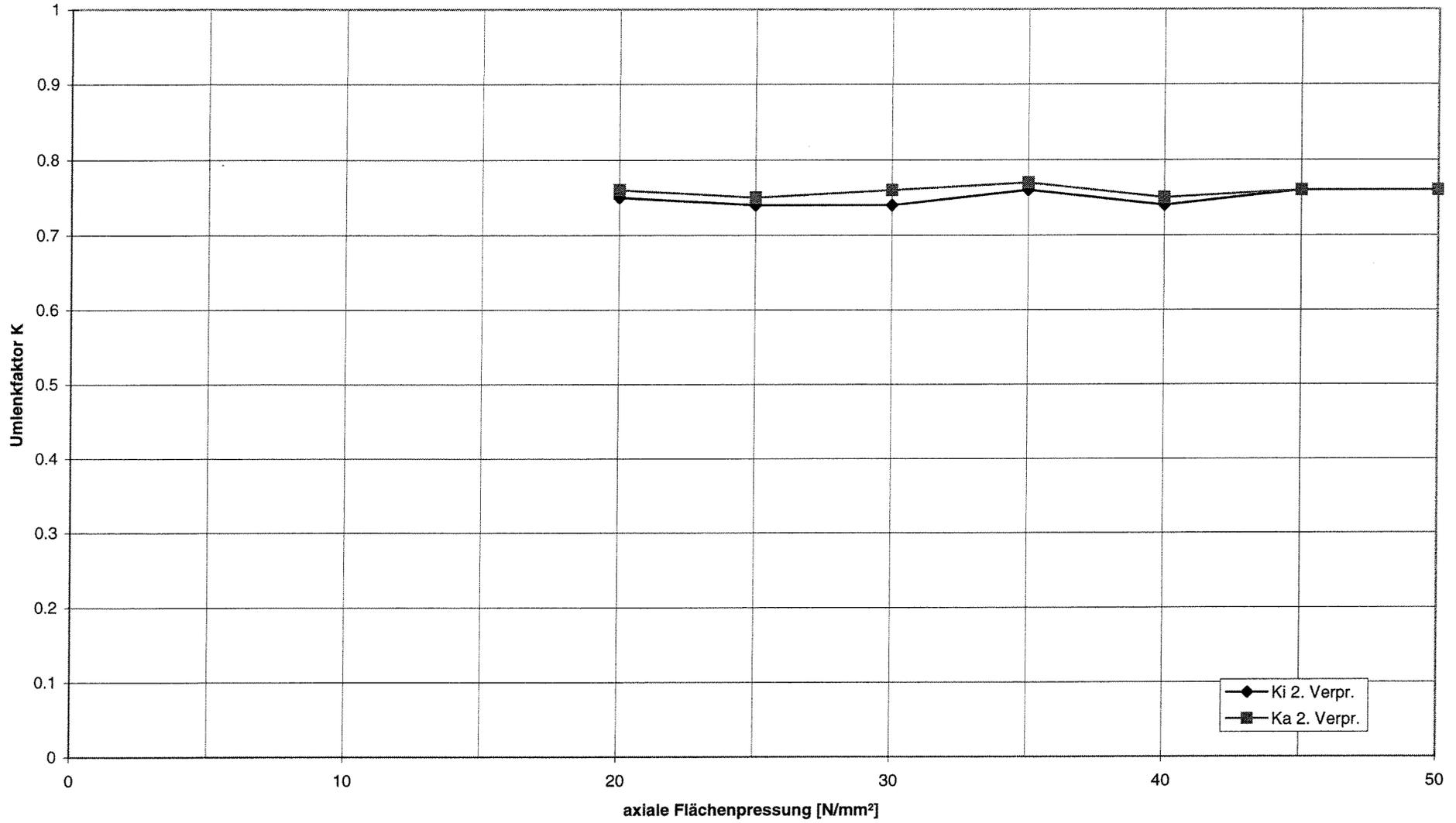
Ringe: Ø60xØ80x8

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-F0-20-00-00-00-M1**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

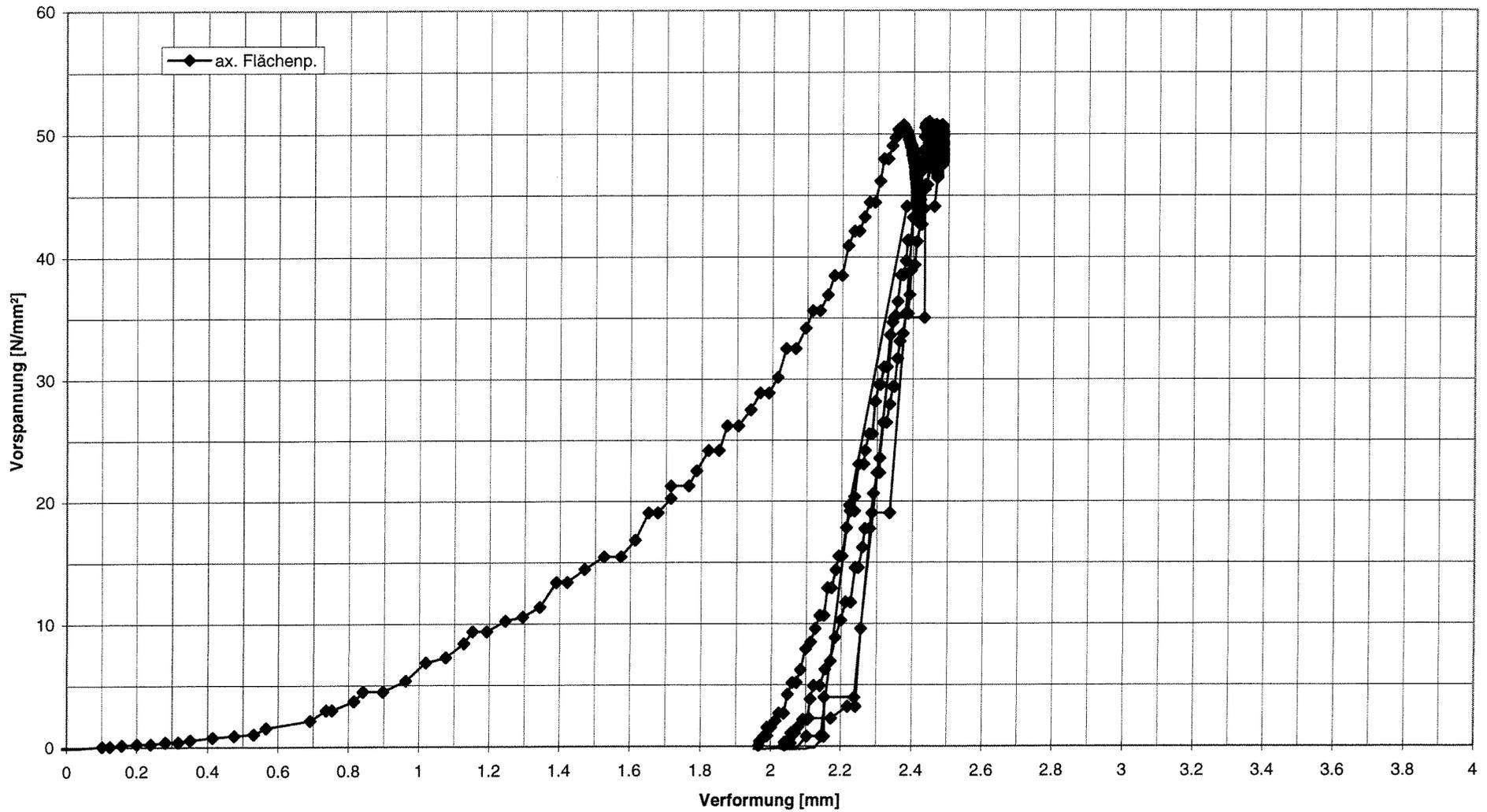
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-20-00-00-00-M1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

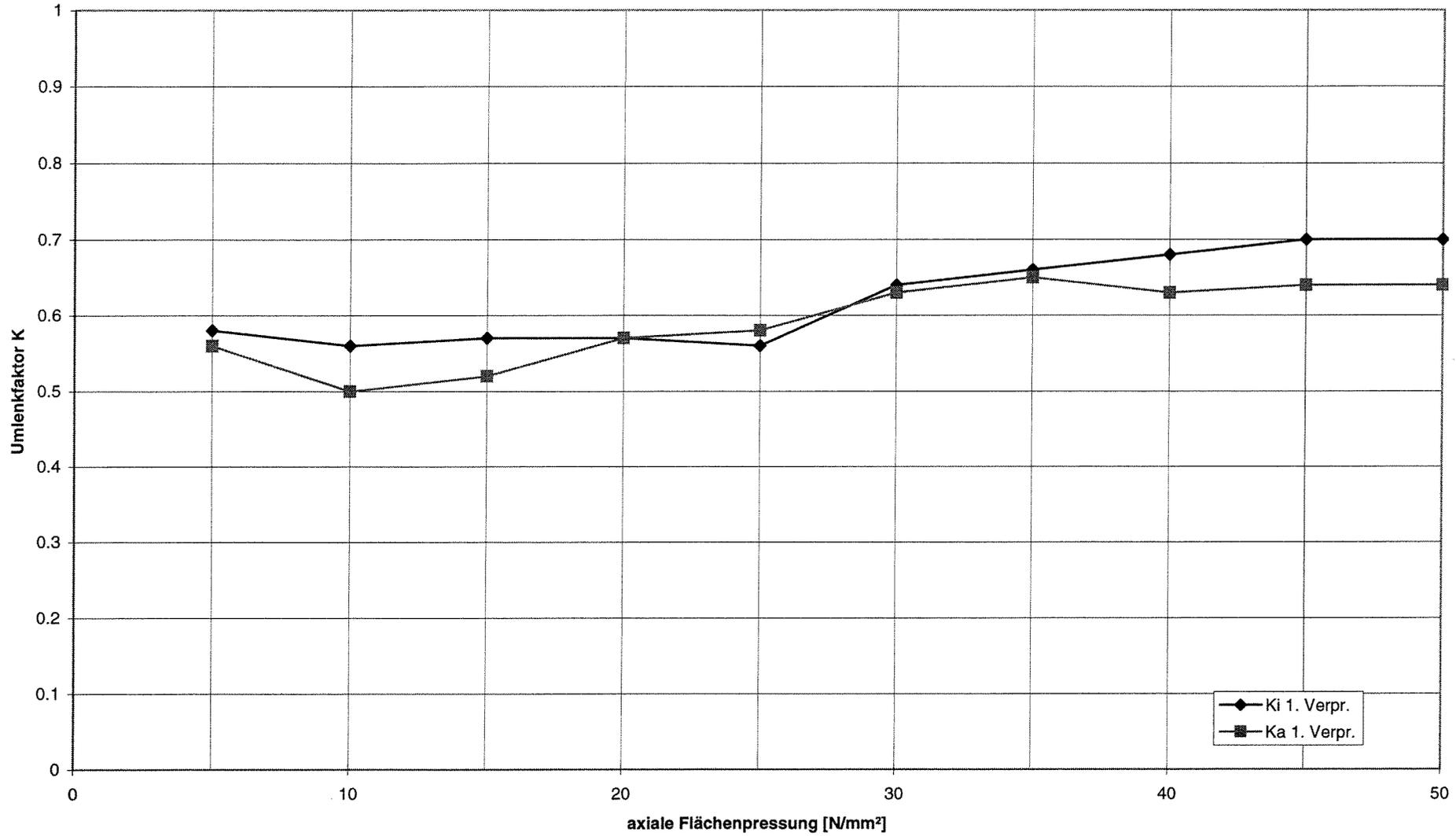
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-30-00-00-00-M2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-F0-30-00-00-00-M2**



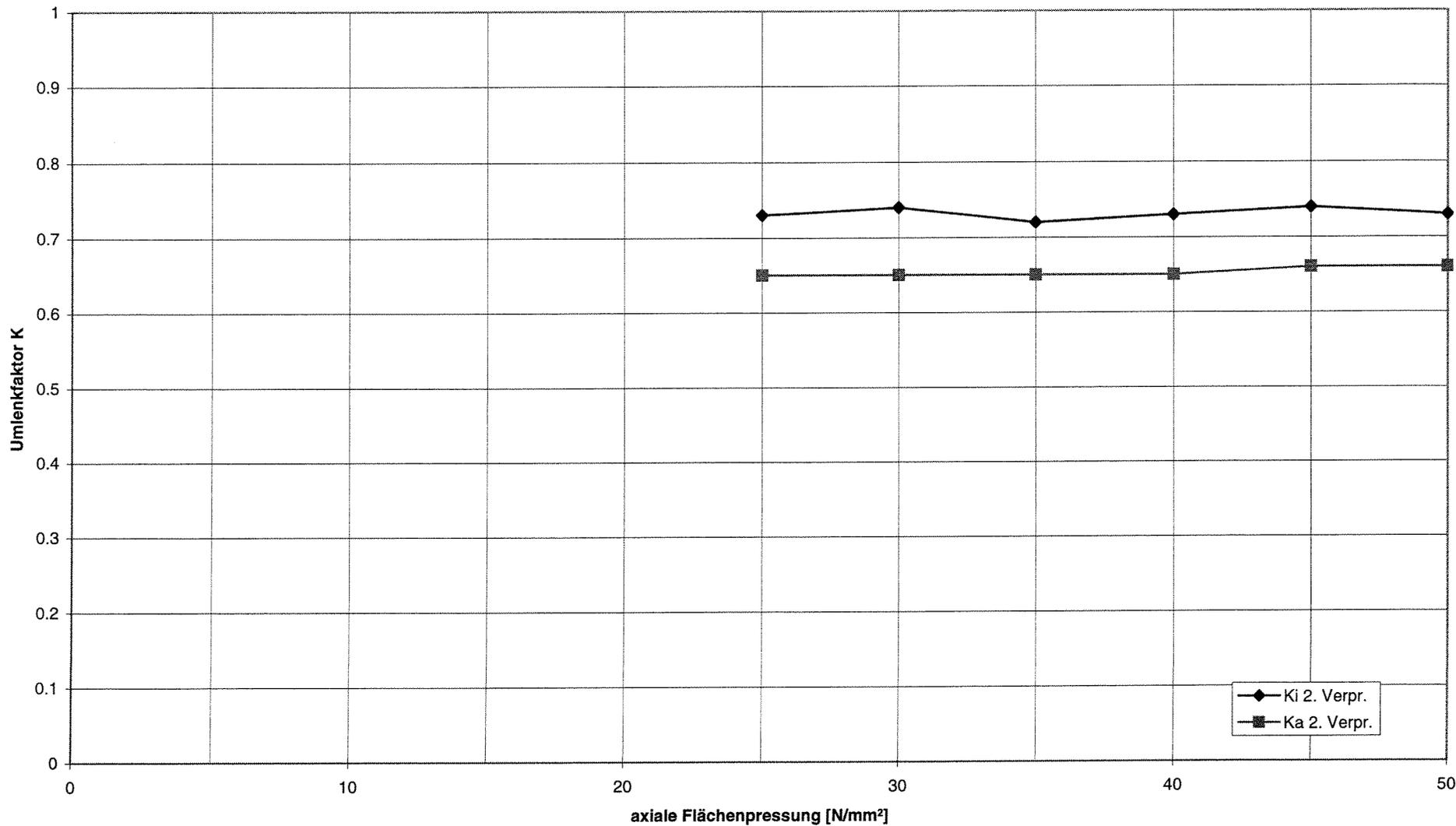
Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Auftrags-Nr.: 890 201 001  
Beilage 17

Statische  
Materialprüfungsanstalt  
Universität Stuttgart

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

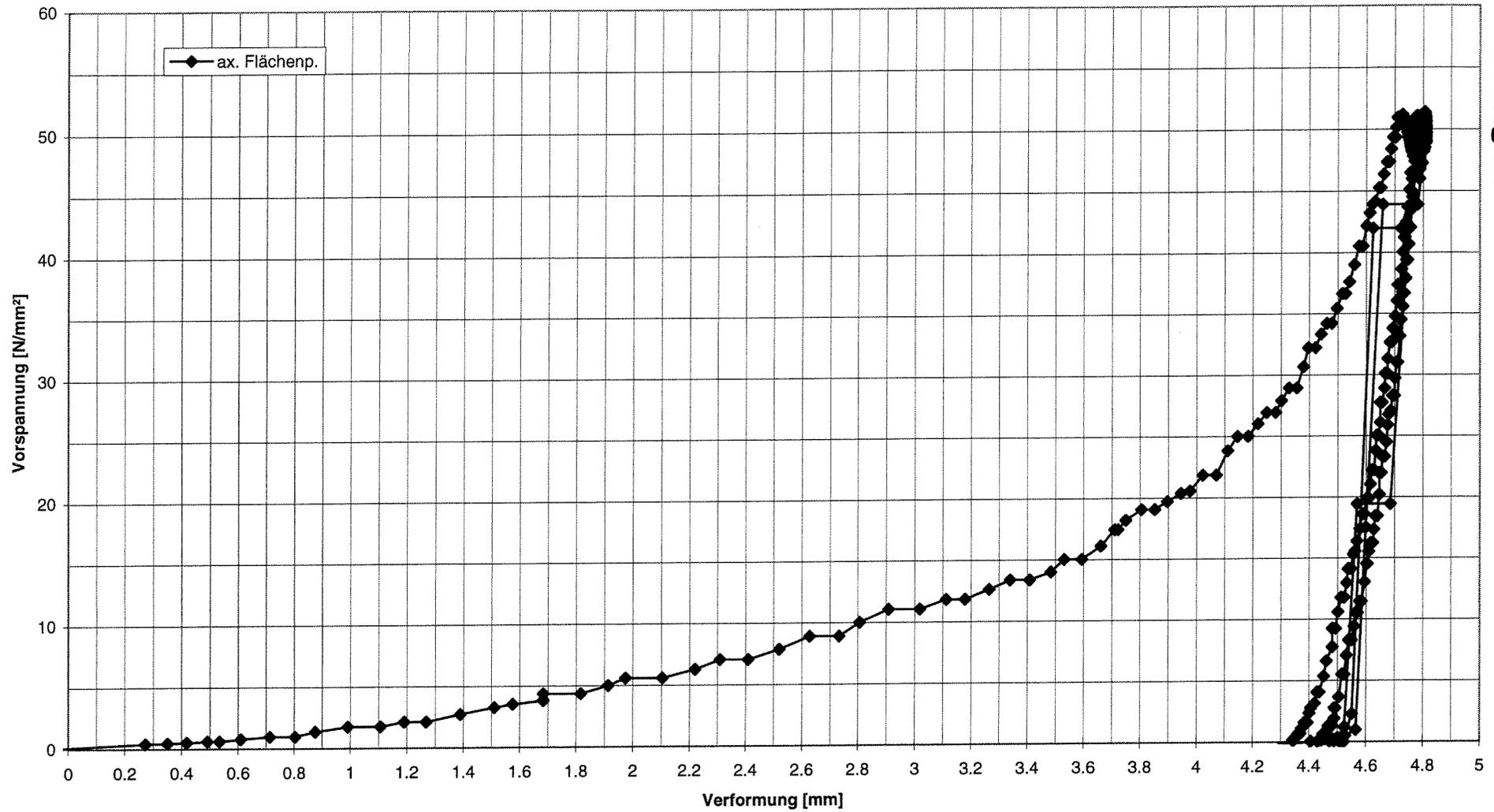
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-30-00-00-00-M2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 11,1$   
 $\rho = 1,44 \text{ g/cm}^3$

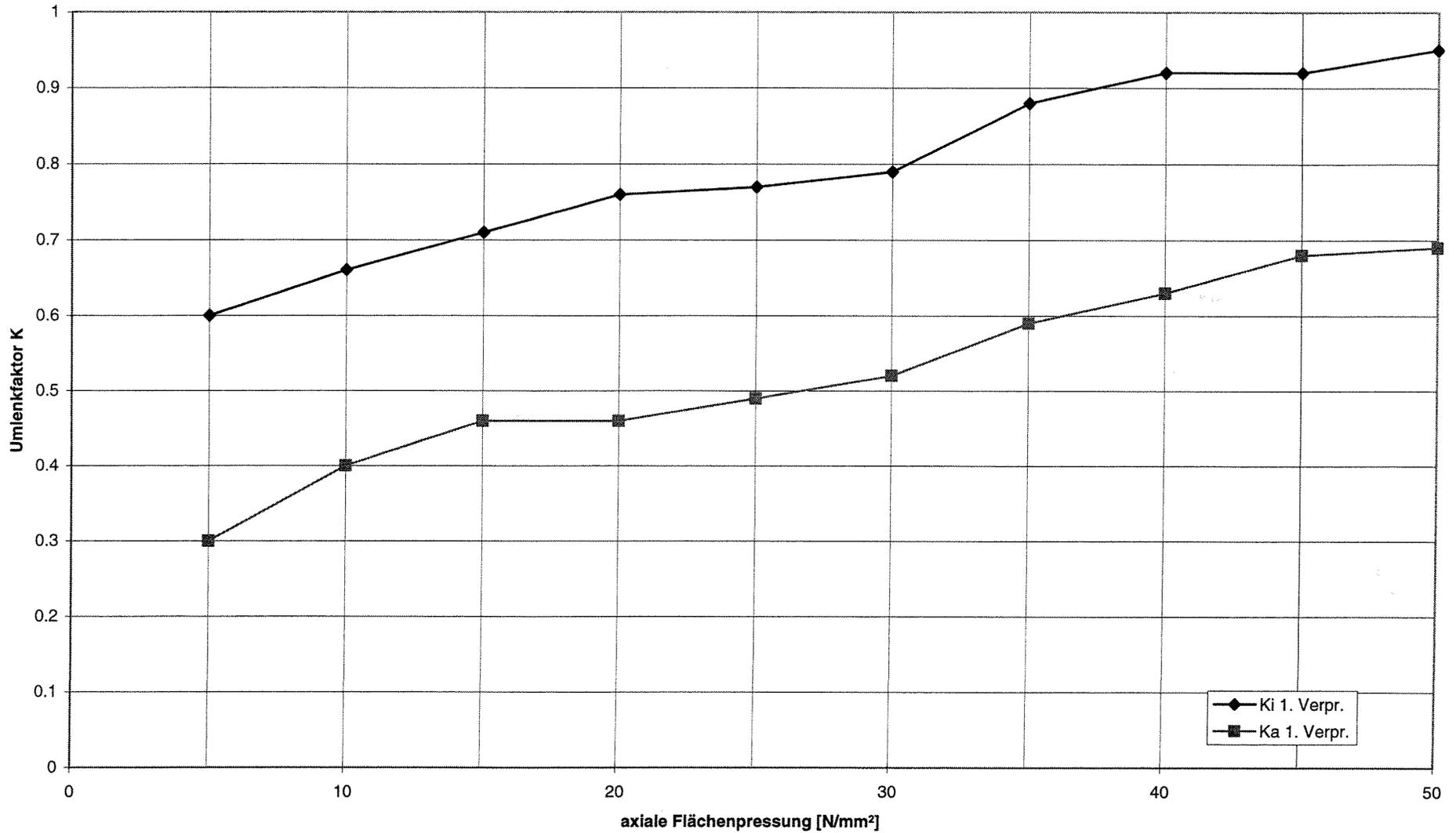
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-S0-20-00-00-00-M3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 11,1$   
 $\rho = 1,44 \text{ g/cm}^3$

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-S0-20-00-00-00-M3**

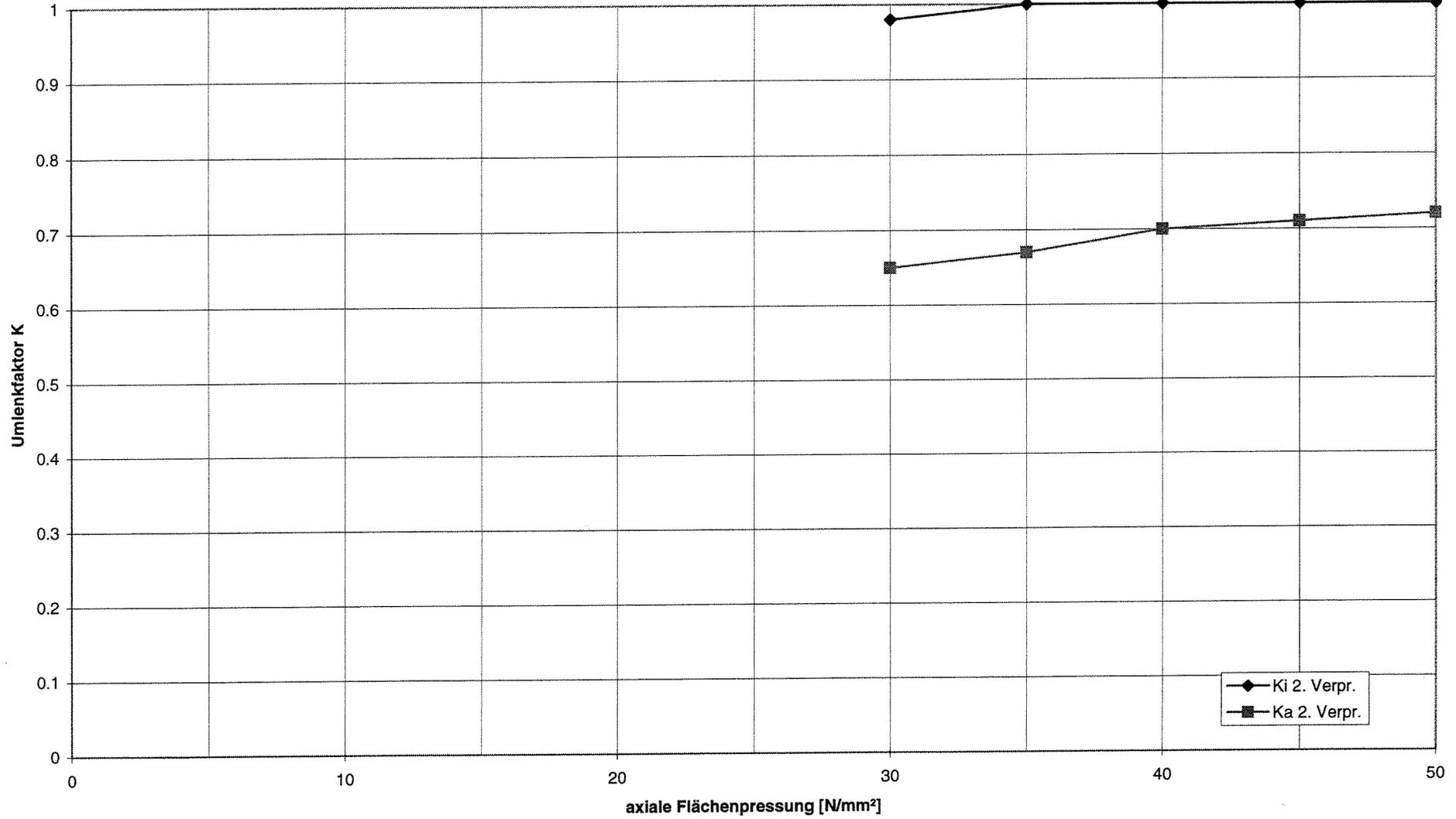


Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 11,1$

$r = 1,44 \text{ g/cm}^3$

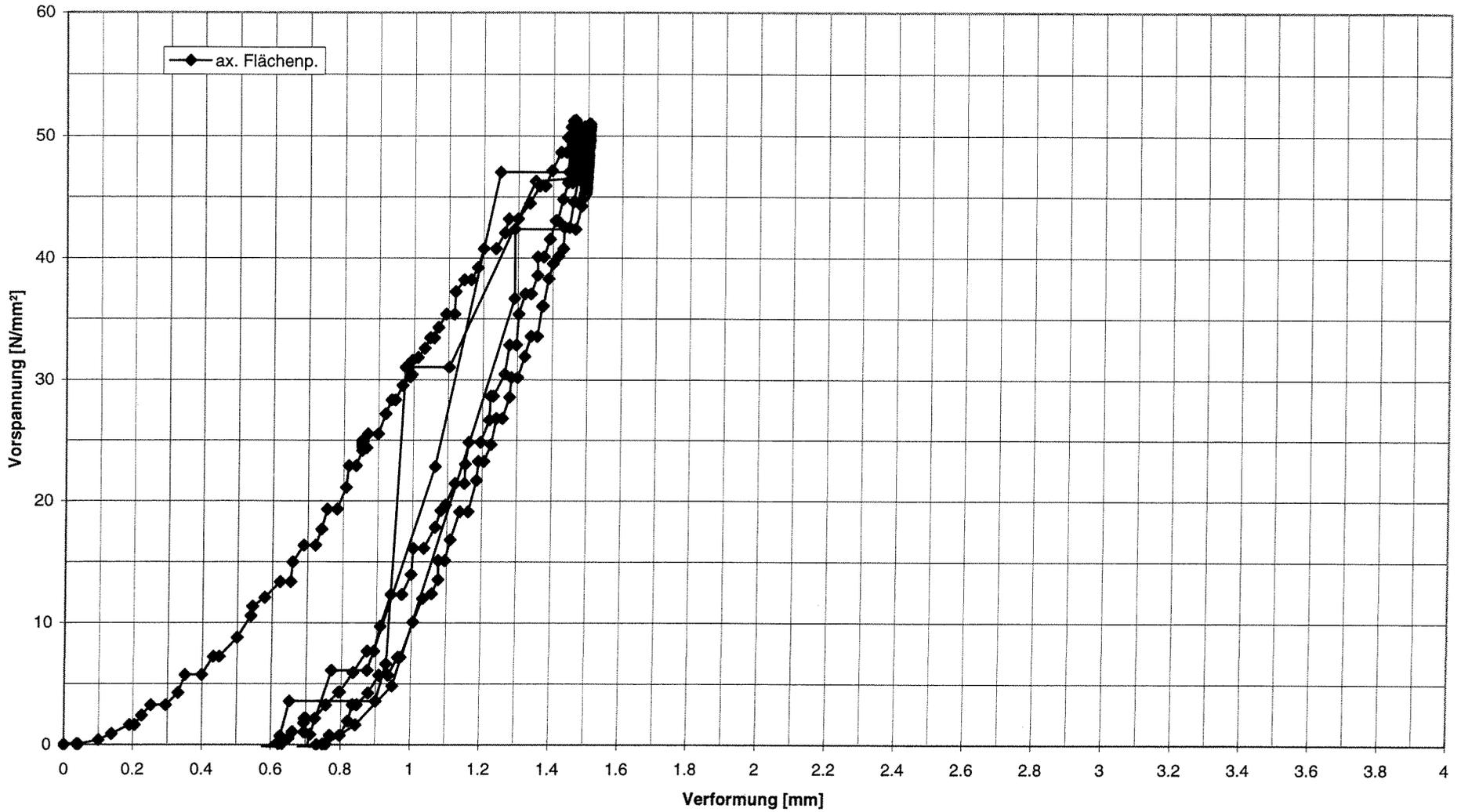
**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**2. Verpressen 1 Ring R-S0-20-00-00-00-M3**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

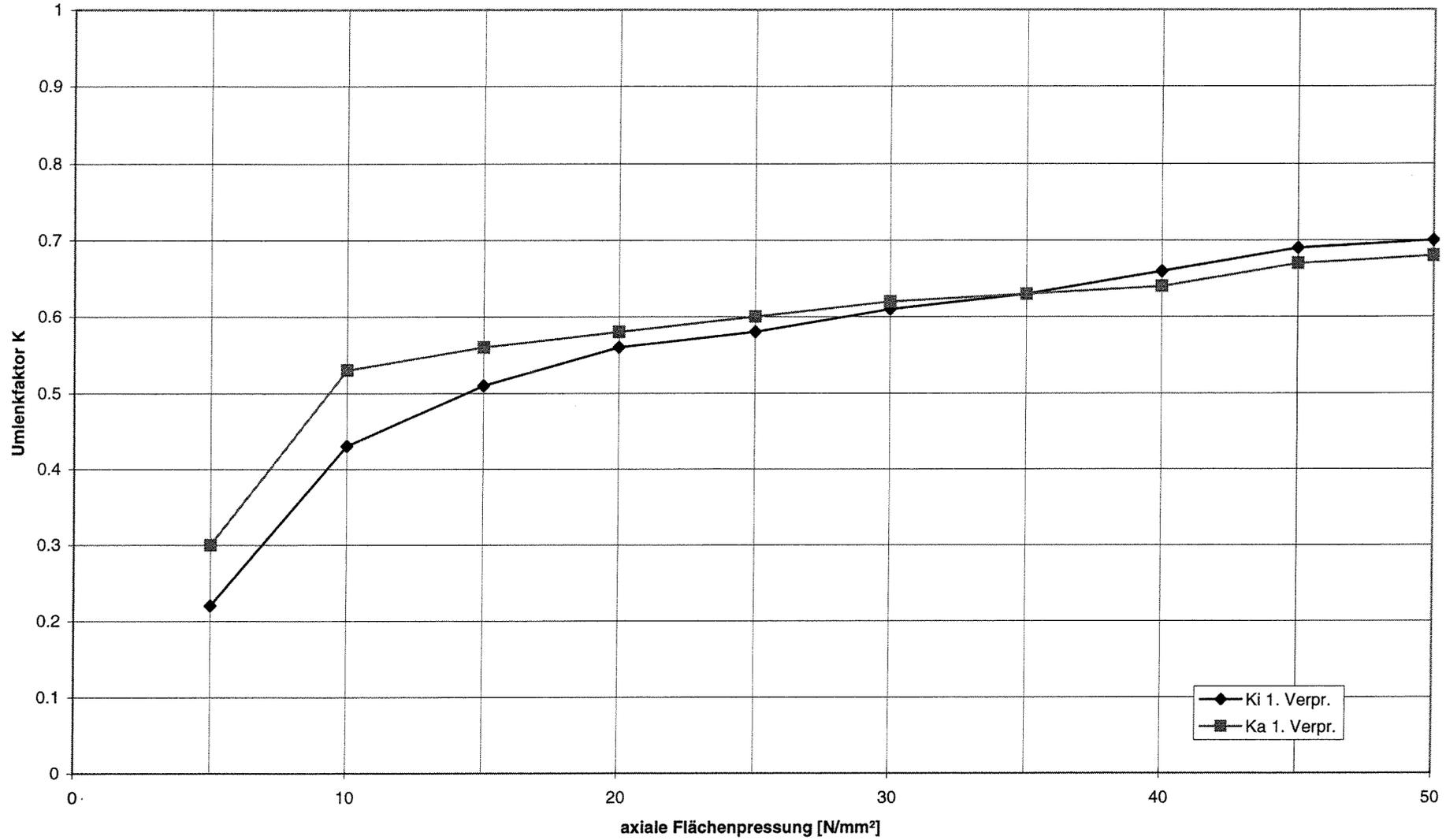
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-00-A4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

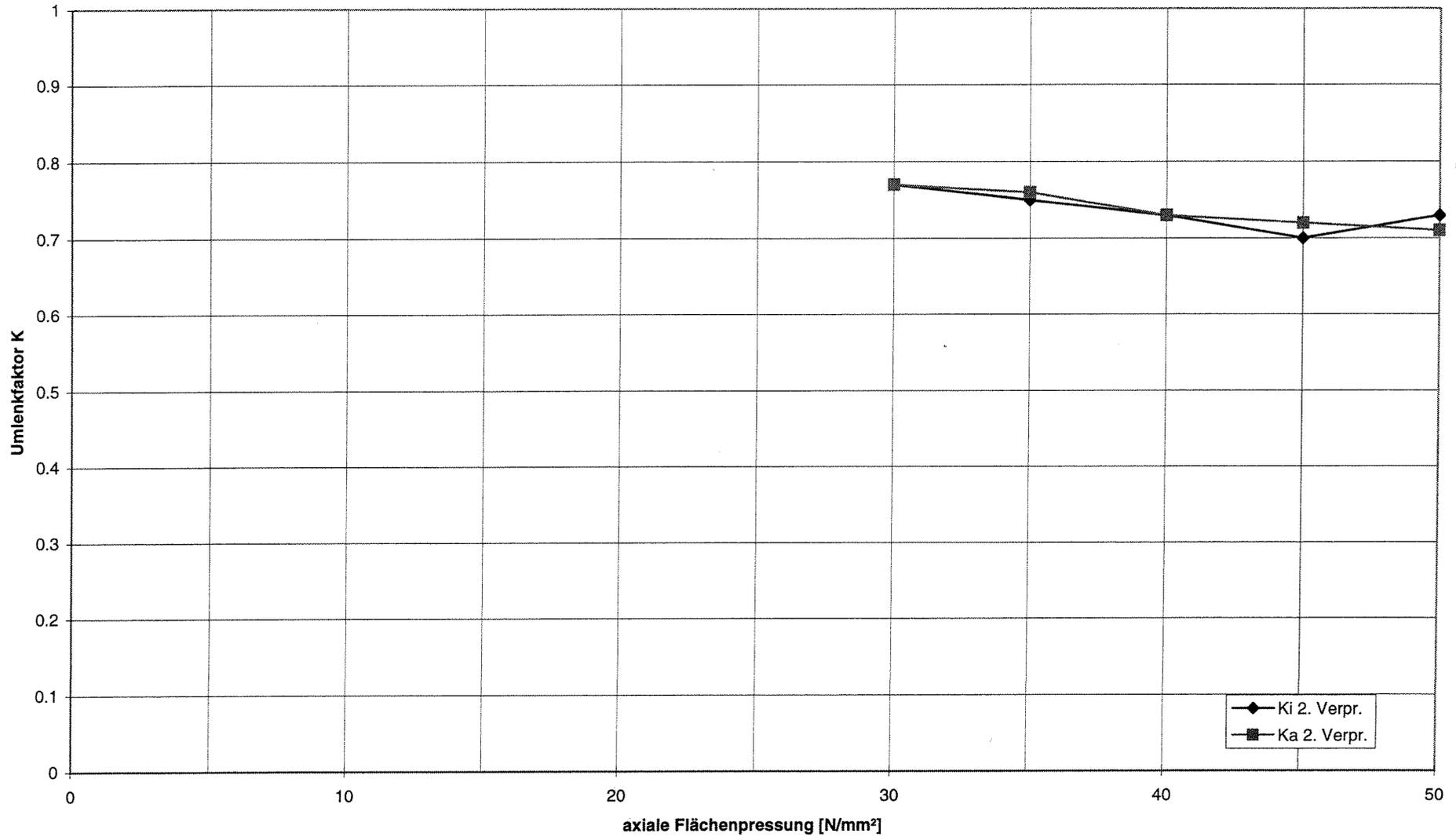
**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-00-00-A4**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

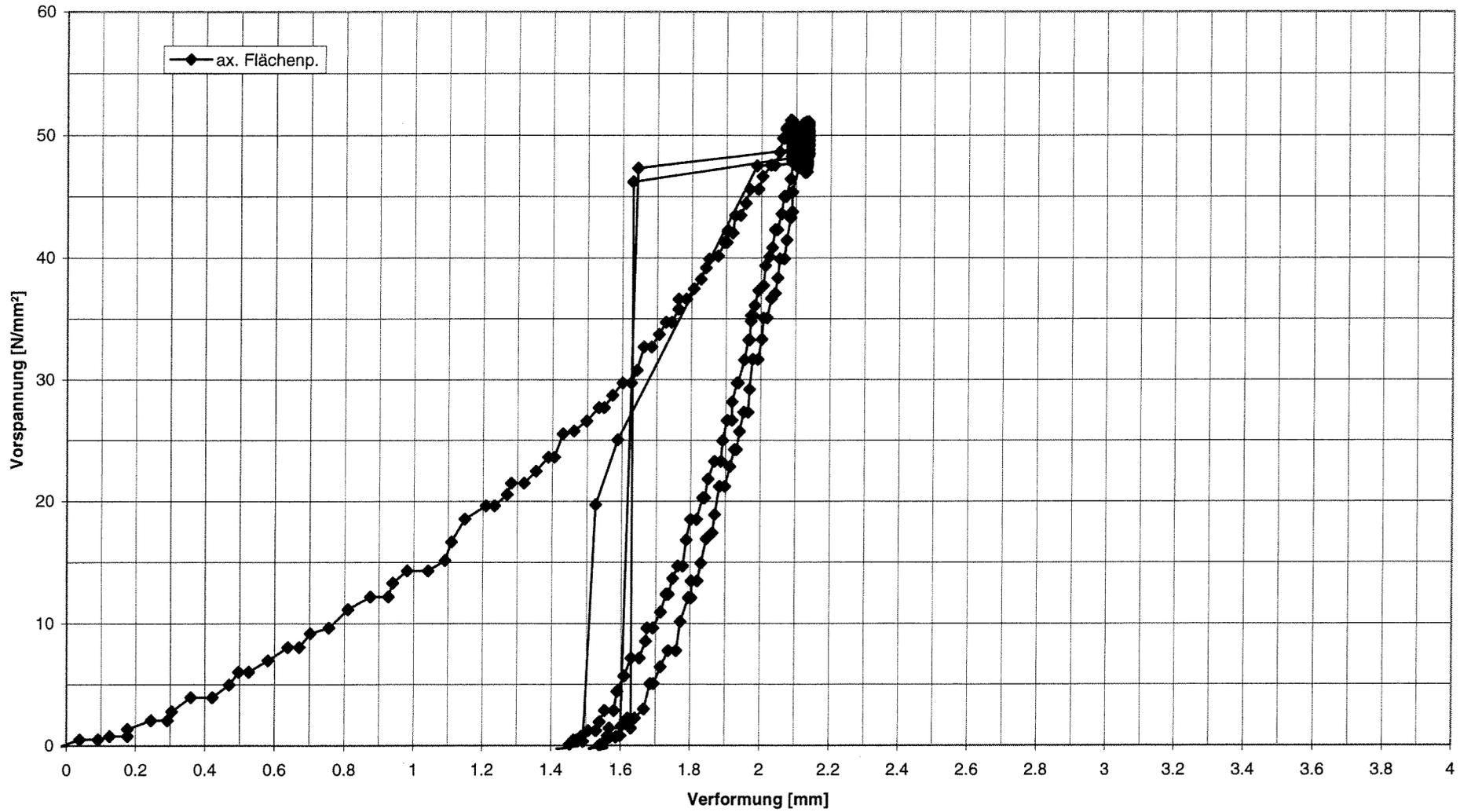
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

**Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-00-00-A4**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

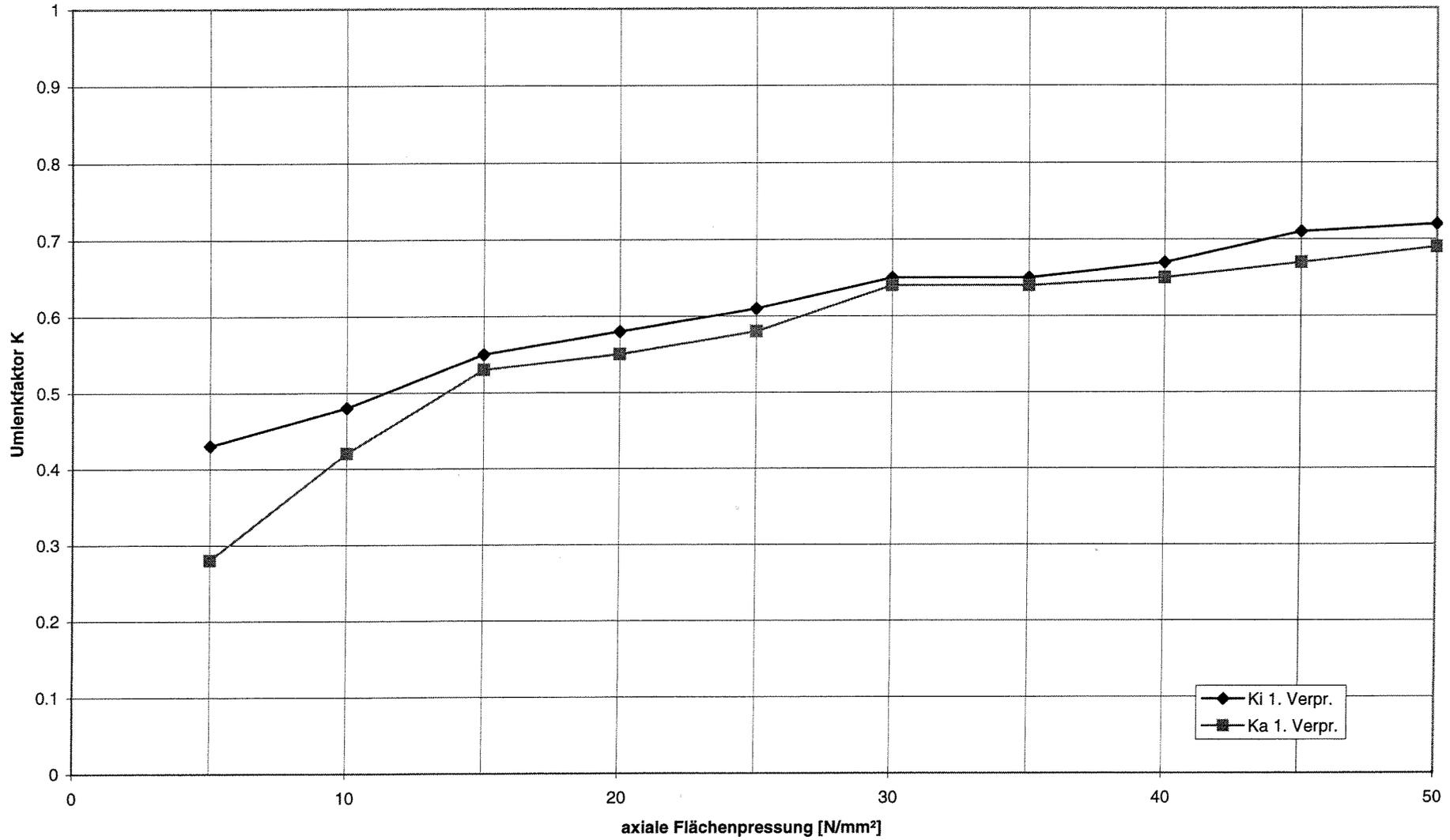
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

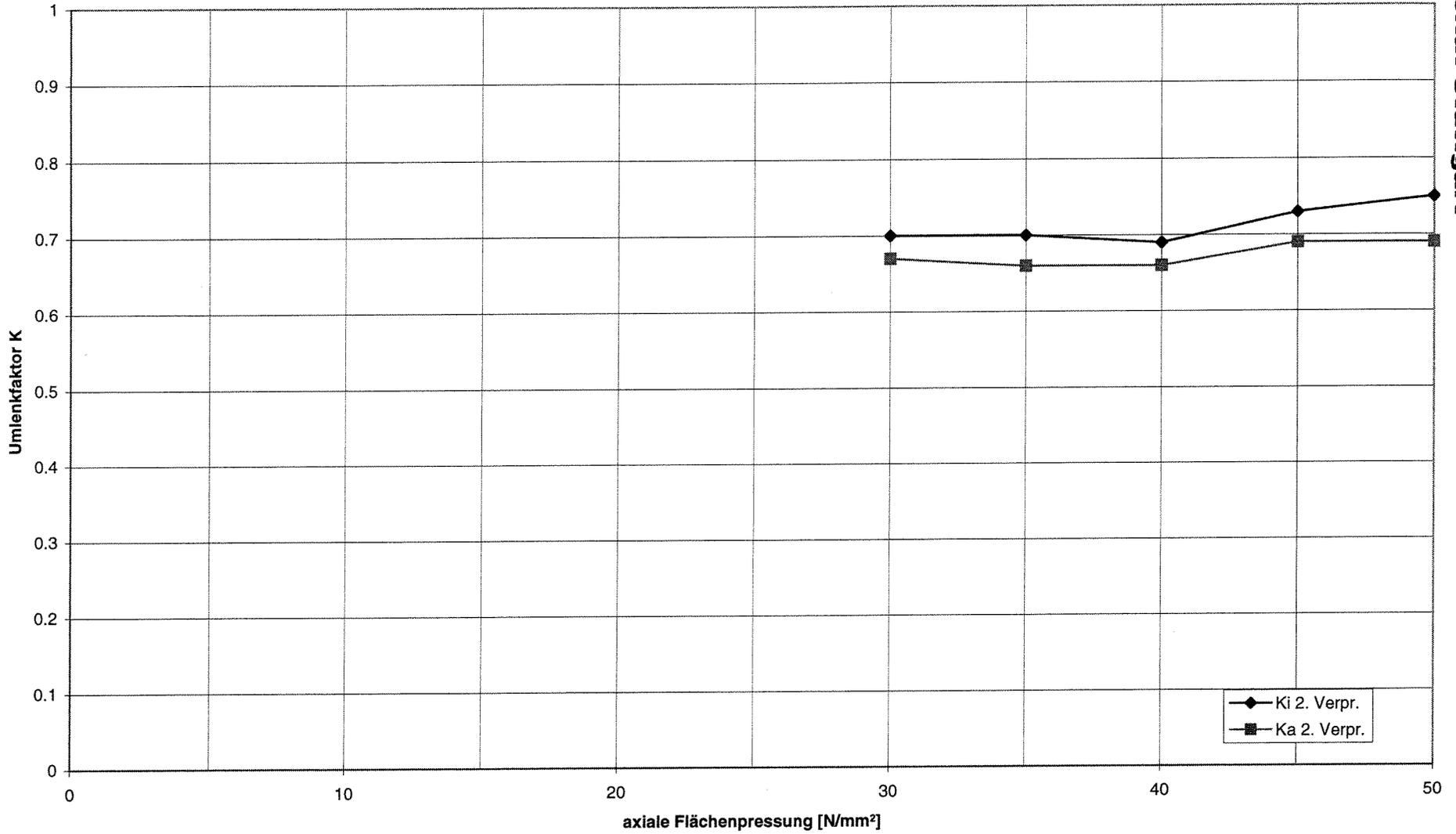
Ringe: Ø60xØ80x10

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-30-A2**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

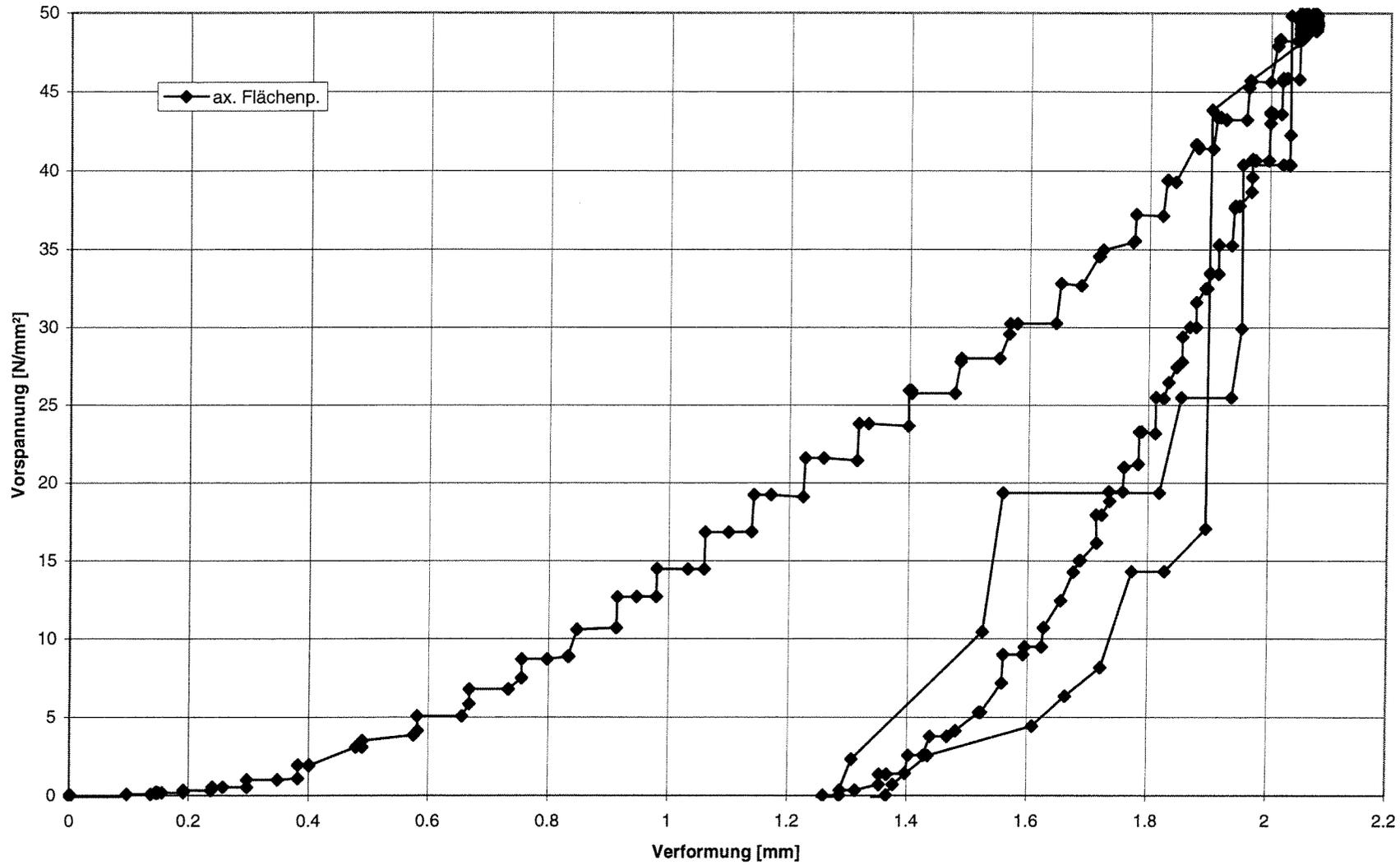
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

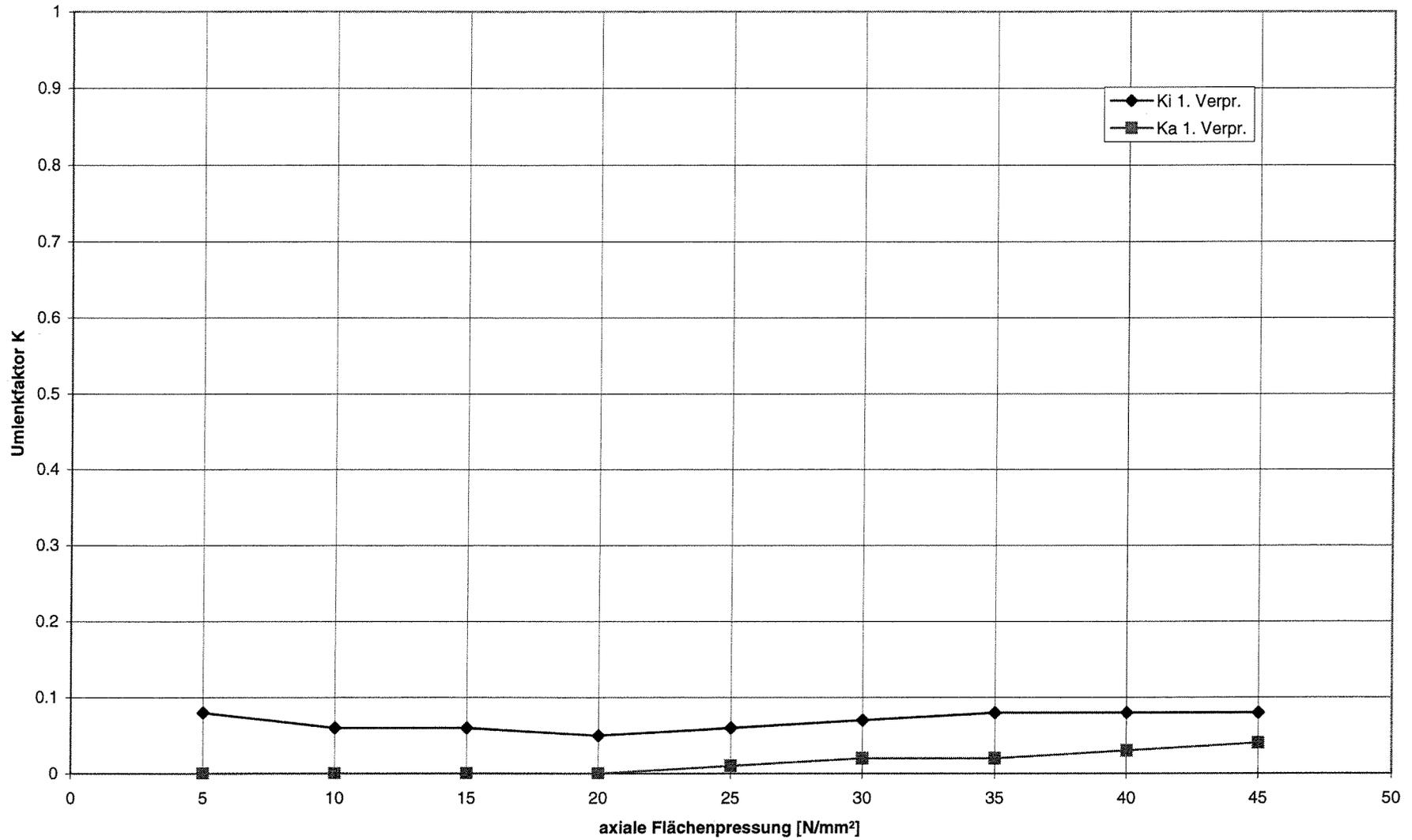
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-10-30-V2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-10-30-V2**



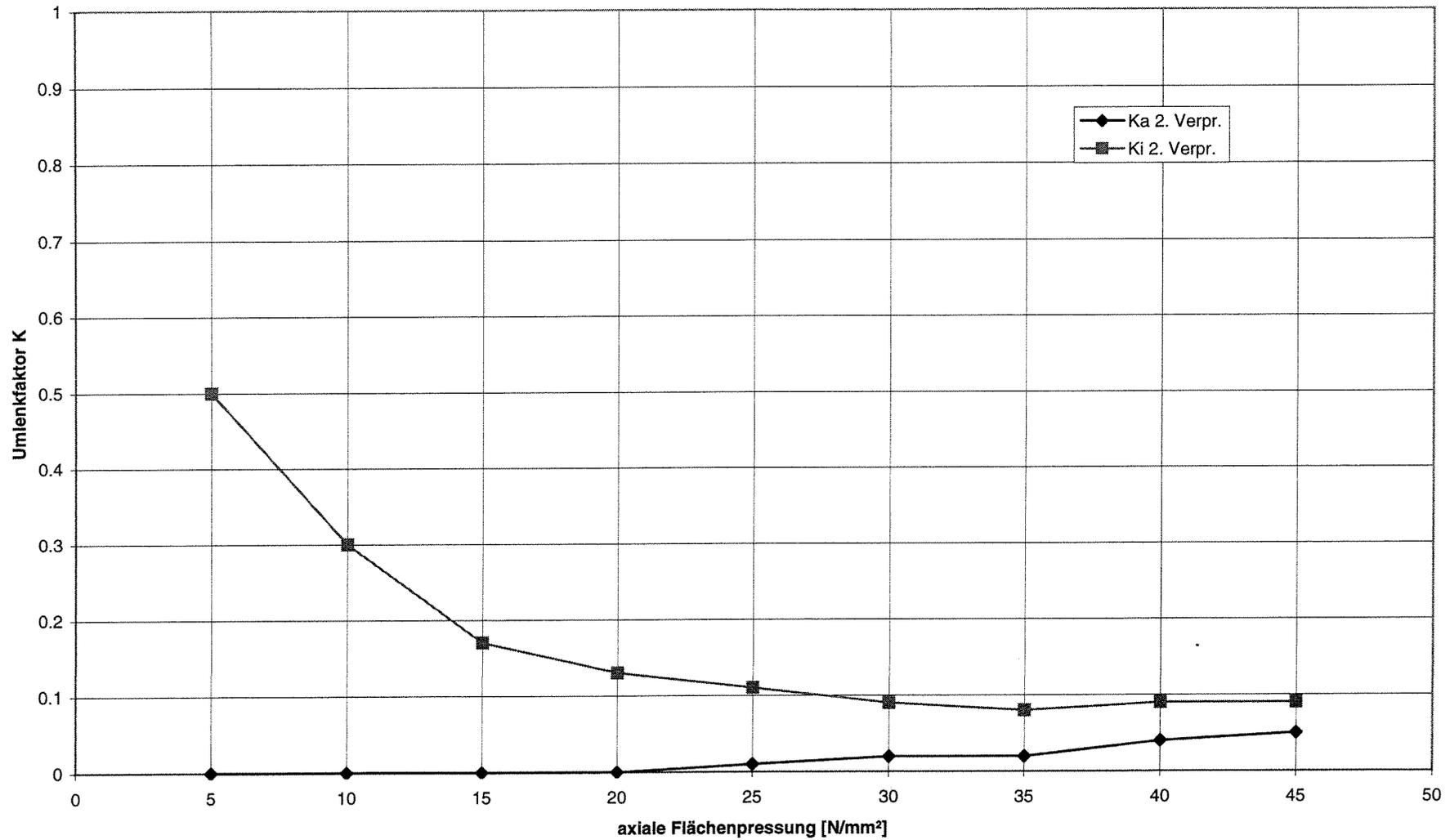
Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Auftrags-Nr.: 890 201 001  
Beilage 29

Staatliche  
Materialprüfungsanstalt  
Universität Stuttgart

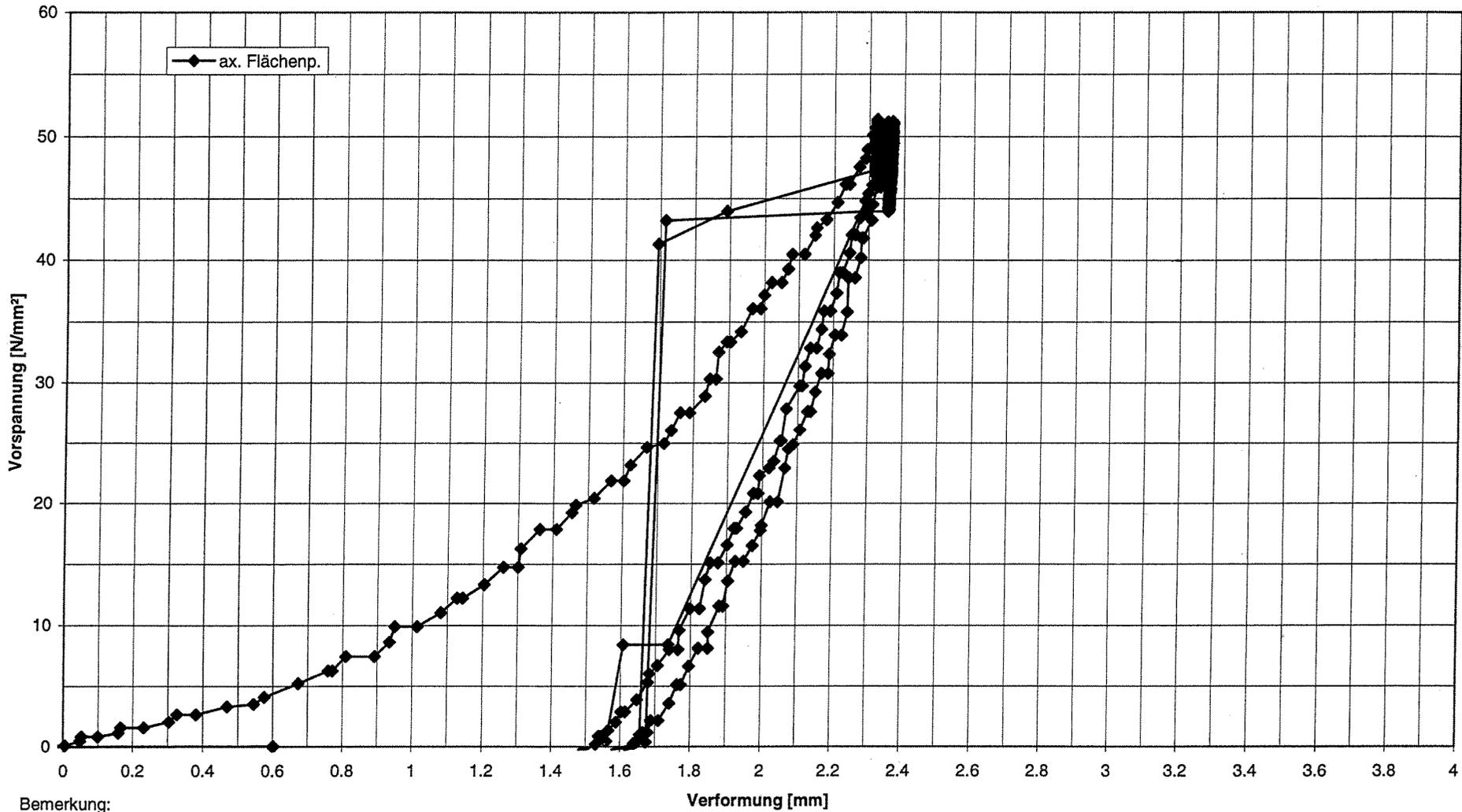
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 800 \times 10$

**Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-10-30-V2**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1  
1 Monat warmgelagert bei 450 °C



Bemerkung:

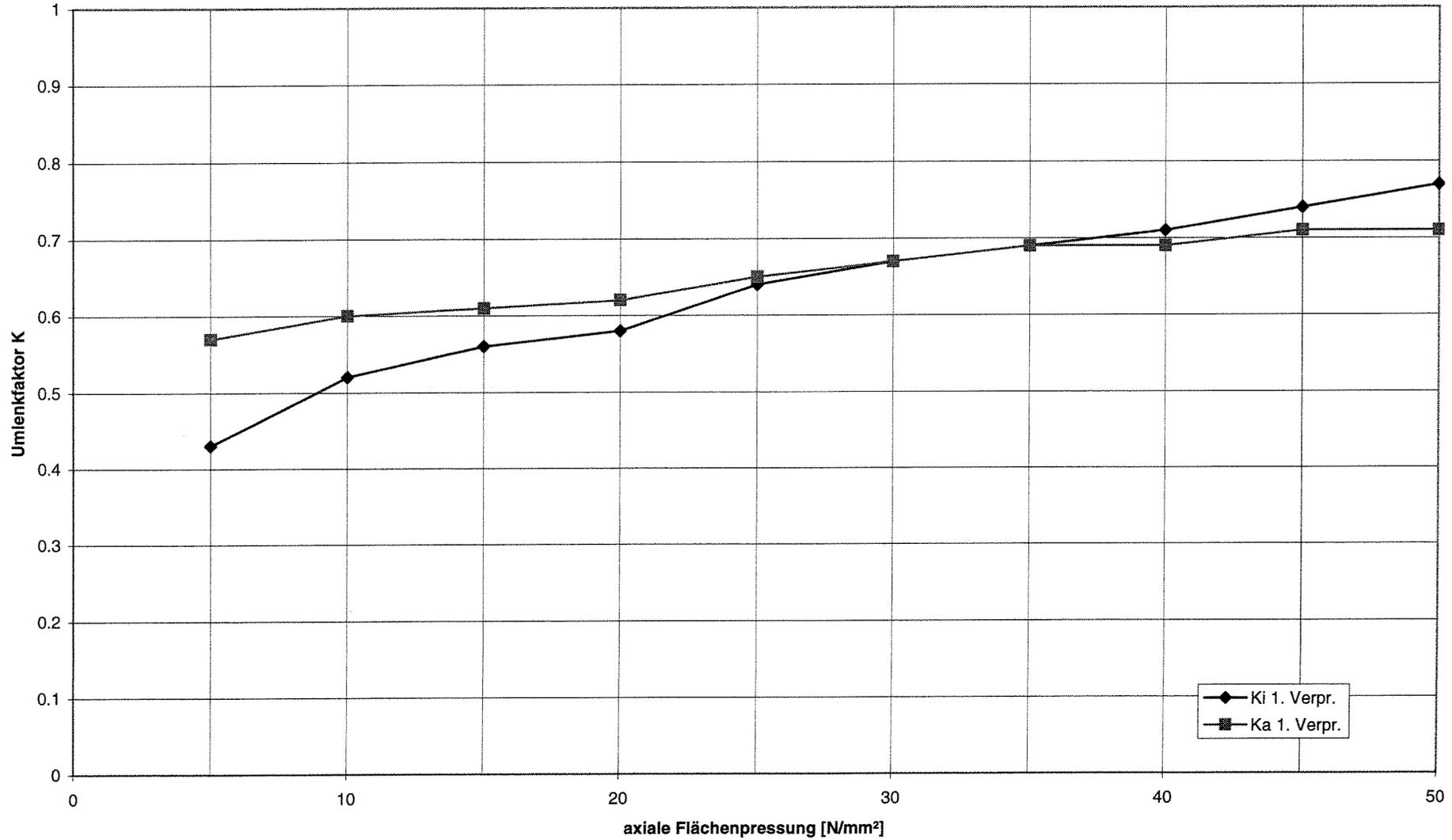
Ringe sind beim Warmlagern aufgesprungen.  
→ Zunahme der Verformung beim 1. Verpressen.  
Rückfederung sowie 2. u. 3. Verpressen liefern jedoch vergleichbare Ergebnisse zu Stauchversuchen an nicht ausgelagerten Ringen.

Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ausgangsmasse:  $m = 35,3$  g  
Masse nach Warmlagern:  $m = 34,0$  g

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10.7$

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**1. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1**  
**1 Monat warmgelagert bei 450°C**



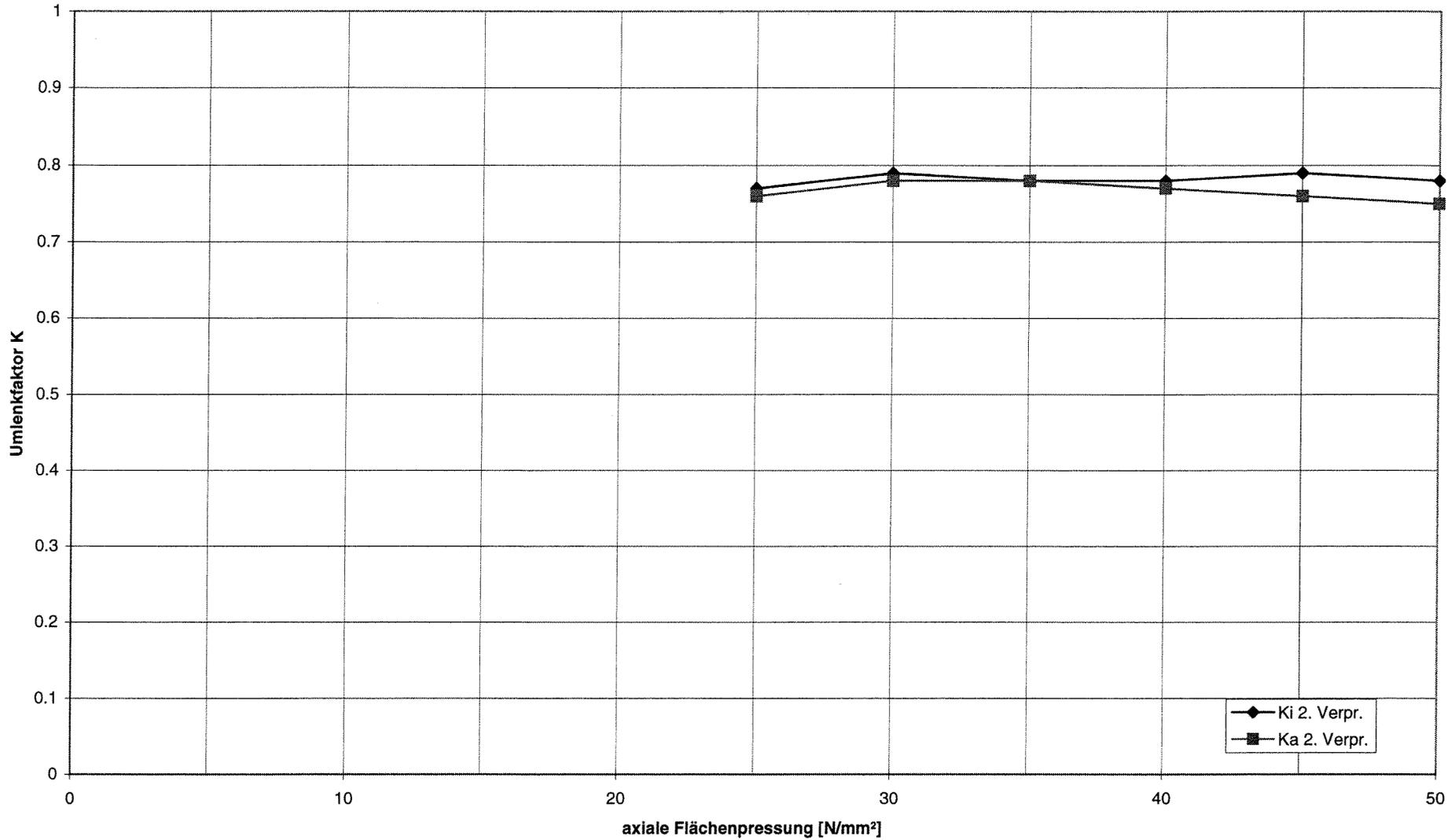
Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ausgangsmasse:  $m = 35,3 \text{ g}$   
Masse nach Warmlagern:  $m = 34,0 \text{ g}$

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10,7$

**Umlenkfaktor K innen und außen**  
**2. Verpressen 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1**  
**1 Monat warmgelagert bei 450 °C**

**Staatliche  
Materialprüfungsanstalt  
Universität Stuttgart**



Beilage 33

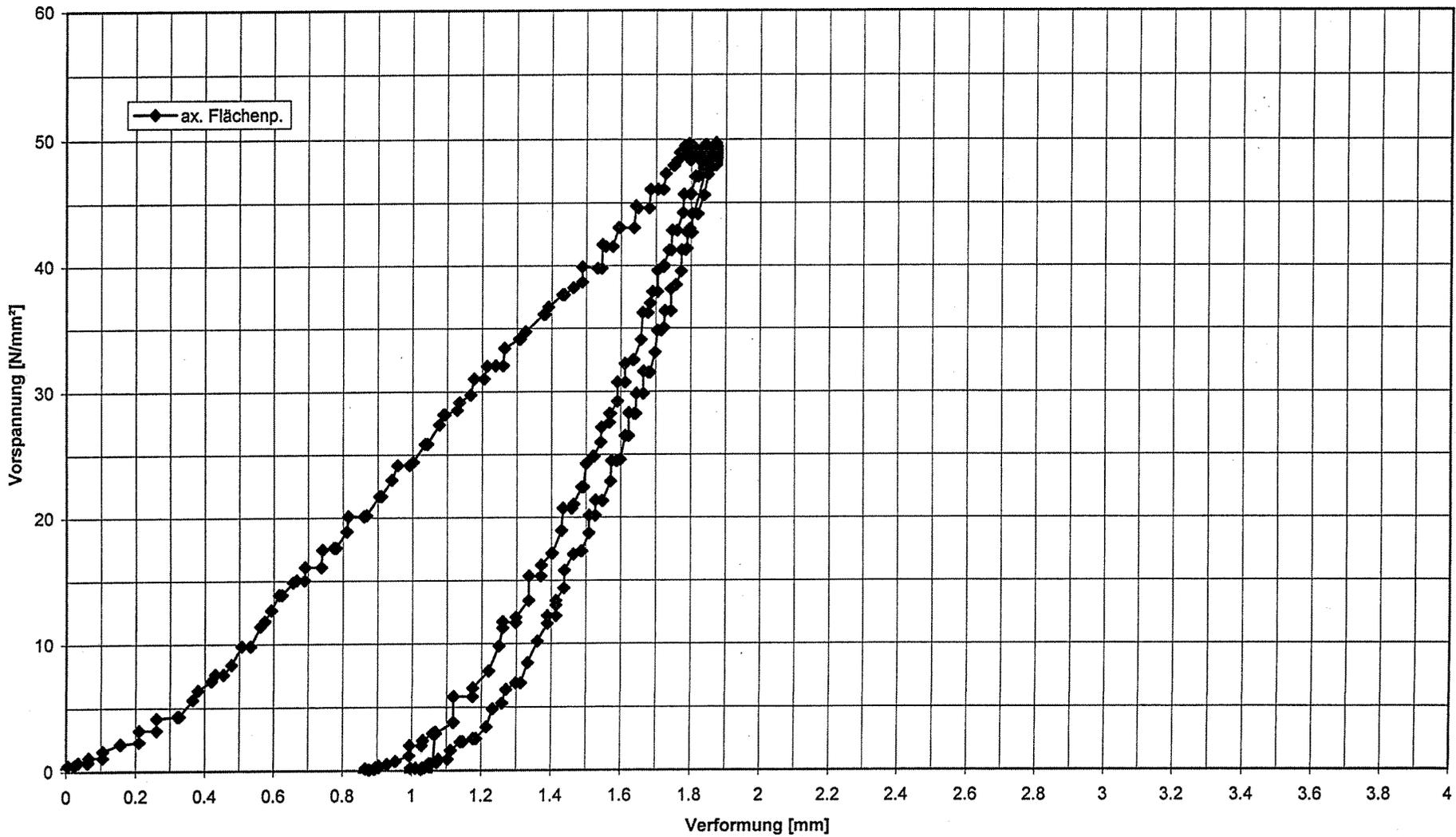
Auftrags-Nr.: 890 201 001

Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ausgangsmasse:  $m = 35,3$  g  
Masse nach Warmlagern:  $m = 34,3$  g

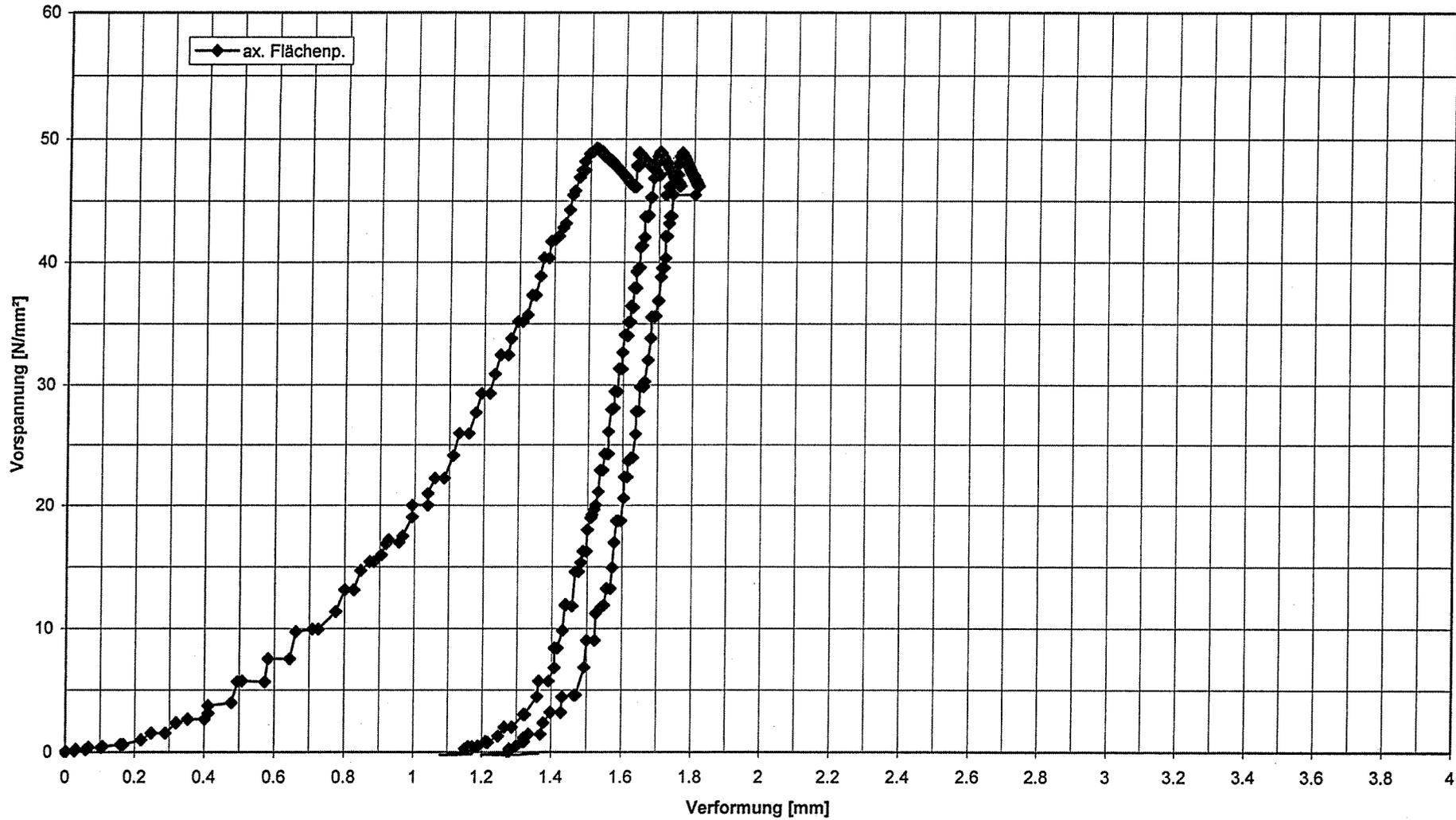
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

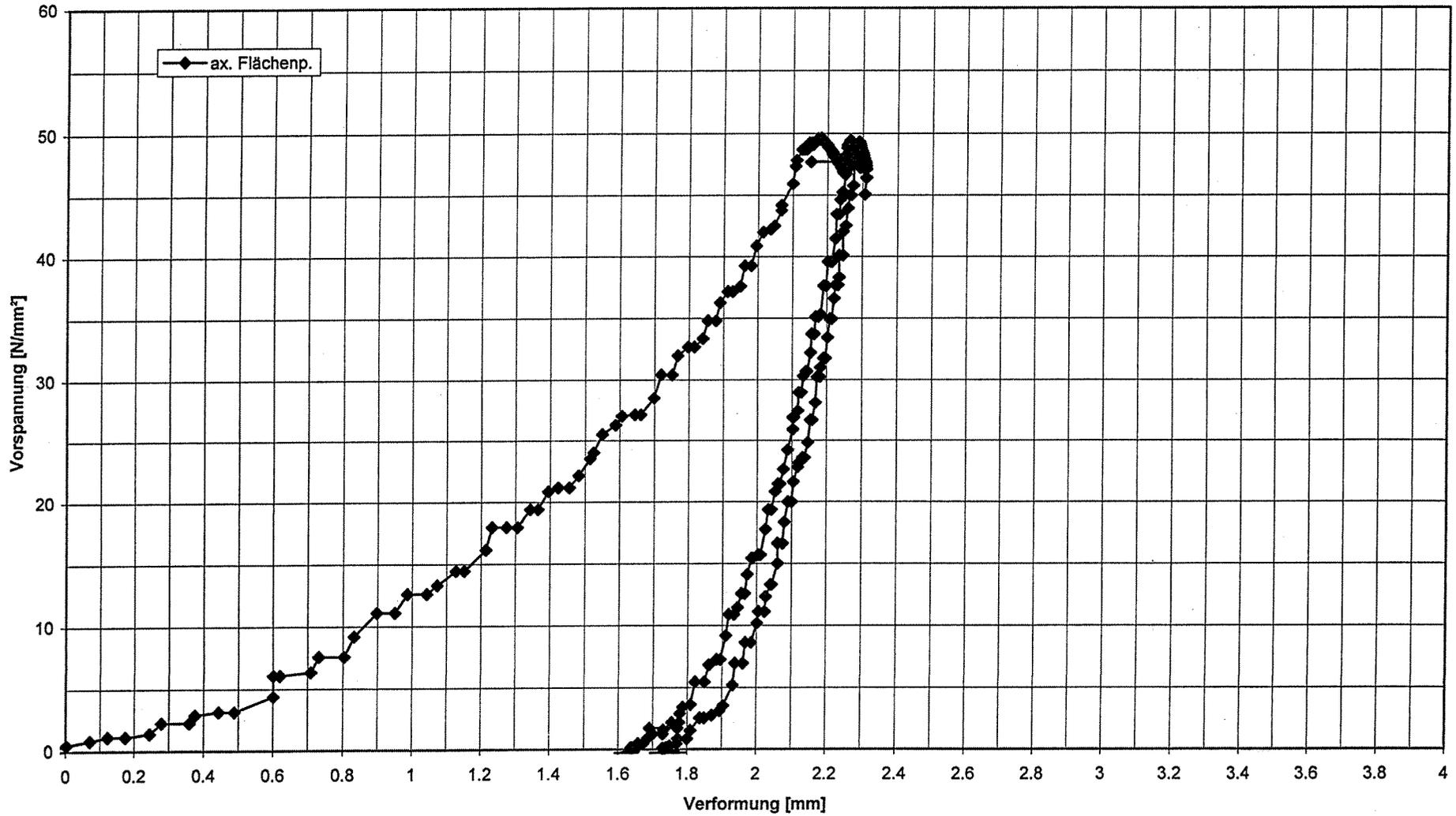
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

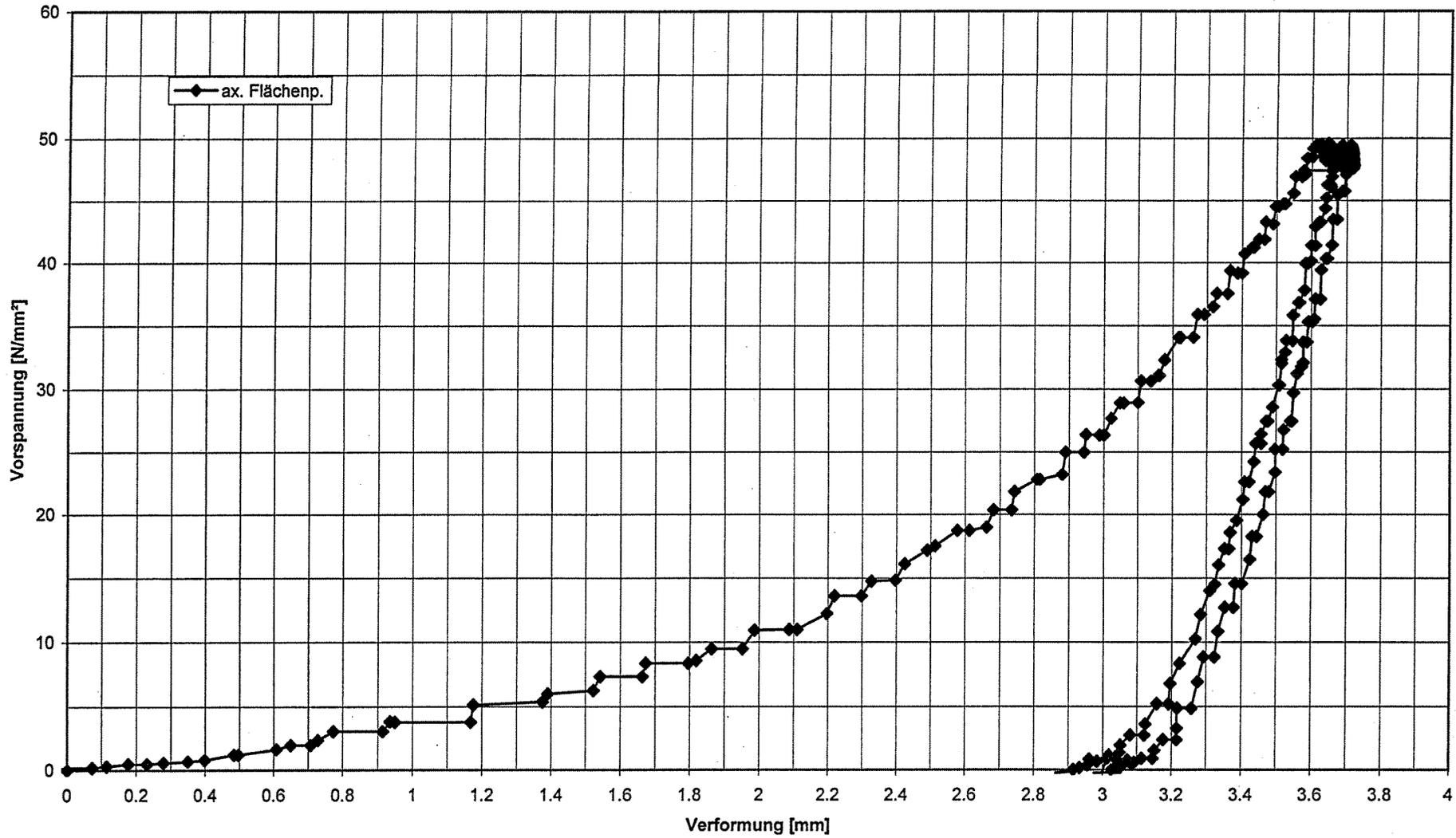
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

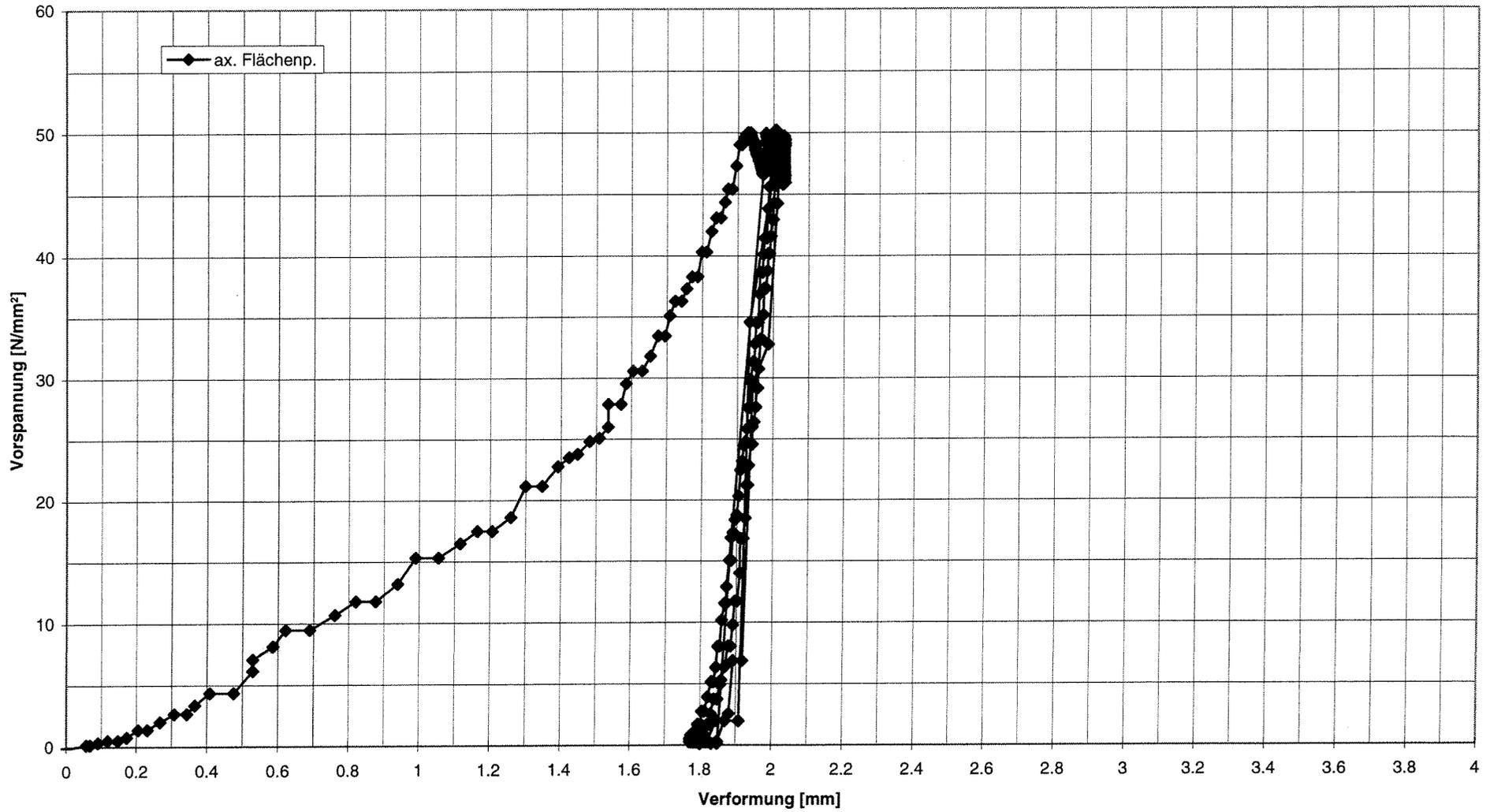
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgewände 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 9$

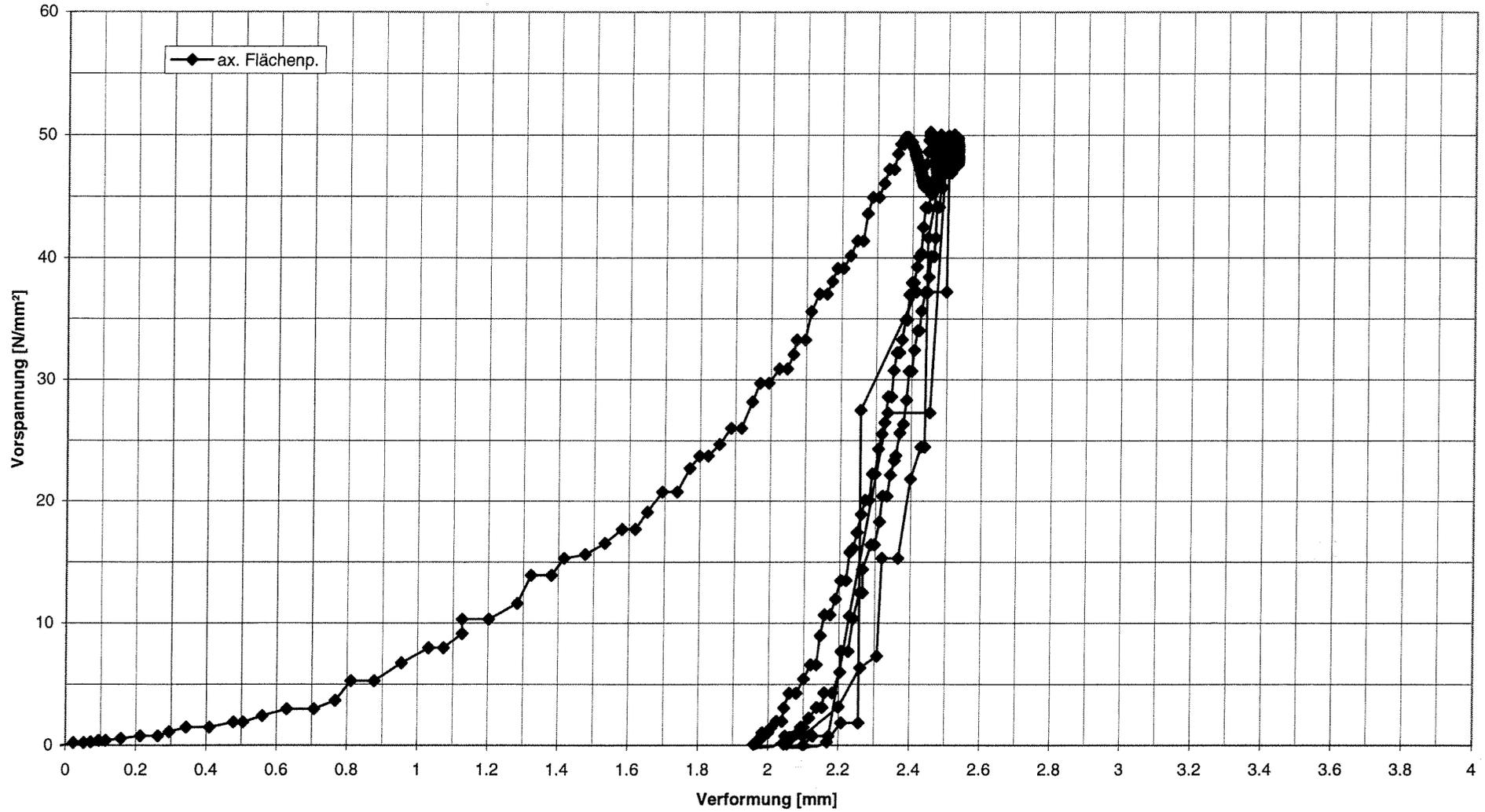
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-00-00-00-M1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-30-00-00-00-M2

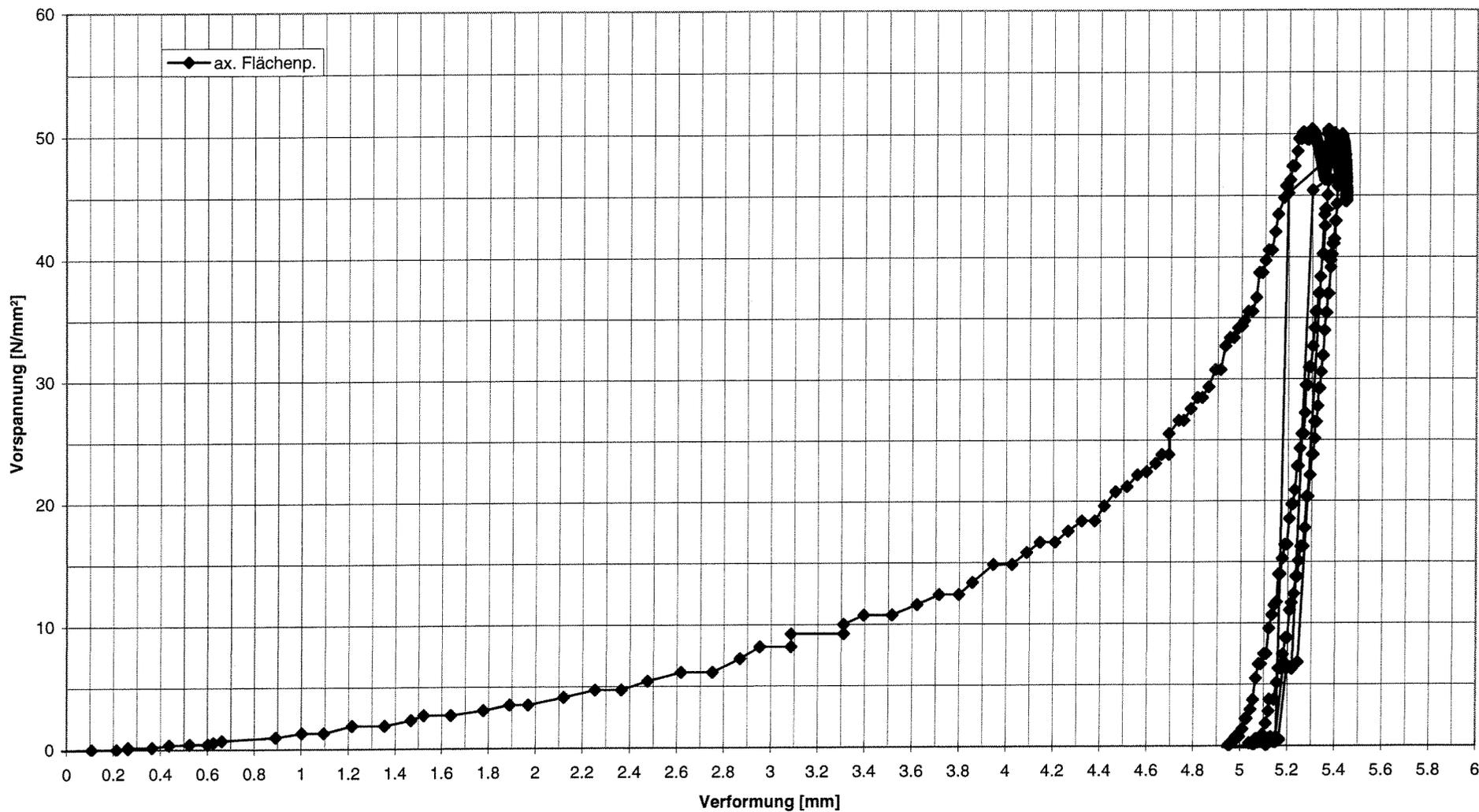


Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 11.3$

$\rho = 1,44 \text{ g/cm}^3$

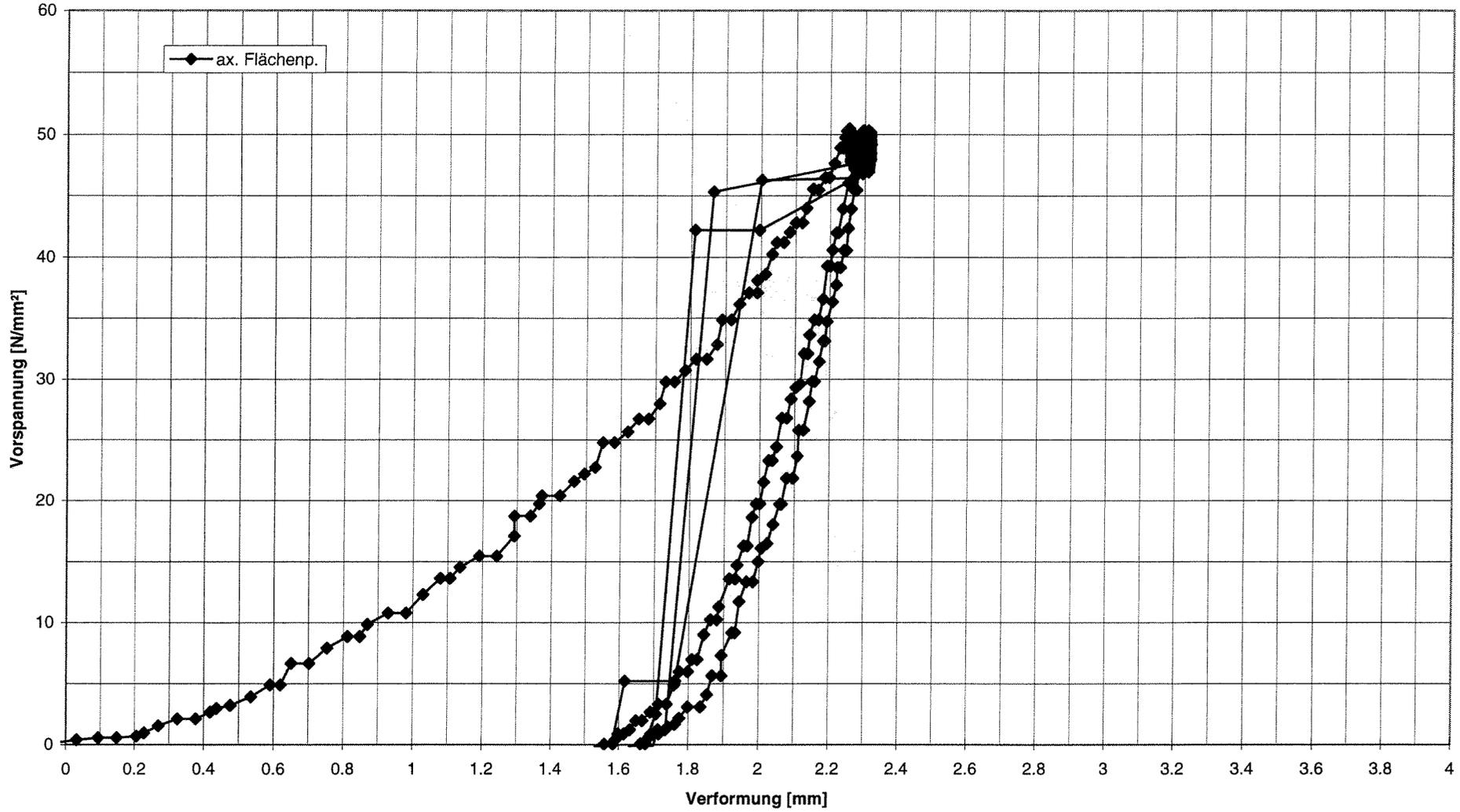
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-S0-20-00-00-00-M3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

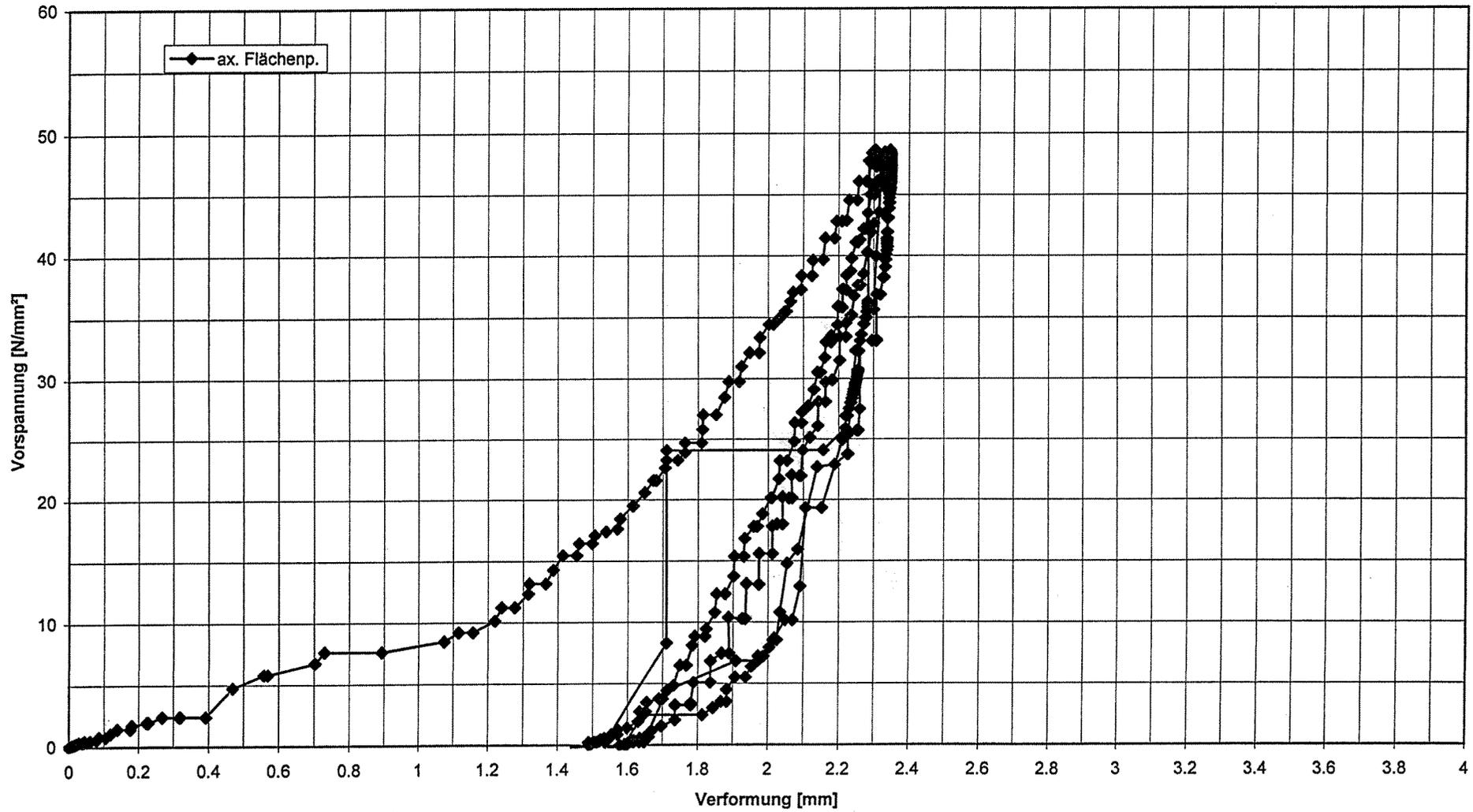
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

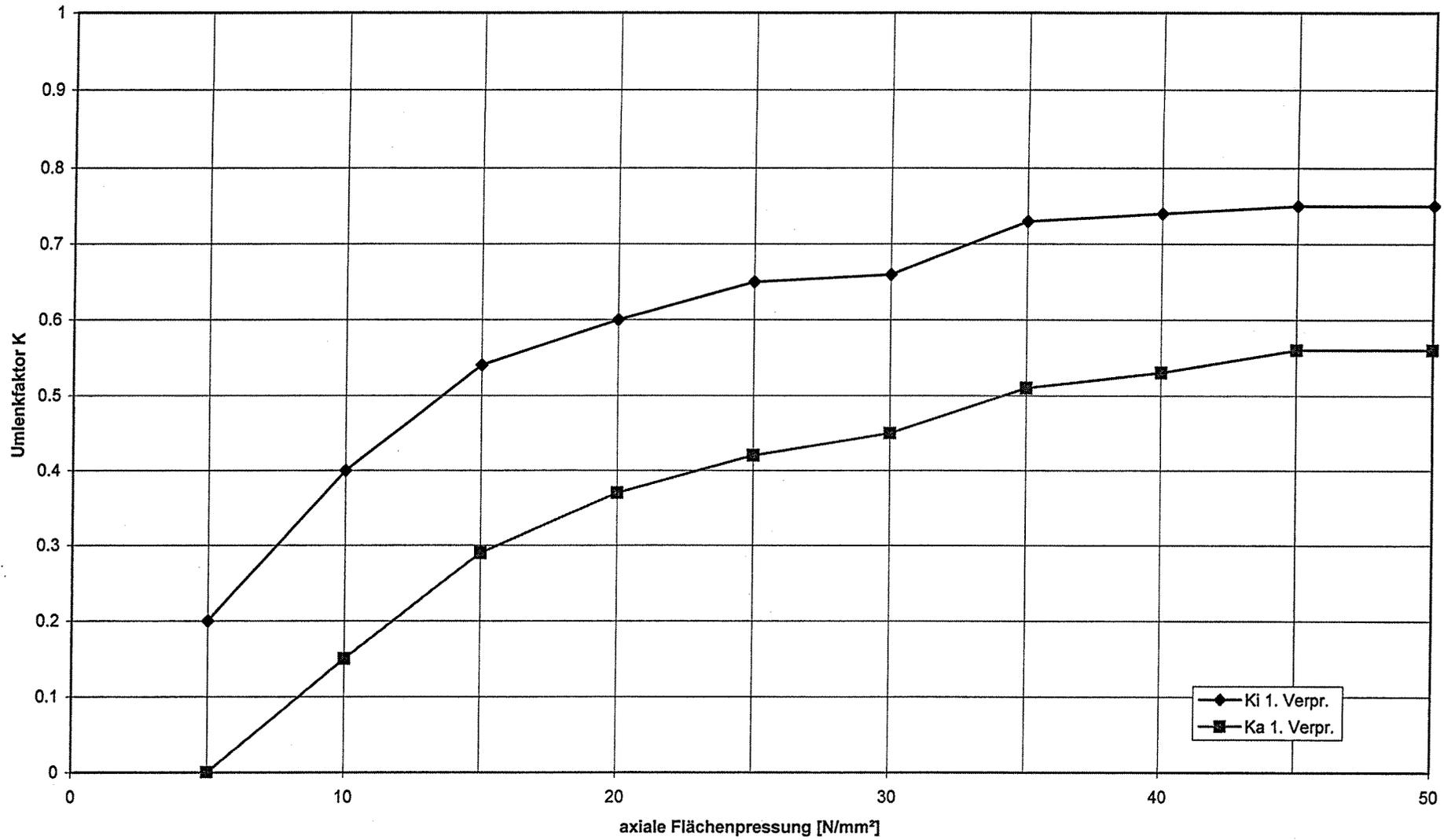
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

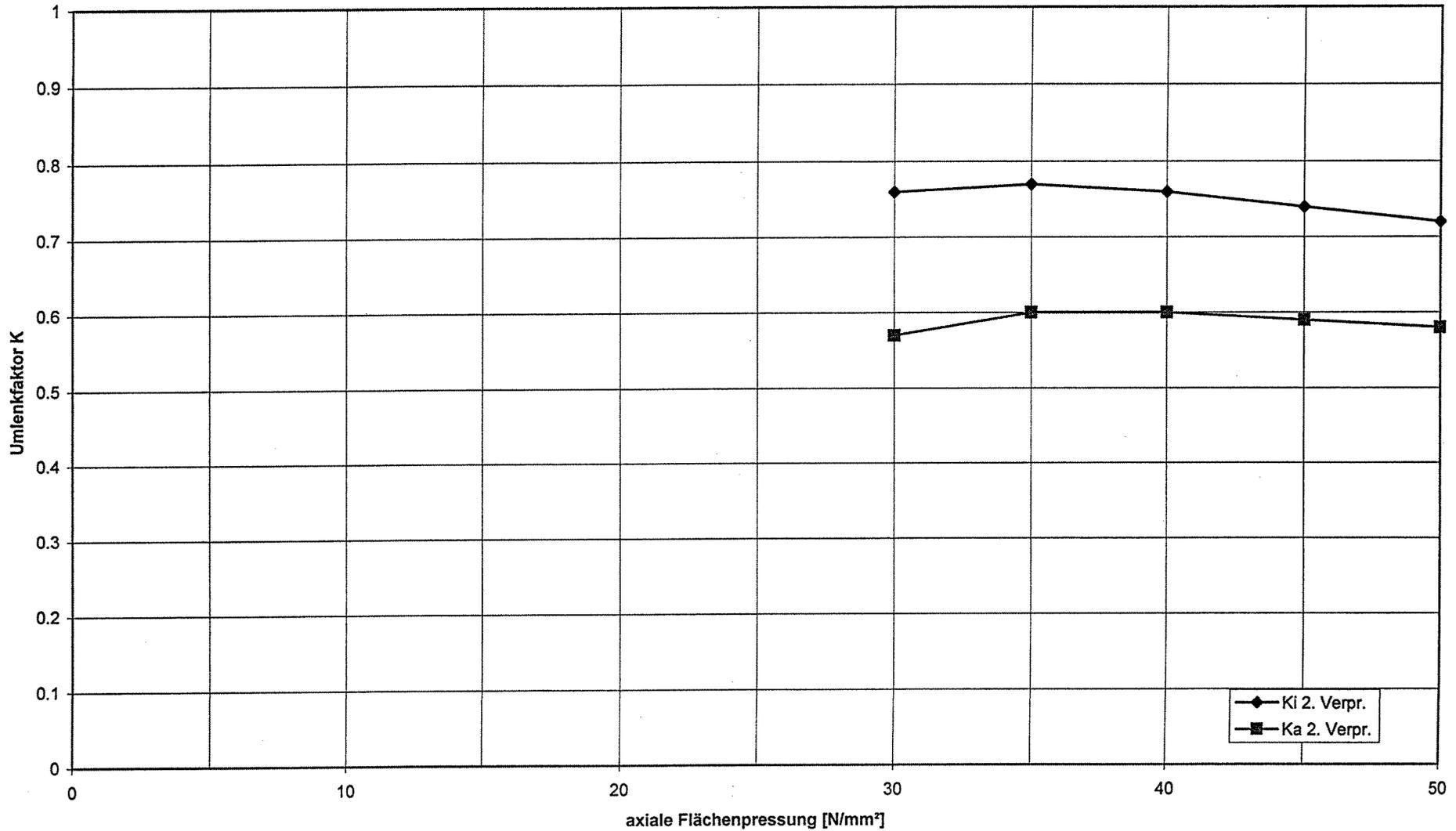
Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

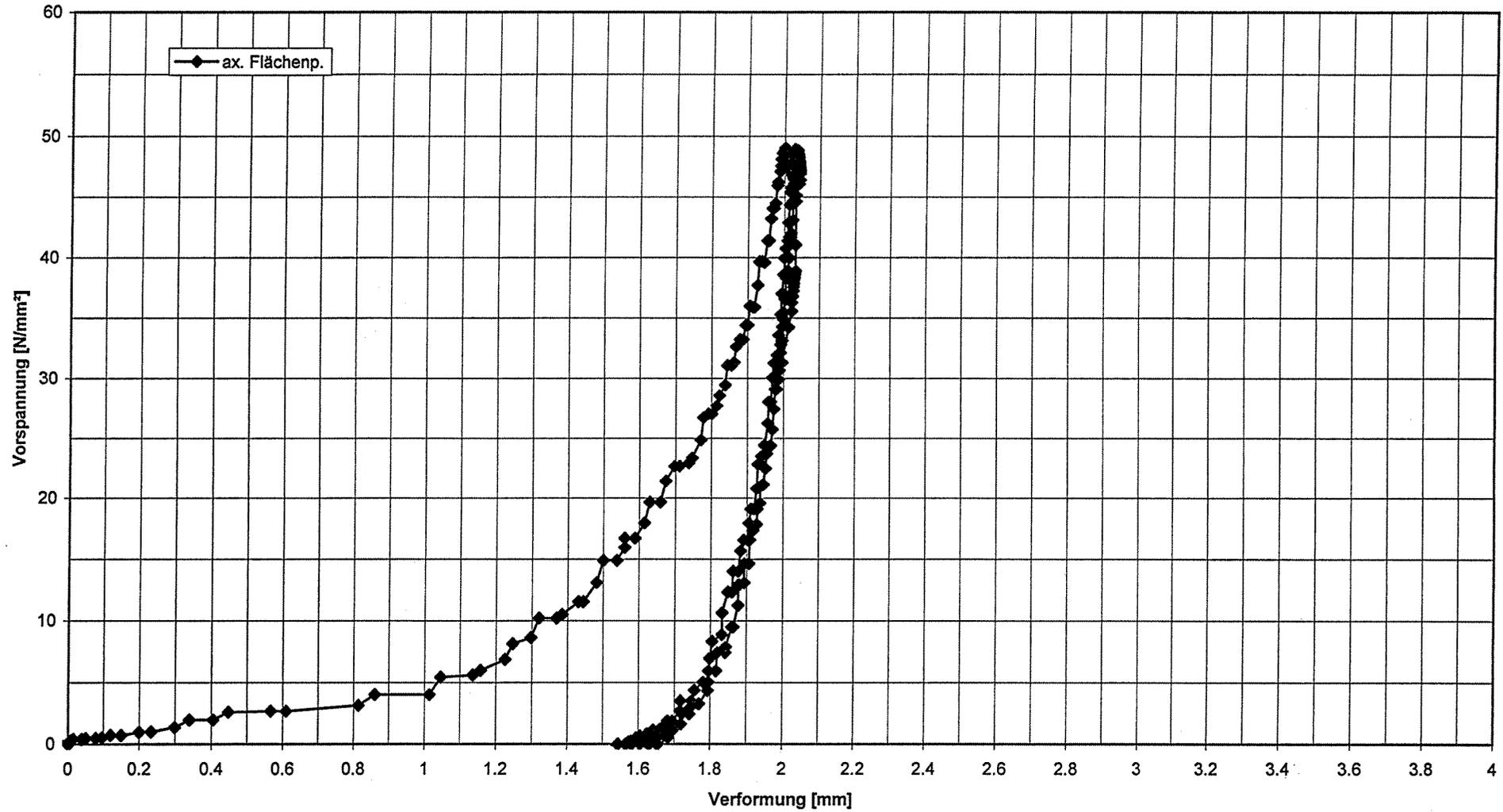
Ringe: Ø60xØ80x10

Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

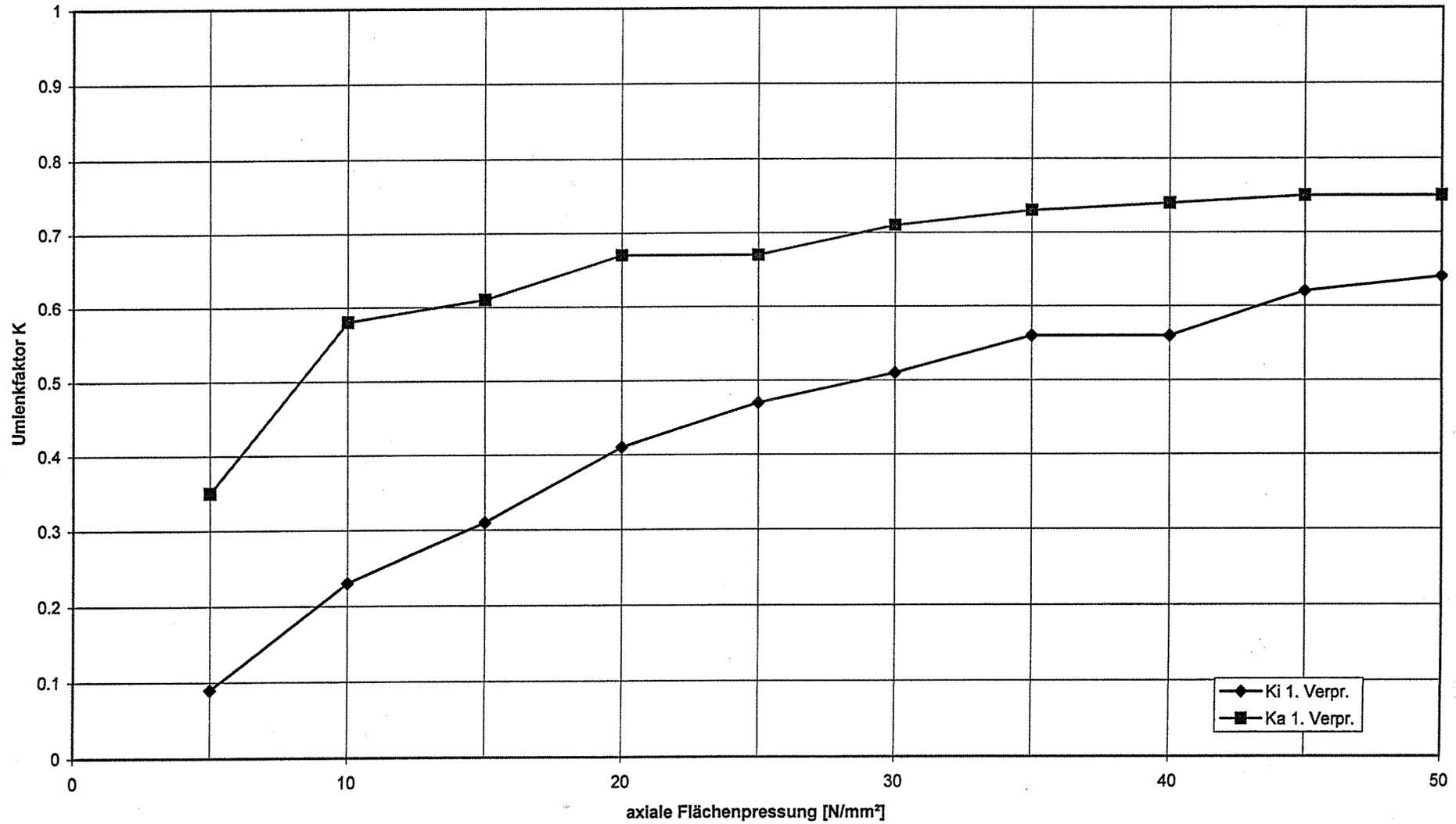
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

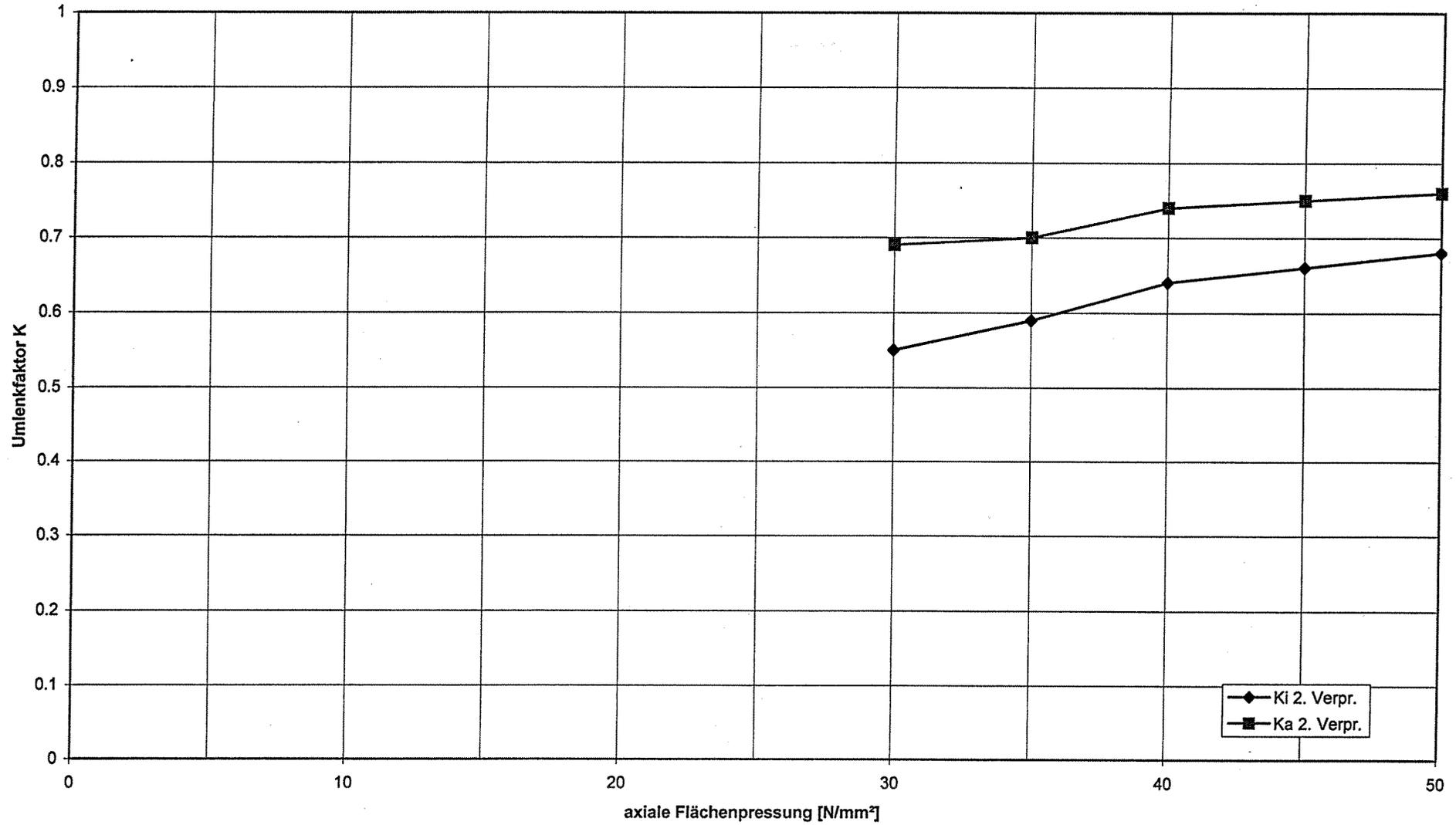
Ringe: Ø60xØ80x10

Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

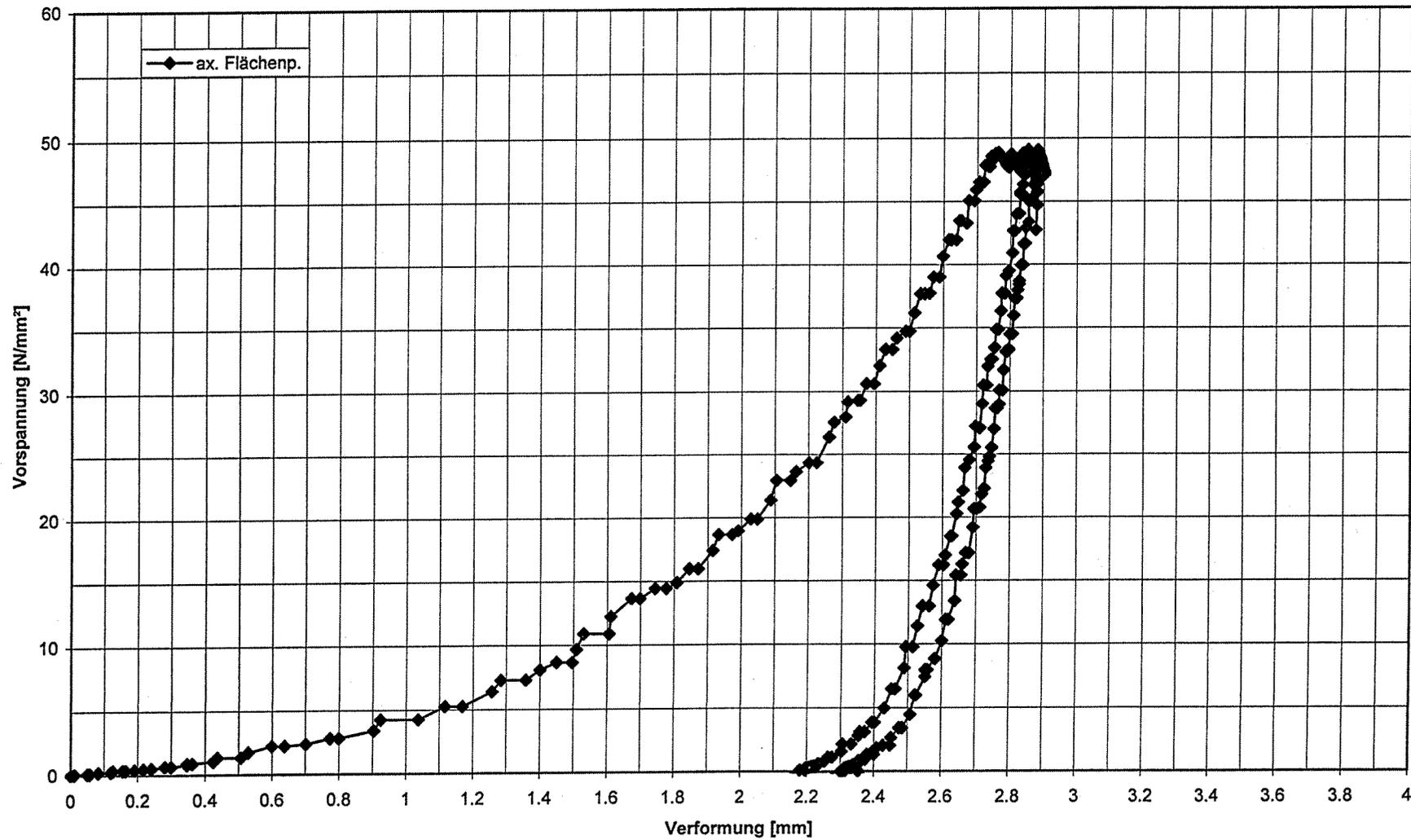
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

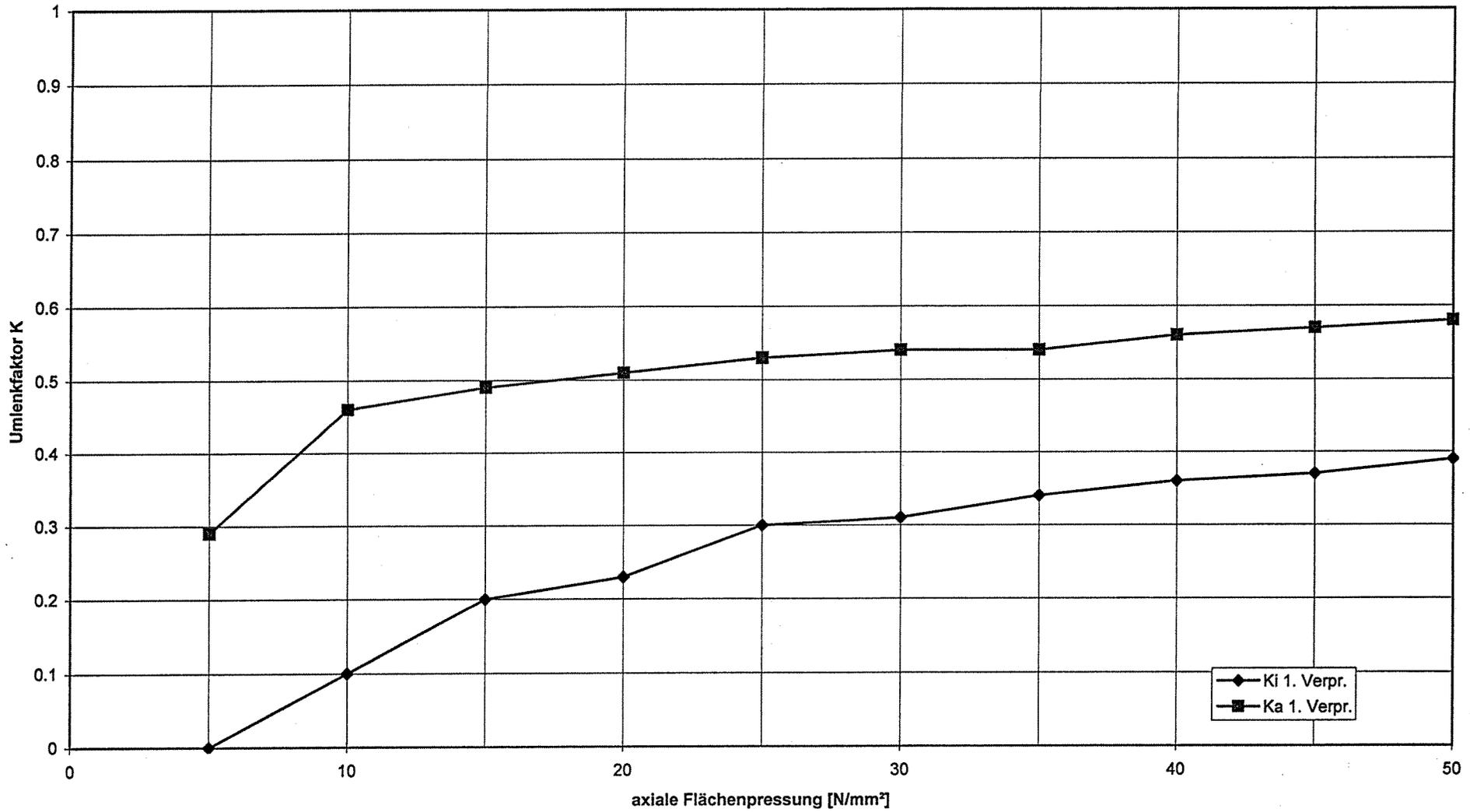
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

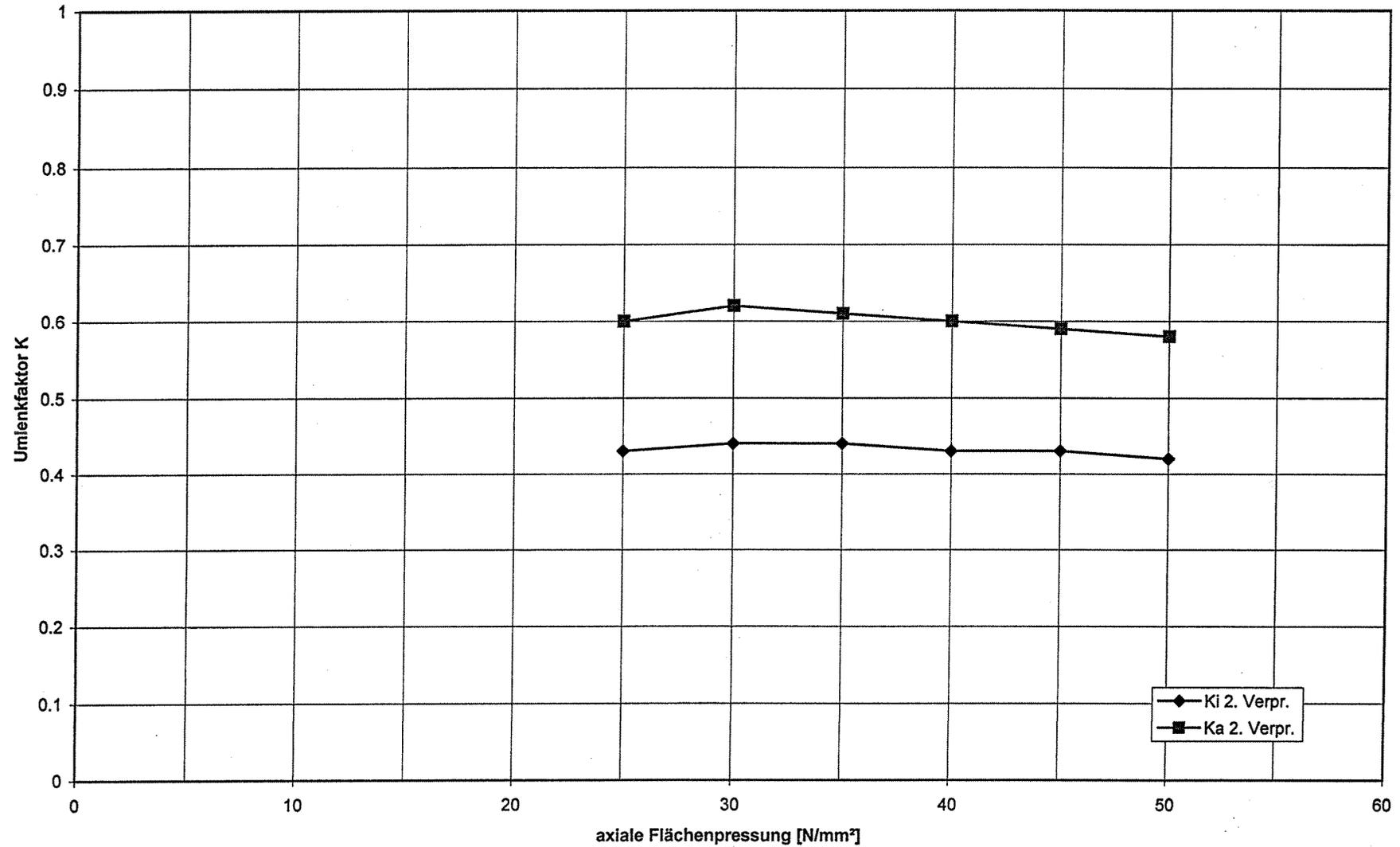
Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

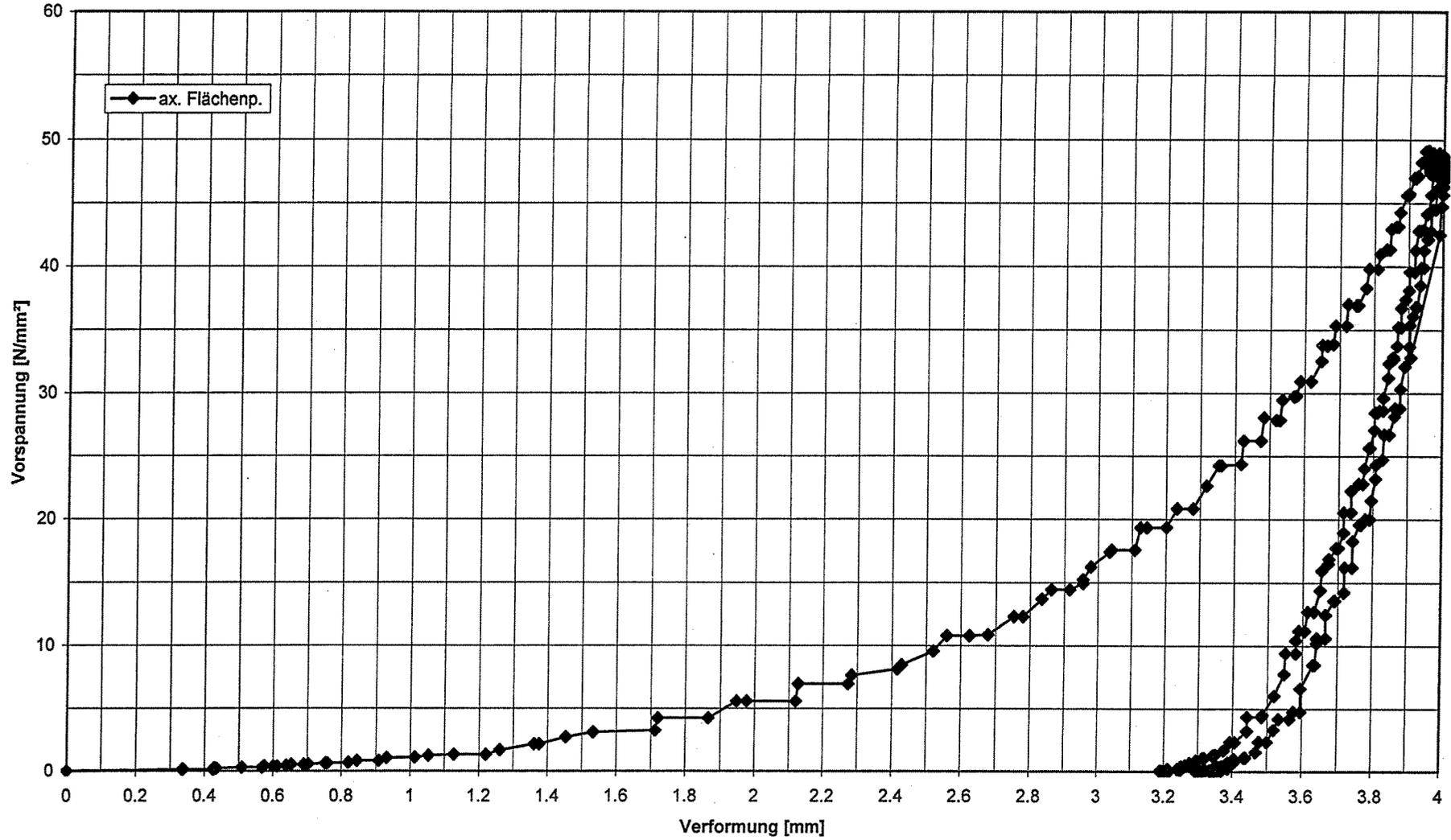
Ringe: Ø60xØ80x10

Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

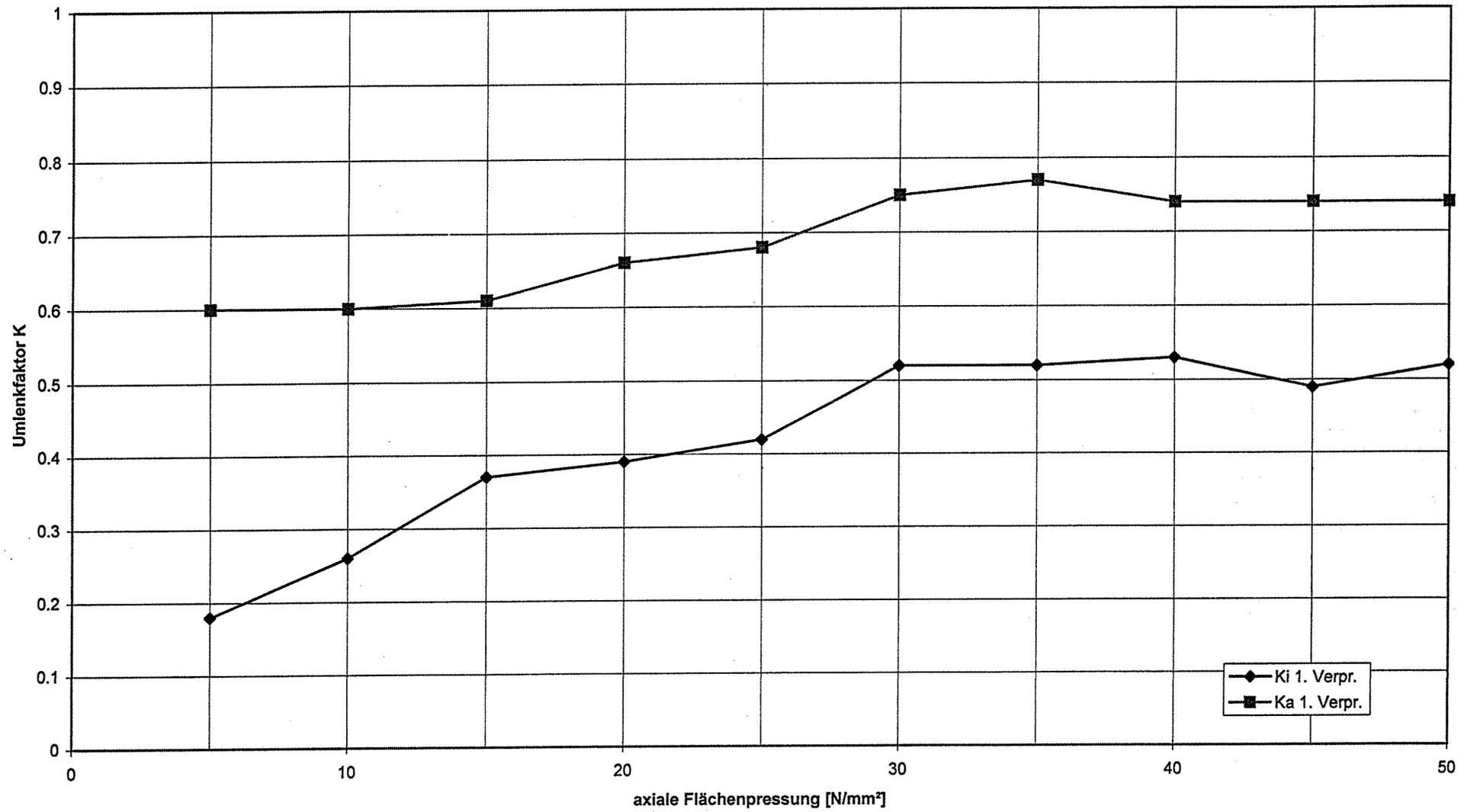
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

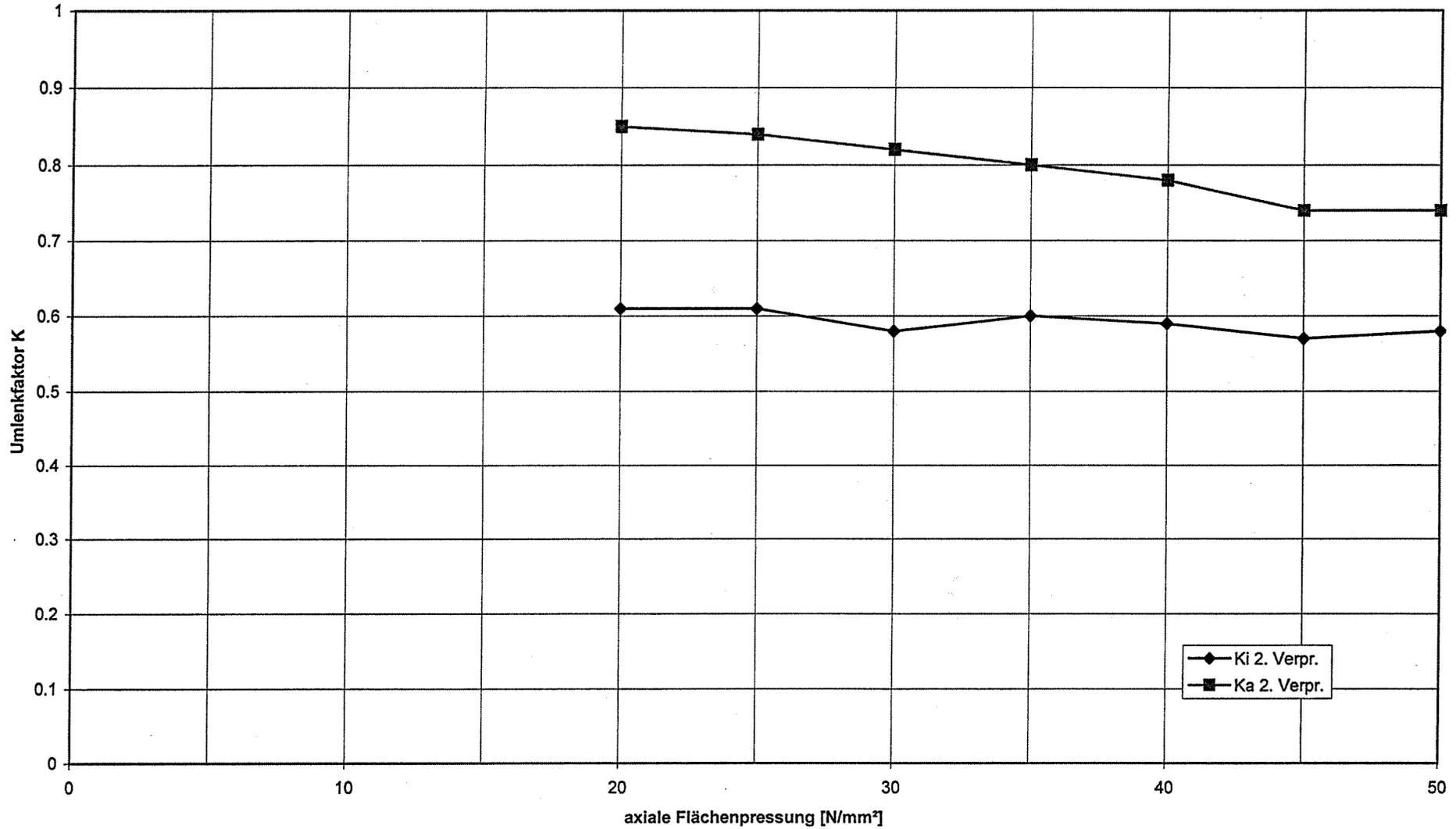
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Umlenkfaktor K innen und außen  
1. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

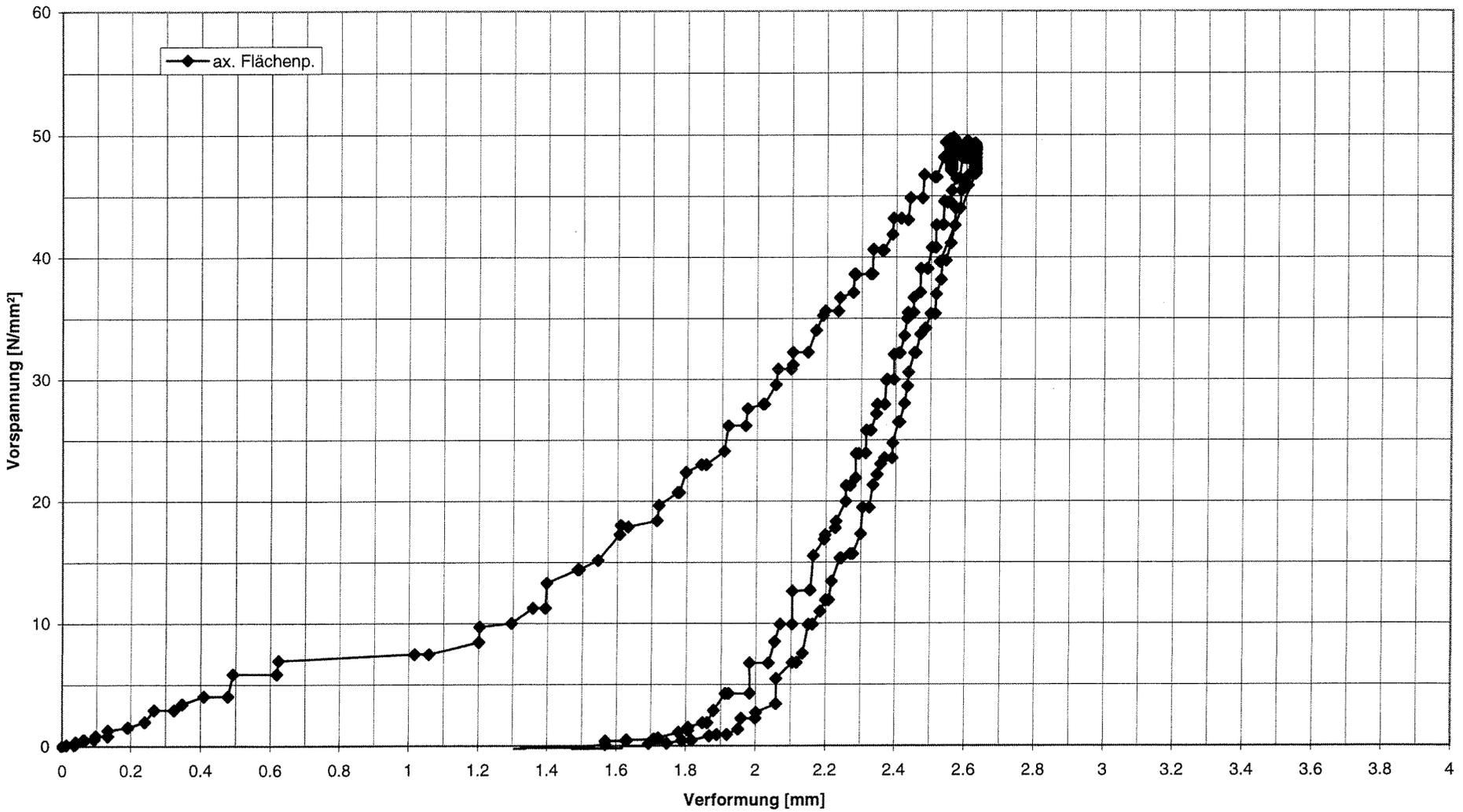
Umlenkfaktor K innen und außen  
2. Verpressen 1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

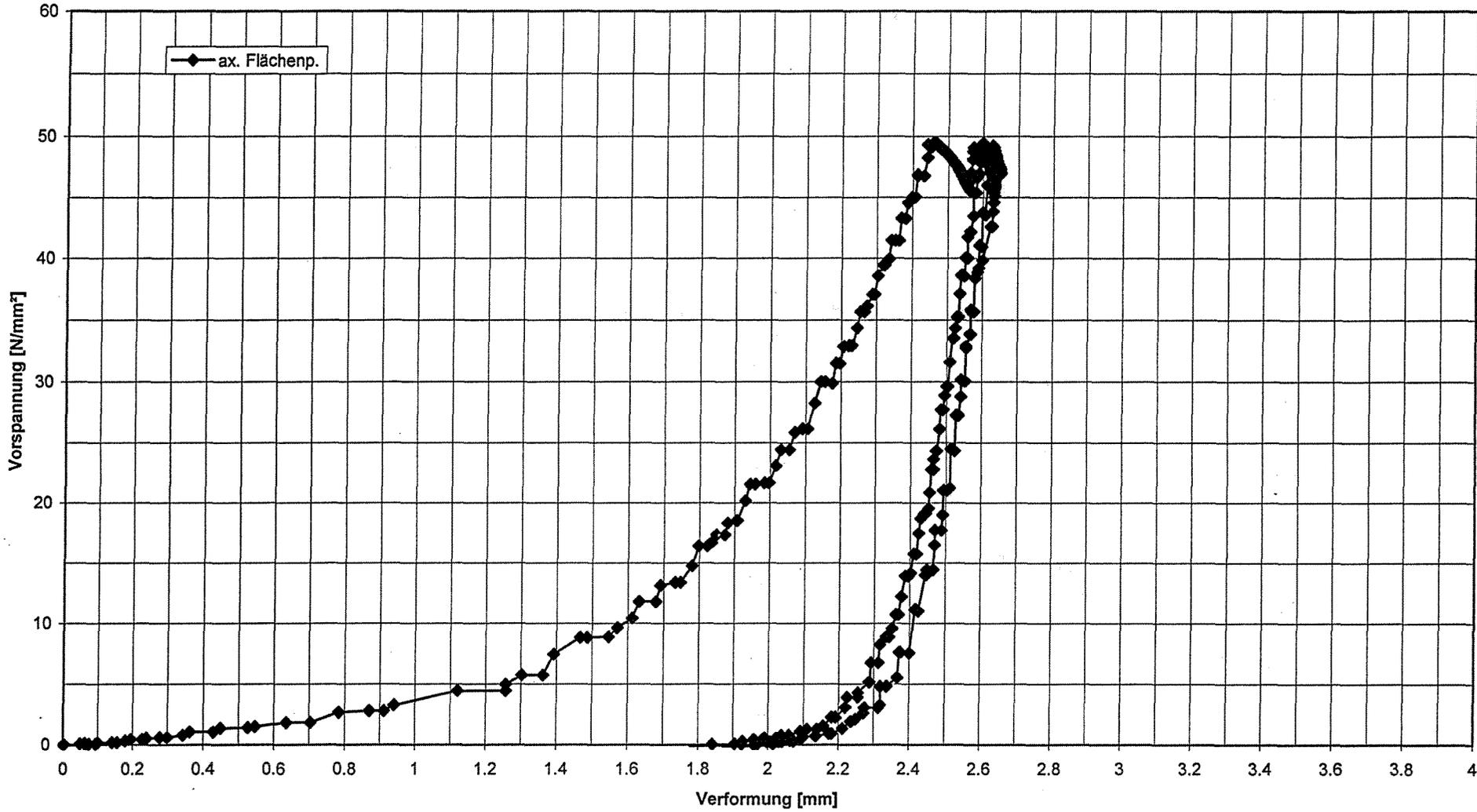
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

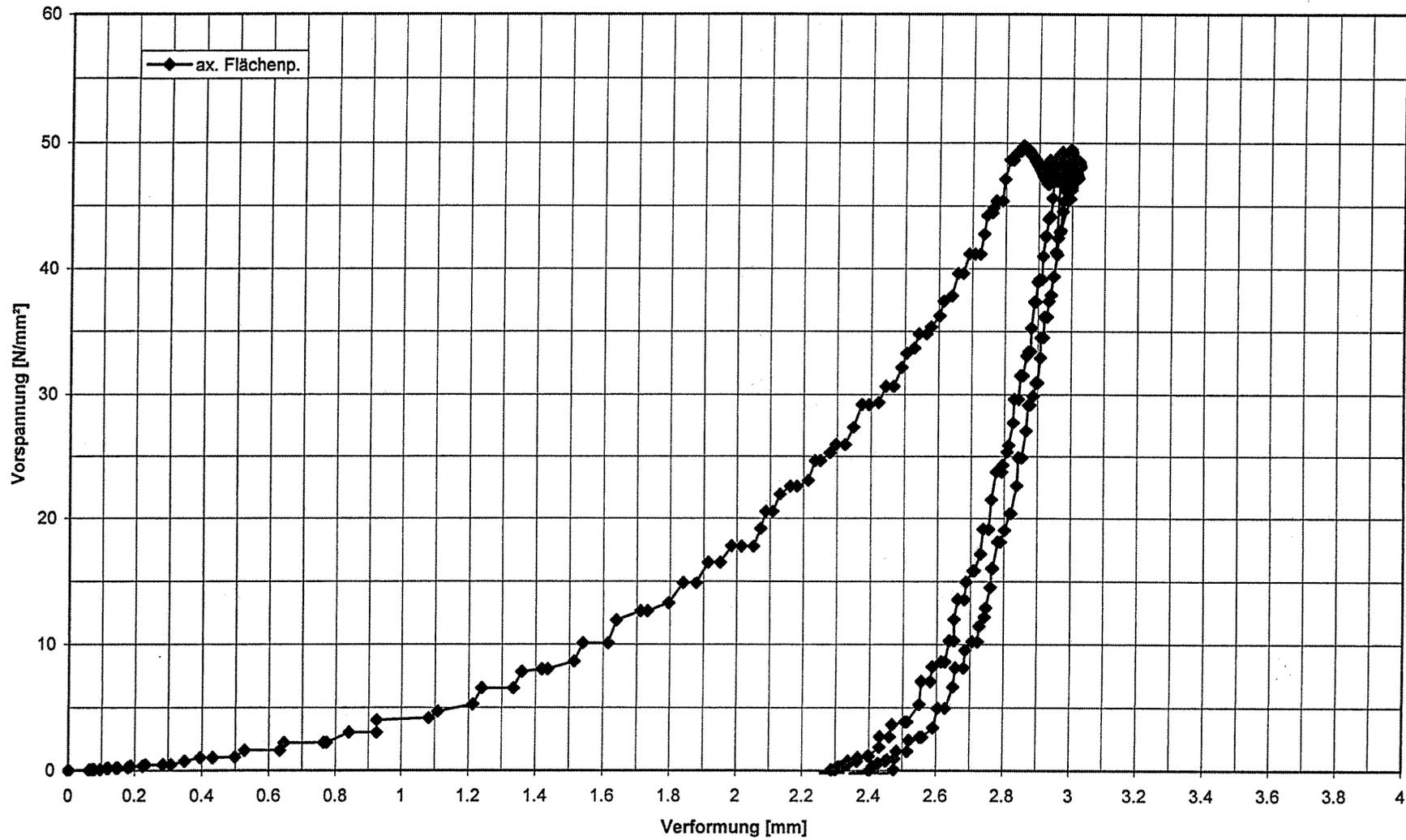
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

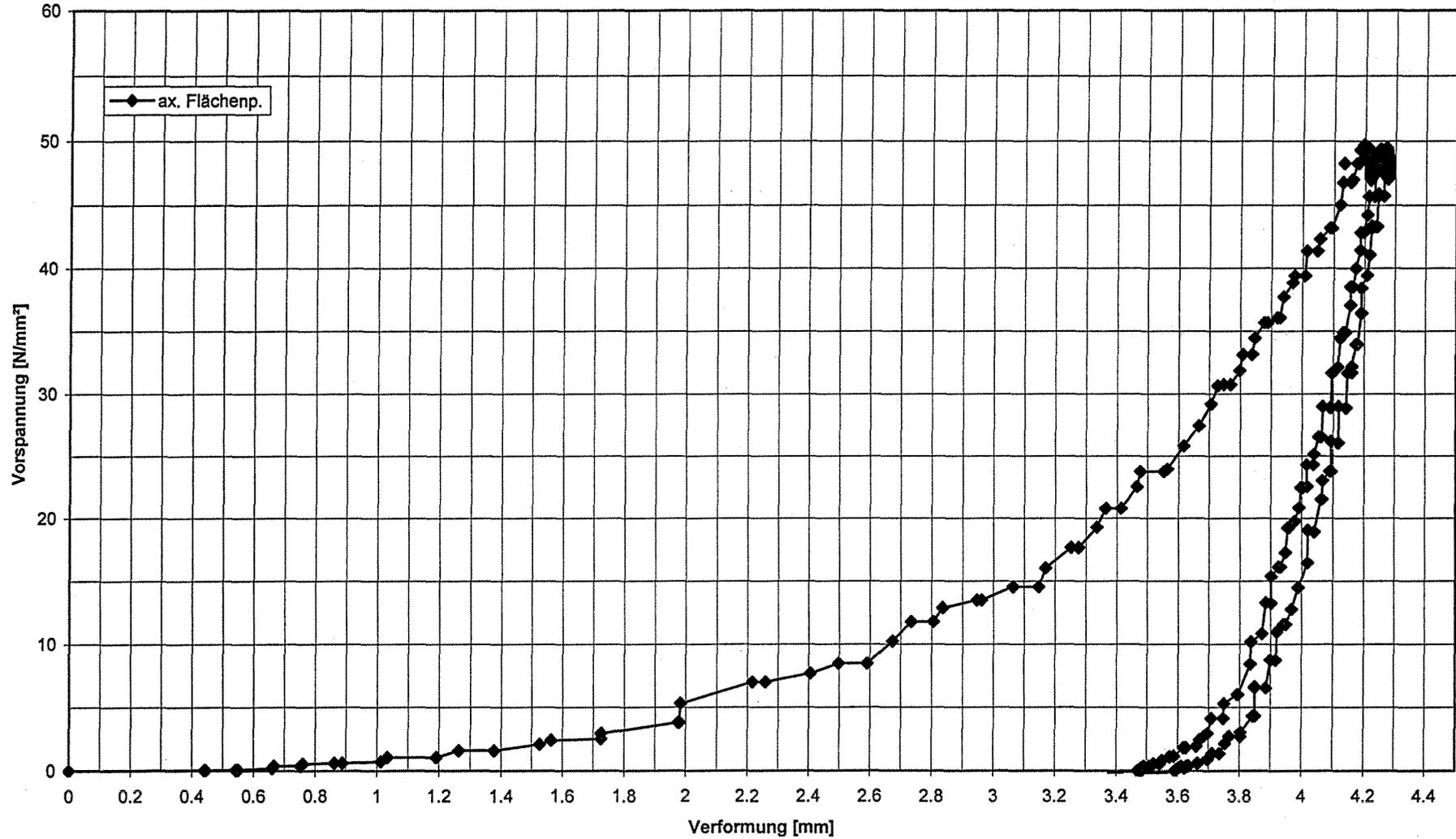
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 1 mm  
Spaltmaß Grundringe 1 mm

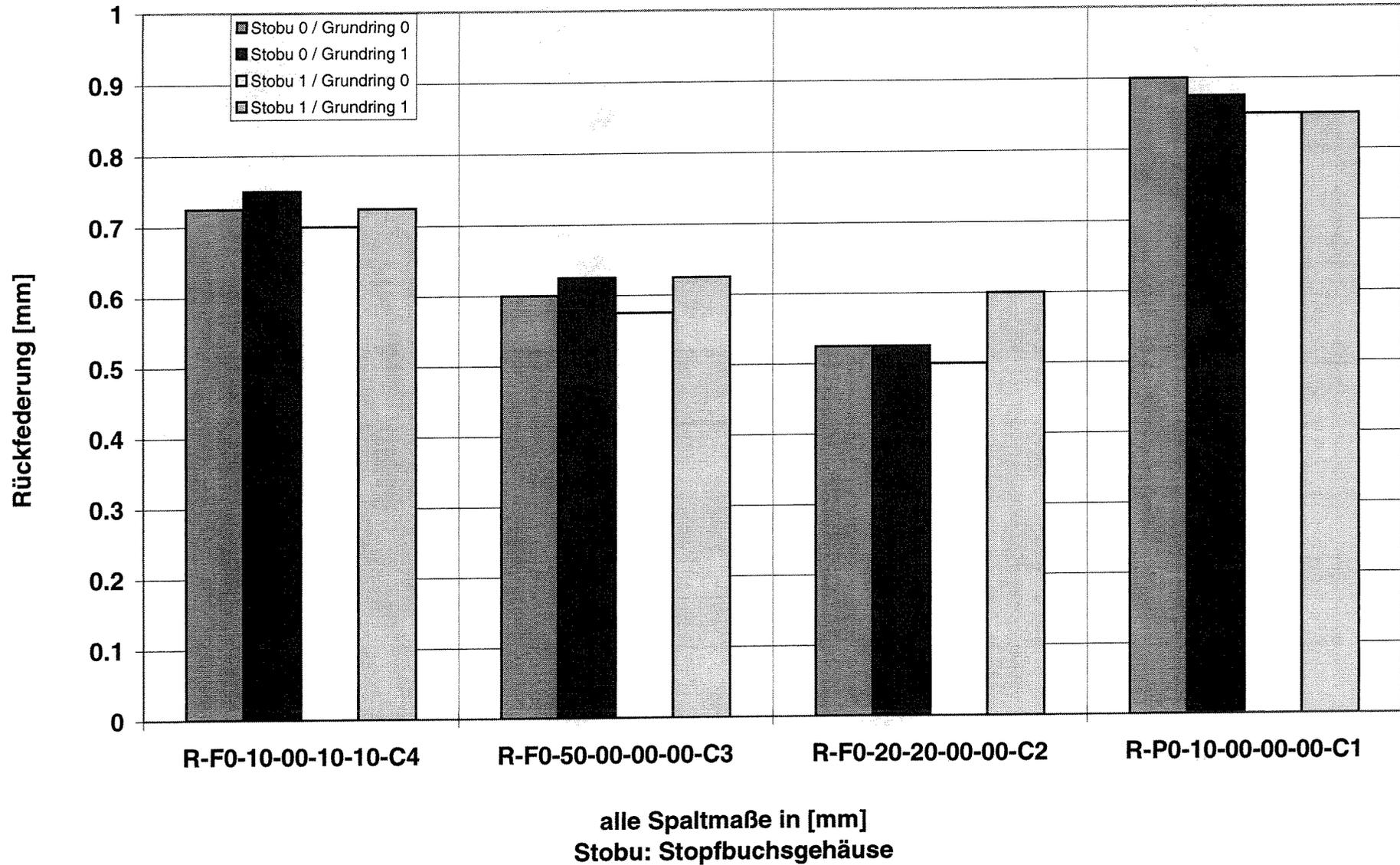
# Einfluß unterschiedlicher Spaltmaße am Stopfbuchsgehäuse auf den Umlenkfaktor $K_i$ und $K_a$

Alle Werte bei einer axialen Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup>  
(zweites Verpressen)

$\text{Ø}60 \times \text{Ø}80 \times 10$ Werkstoff	Spalt Stopfbuchs- gehäuse [ mm ]	Verformung [ mm ]	Umlenkfaktor $K_i$ [ - ]	Umlenkfaktor $K_a$ [ - ]
R-F0-10-00-10-10-C4	0	3,25	0,8 - 0,9	0,8 - 0,85
R-F0-10-00-10-10-C4	1	4	0,6 - 0,8	0,75 - 0,85
R-F0-50-00-00-00-C3	0	2,3	0,7 - 0,75	0,65 - 0,7
R-F0-50-00-00-00-C3	1	2,9	0,4 - 0,65	0,6 - 0,65
R-F0-20-20-00-00-C2	0	1,25	0,8 - 0,9	0,8 - 0,95
R-F0-20-20-00-00-C2	1	2,1	0,7 - 0,75	0,75
R-P0-10-00-00-00-C1	0	1,5	0,75 - 0,85	0,75 - 0,8
R-P0-10-00-00-00-C1	1	2,4	0,7 - 0,75	0,6

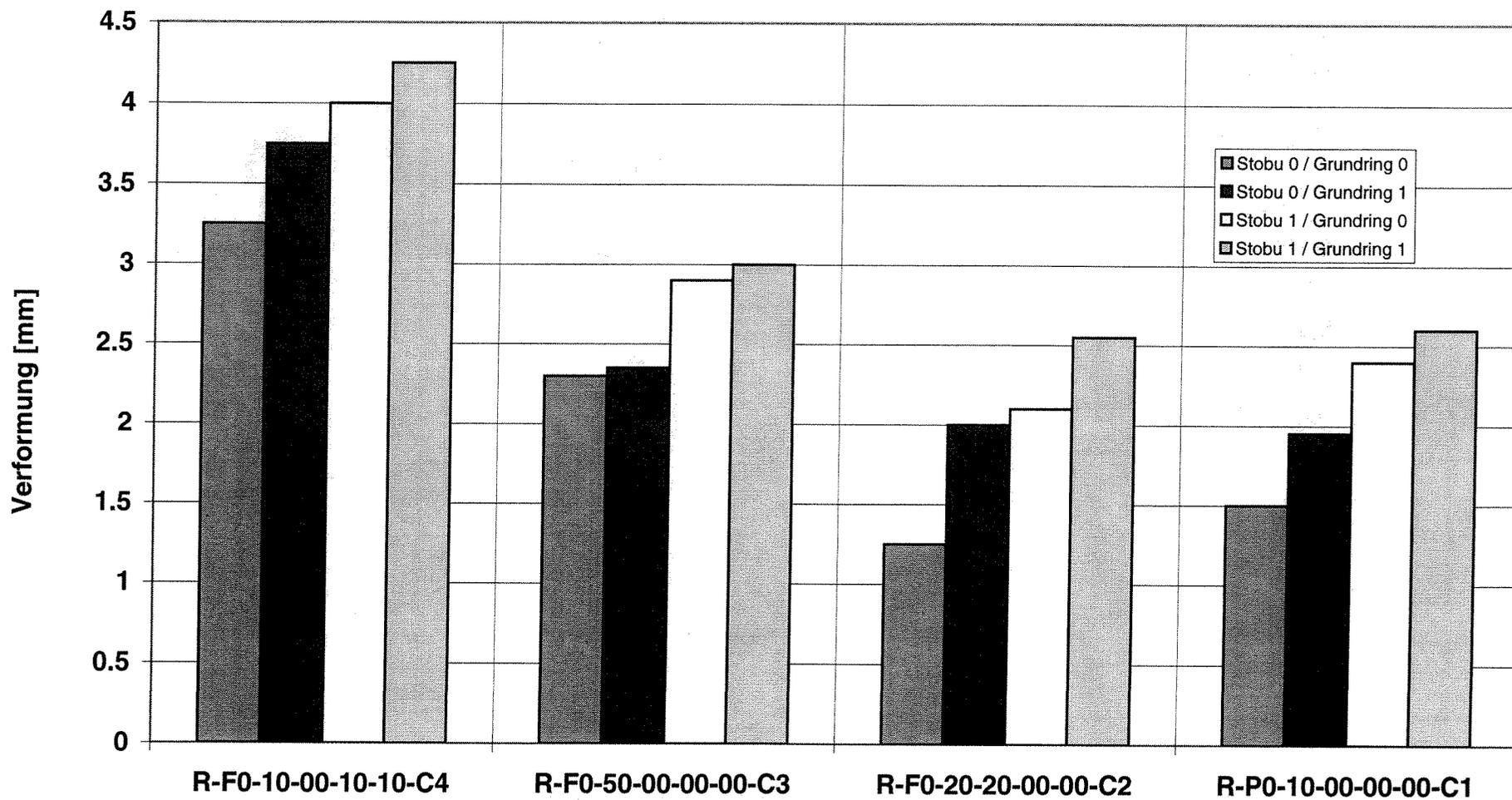
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

**Einfluß unterschiedlicher Spaltmaße auf die Rückfederung von Packungsringen.  
Alle Werte bei einer vollständigen Entlastung von einer axialen Flächenpressung von  
50 N/mm<sup>2</sup>.**



Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

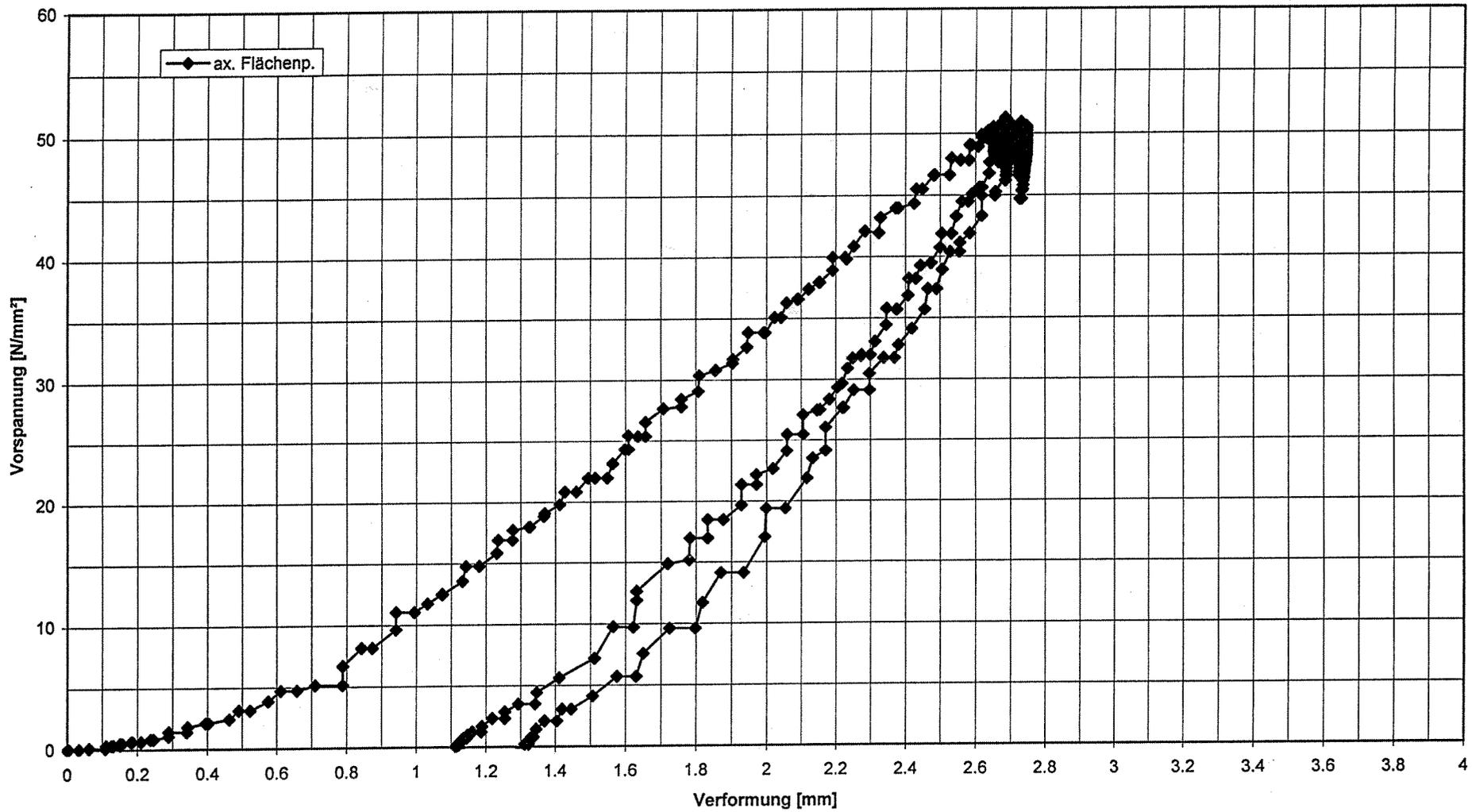
### Einfluß unterschiedlicher Spaltmaße auf die Verformung von Packungsringen alle Werte bei einer axialen Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup>



alle Spaltmaße in [mm]  
Stobu: Stopfbuchsgehäuse

## 1.2 Versuche mit mehreren Ringen

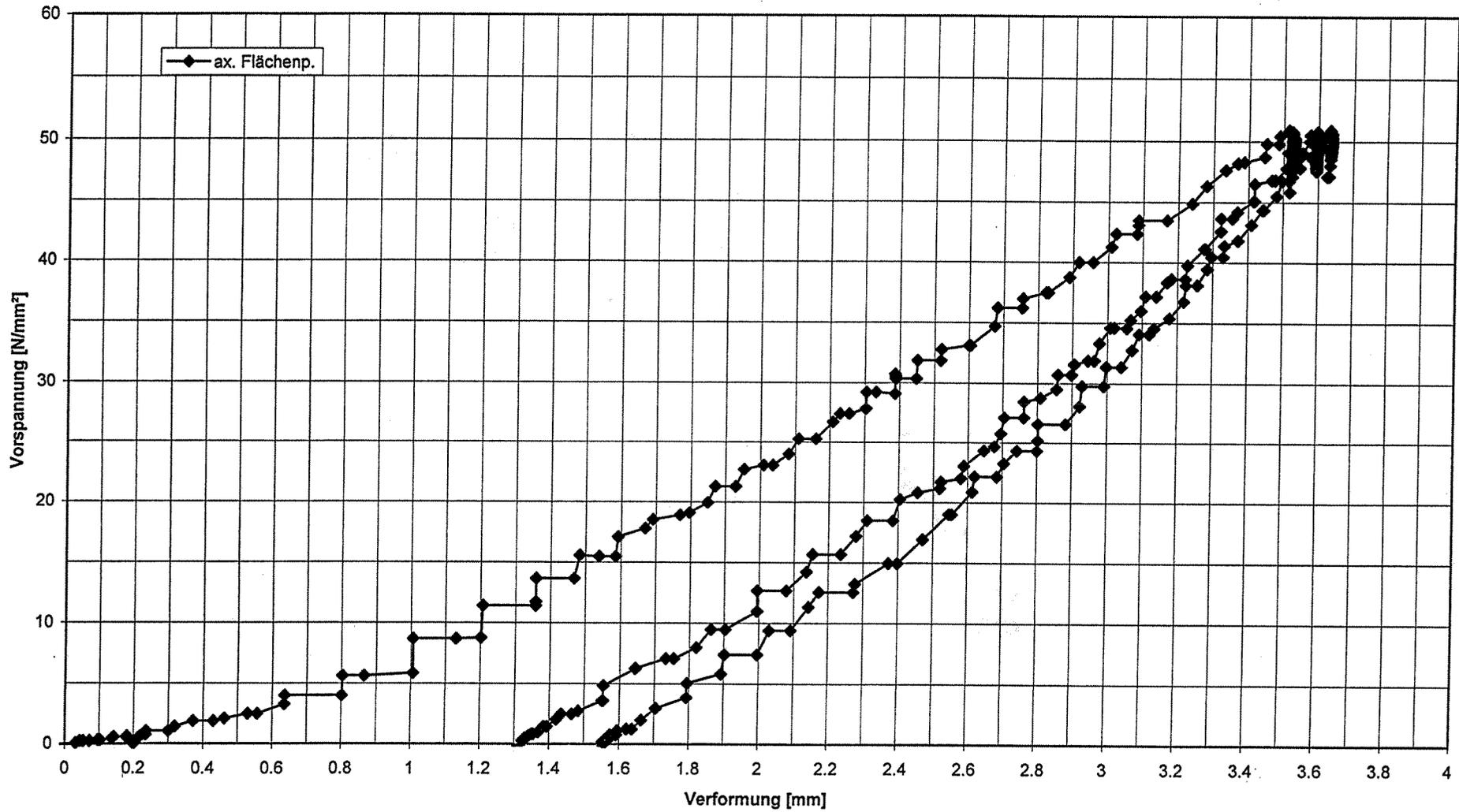
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
2 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

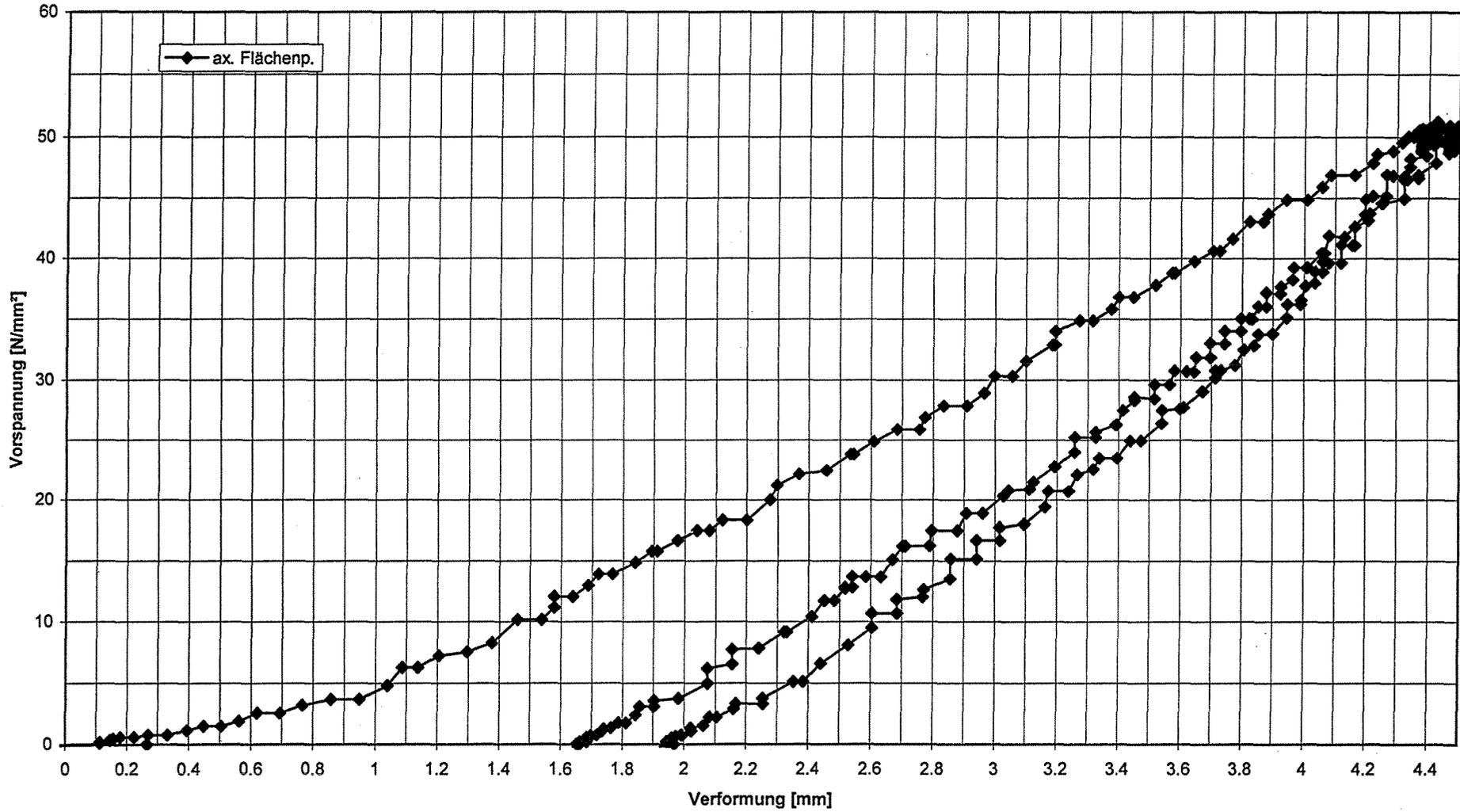
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

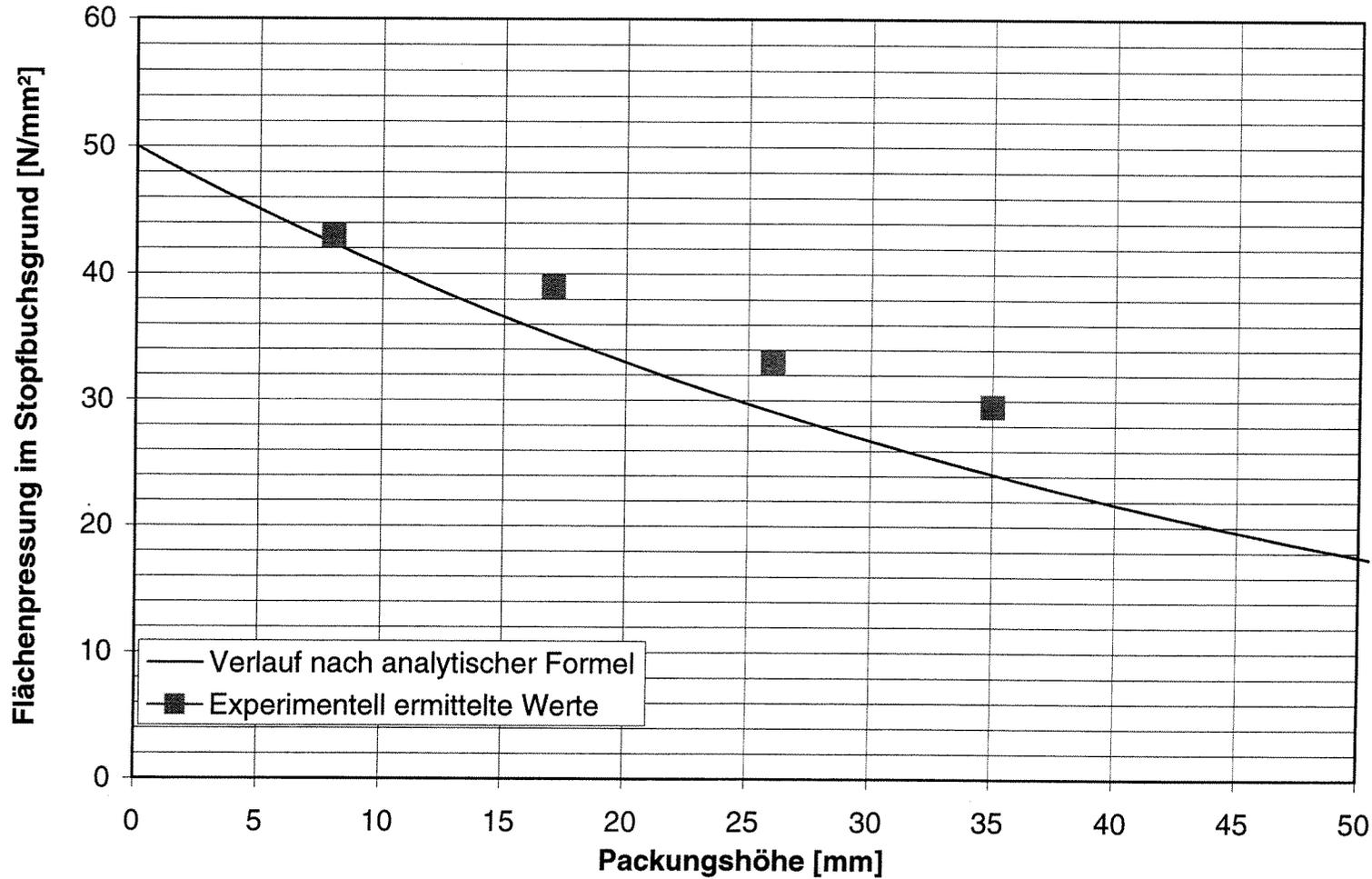
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60 x Ø80 x 10

Verlauf der axialen Flächenpressung im Stopfbuchsgrund bei einer eingeleiteten Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup> über der Packungshöhe im verpressten Zustand  
R-P0-10-00-00-00-C1



$$\sigma_{ax,u} = \sigma_{ax,o} \cdot e^{-2 \cdot \mu \cdot K \cdot L/B}$$

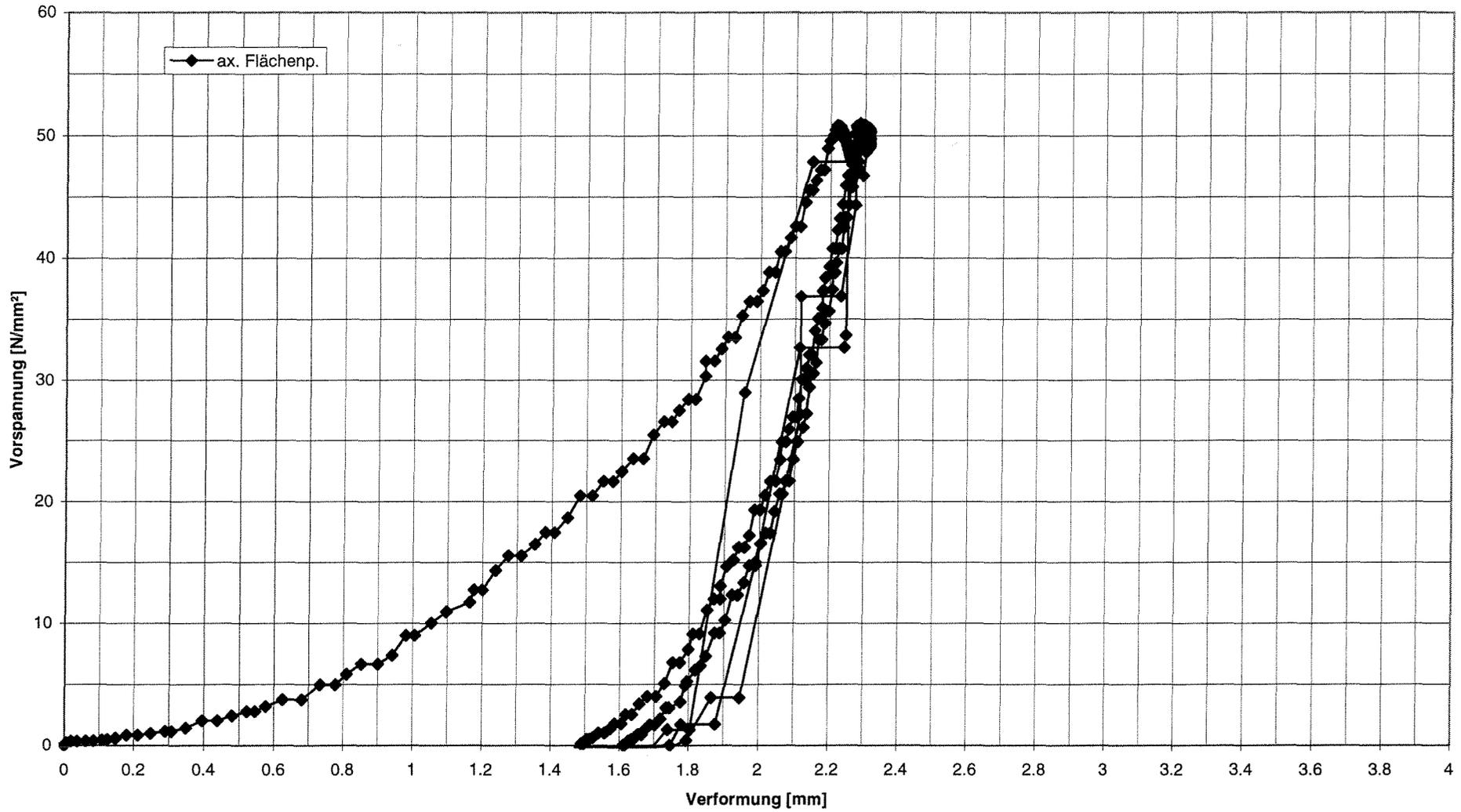
$$\sigma_{ax,u} = 50 \cdot e^{-2 \cdot 0.13 \cdot 0.8 \cdot L/10}$$

Umlenkfaktor K=0.8

Gleitreibungskoeffizient  $\mu=0.13$

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

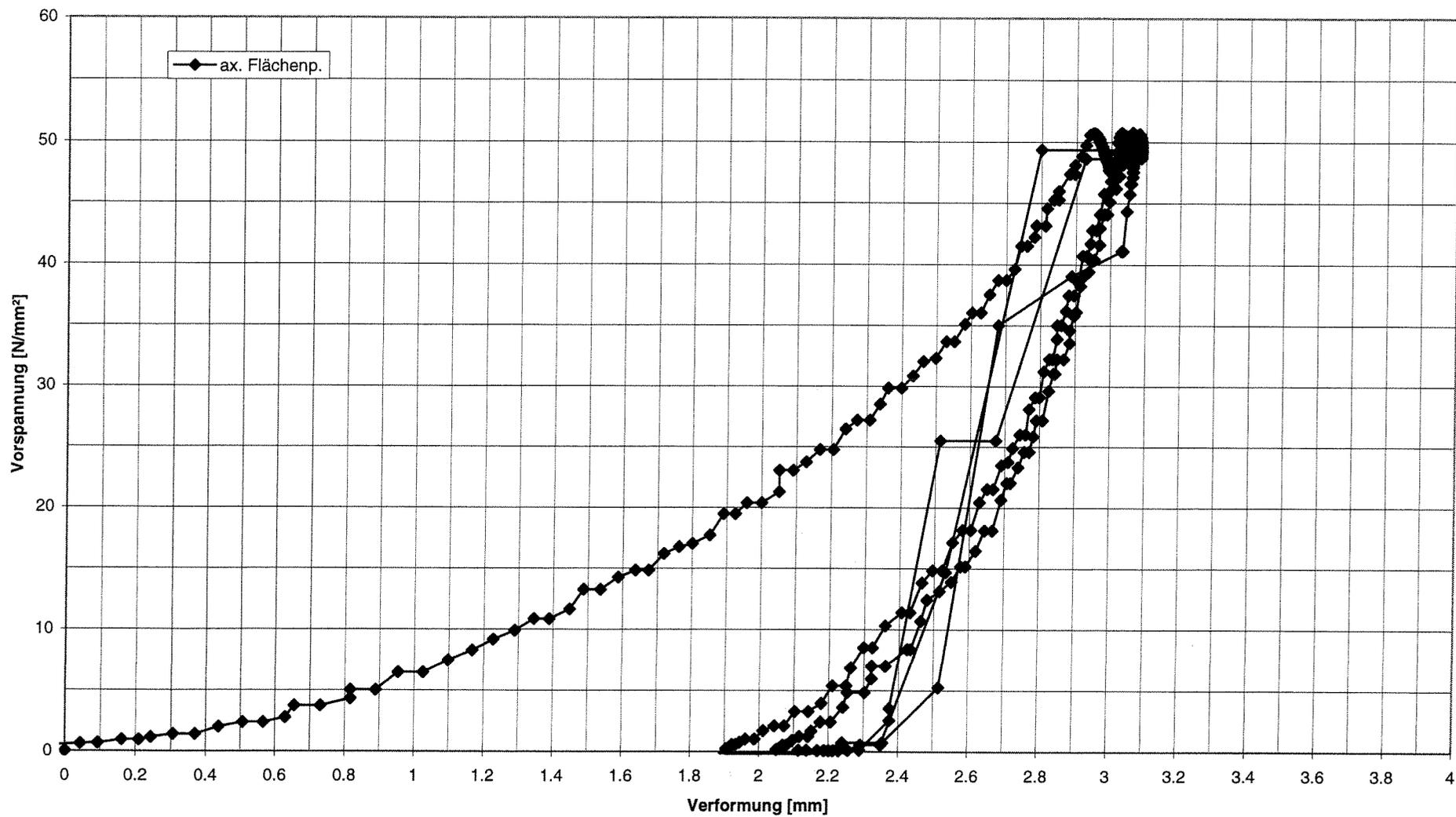
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
2 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

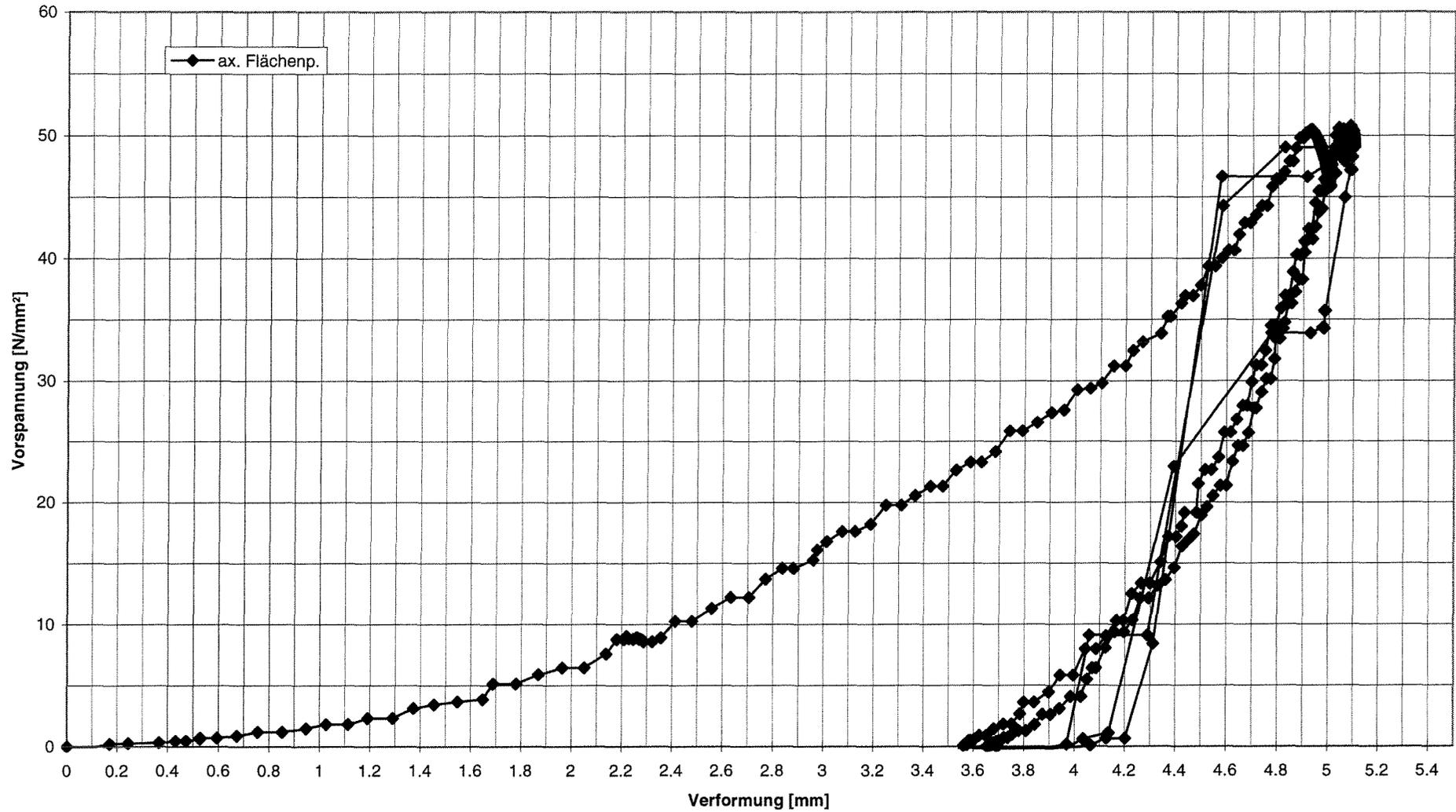
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

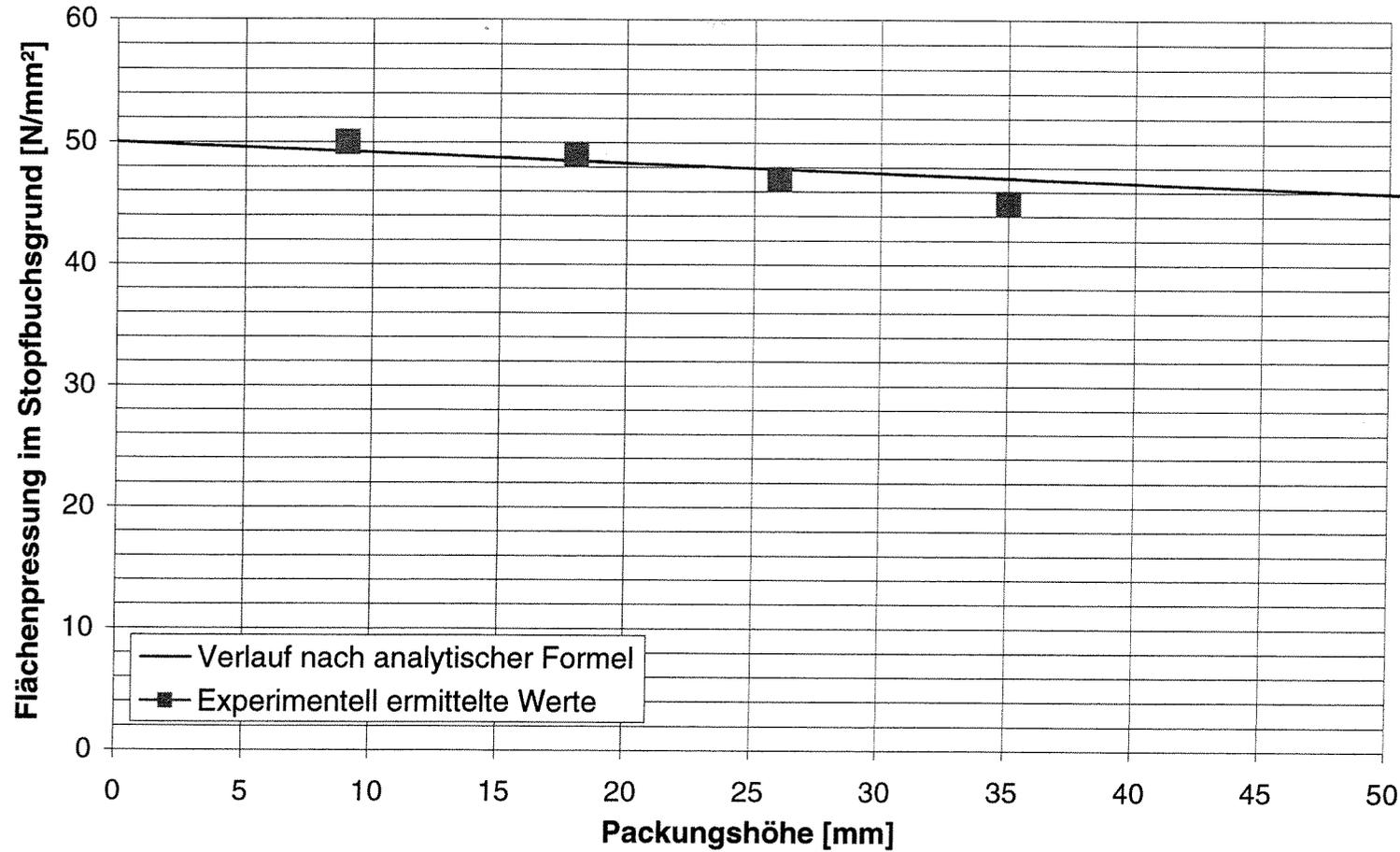
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
4 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60 x Ø80 x 10

Verlauf der axialen Flächenpressung im Stopfbuchsgrund bei einer eingeleiteten Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup> über der Packungshöhe im verpressten Zustand  
R-F0-20-20-00-00-C2



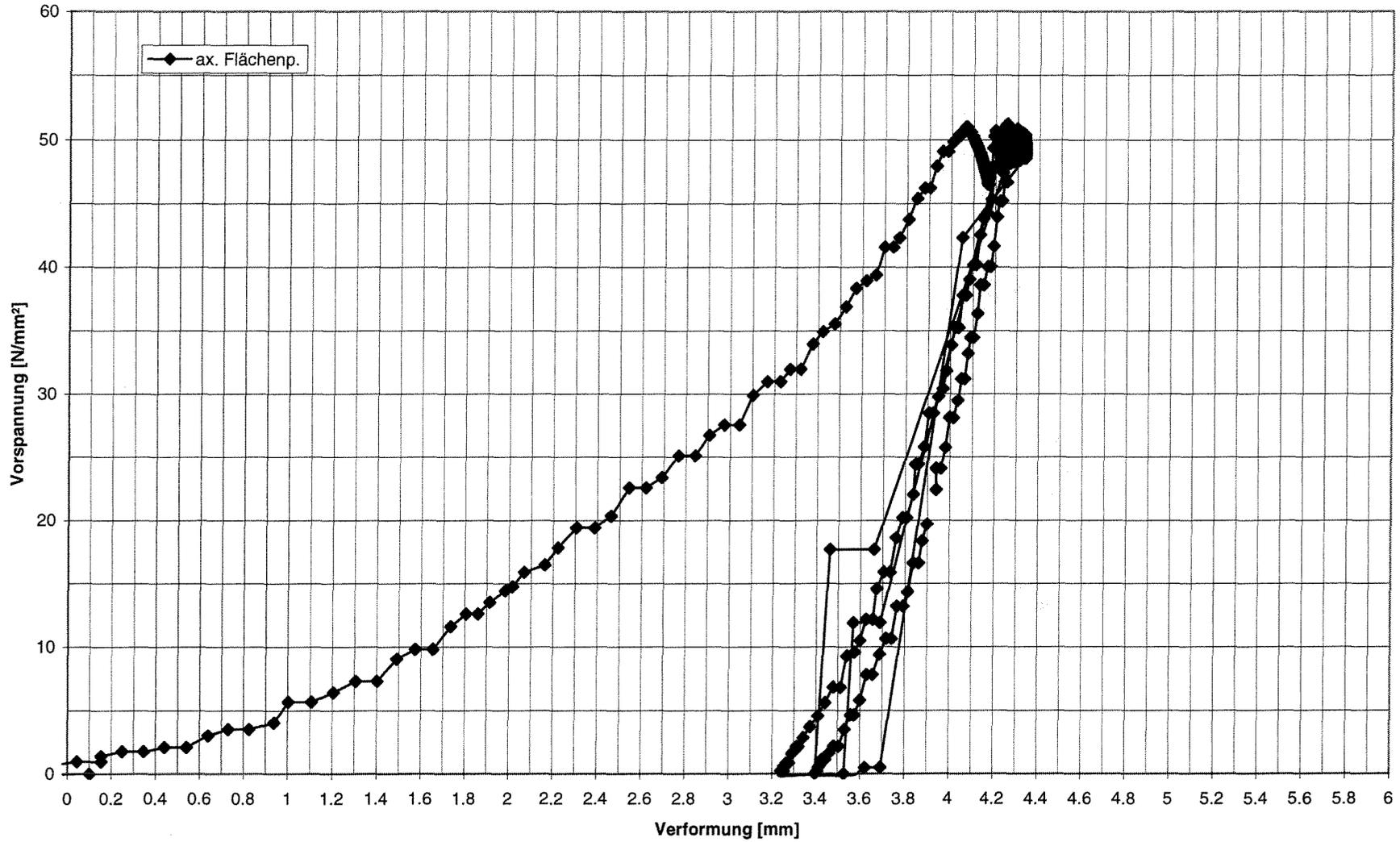
$$\sigma_{ax,u} = \sigma_{ax,0} * e^{-2 * \mu * K * L / B}$$
$$\sigma_{ax,u} = 50 * e^{-2 * 0.01 * 0.85 * L / 10}$$

Umlenkfaktor K=0.85

Gleitreibungskoeffizient  $\mu=0.01$

Ringe: Ø60xØ80x10

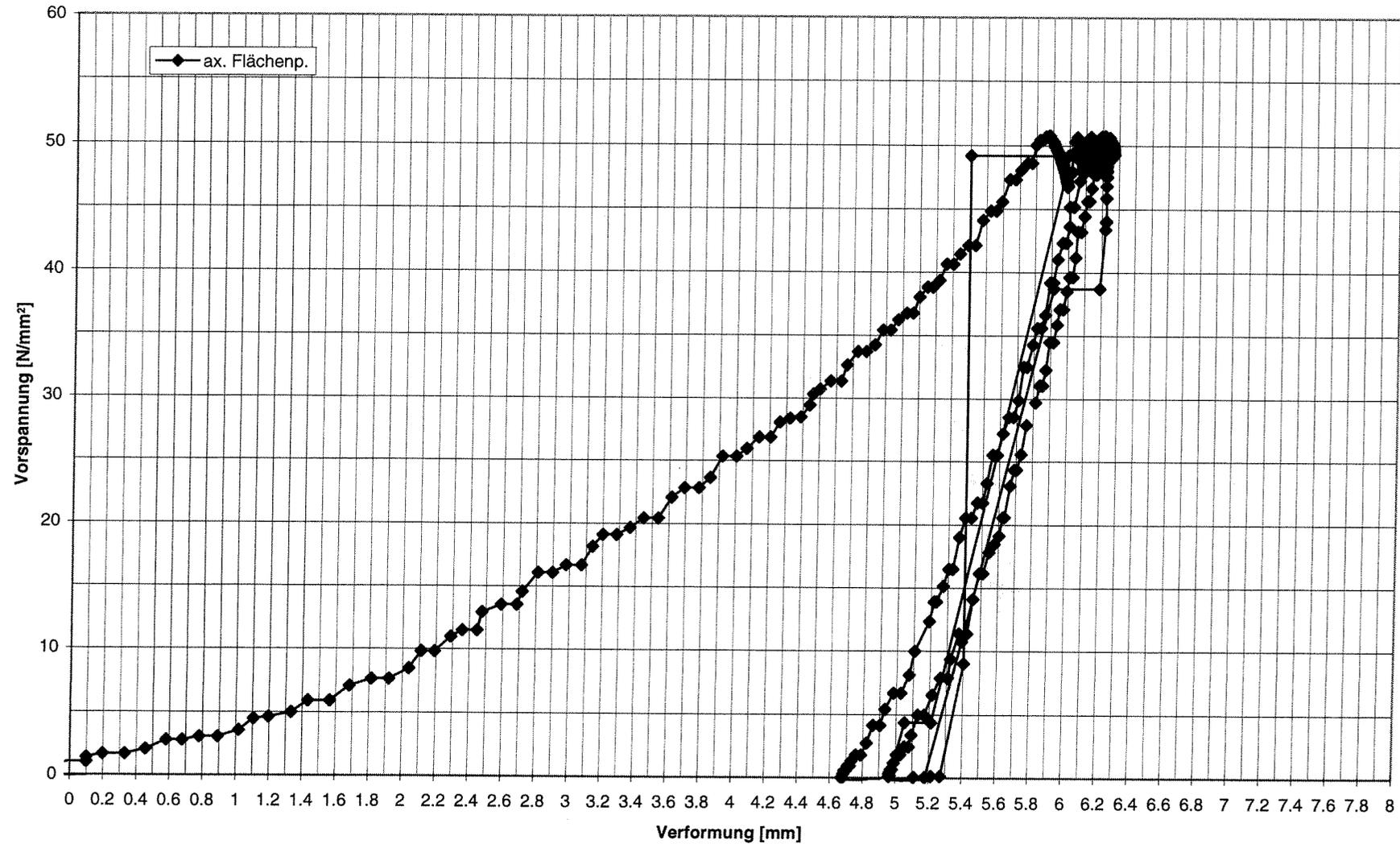
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
2 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\text{\O}60 \times \text{\O}80 \times 10$

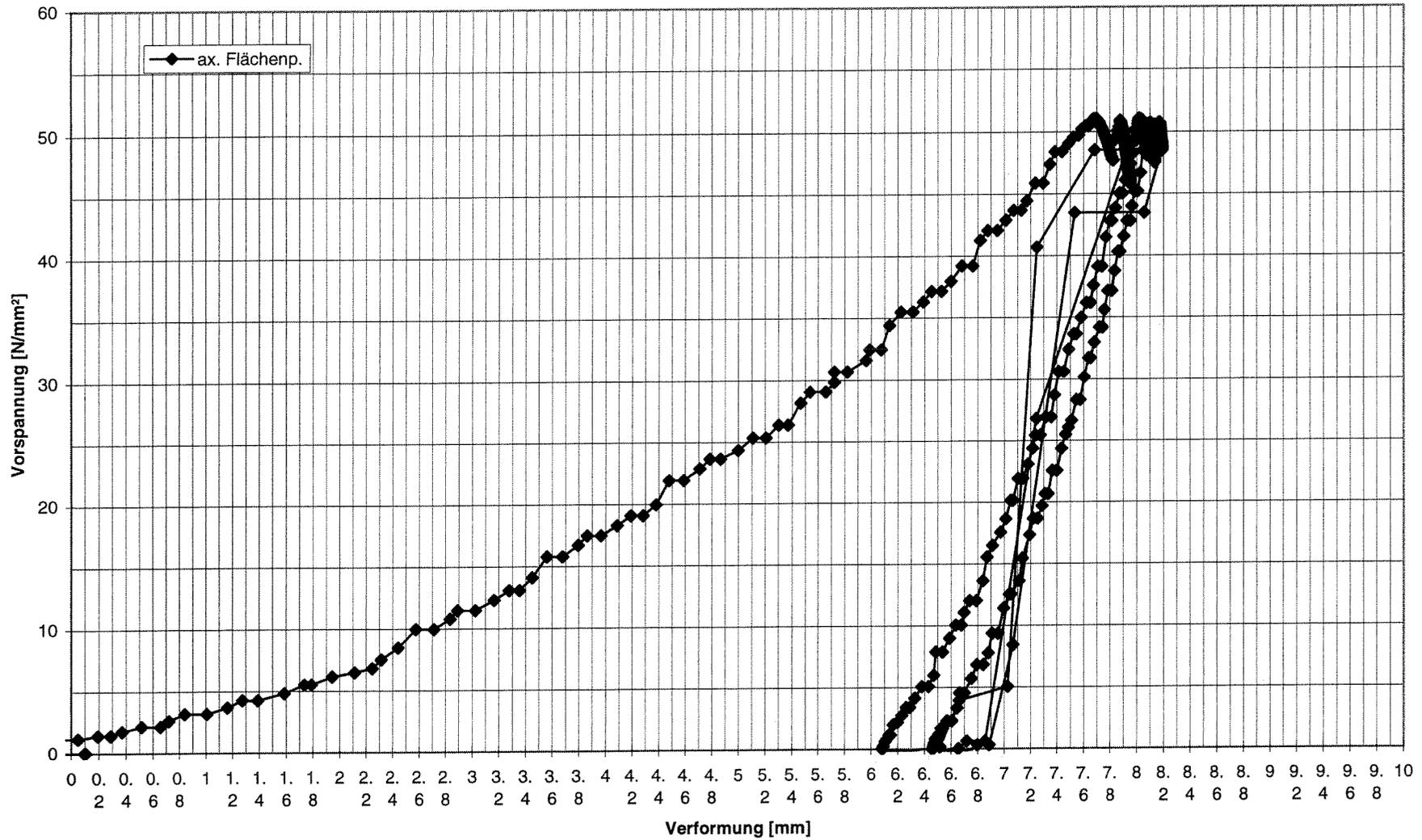
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

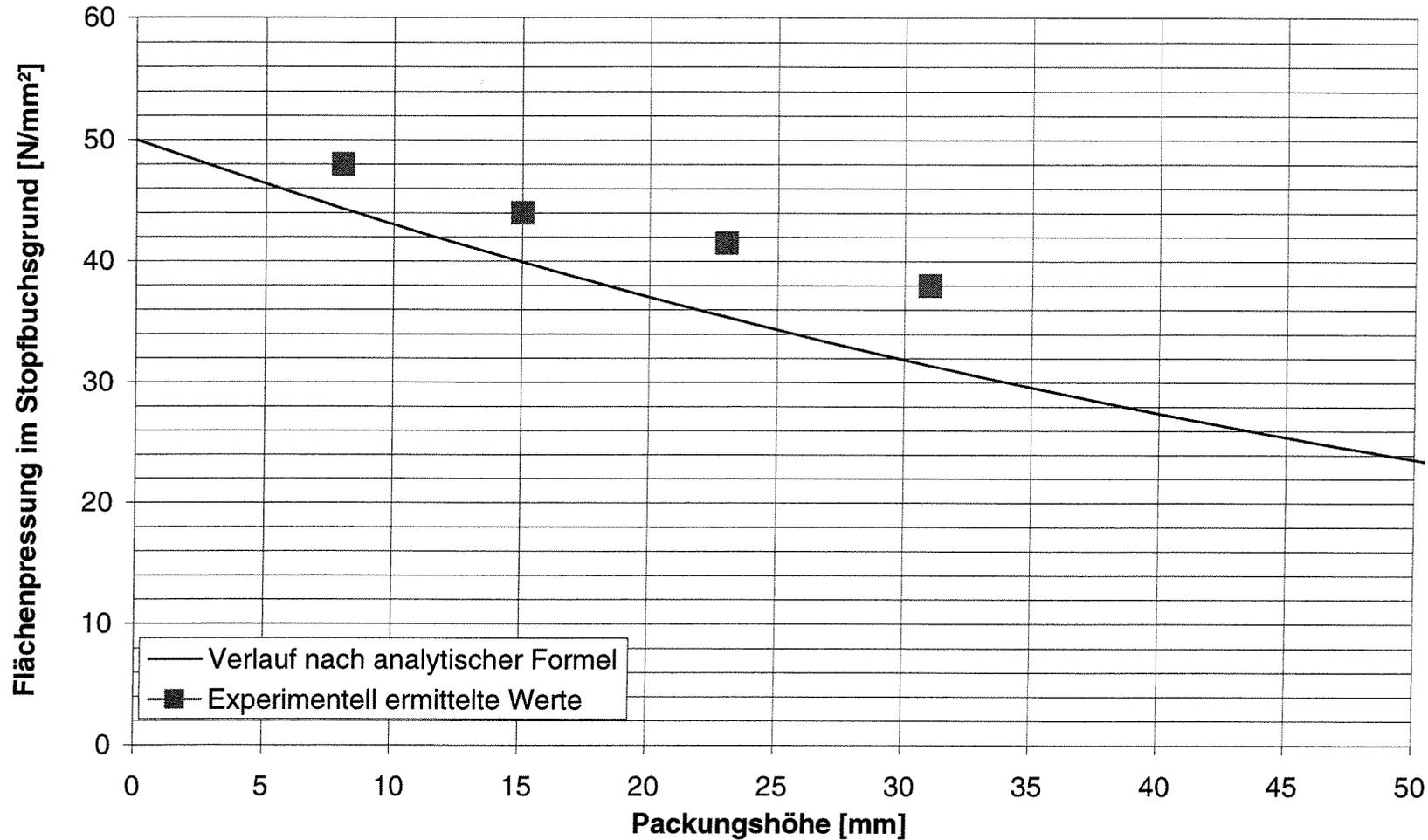
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
4 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60 x Ø80 x 10

Verlauf der axialen Flächenpressung im Stopfbuchsgrund bei einer eingeleiteten  
Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup> über der Packungshöhe im verpressten Zustand  
R-F0-50-00-00-00-C3



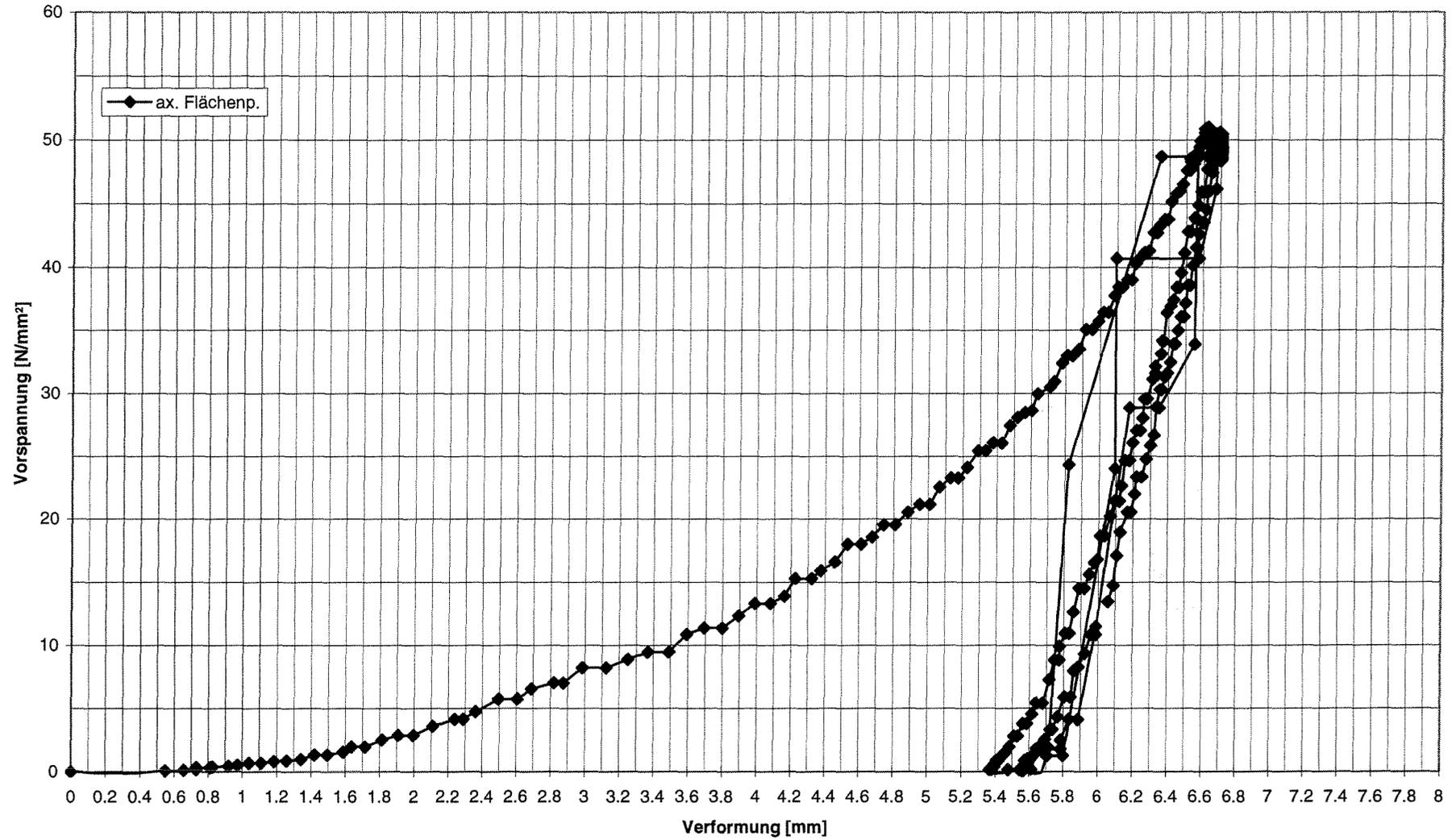
$$\sigma_{ax,u} = \sigma_{ax,o} \cdot e^{-2 \cdot \mu \cdot K \cdot L / B}$$
$$\sigma_{ax,u} = 50 \cdot e^{-2 \cdot 0.1 \cdot 0.75 \cdot L / 10}$$

Umlenkfaktor K=0.75

Gleitreibungskoeffizient  $\mu=0.1$

Ringe: Ø60xØ80x10

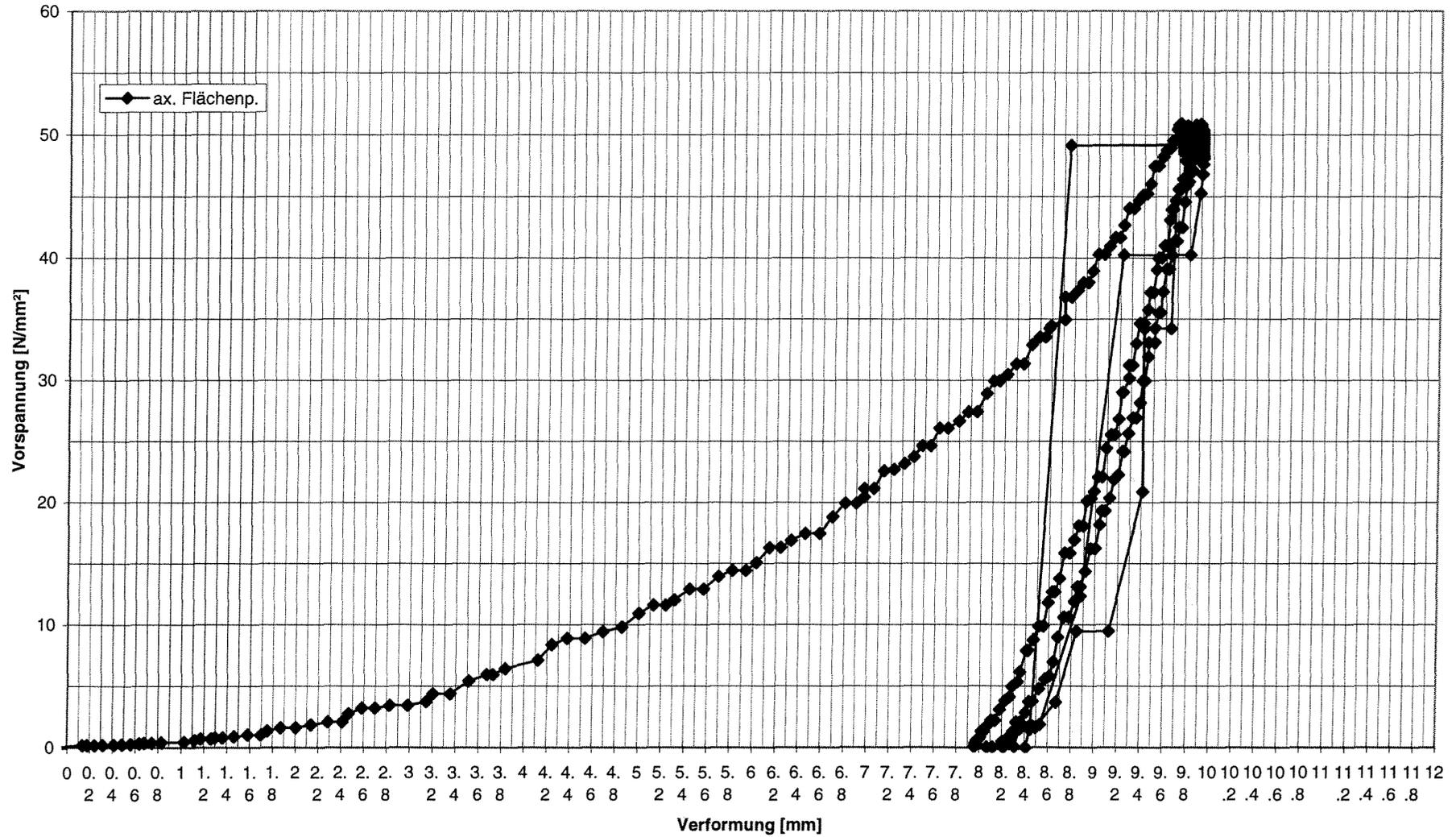
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgewäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

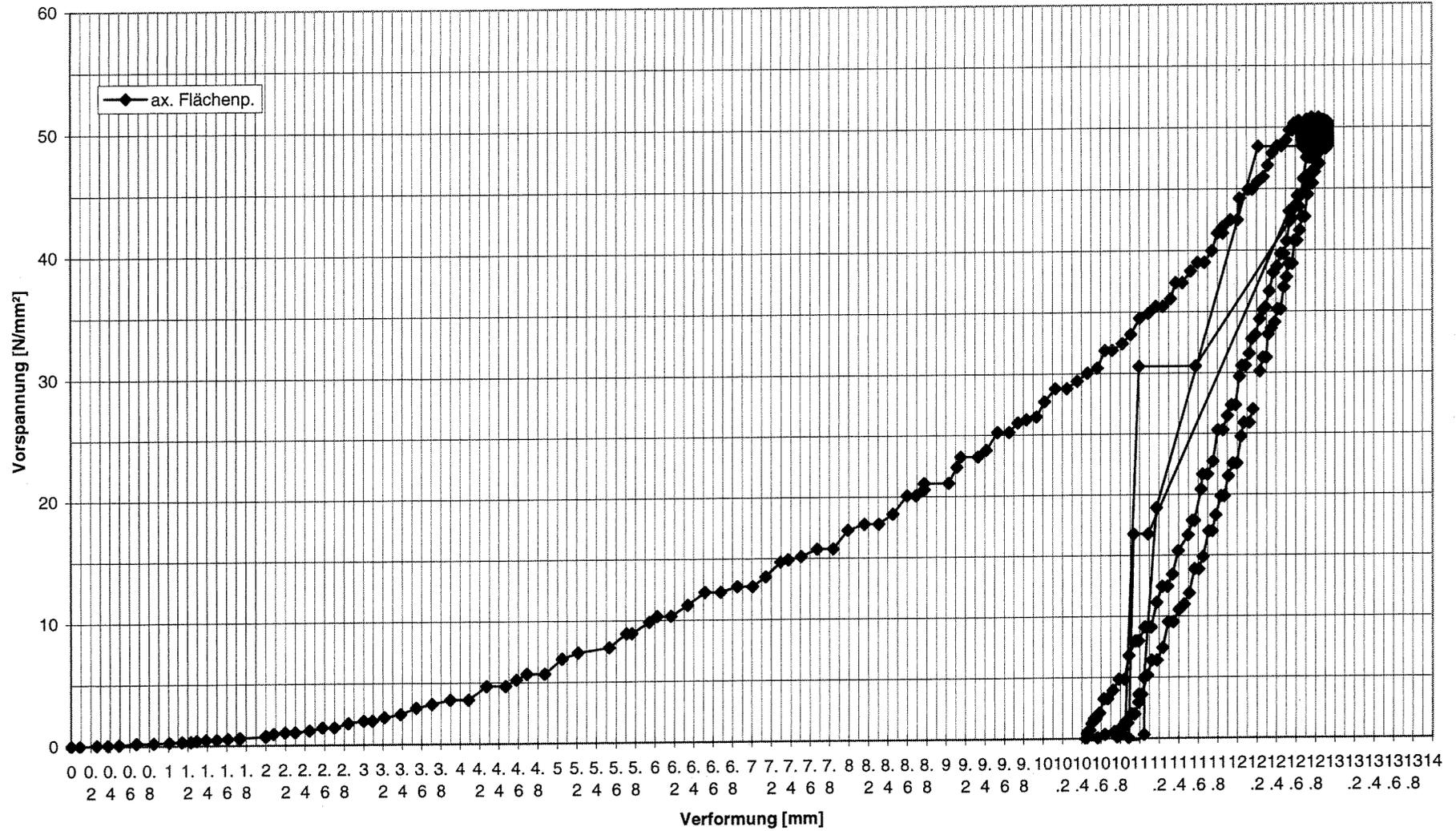
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60xØ80x10

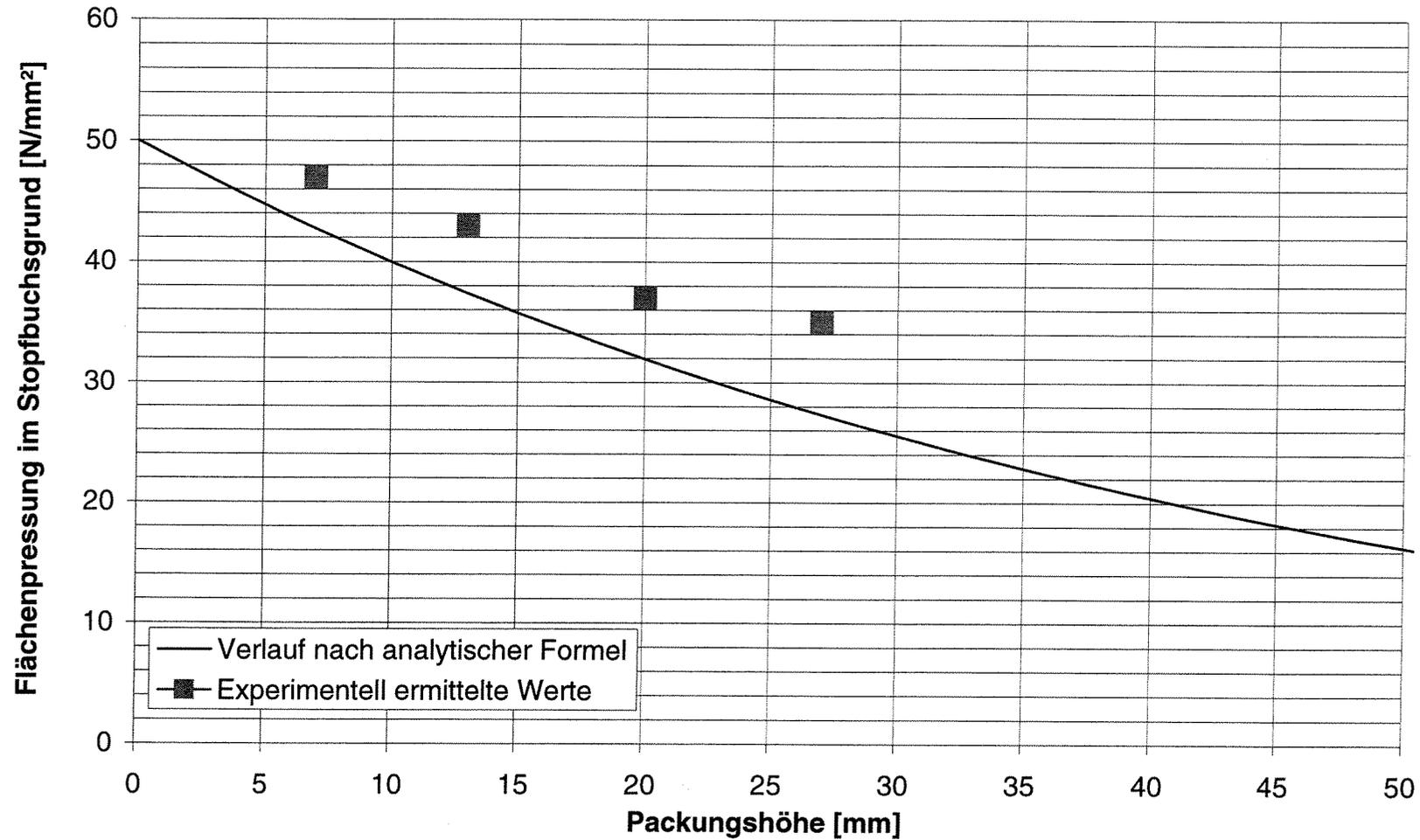
### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 4 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60 x Ø80 x 10

Verlauf der axialen Flächenpressung im Stopfbuchsgrund bei einer eingeleiteten  
Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup> über der Packungshöhe im verpressten Zustand  
R-F0-10-00-10-10-C4



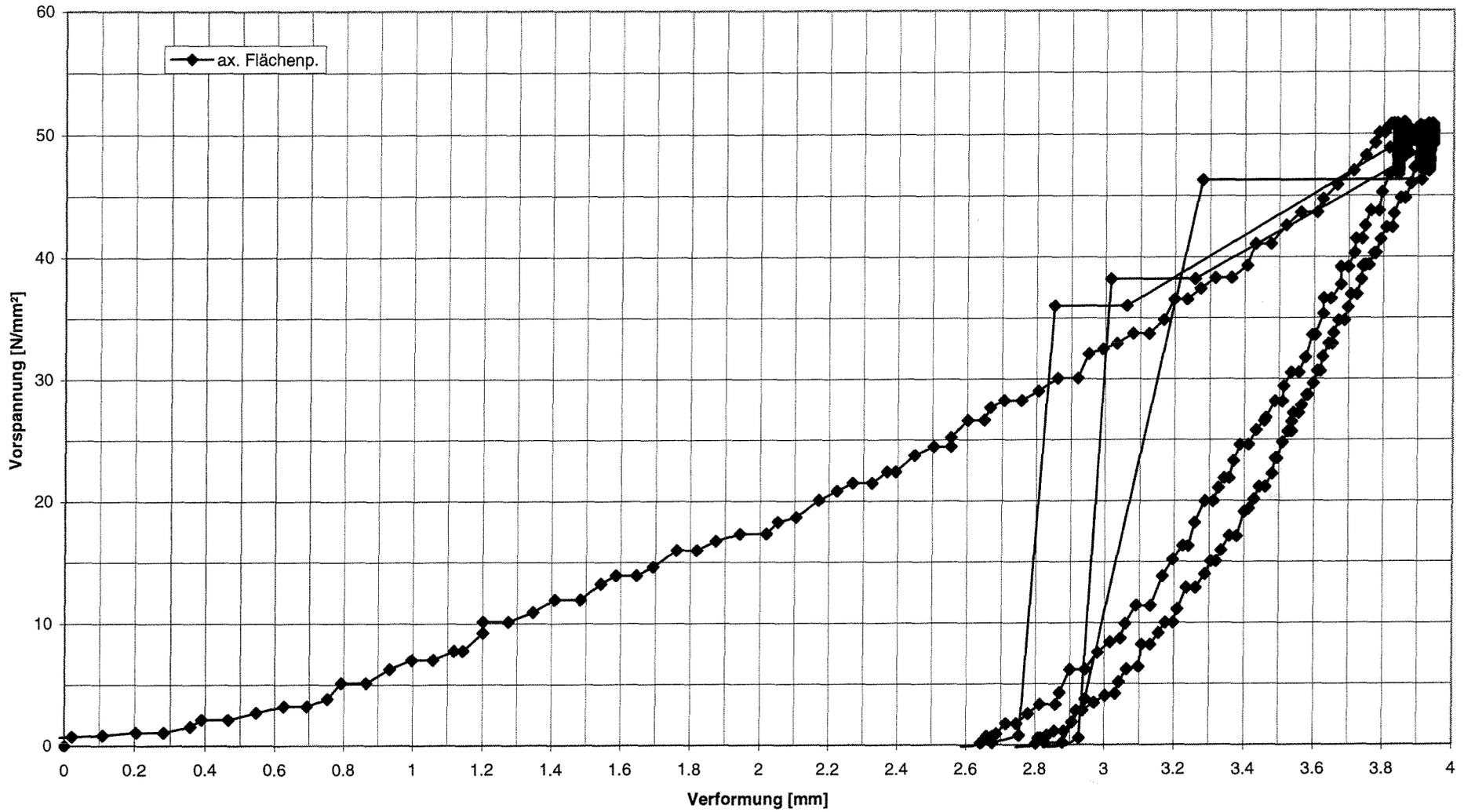
— Verlauf nach analytischer Formel  
■ Experimentell ermittelte Werte

$$\sigma_{ax,u} = \sigma_{ax,o} * e^{-2*\mu*K*L/B}$$
$$\sigma_{ax,u} = 50 * e^{-2*0.14*0.8*L/10}$$

Umlenkfaktor K=0.8

Gleitreibungskoeffizient  $\mu=0.14$

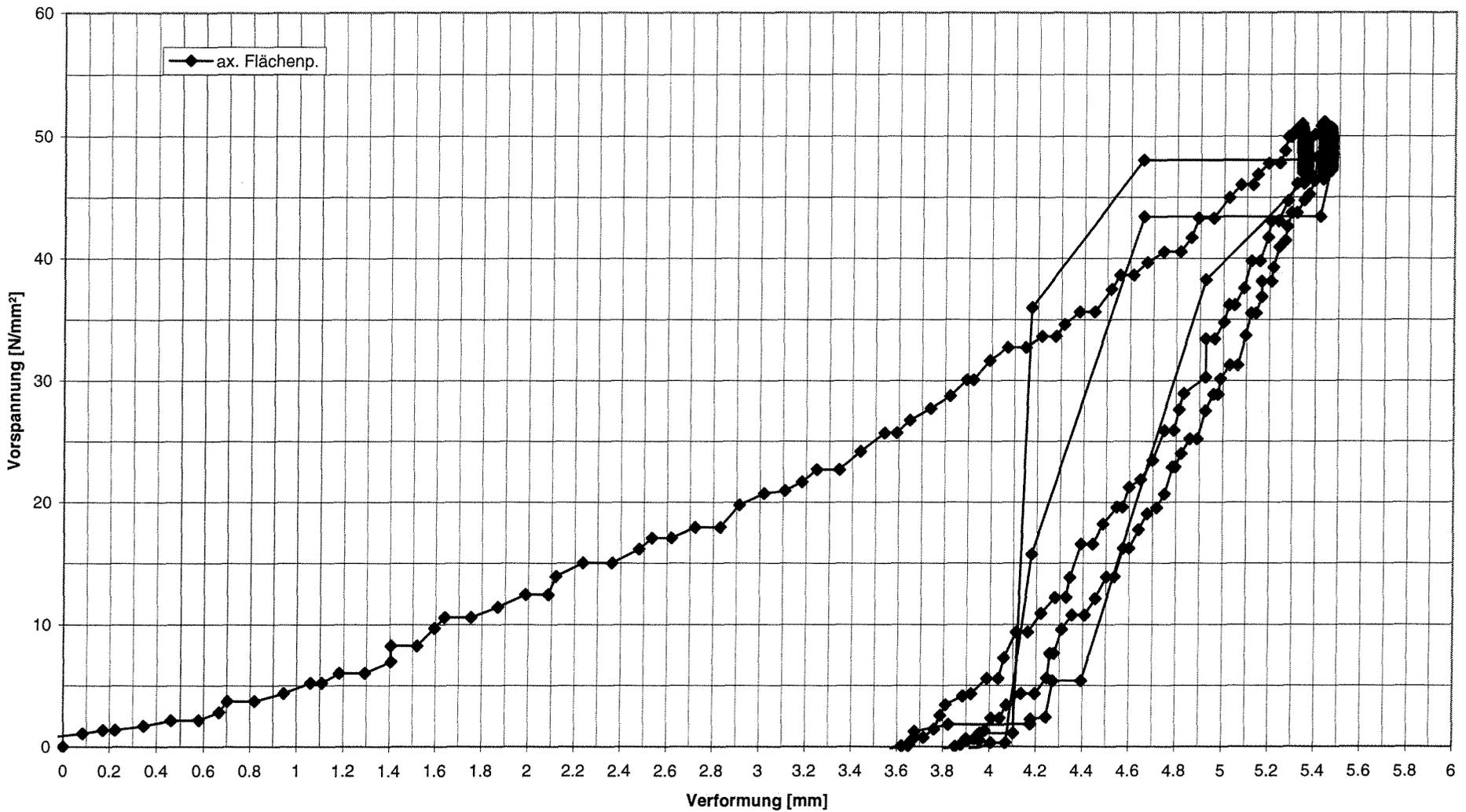
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
2 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

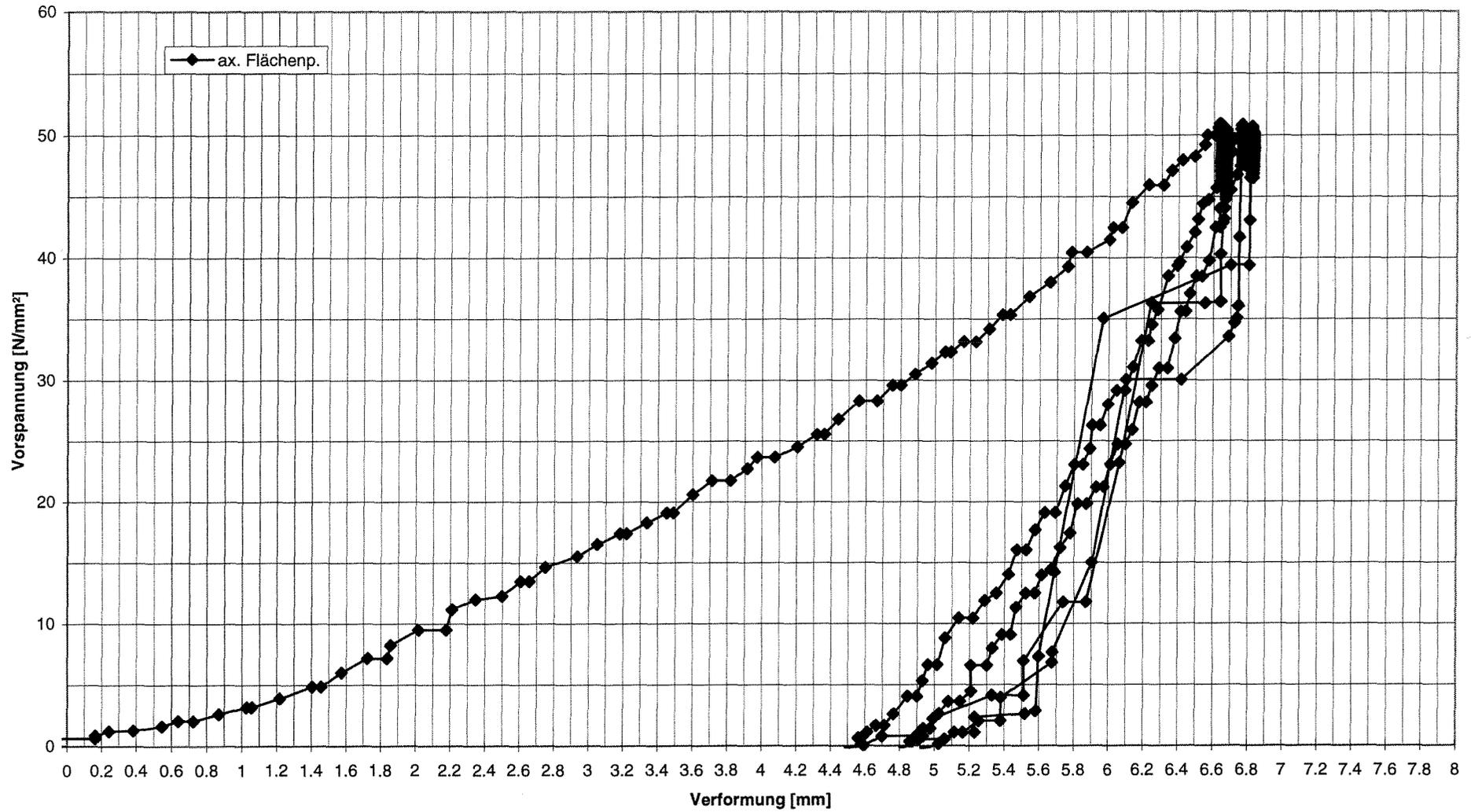
Ringe: Ø60xØ80x10

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

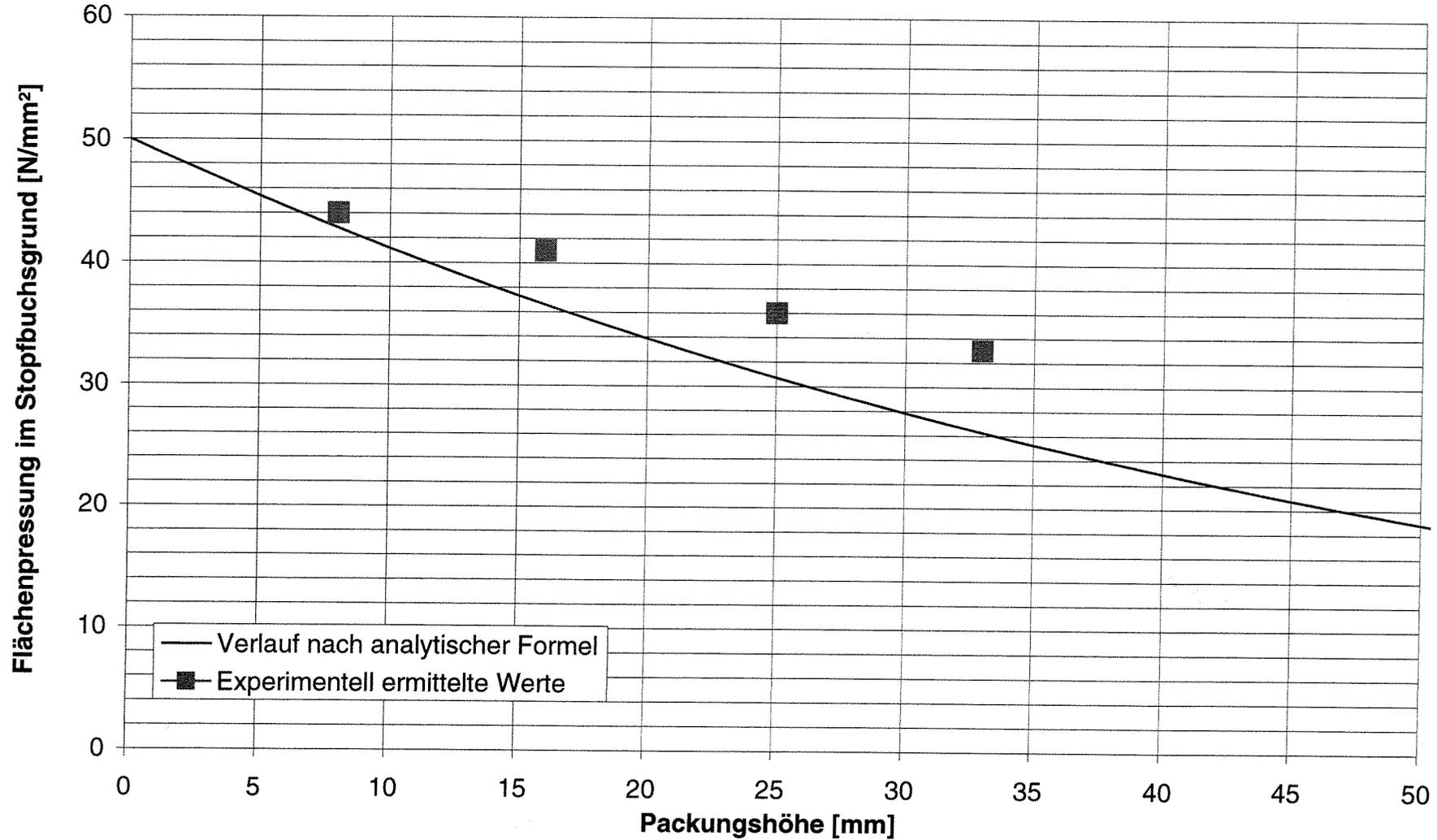
Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
4 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø60 x Ø80 x 10

Verlauf der axialen Flächenpressung im Stopfbuchsgrund bei einer eingeleiteten Flächenpressung von 50 N/mm<sup>2</sup> über der Packungshöhe im verpressten Zustand  
R-F0-10-00-10-30-A2



— Verlauf nach analytischer Formel  
■ Experimentell ermittelte Werte

$$\sigma_{ax,u} = \sigma_{ax,o} \cdot e^{-2 \cdot \mu \cdot K \cdot L/B}$$
$$\sigma_{ax,u} = 50 \cdot e^{-2 \cdot 0.13 \cdot 0.75 \cdot L/10}$$

Umlenkfaktor K=0.75

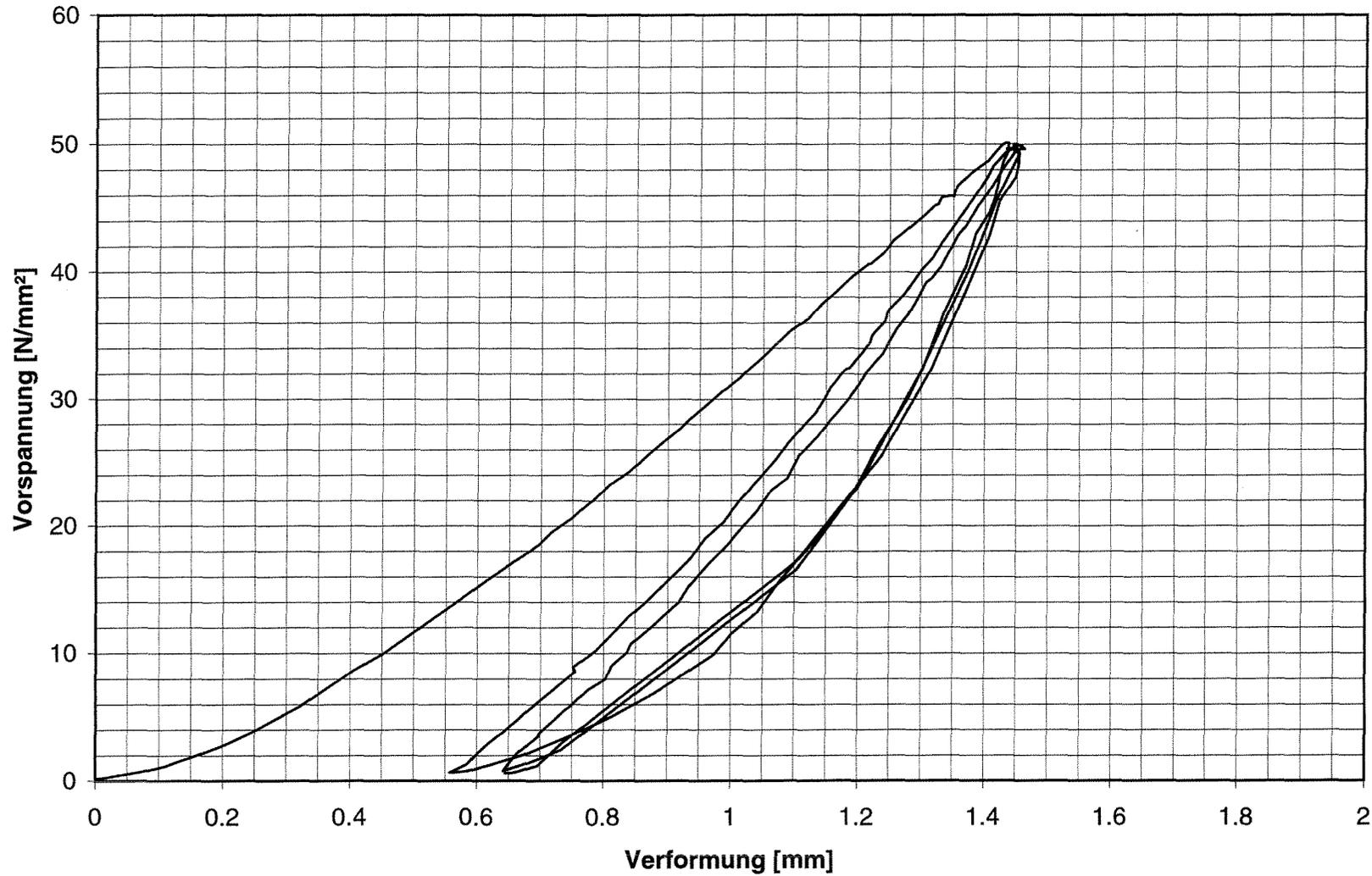
Gleitreibungskoeffizient  $\mu=0.13$

## **2 Reib- und Leckageversuchsstand**

### **2.1 Stauchversuche**

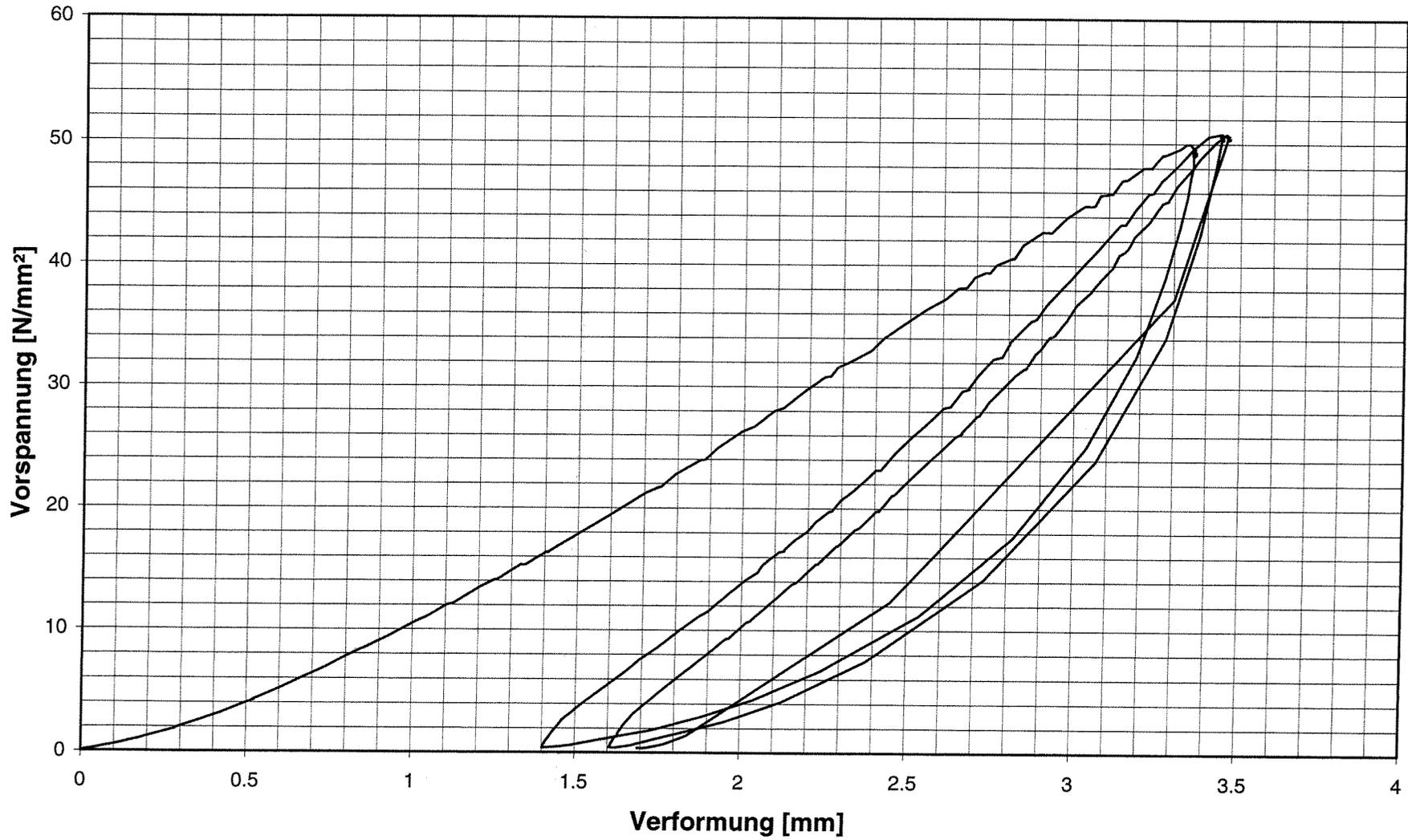
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



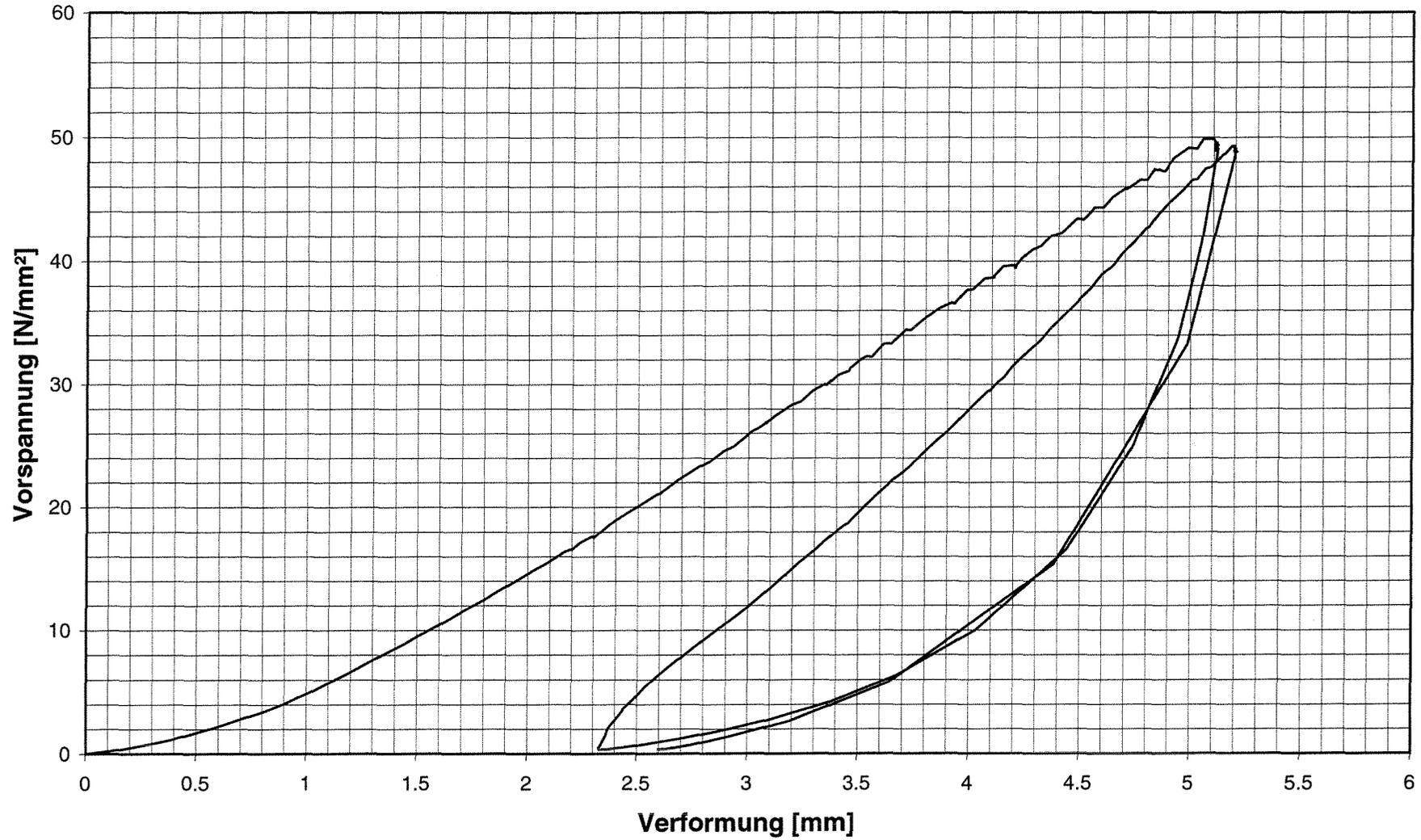
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1**



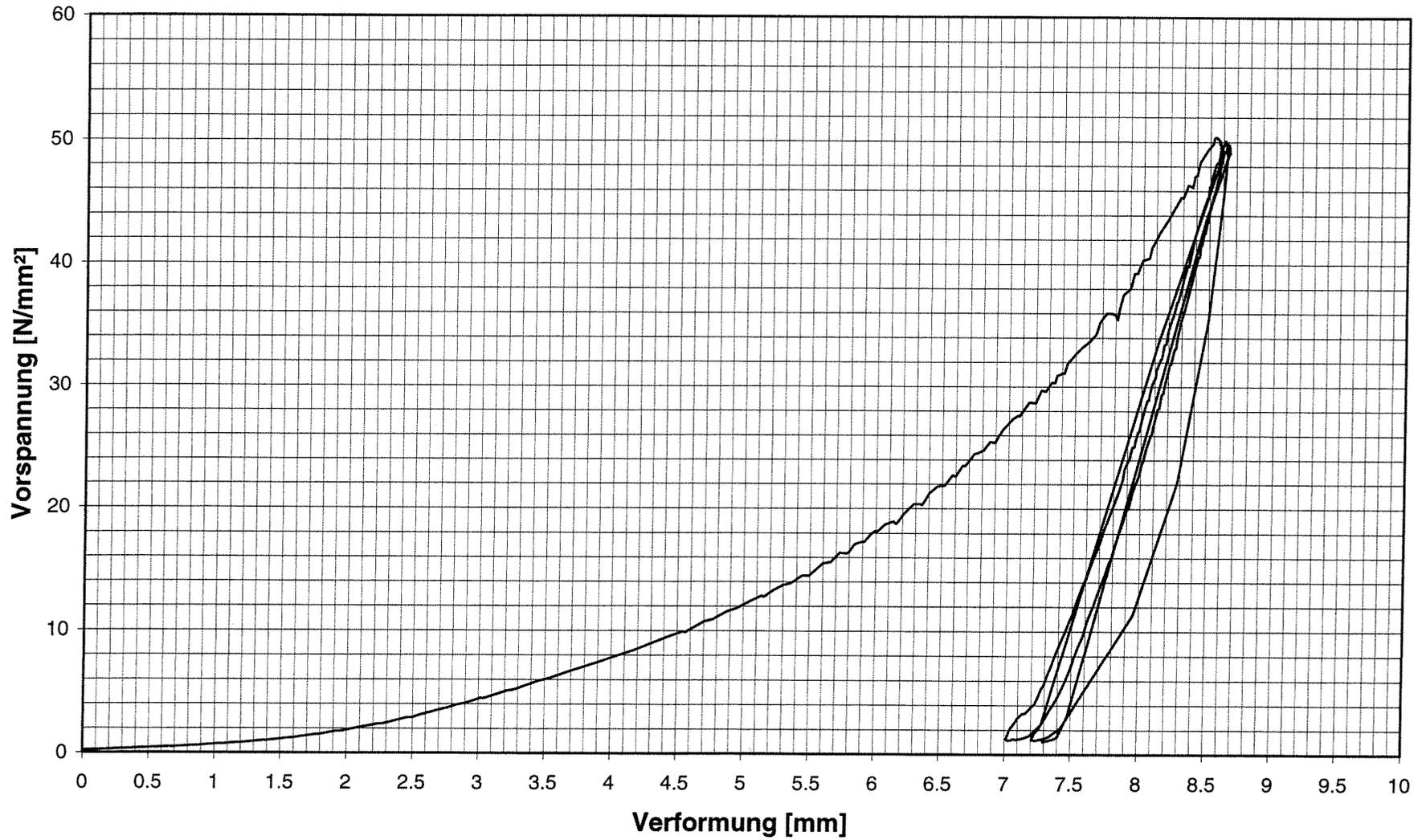
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



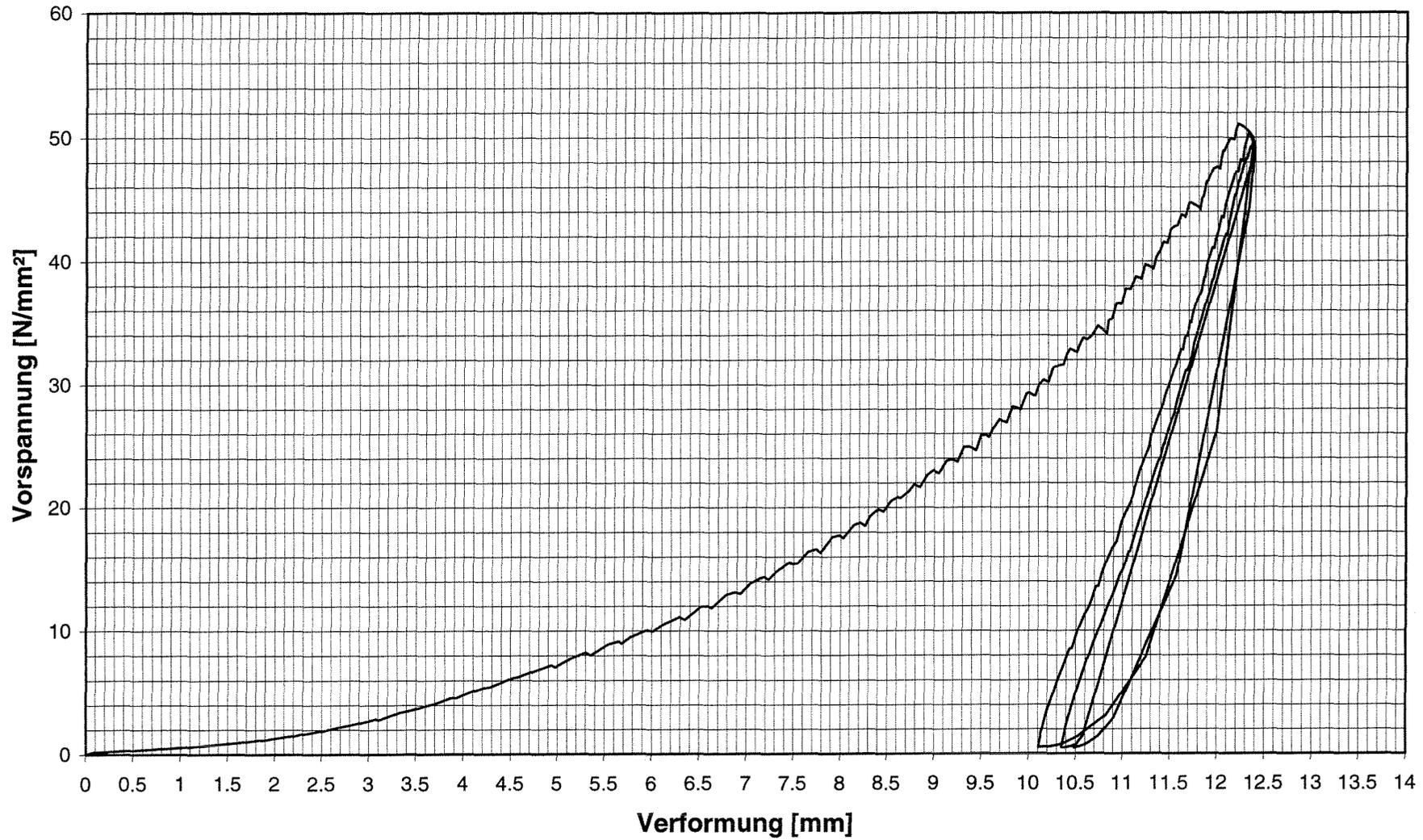
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4**



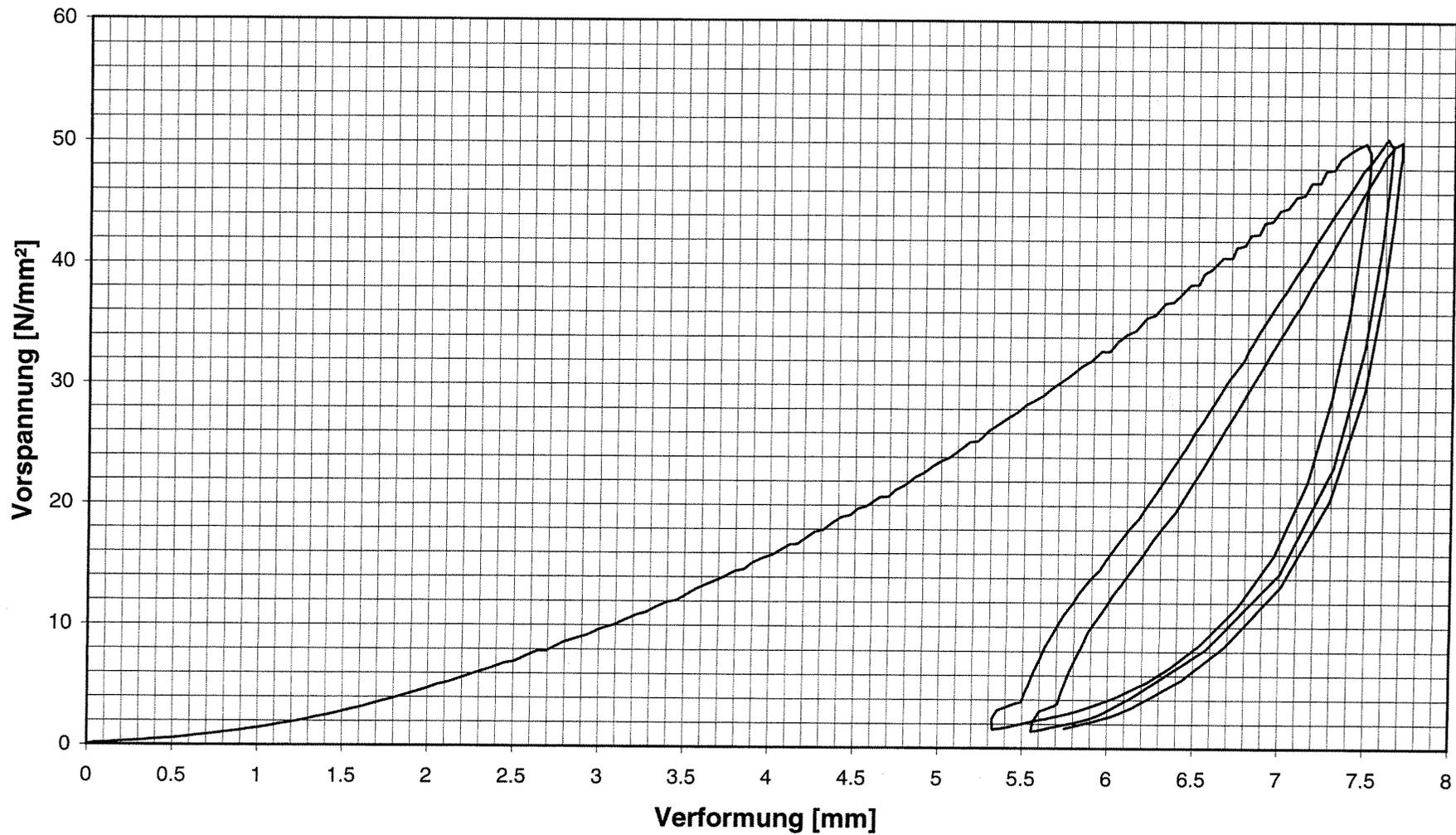
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 5 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



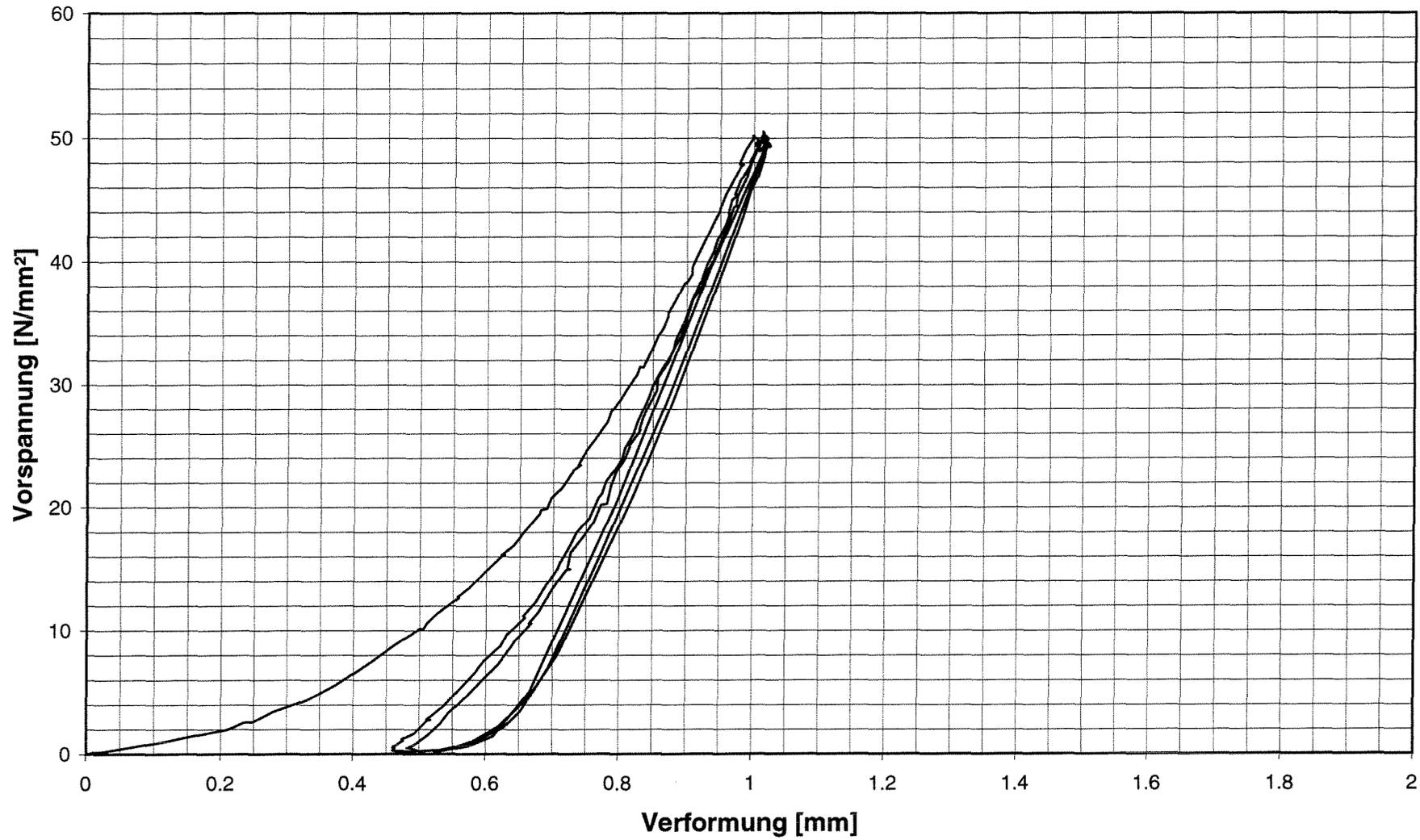
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung**  
**3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1**  
**2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4**



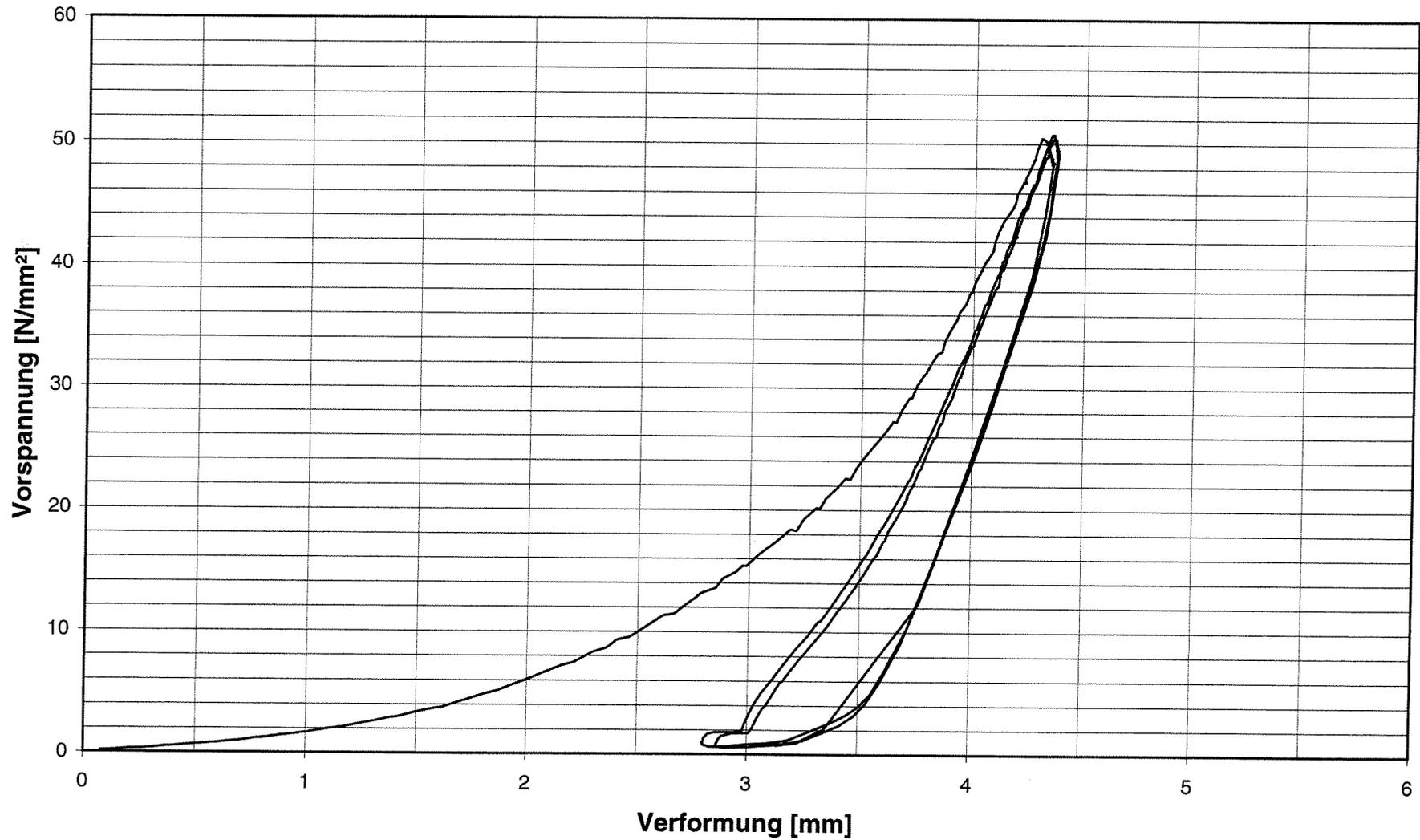
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



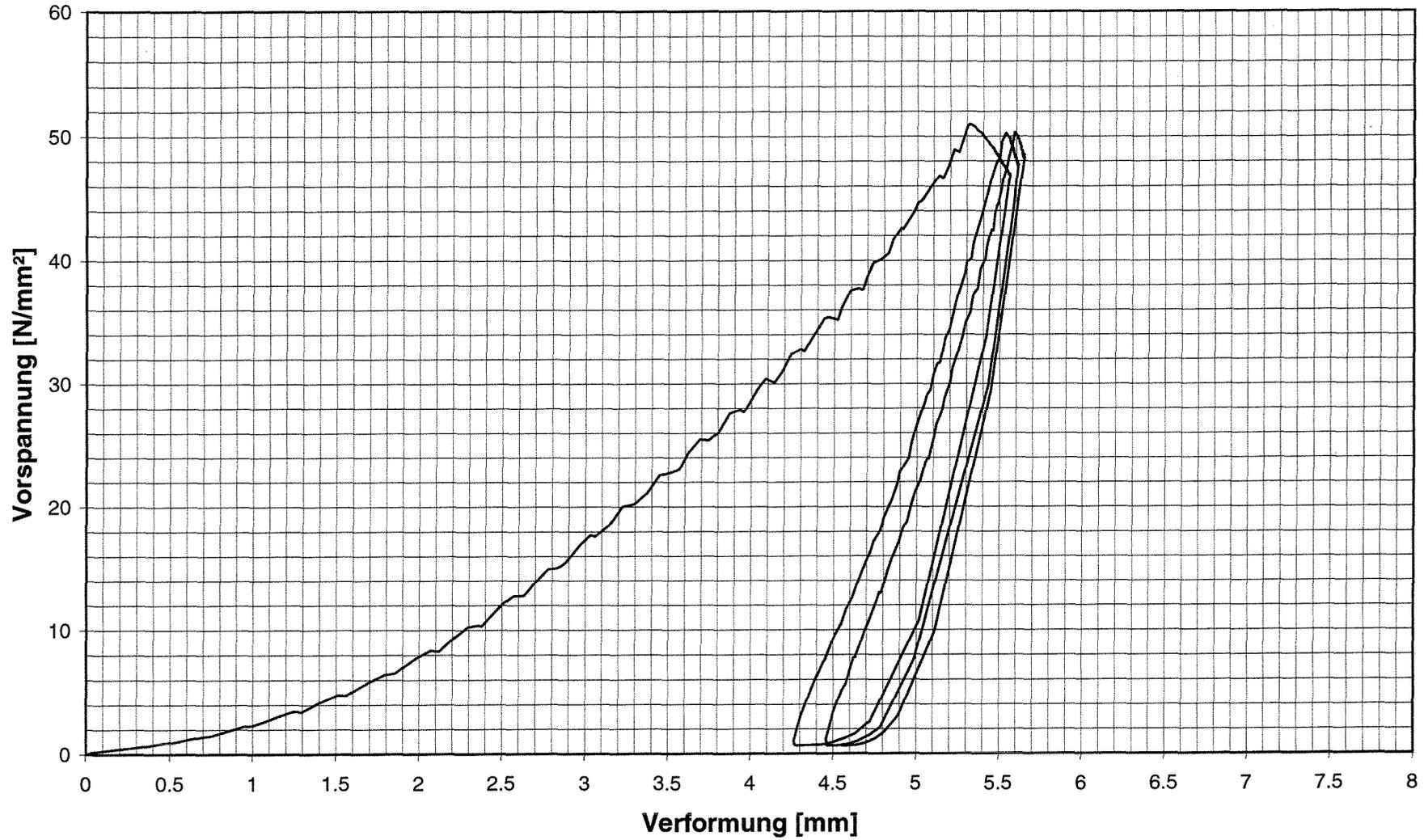
Ringe:  $\text{Ø}40 \times \text{Ø}56 \times 8$

Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
5 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



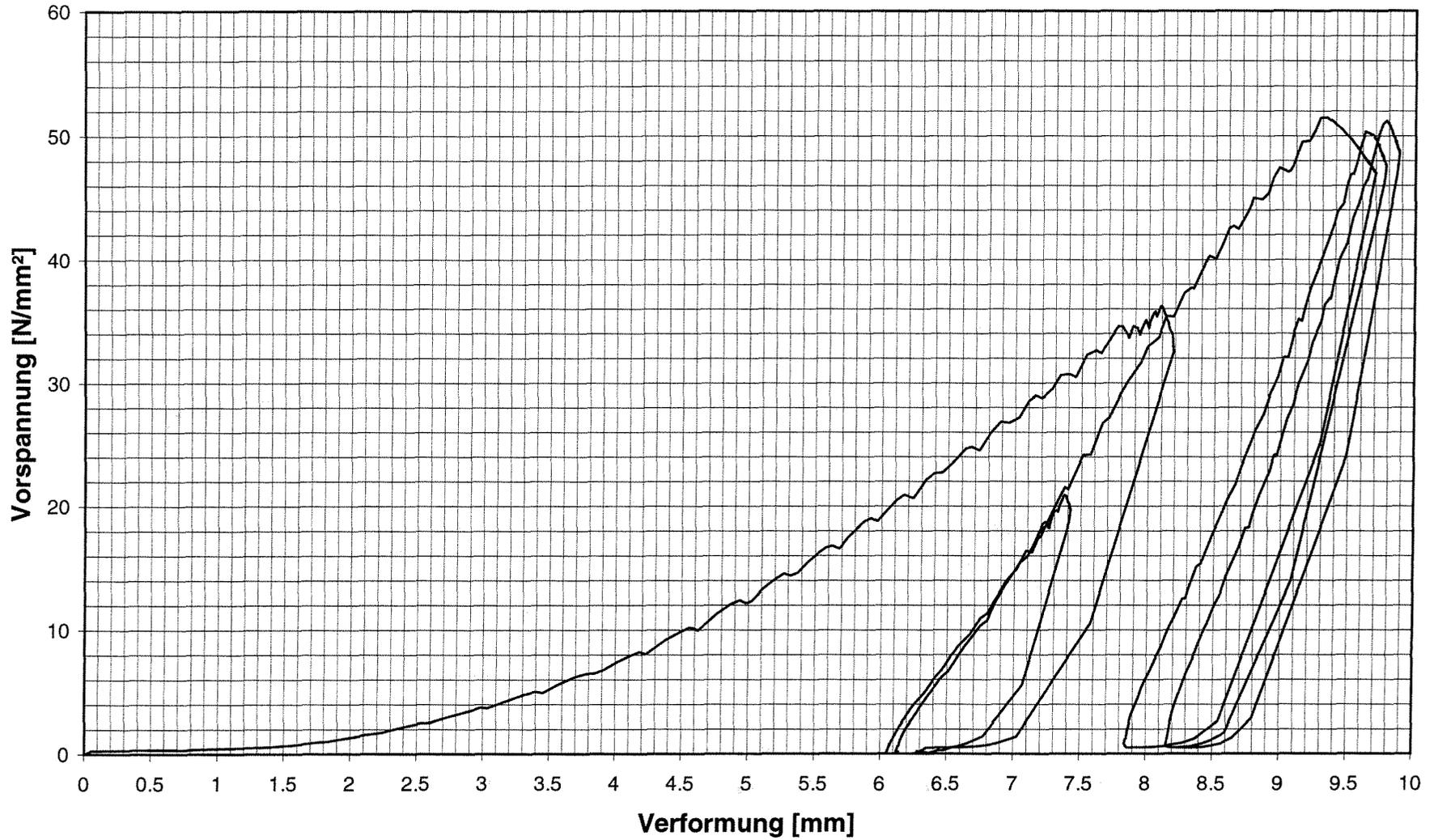
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 3 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



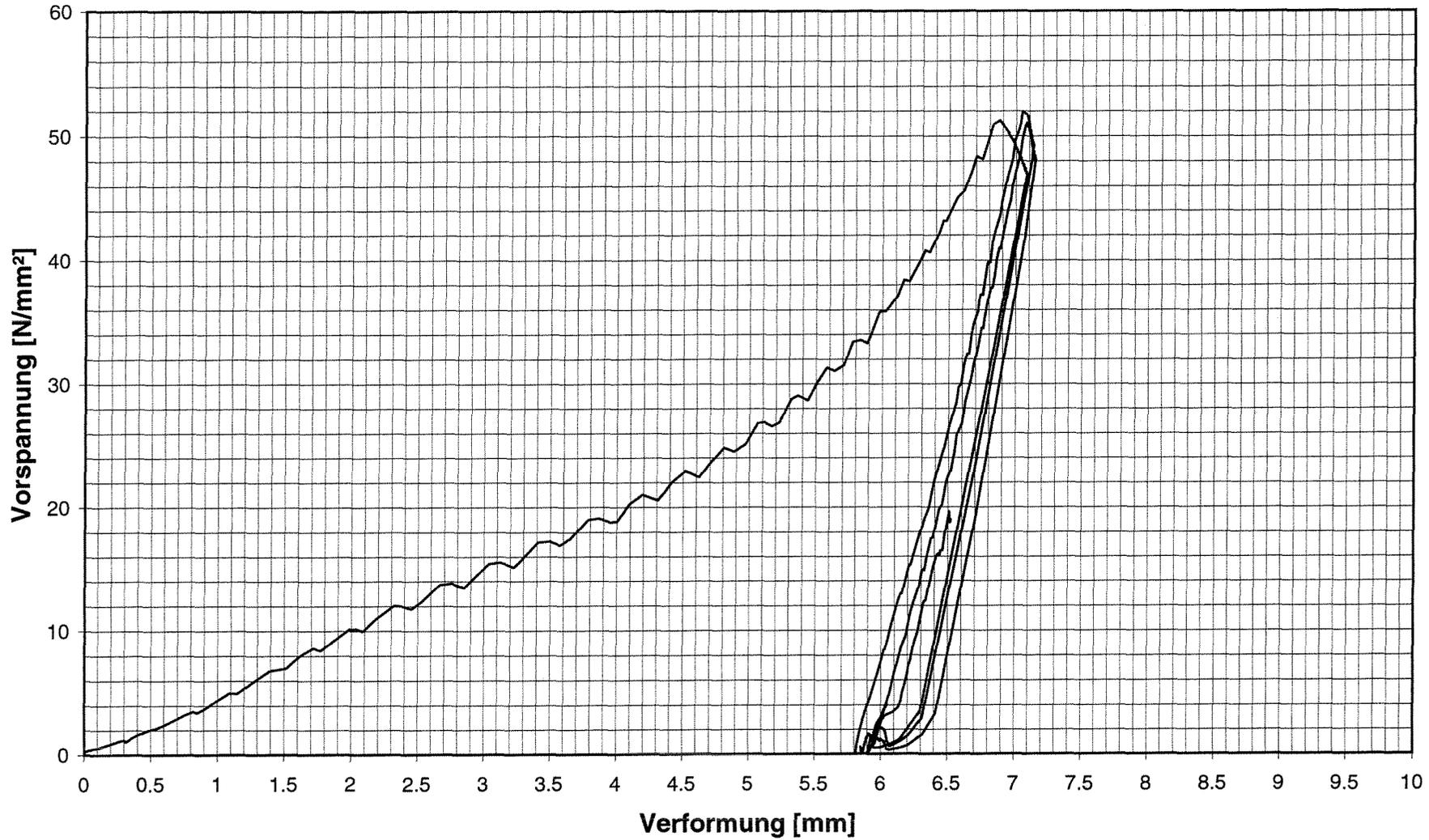
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
5 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3**



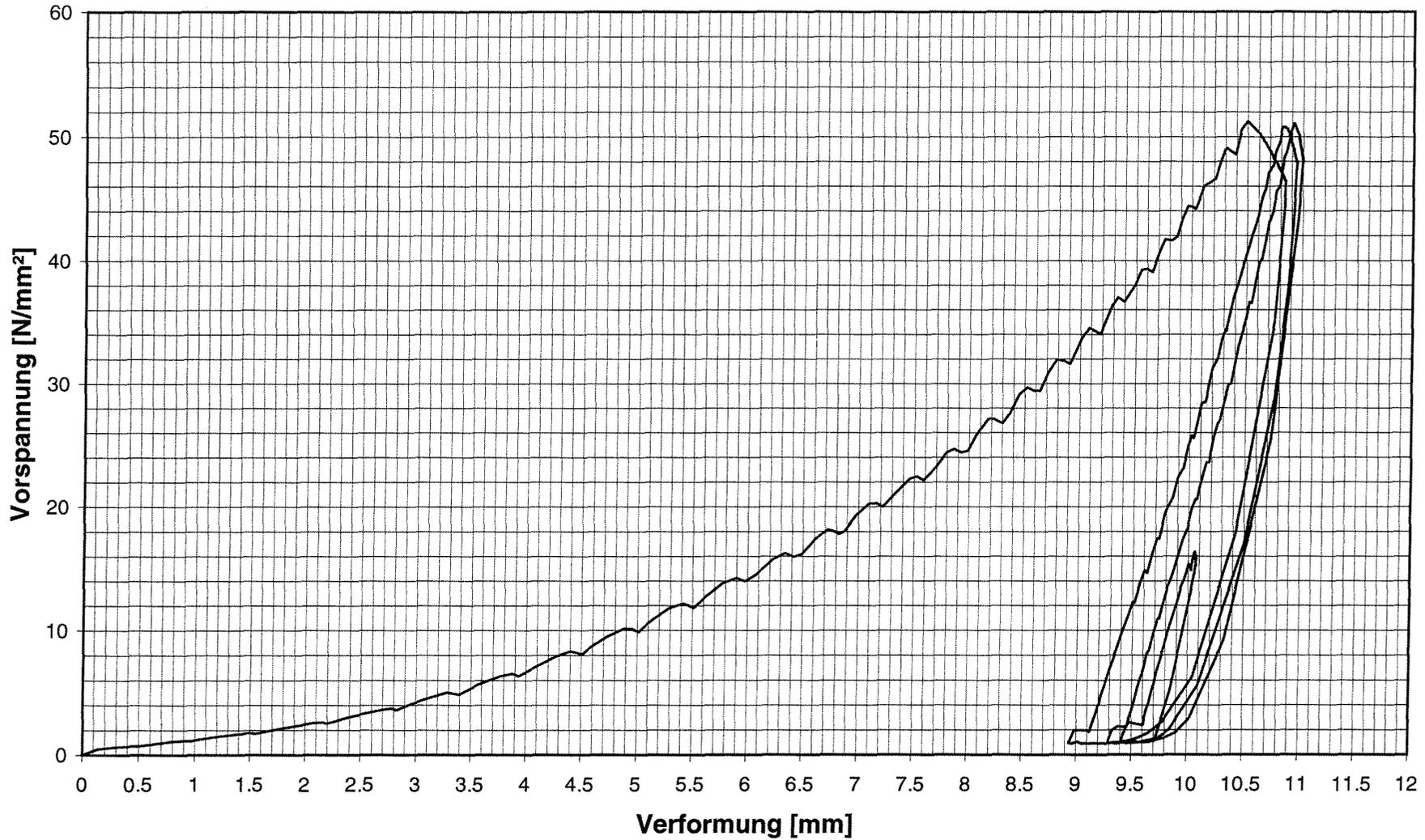
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 5 Ringe R-F0-20-00-00-00-M1



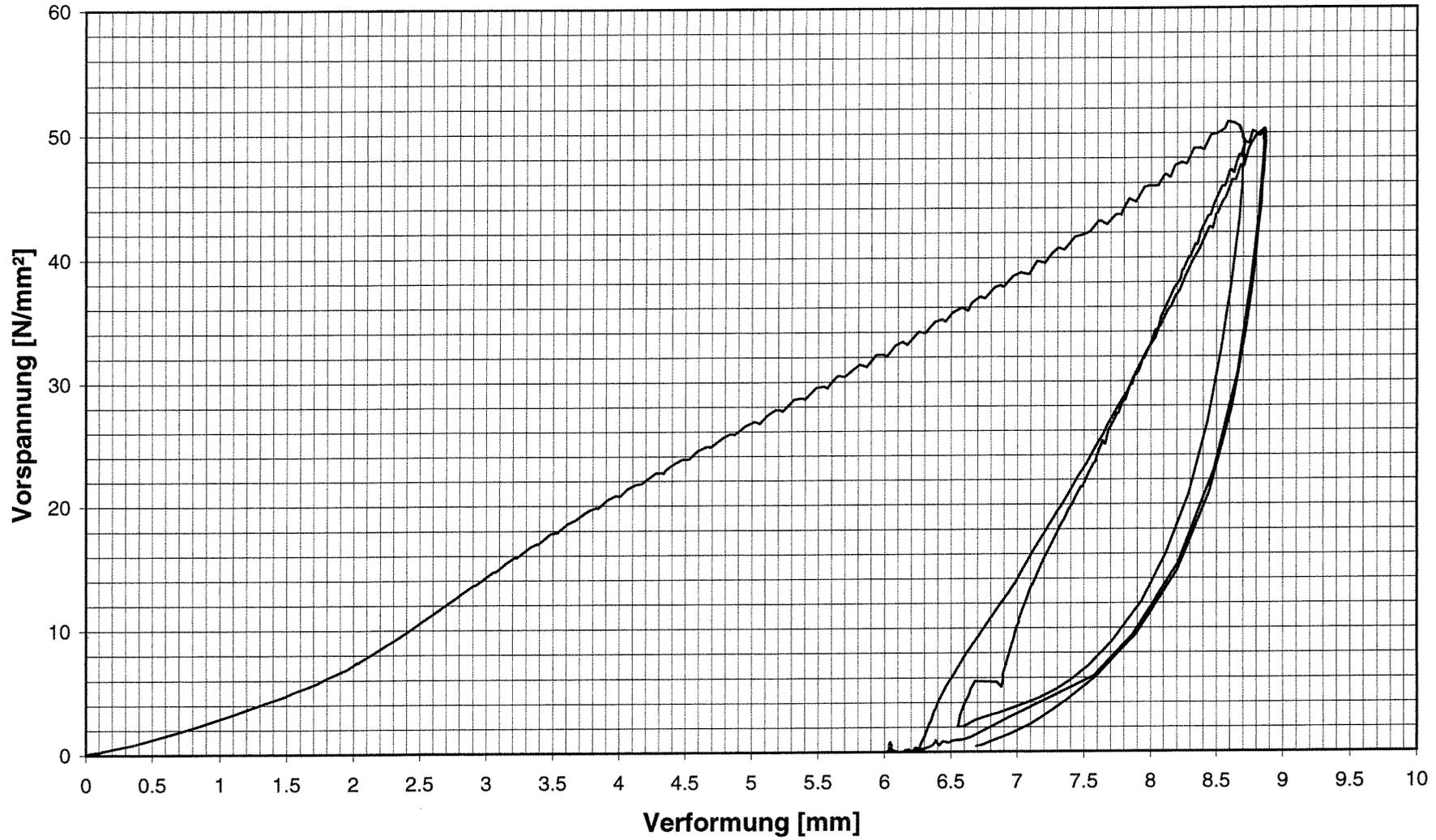
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 5 Ringe R-F0-30-00-00-00-M2



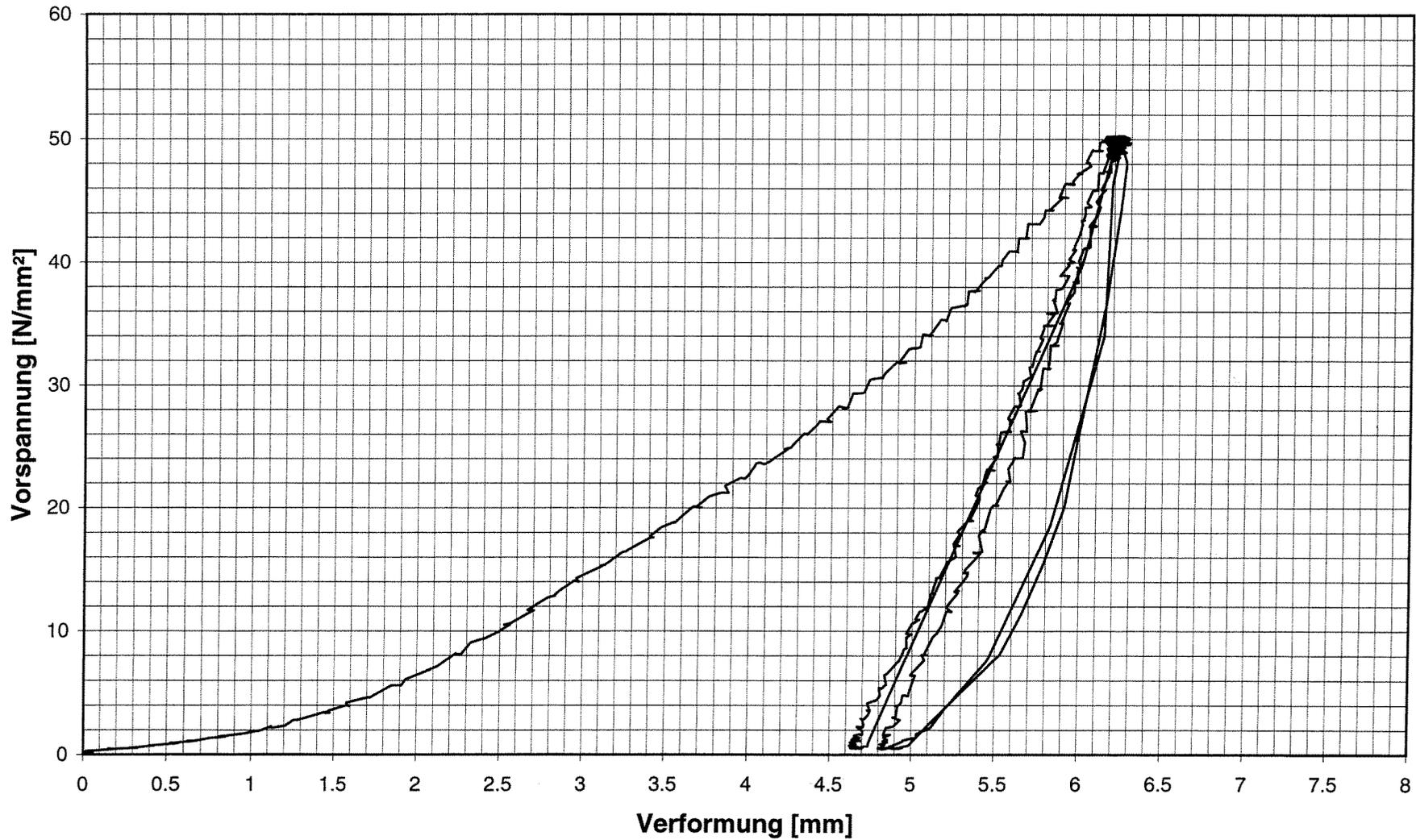
Ringe: Ø40xØ56x8

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-A4



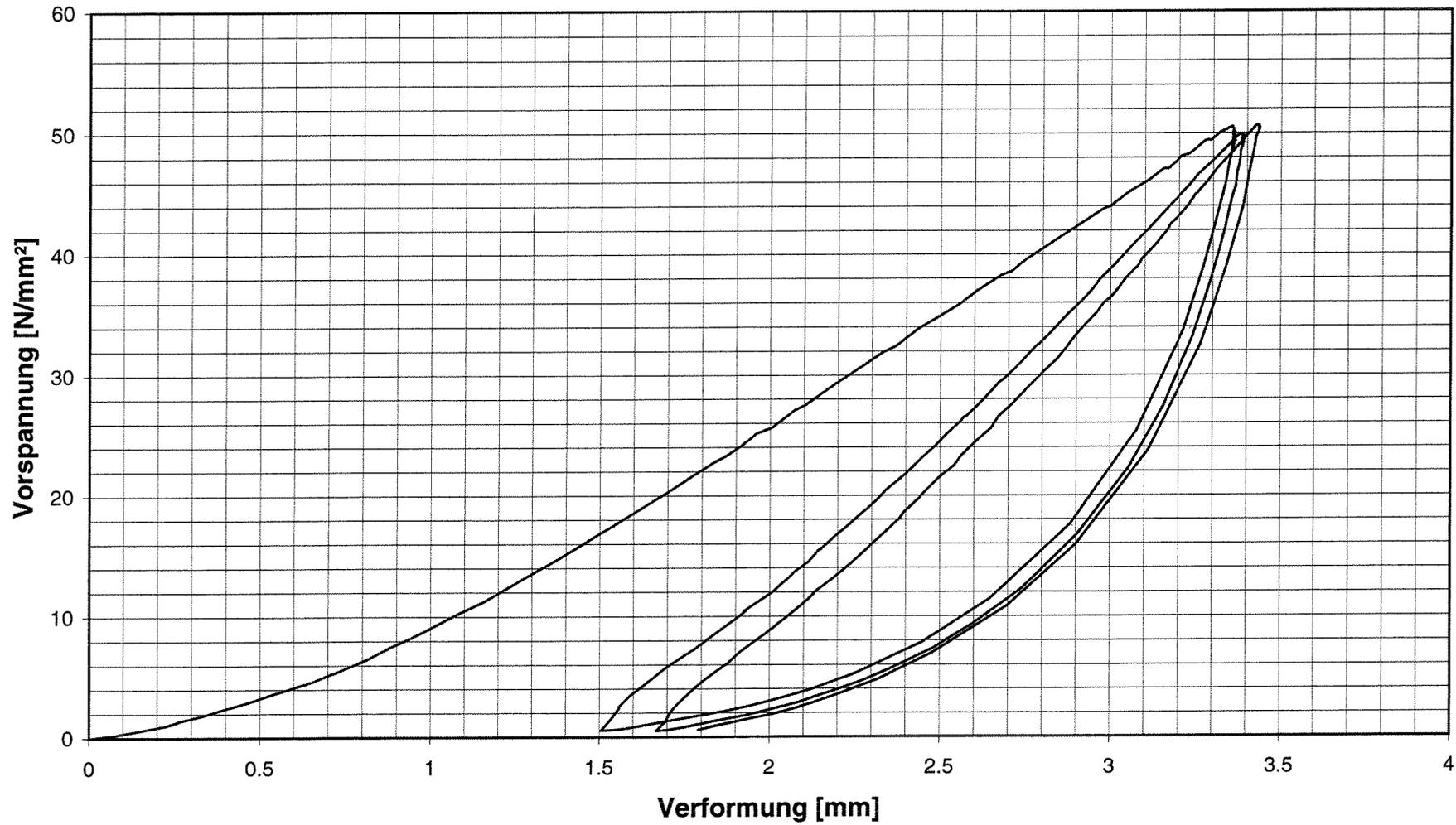
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung 3 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



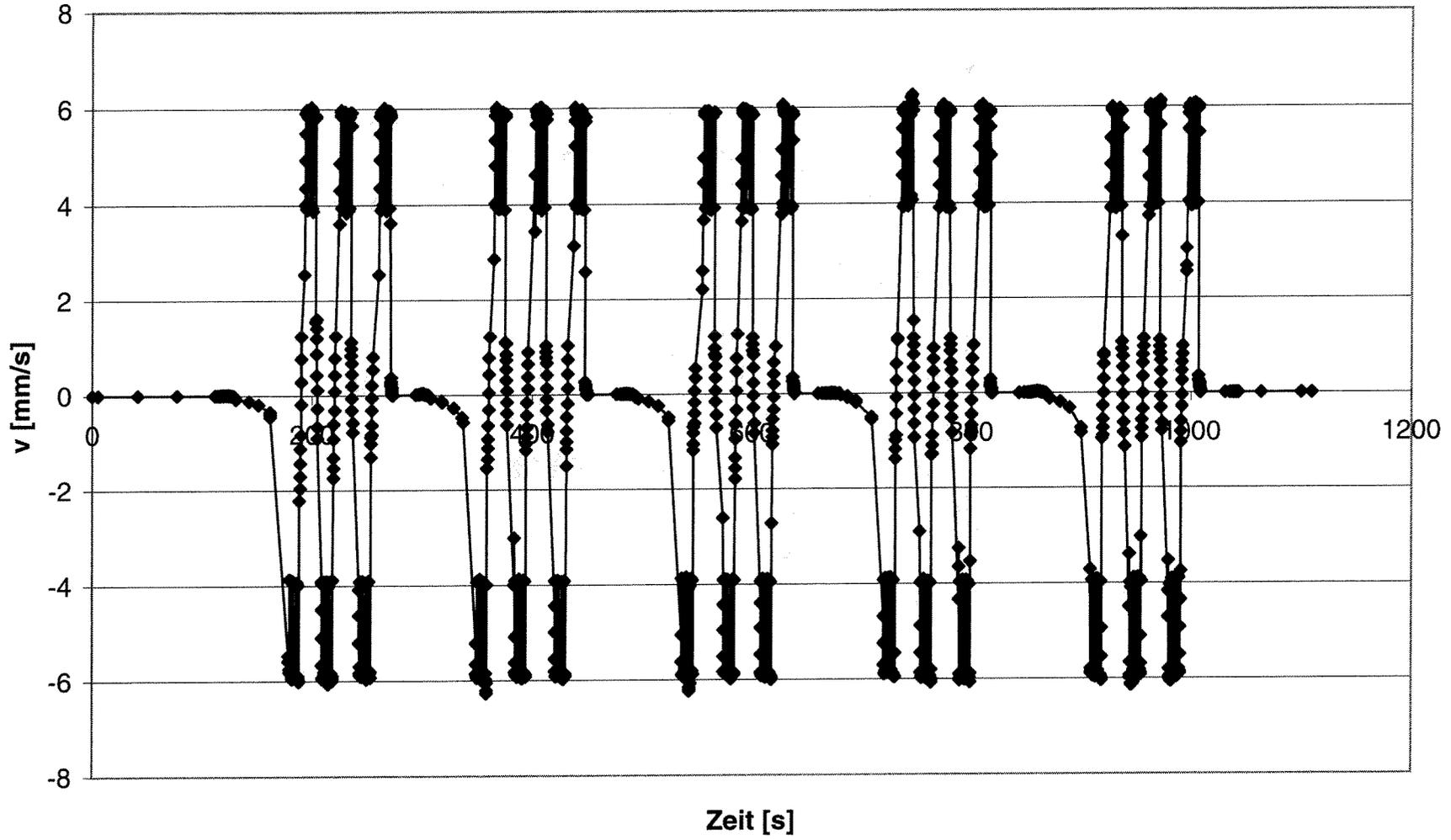
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Verlauf des mittleren Setzwegs mit der axialen Flächenpressung  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelrauigkeit Ra = 6; (Rz  $\cong$  25)**



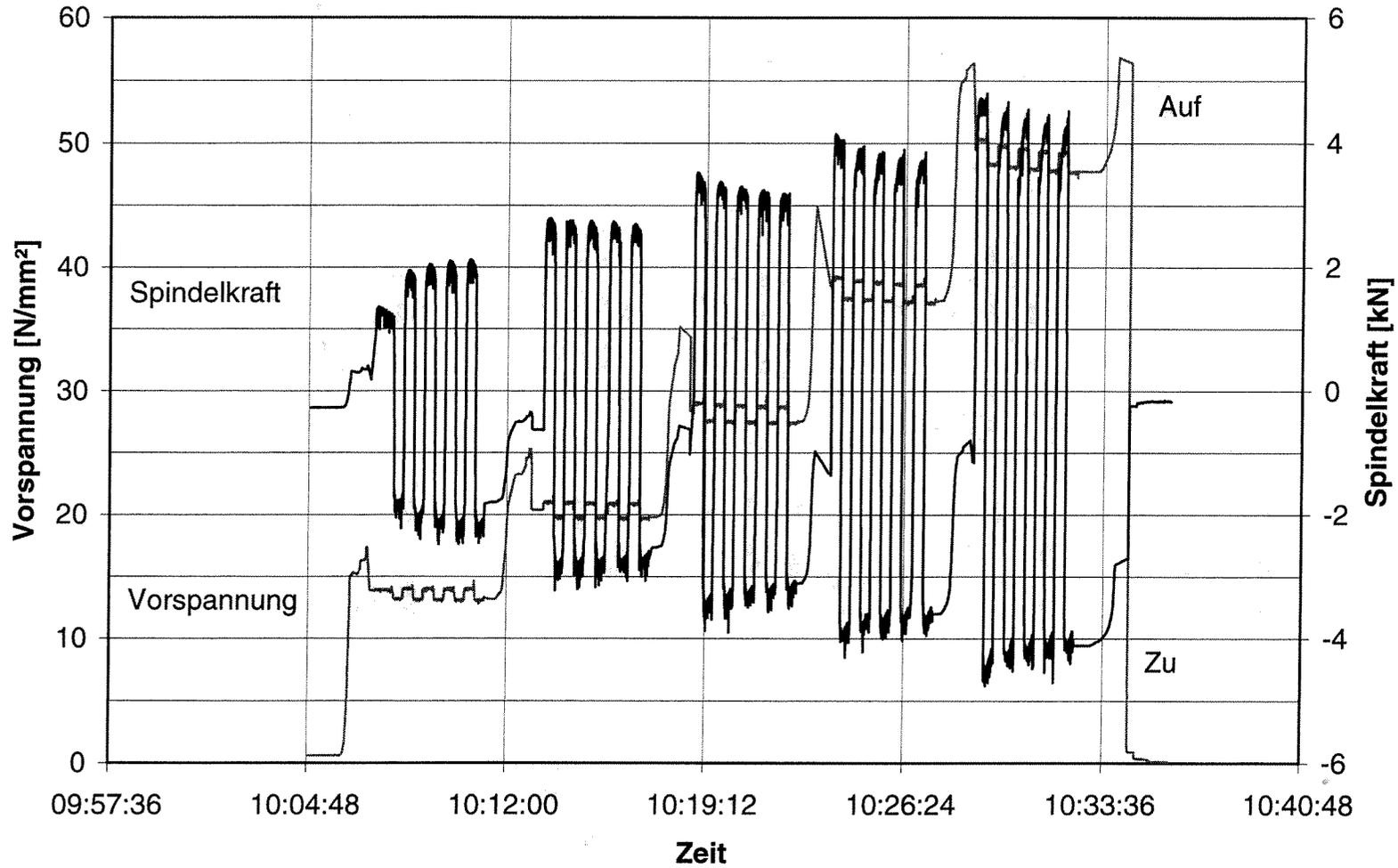
## 2.2 Reibversuche

Spindelgeschwindigkeit  $v$  [mm/s]  
bei den Spindelreibversuchen  
Antrieb mittels Elektromotor



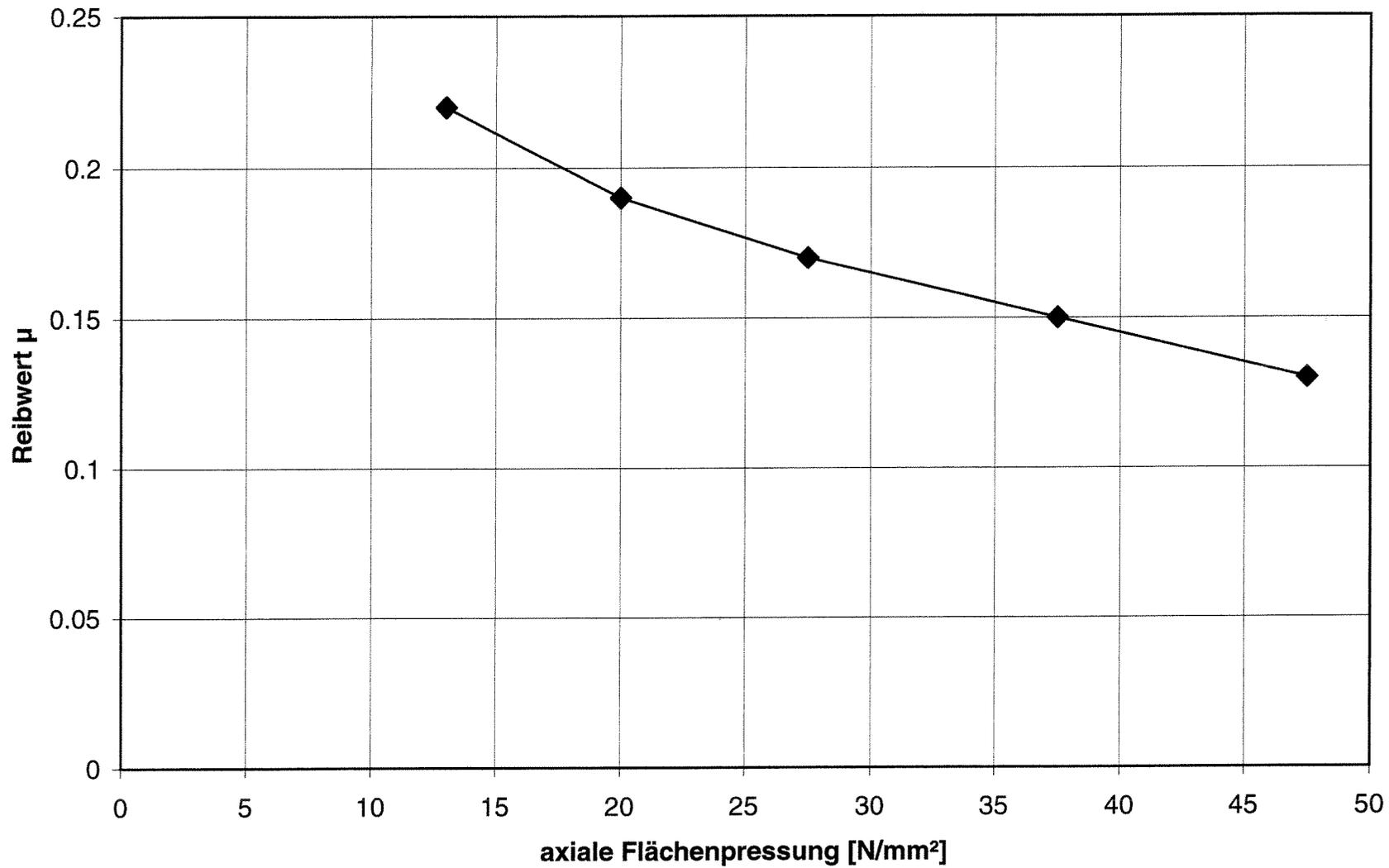
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1**



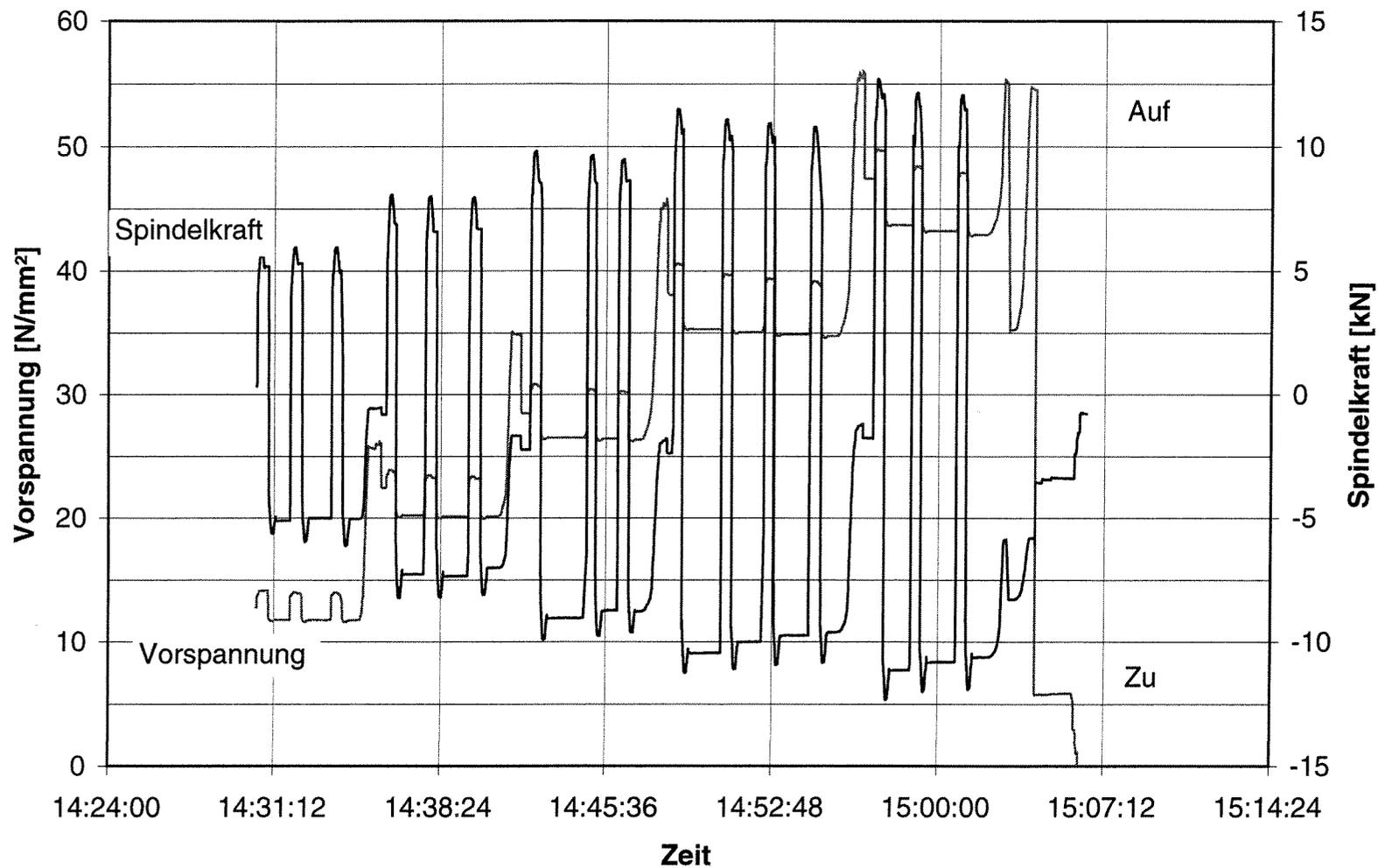
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Reibwerte 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



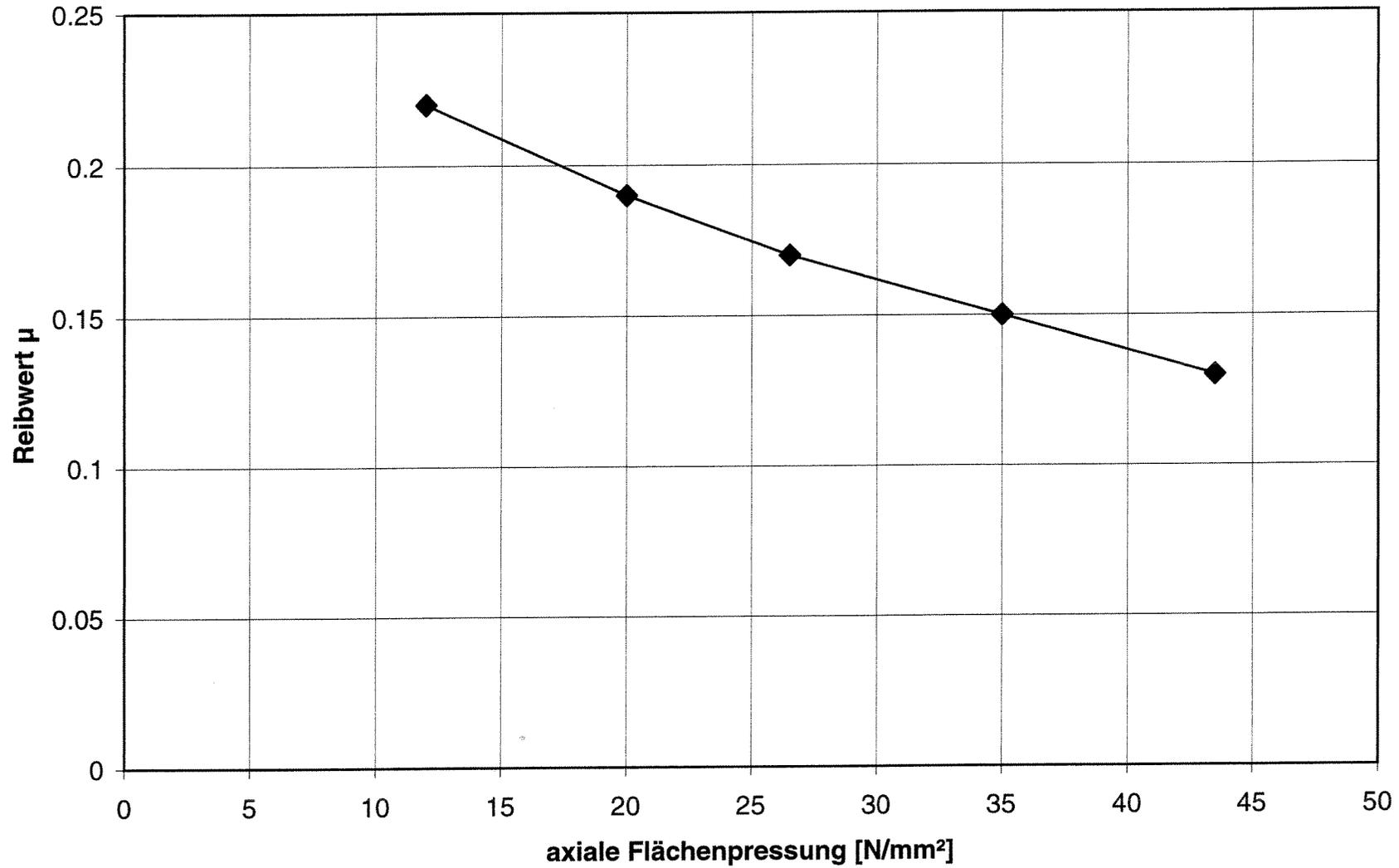
Ringe: Ø40xØ56x8

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



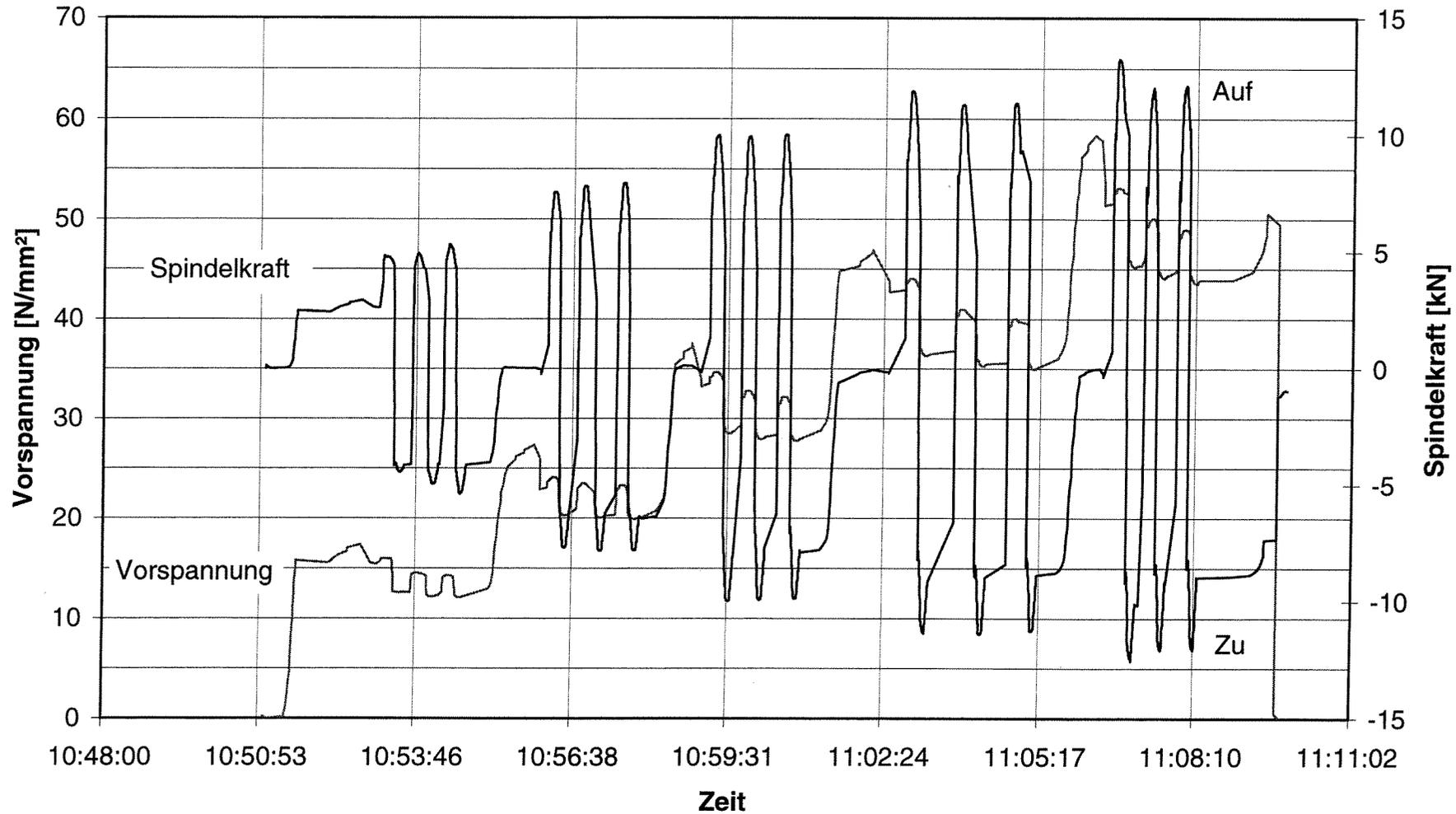
Ringe: Ø40xØ56x8

### Reibwerte 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



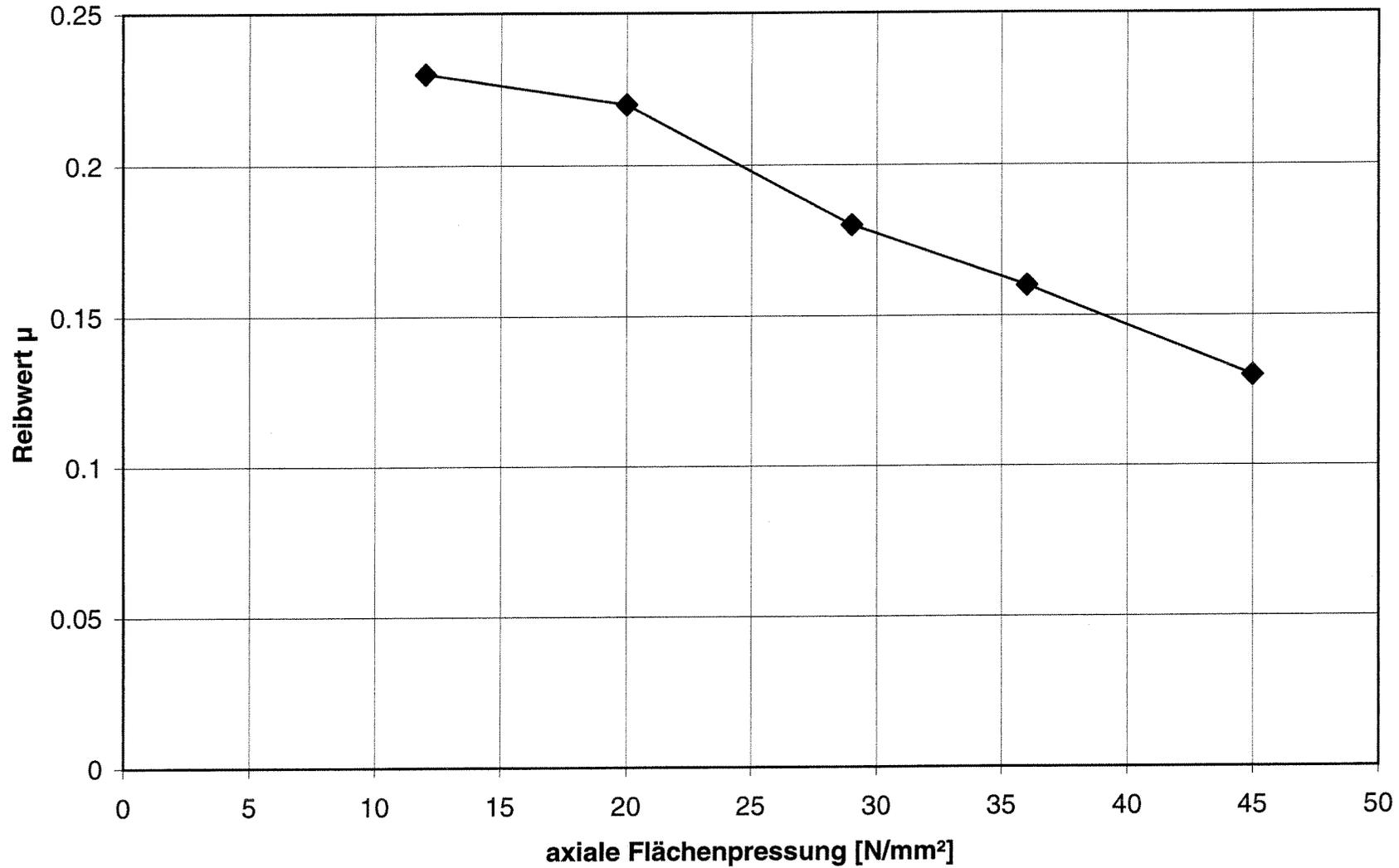
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
ohne Vorverformung / Auswertung mit entsprechendem  $K_i$  aus Stauchversuch**



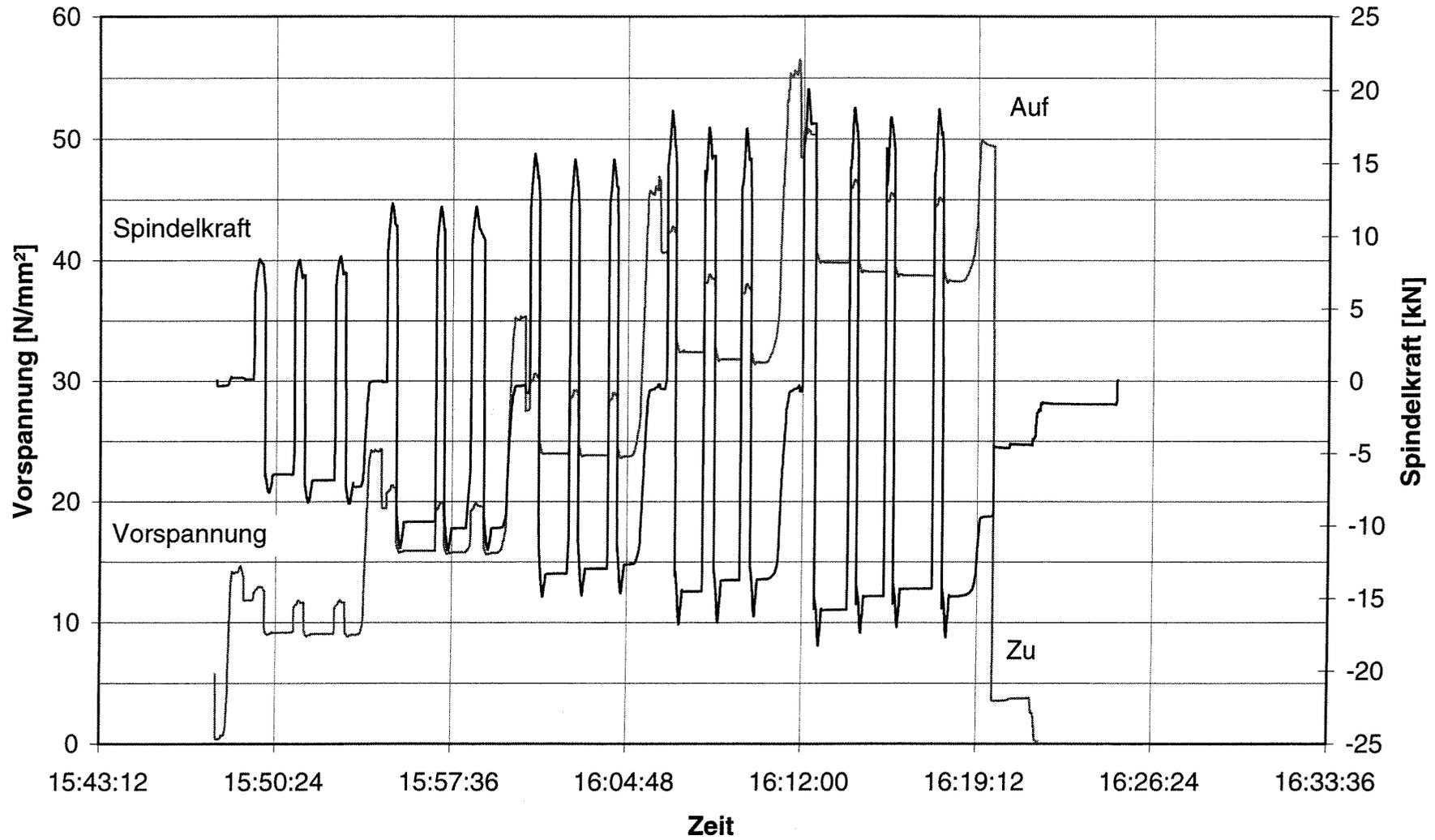
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Reibwerte 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
ohne vorhergehende Vorverformung**

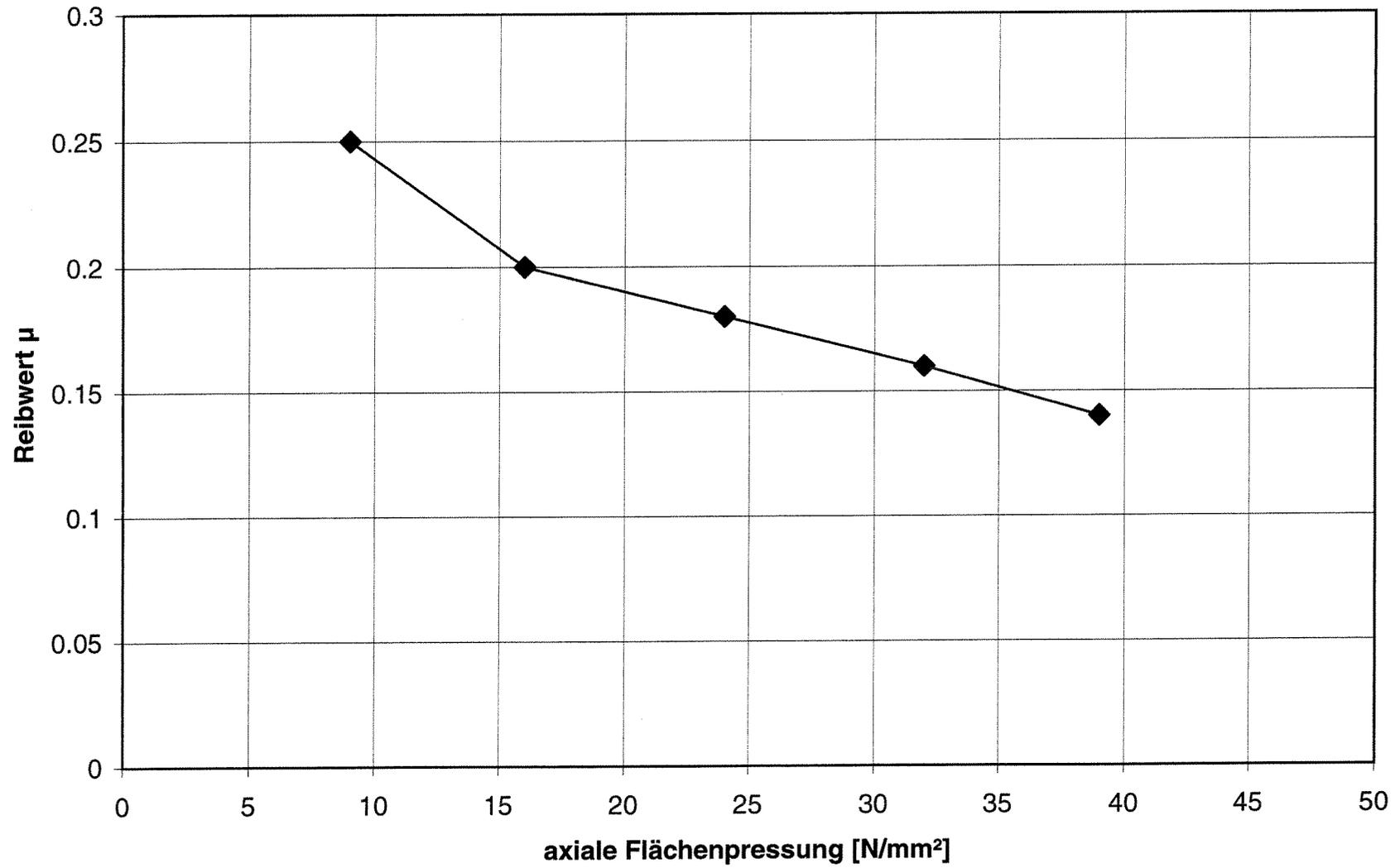


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1

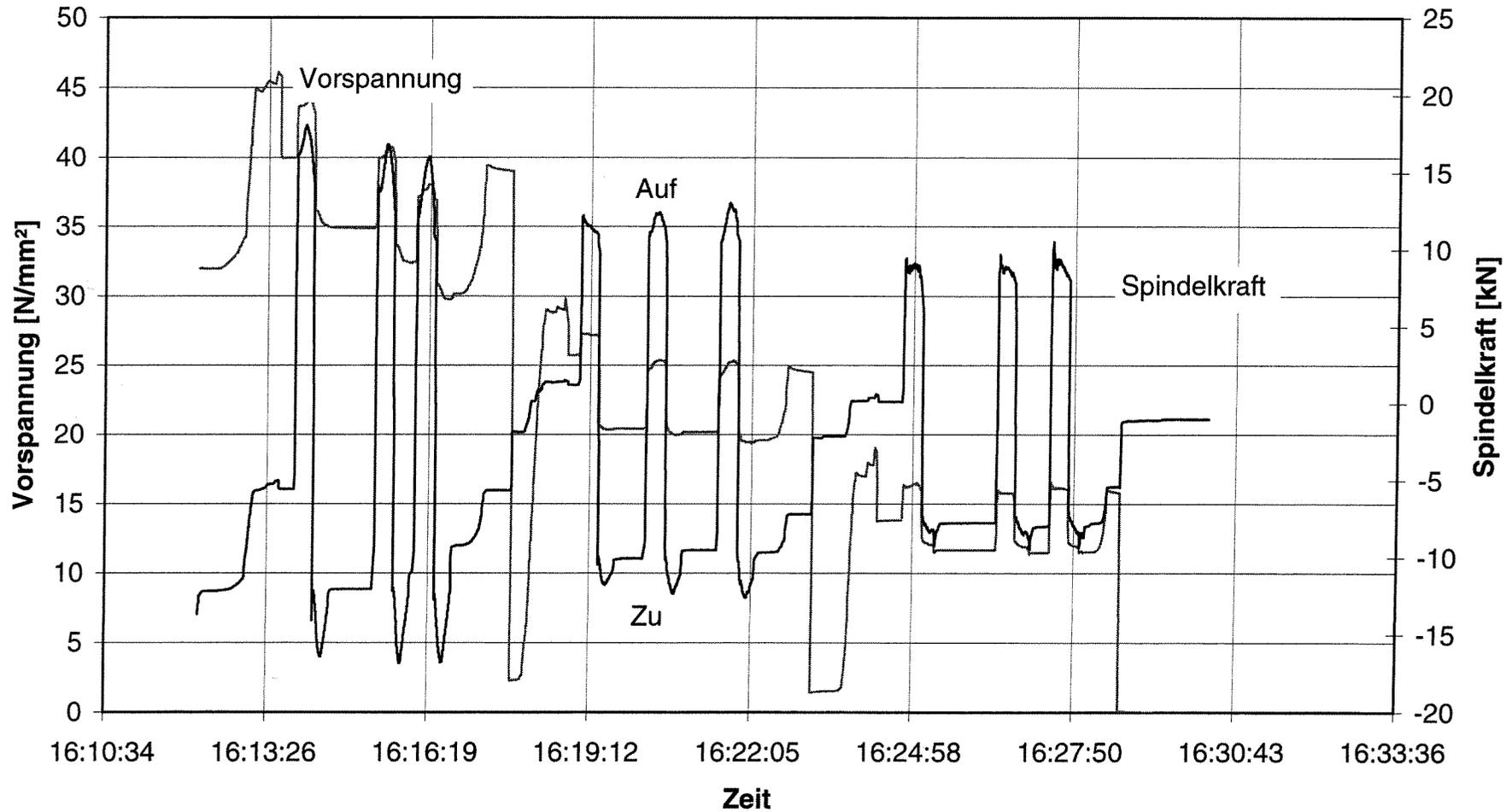


Reibwerte 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



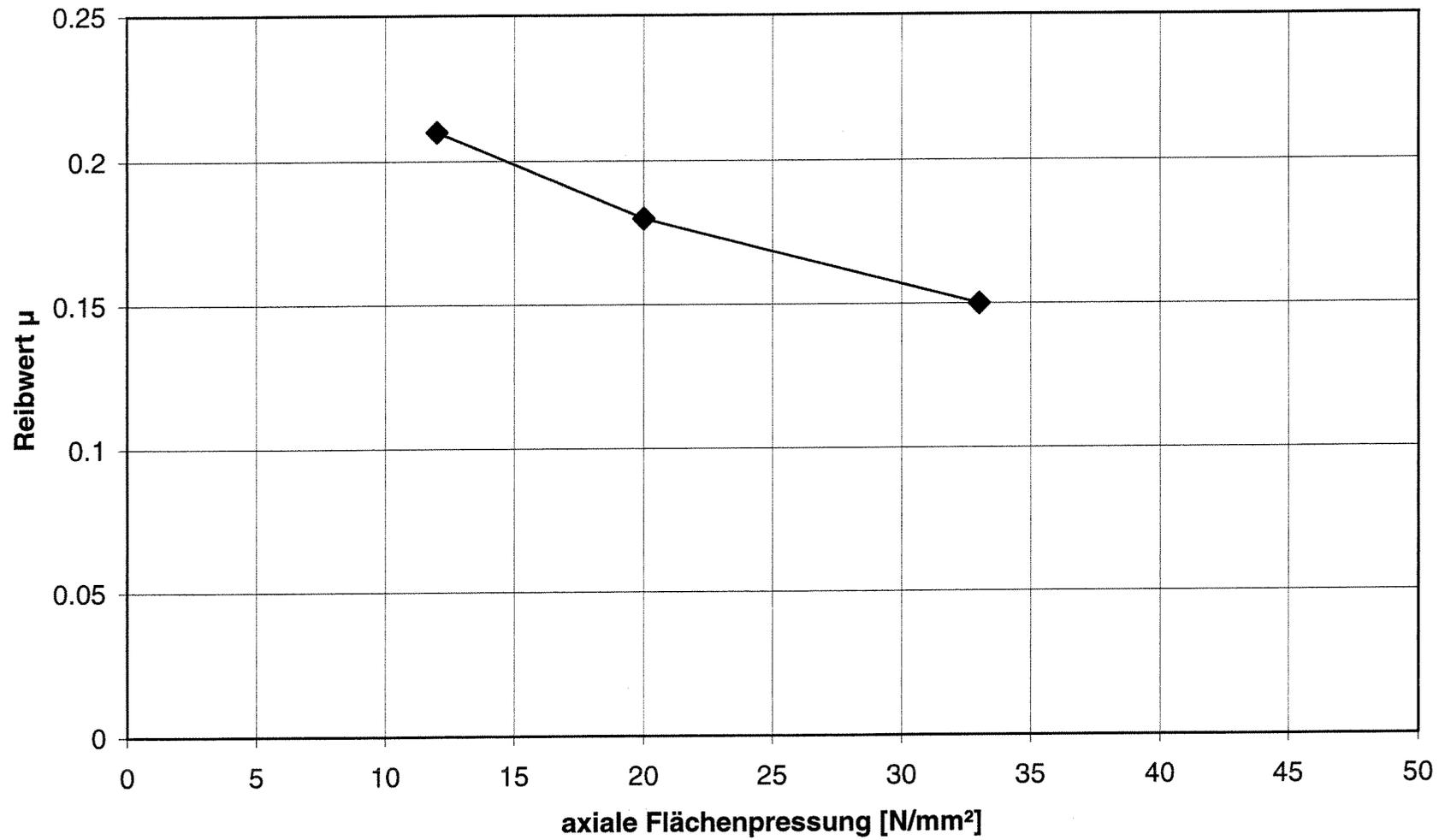
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
5 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelbewegungen nach Vorverformen zuerst  
bei hoher Flächenpressung und dann bei niedriger**



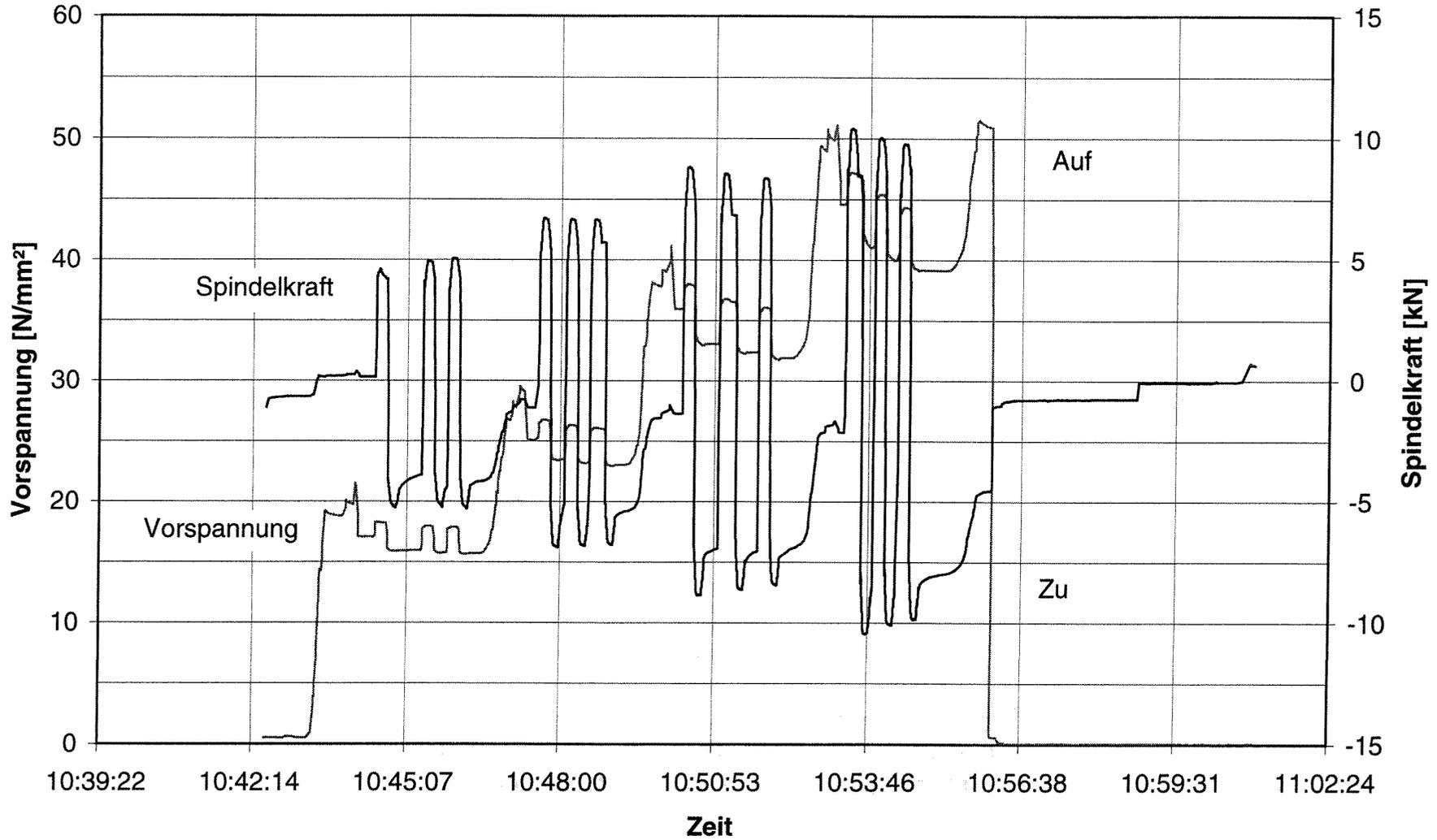
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Reibwerte 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelbewegungen nach Vorverformen zuerst  
bei hoher Flächenpressung und dann bei niedriger**

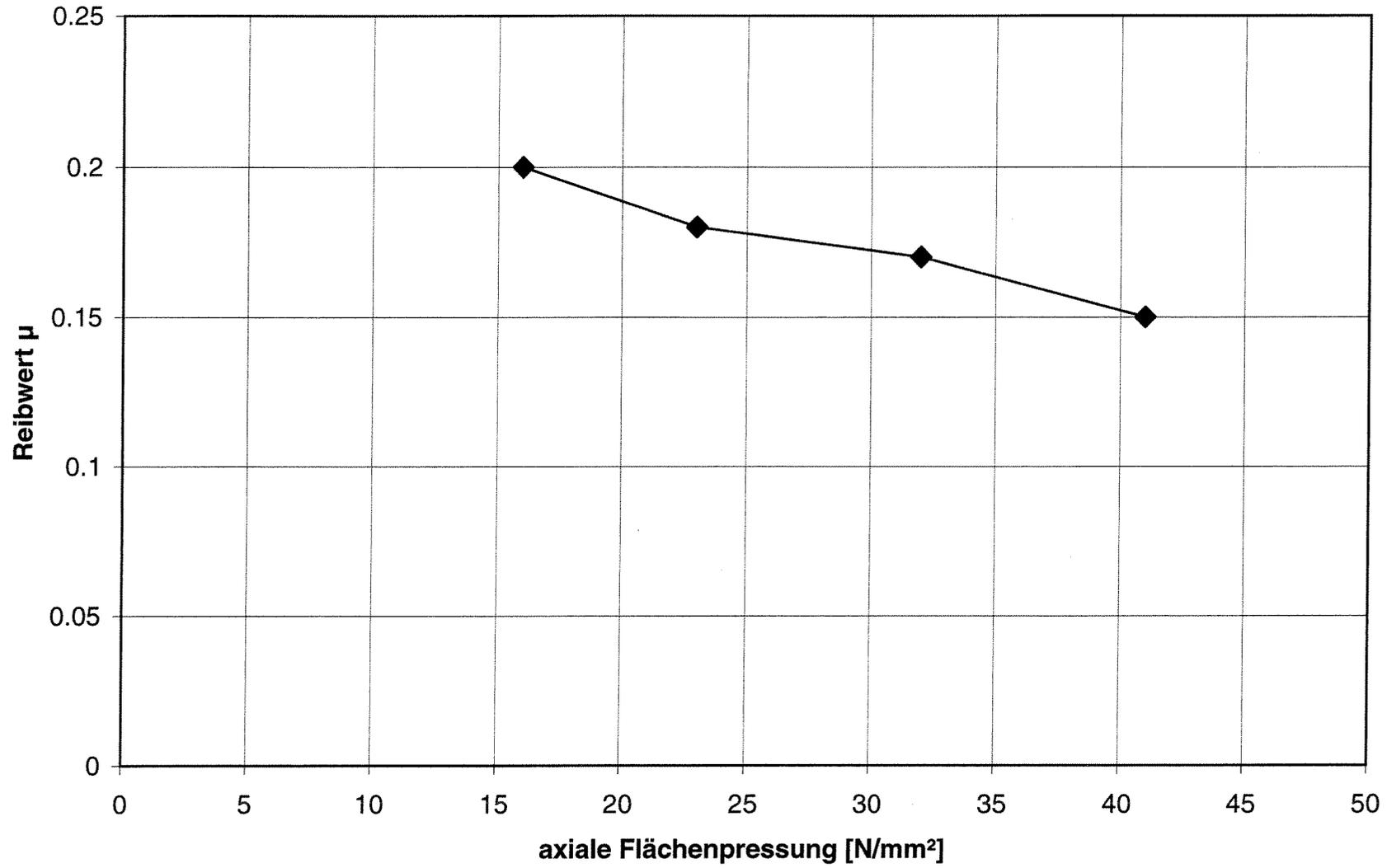


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 3 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4

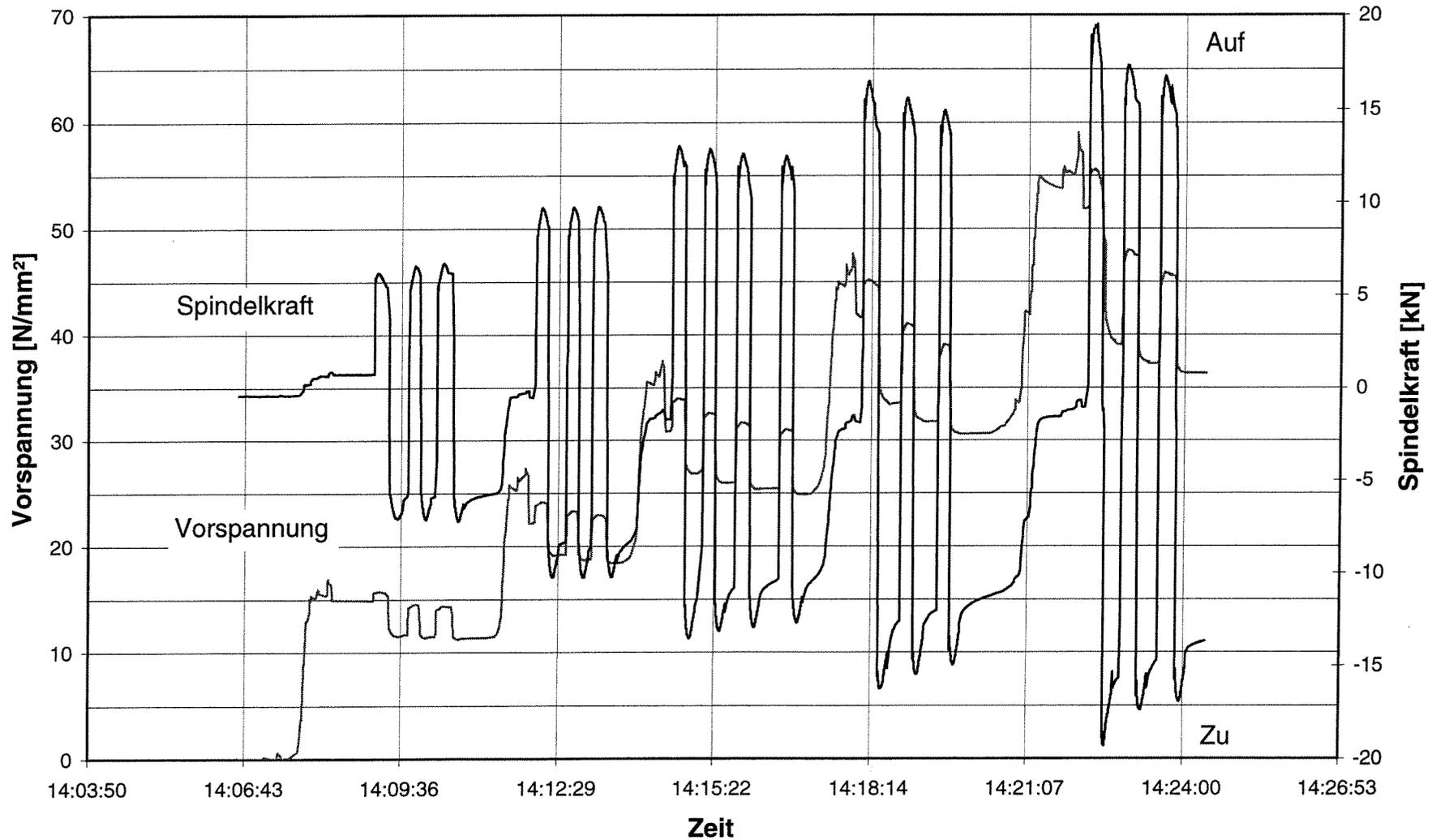


Reibwerte 3 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



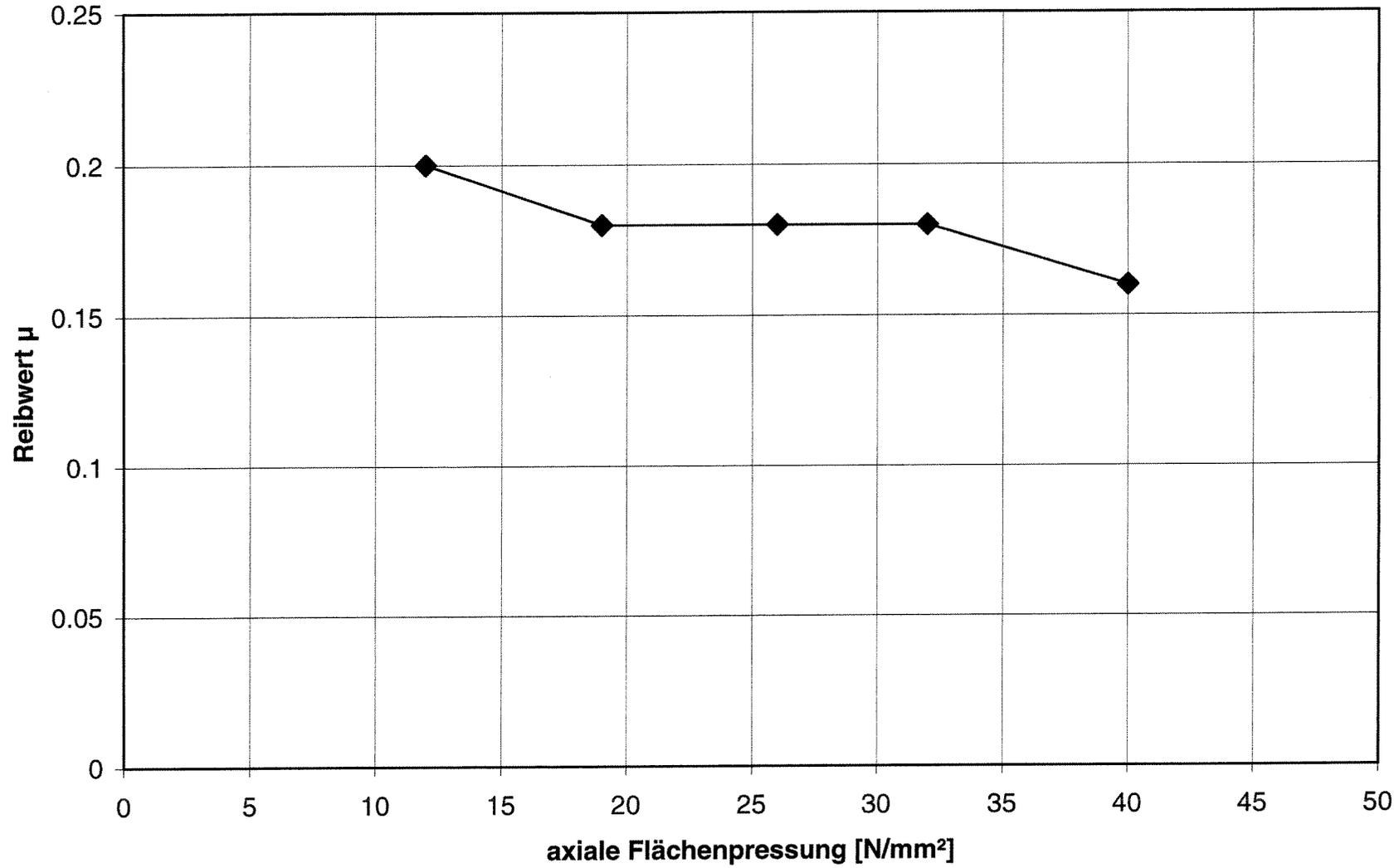
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



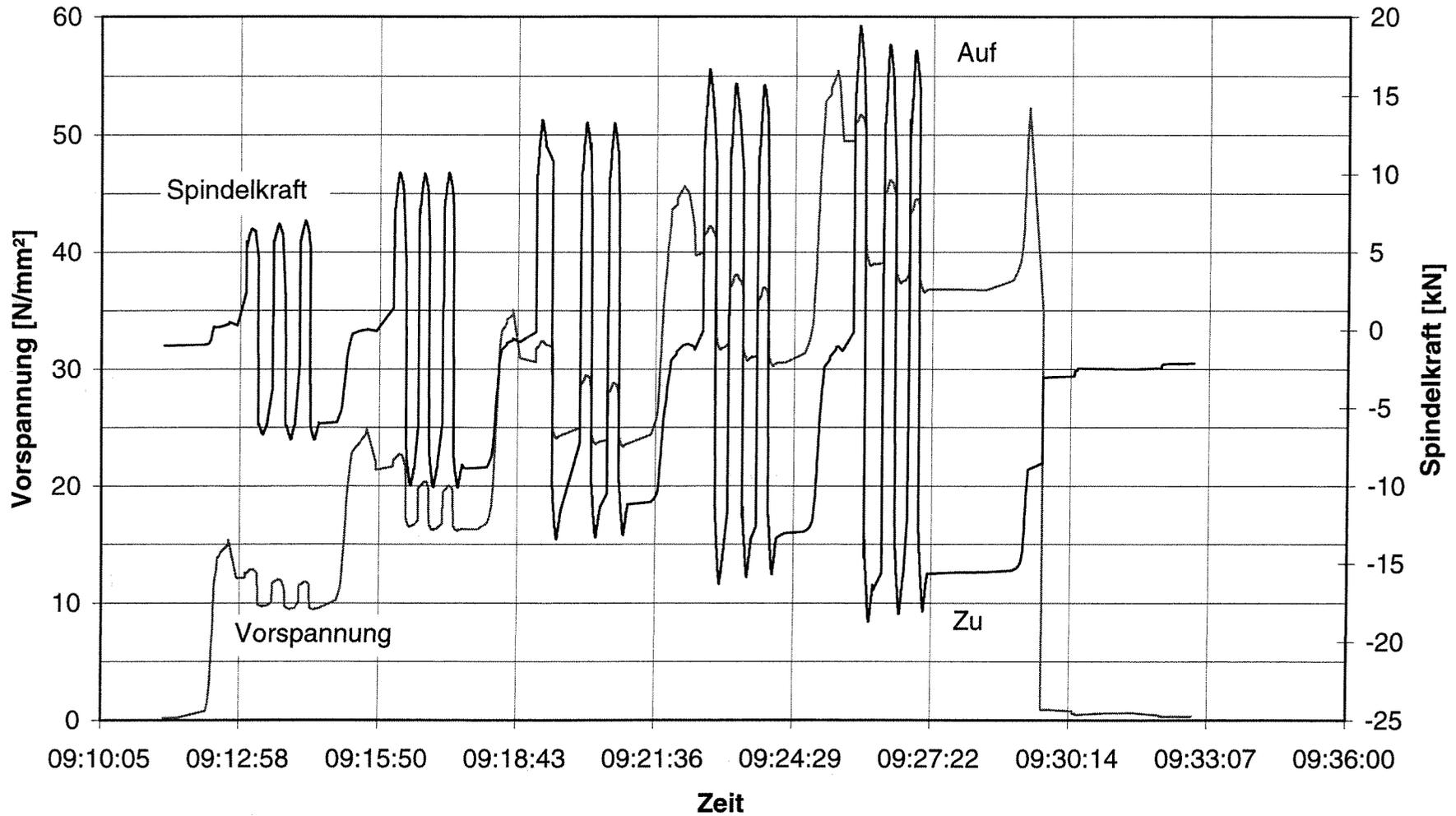
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Reibwerte 5 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



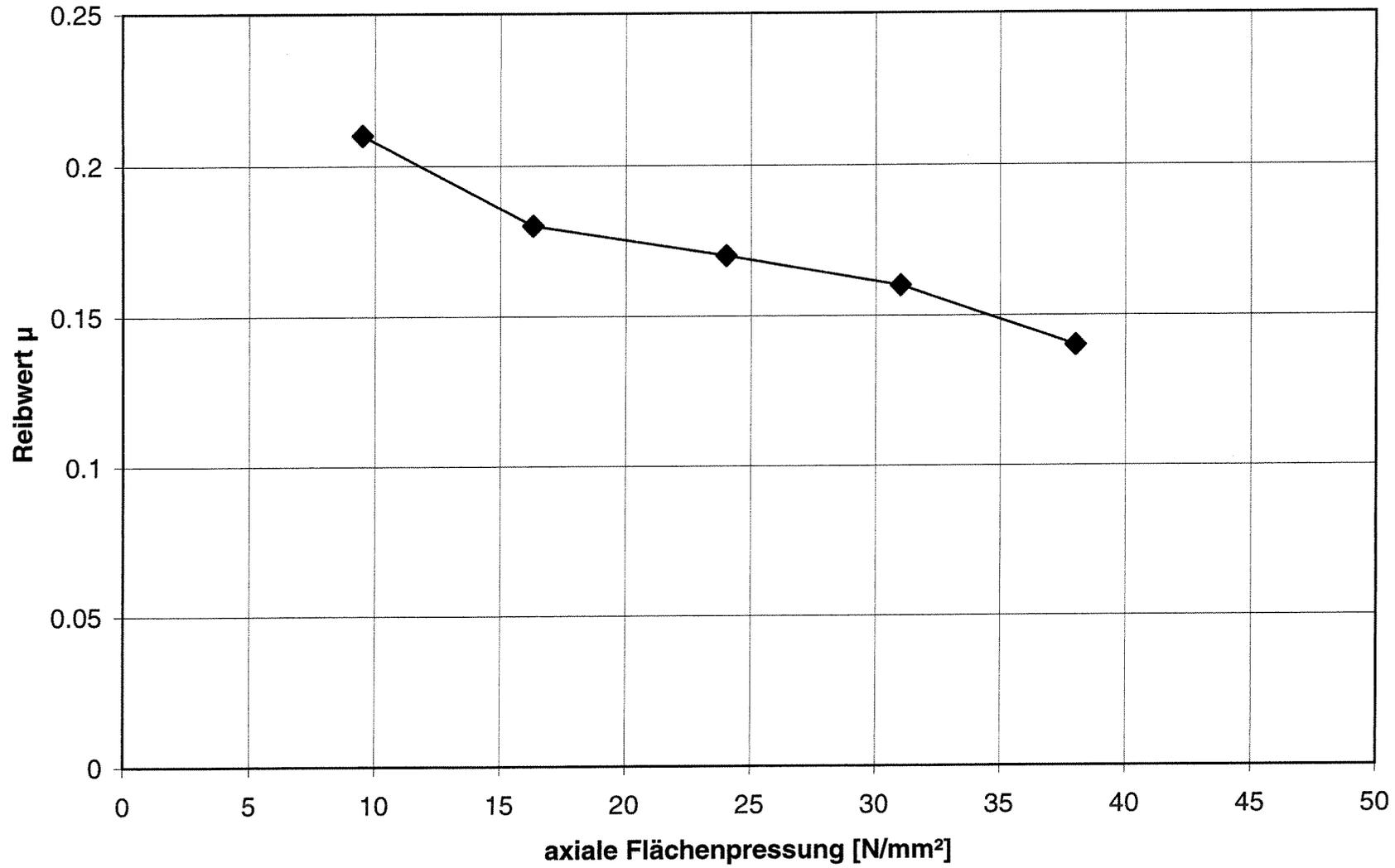
Ringe: Ø40xØ56x8

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft**  
**3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1**  
**2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4**



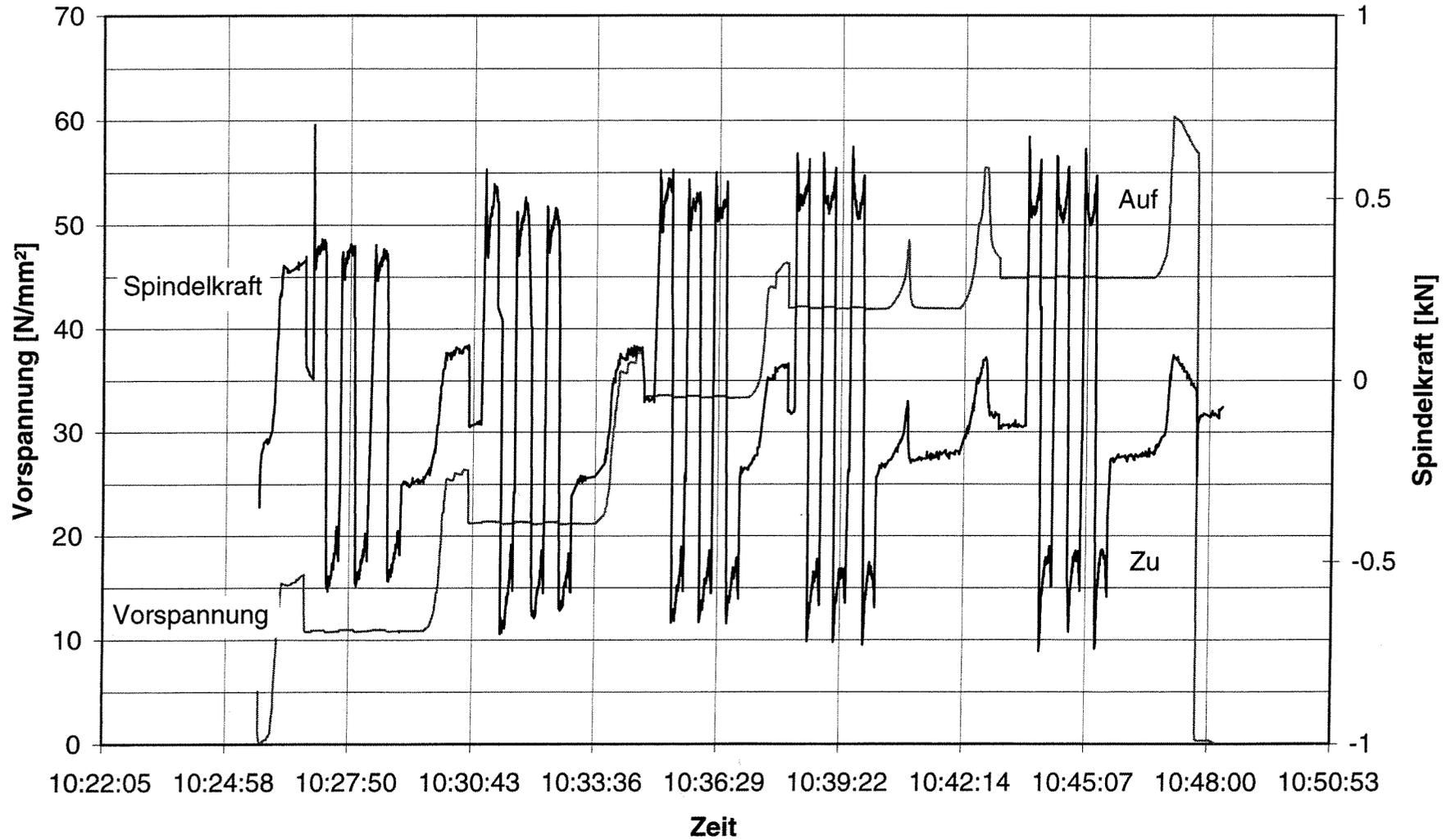
Ringe: Ø40xØ56x8

**Reibwerte 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4**



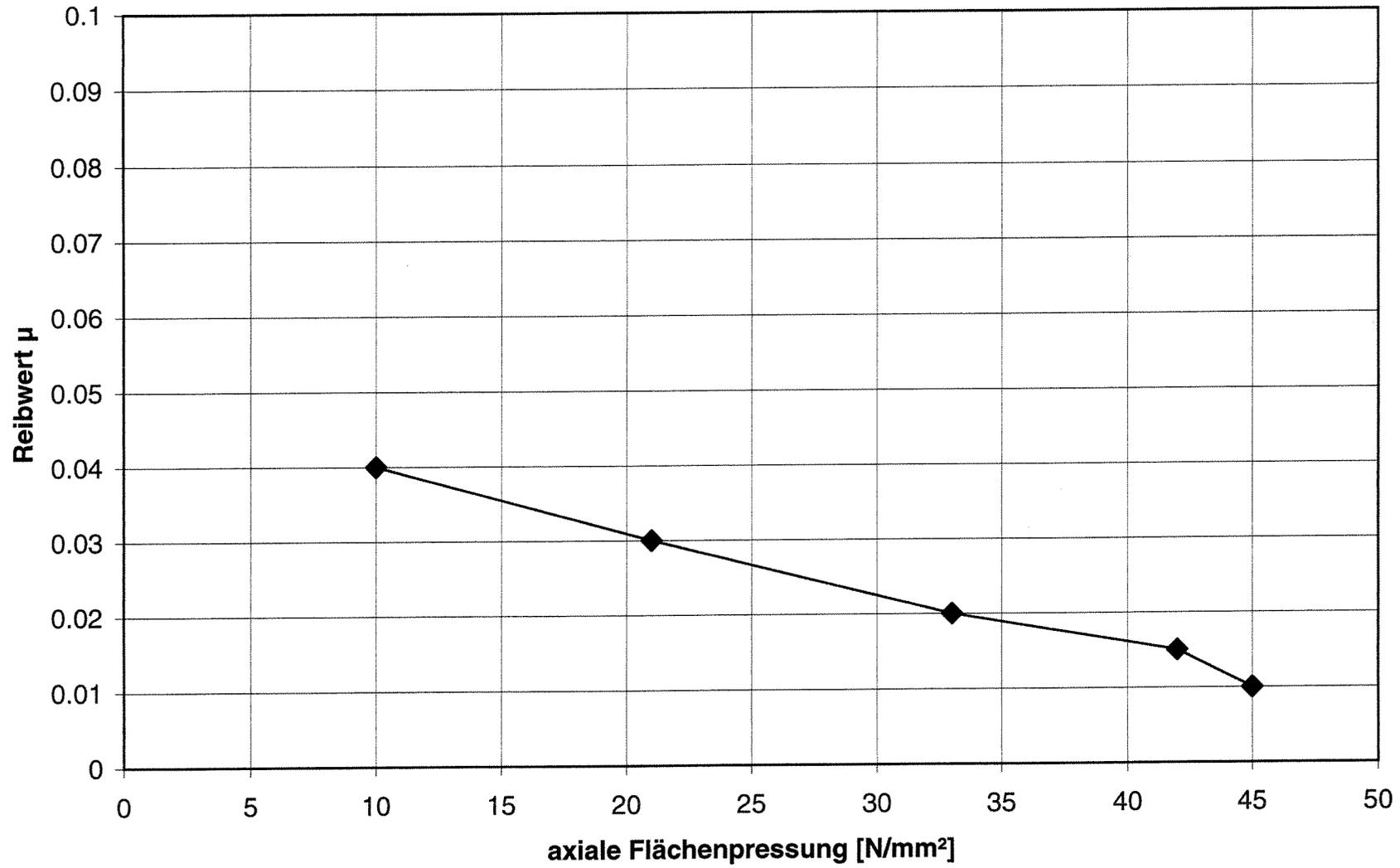
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



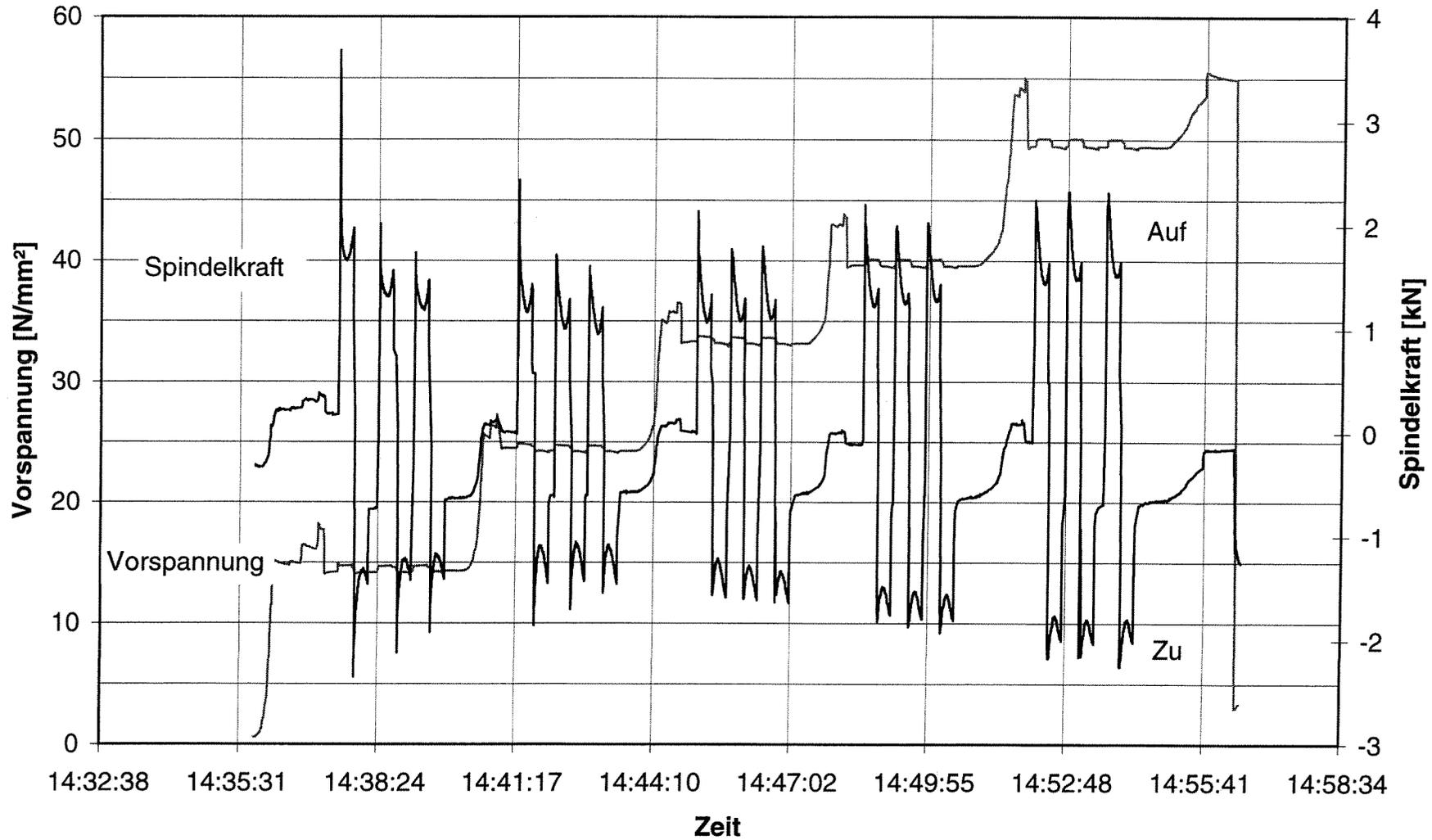
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Reibwerte 1 Ring R-F0-20-20-00-00-C2



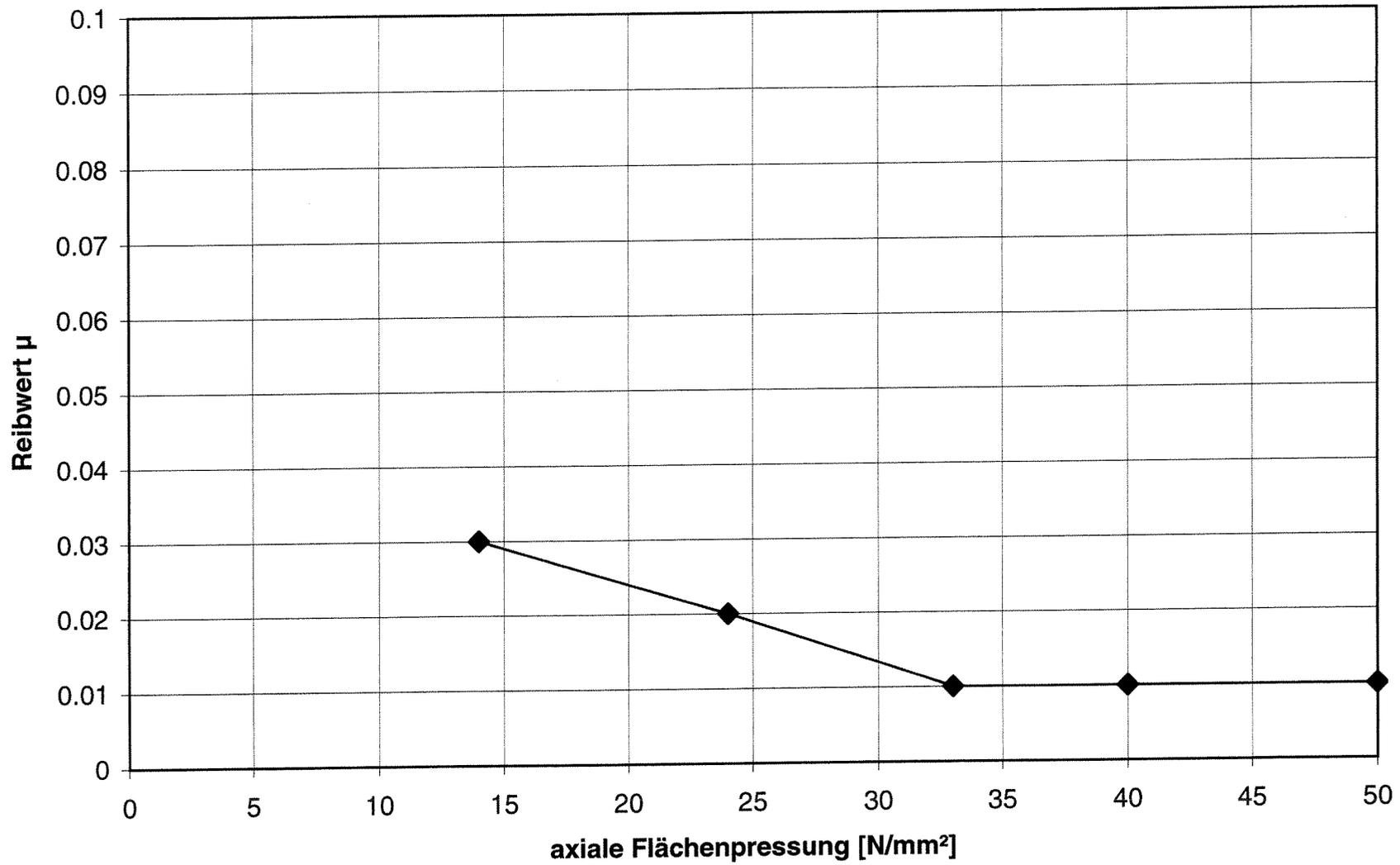
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



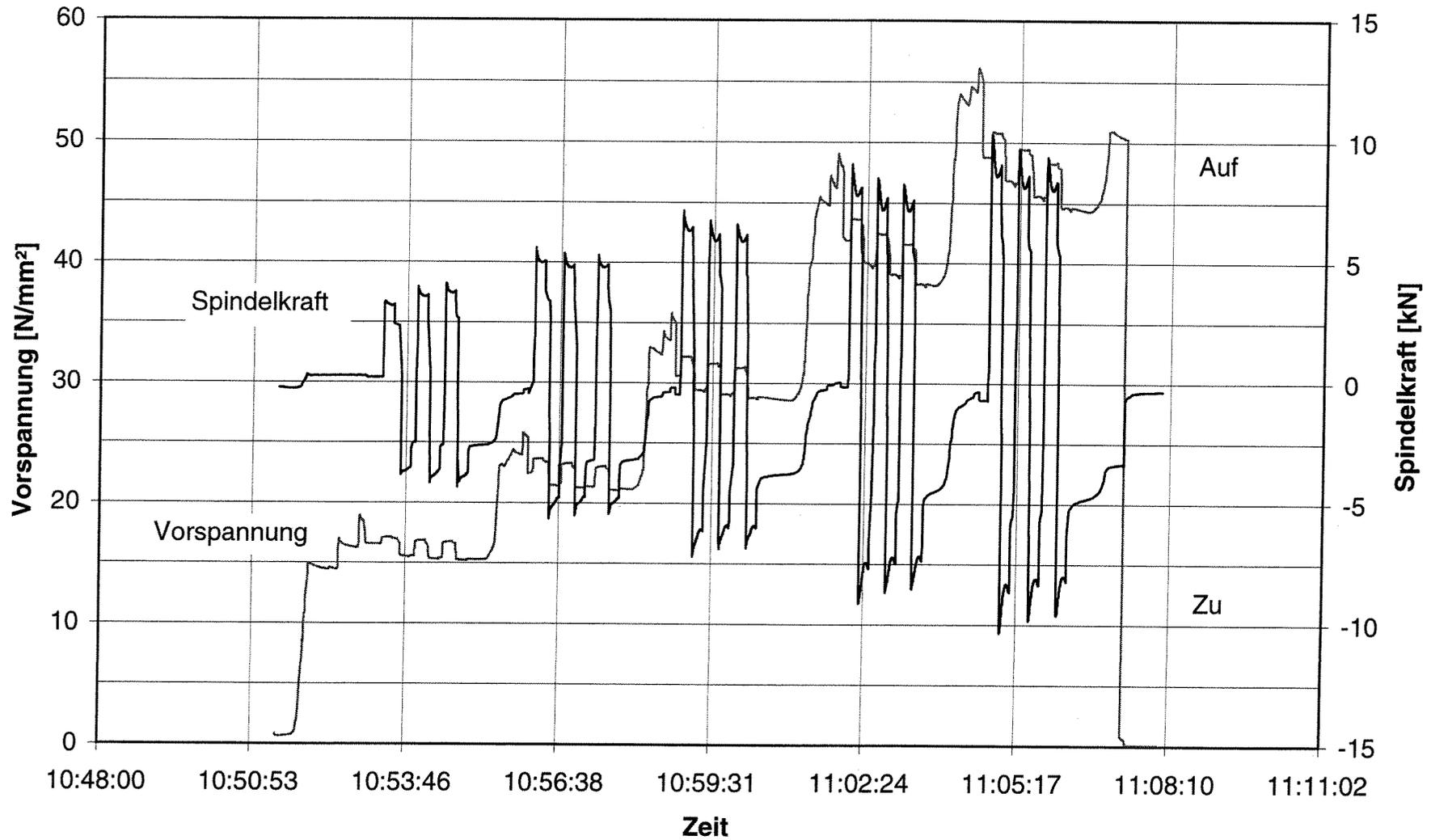
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Reibwerte 5 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



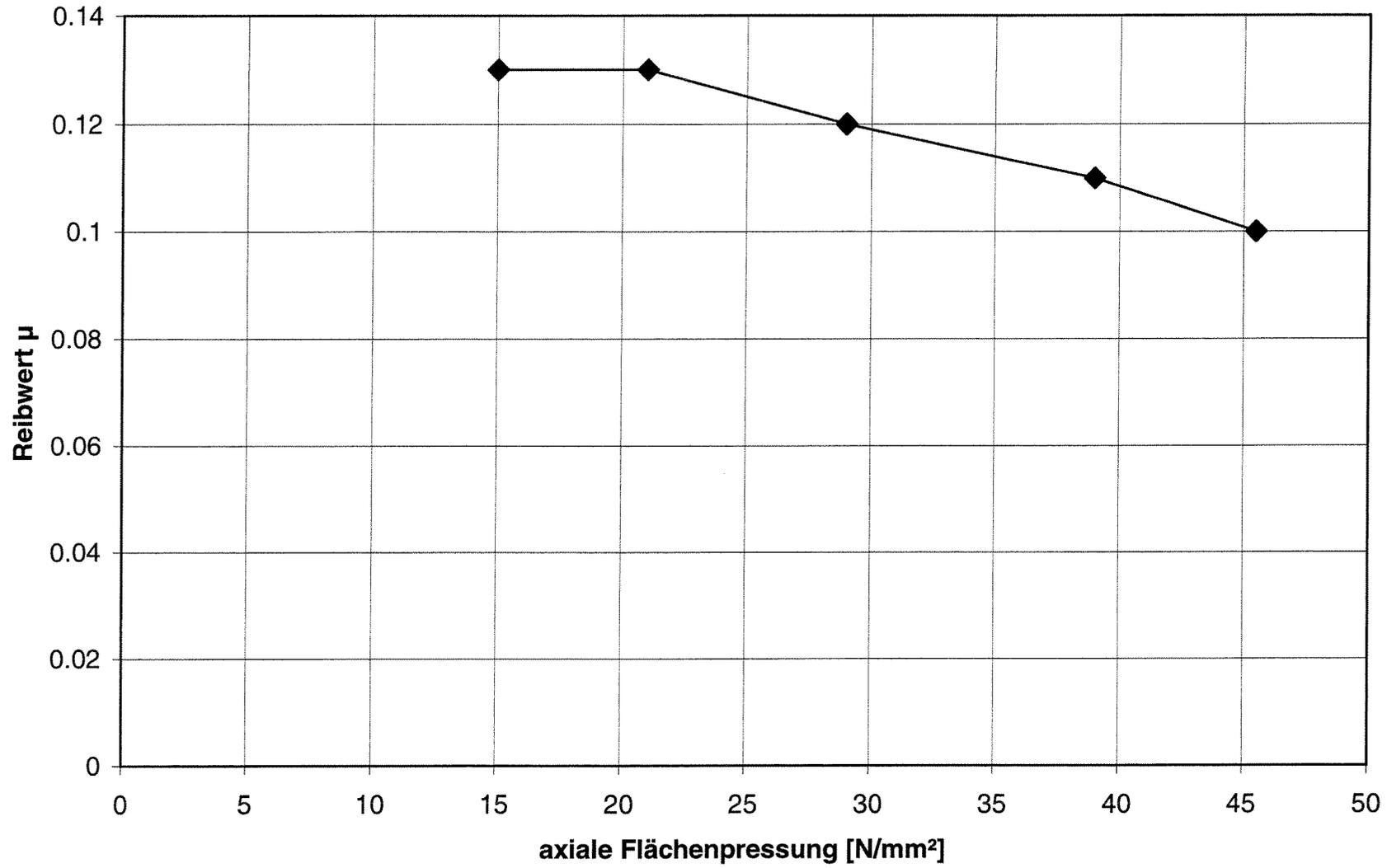
Ringe: Ø40xØ56x8

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 3 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



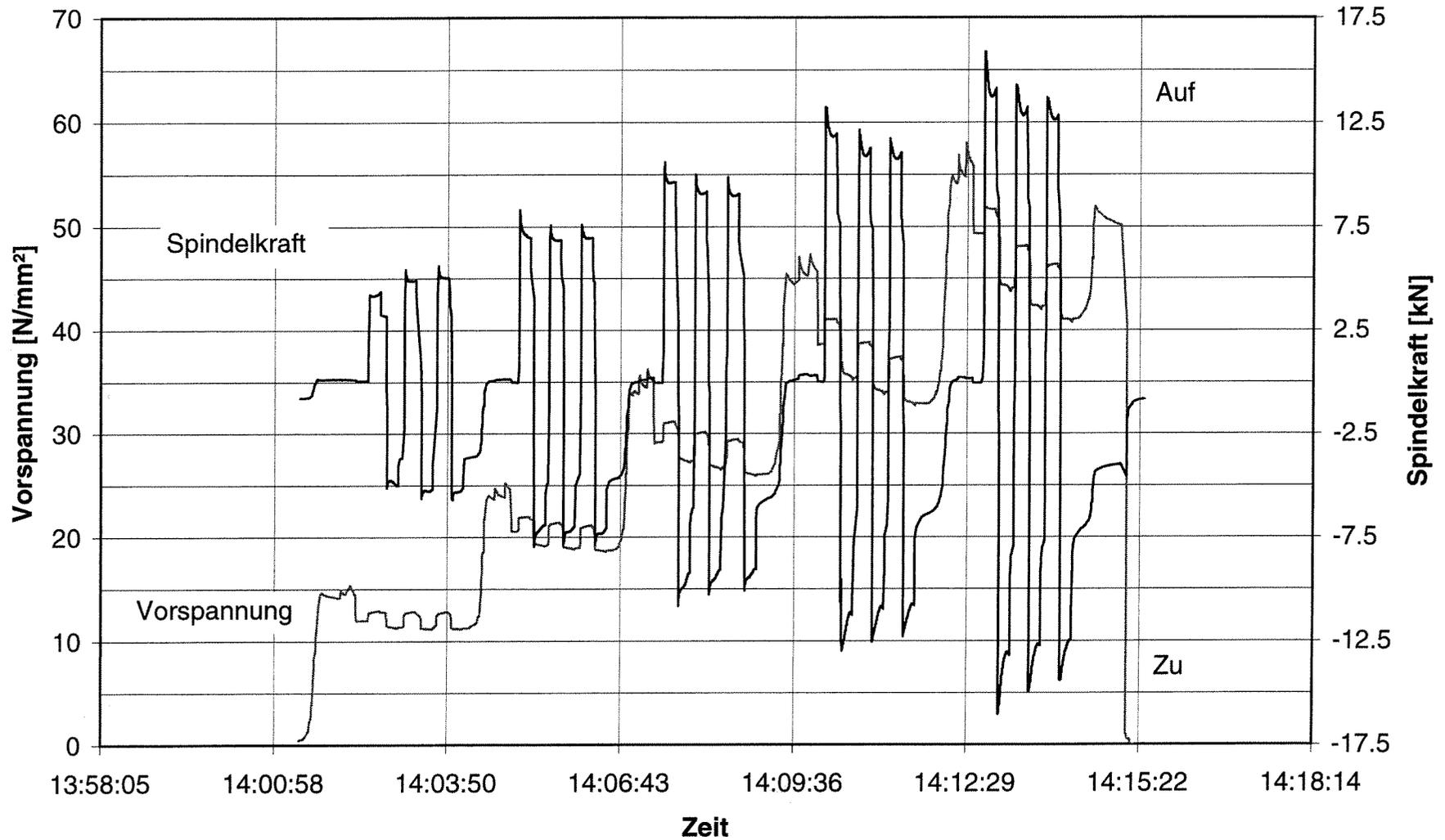
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Reibwerte 3 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



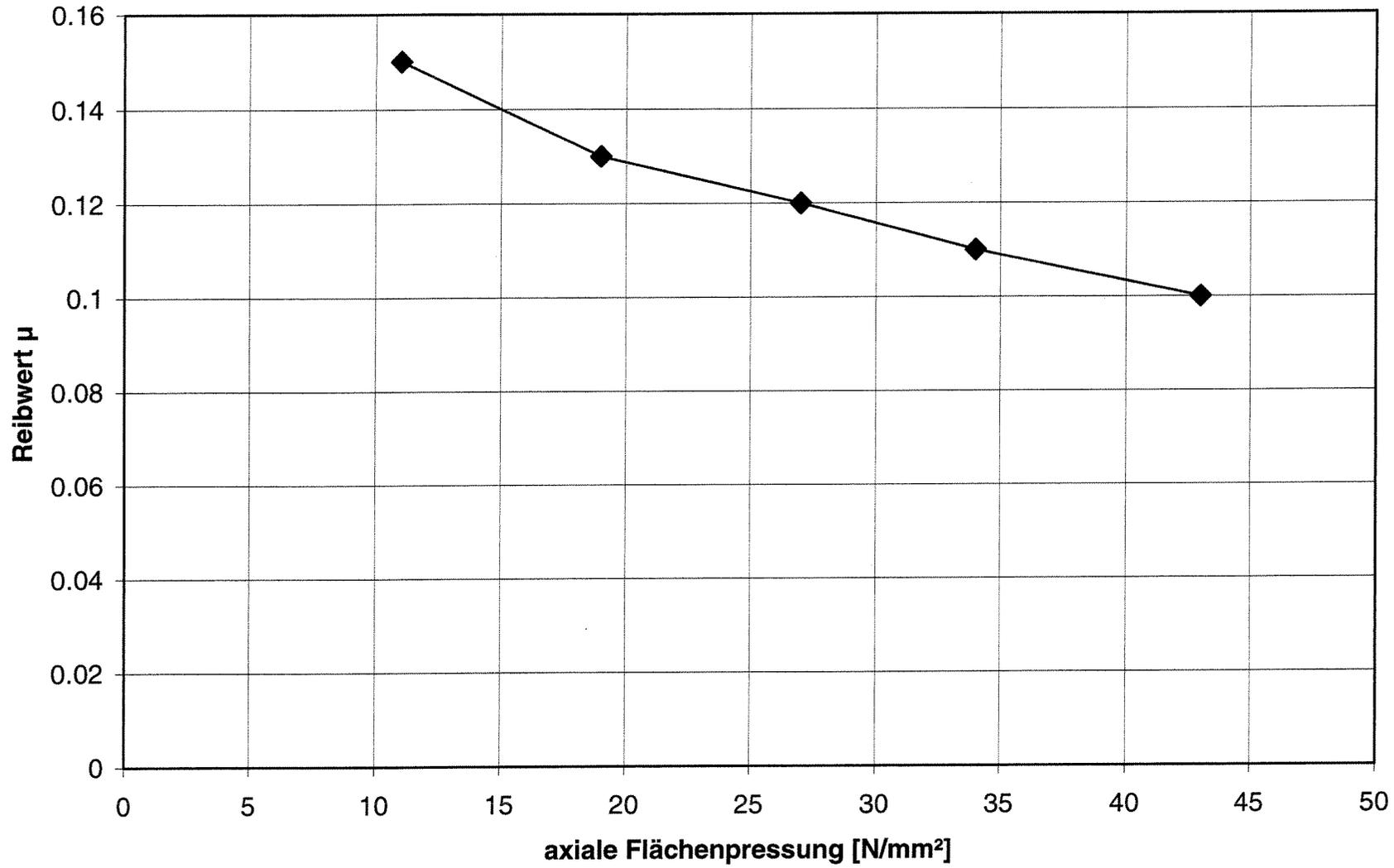
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



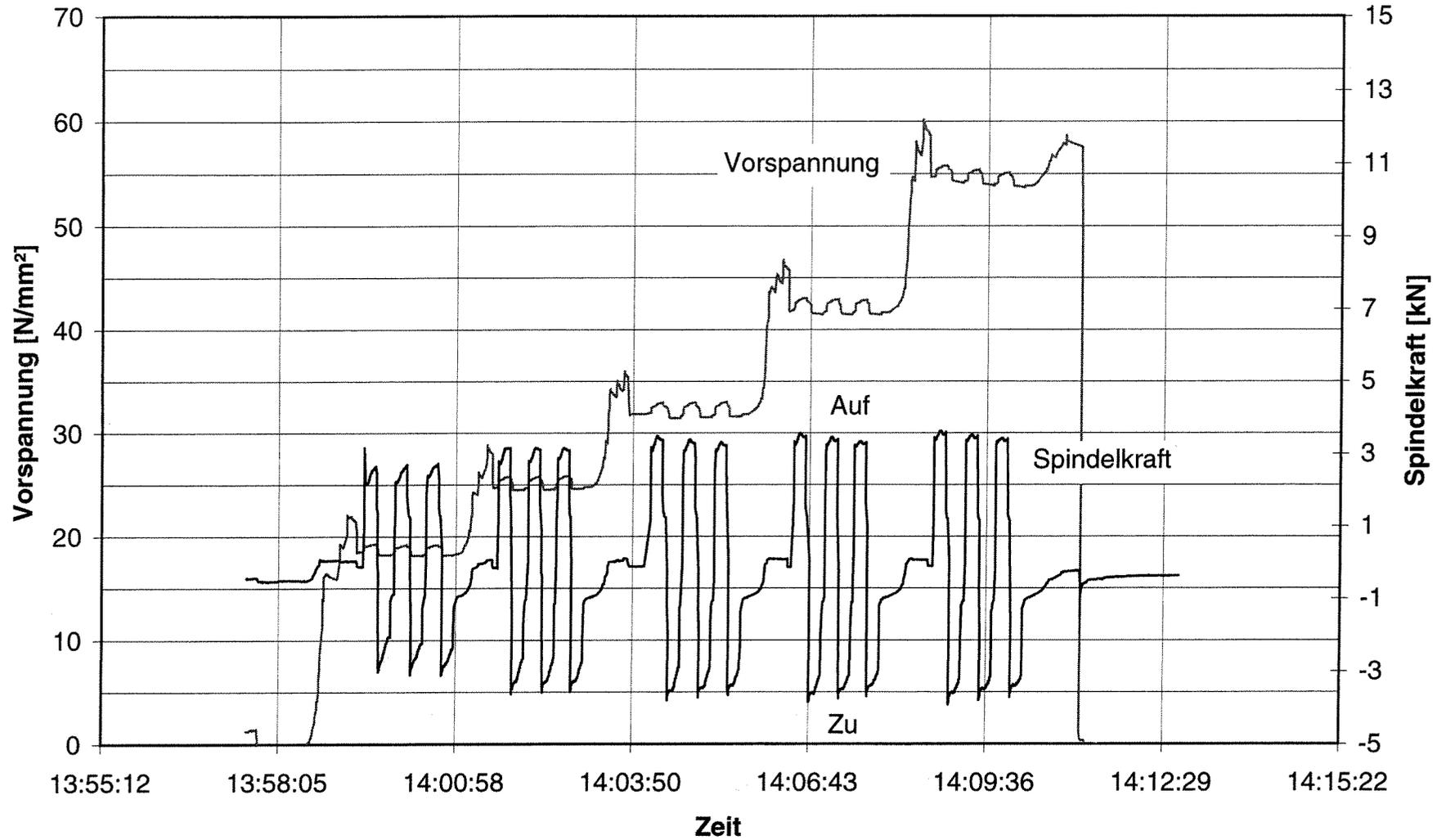
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Reibwerte 5 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3



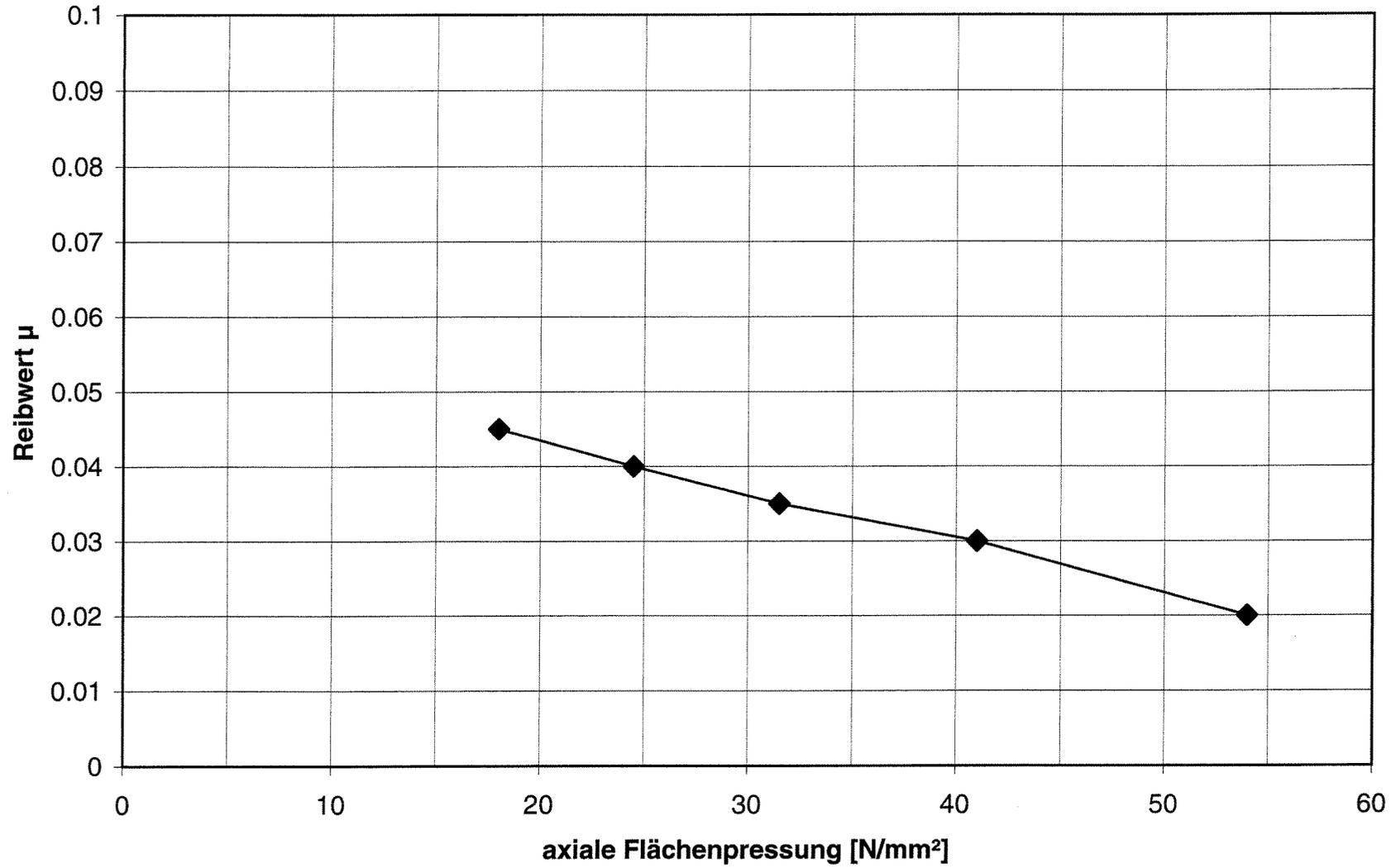
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-F0-20-00-00-00-M1



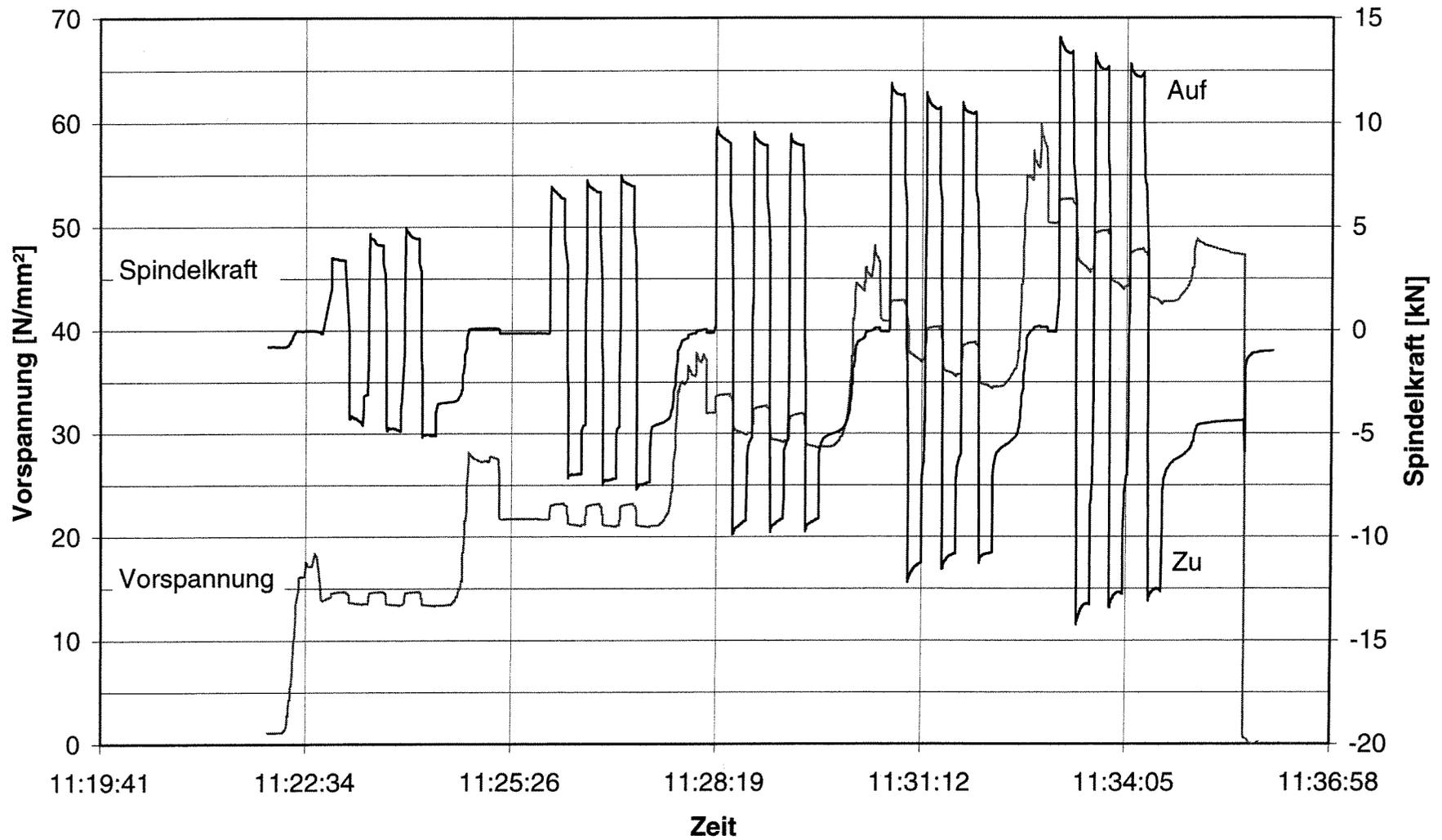
Ringe: Ø40xØ56x8

Reibwerte 5 Ringe R-F0-20-00-00-00-M1



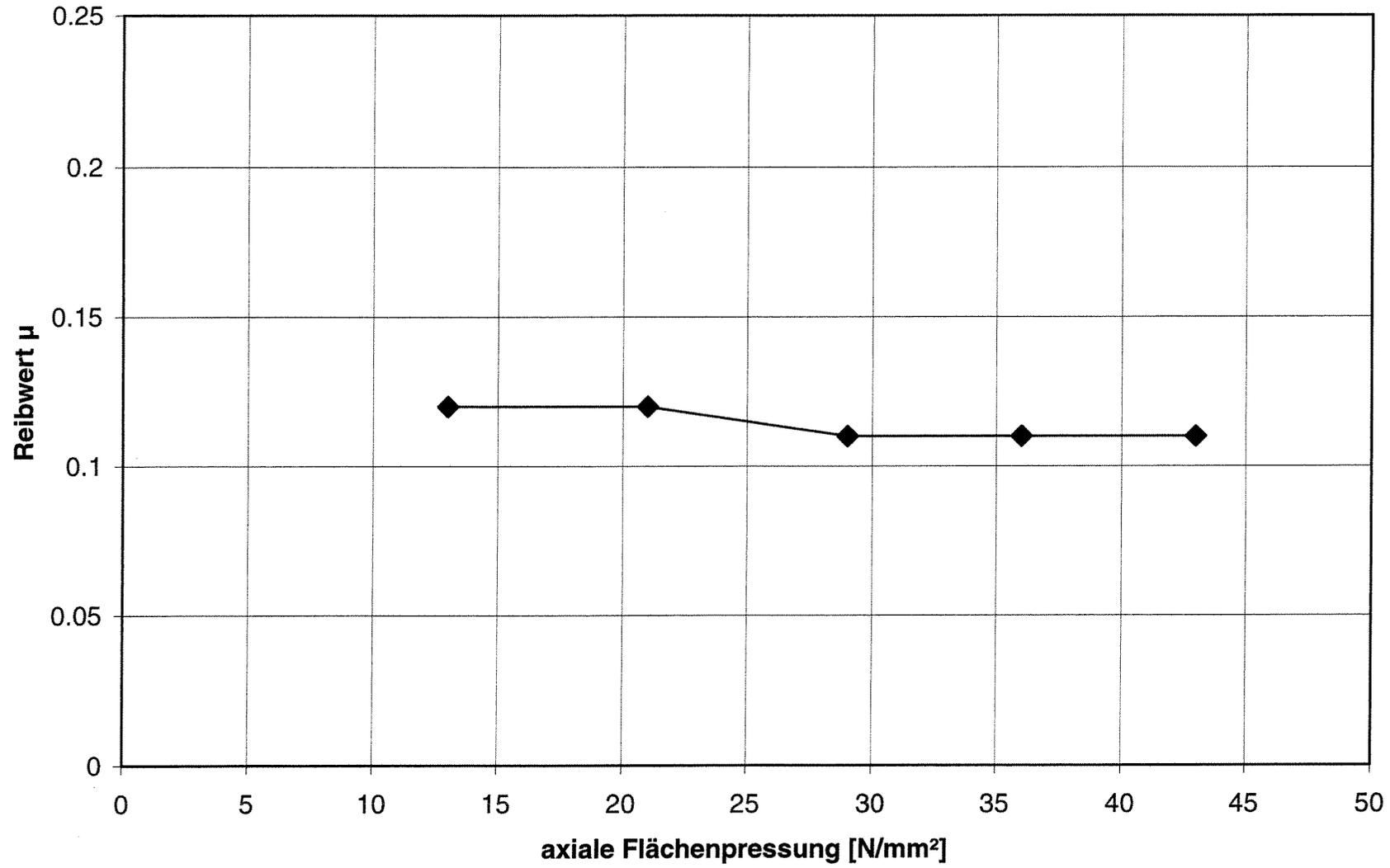
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-F0-30-00-00-M2



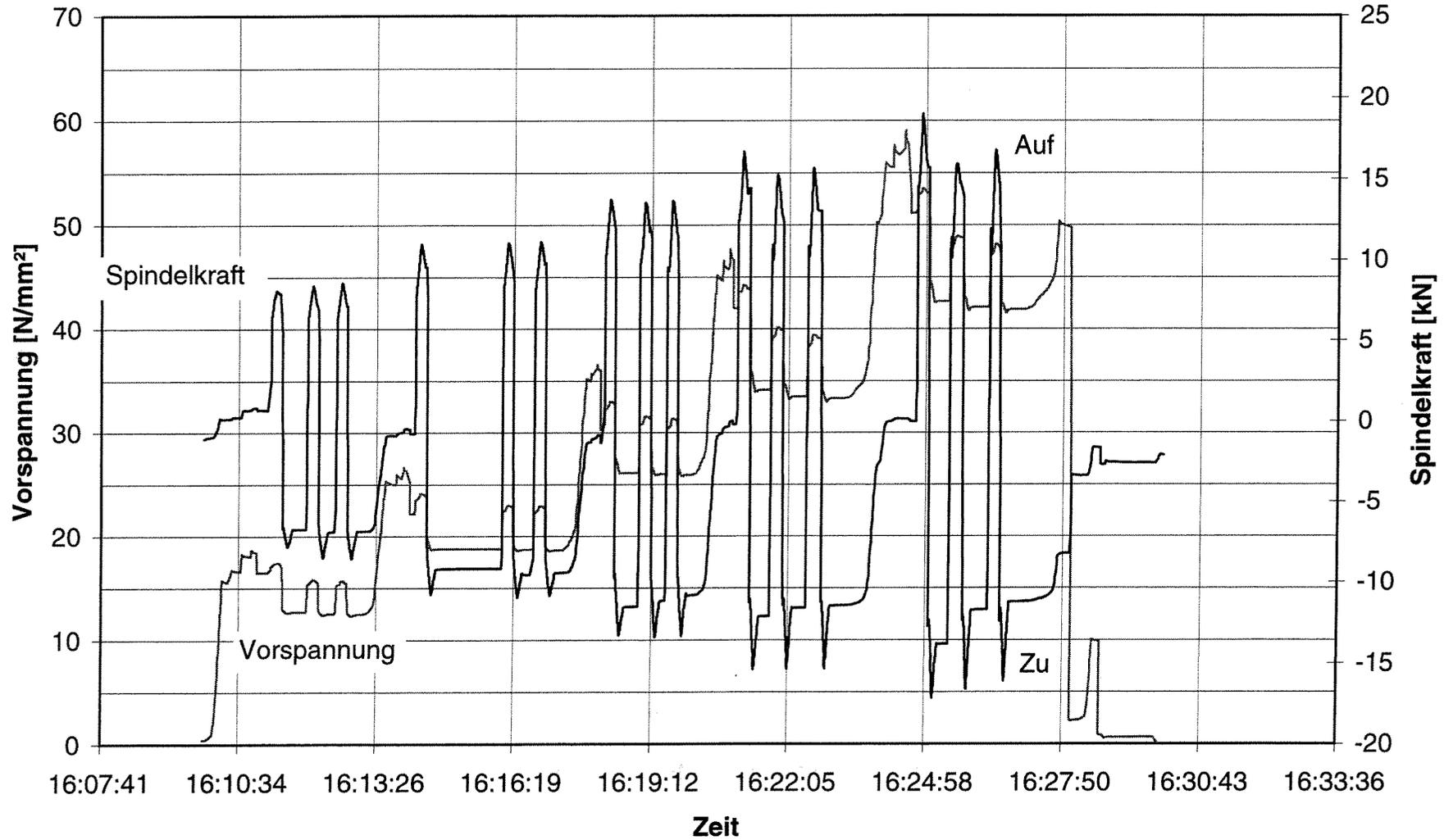
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Reibwerte 5 Ringe R-F0-30-00-00-00-M2



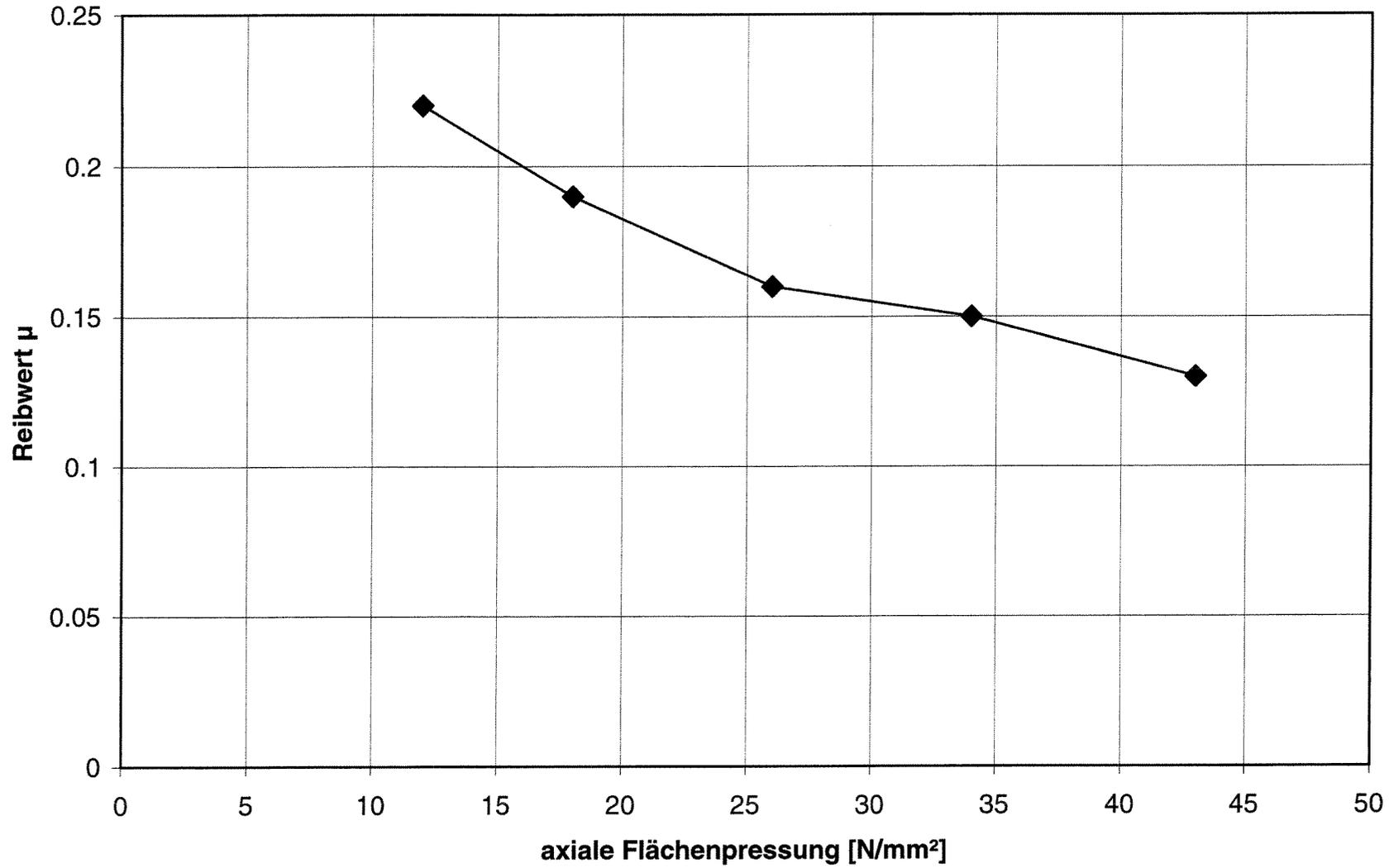
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-A4



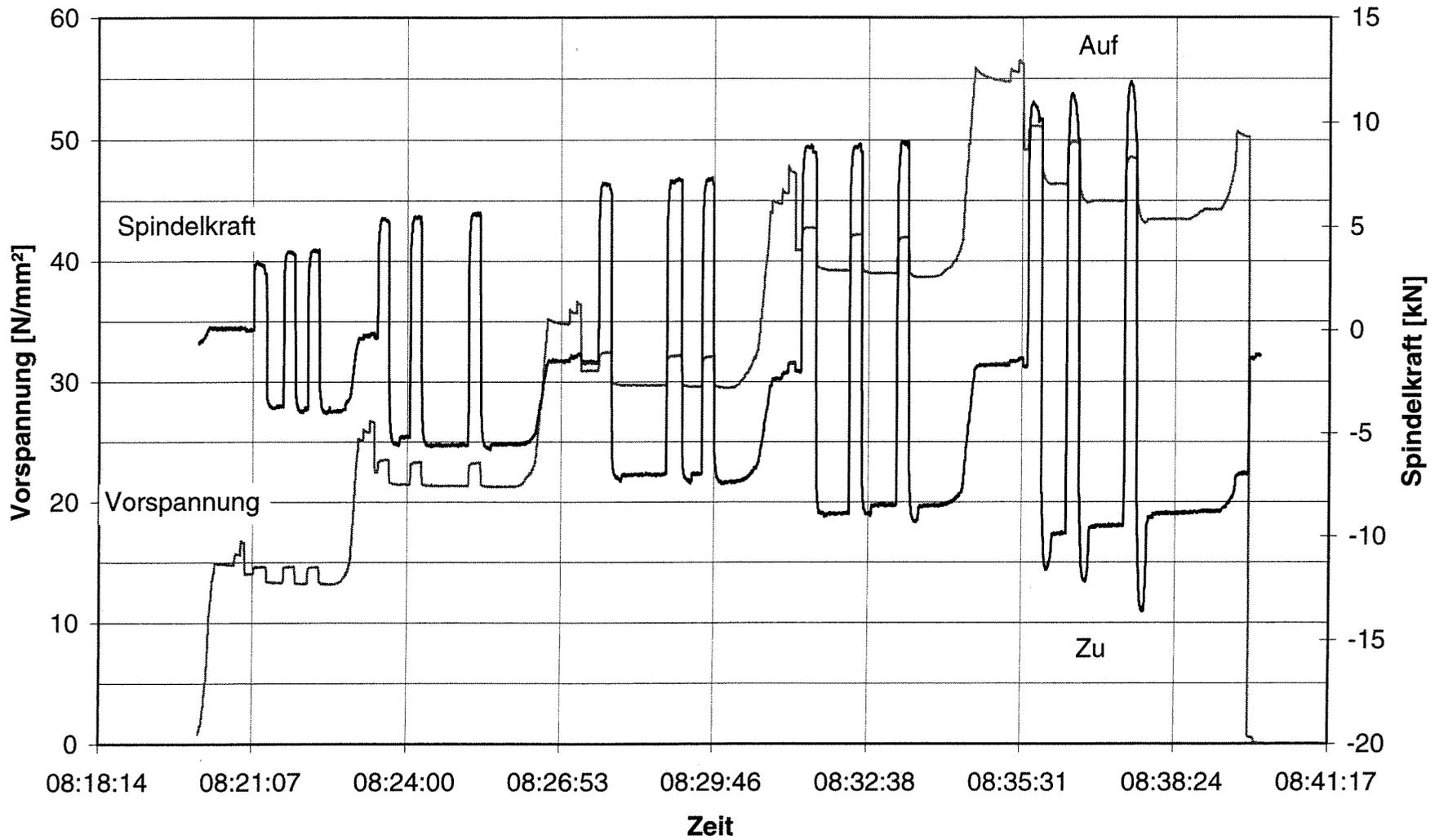
Ringe: Ø40xØ56x8

Reibwerte 5 Ringe R-P0-10-00-00-00-A4



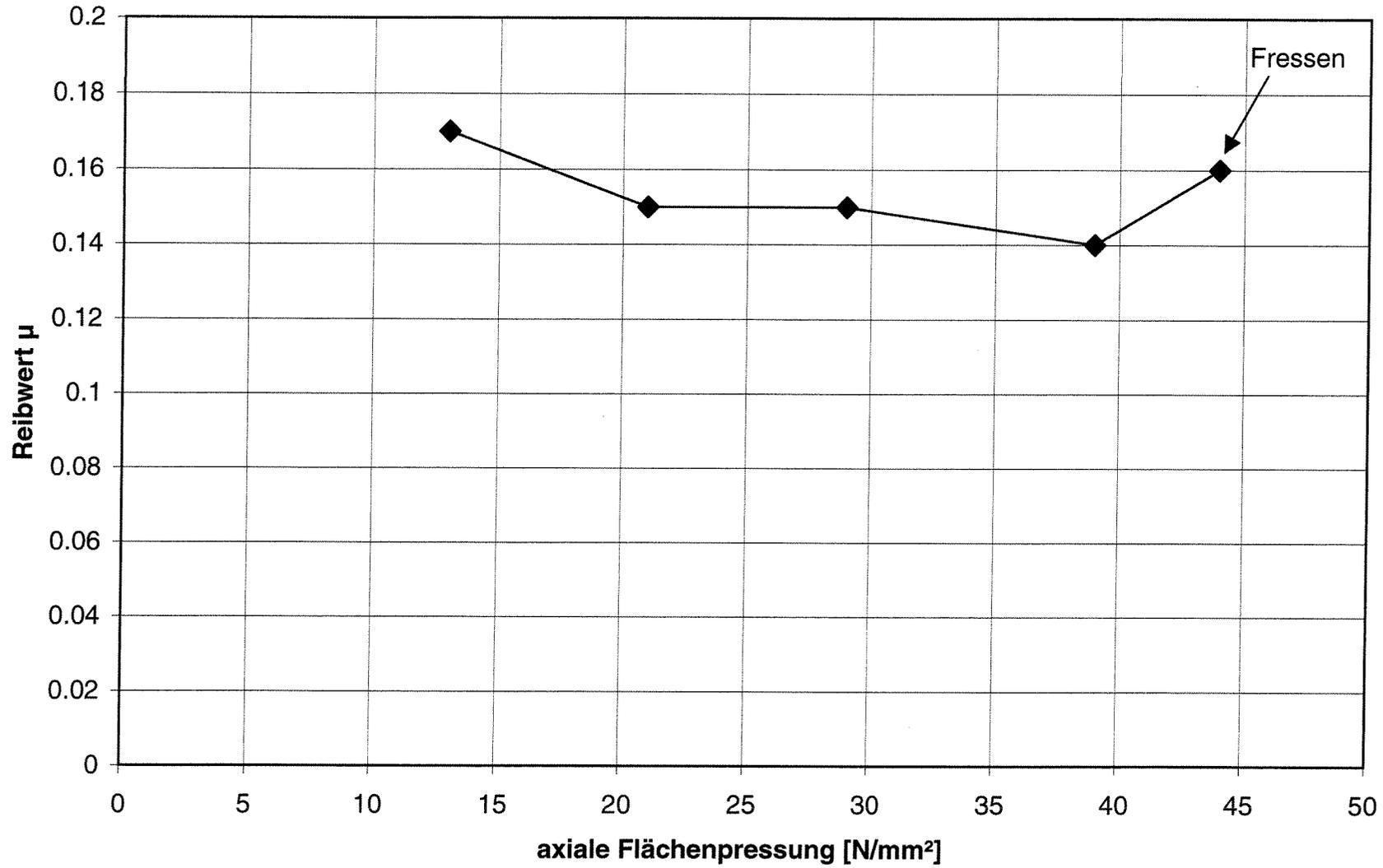
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft 3 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



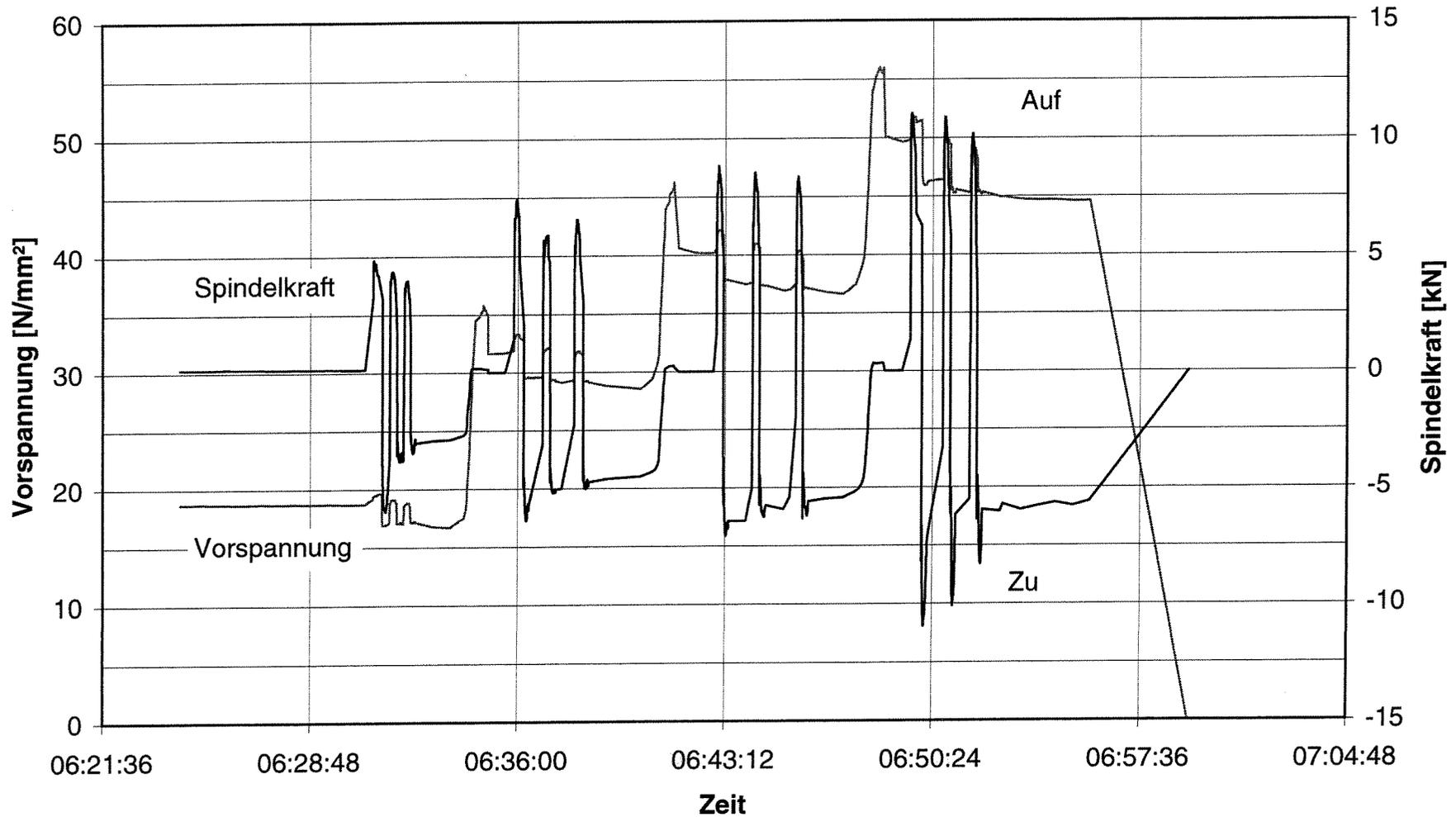
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Reibwerte 3 Ringe R-F0-10-00-10-30-A2



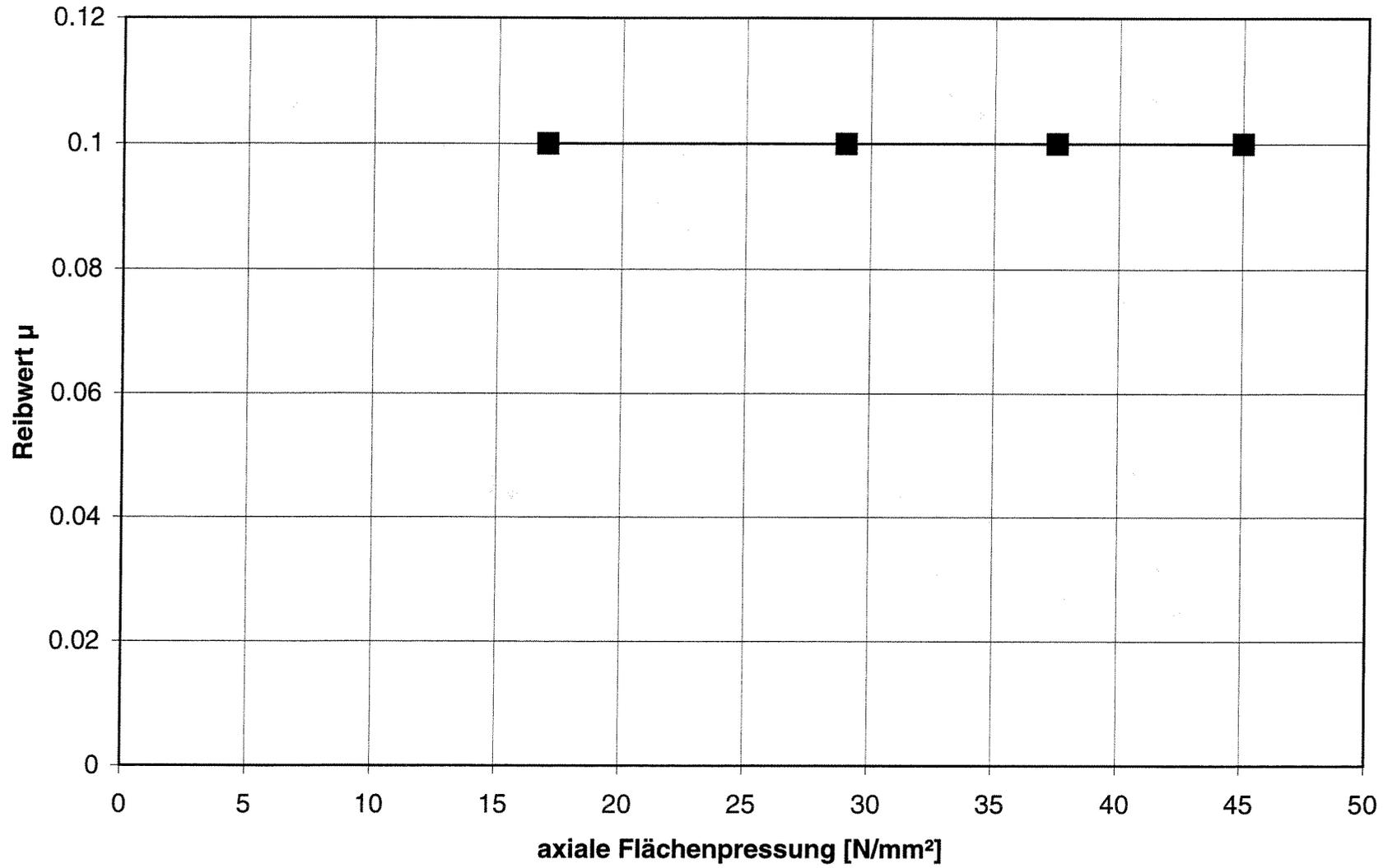
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Nach Vorverformen mit 50 N/mm<sup>2</sup> auf 18 N/mm<sup>2</sup> verspannt und auf 350 °C aufgeheizt**



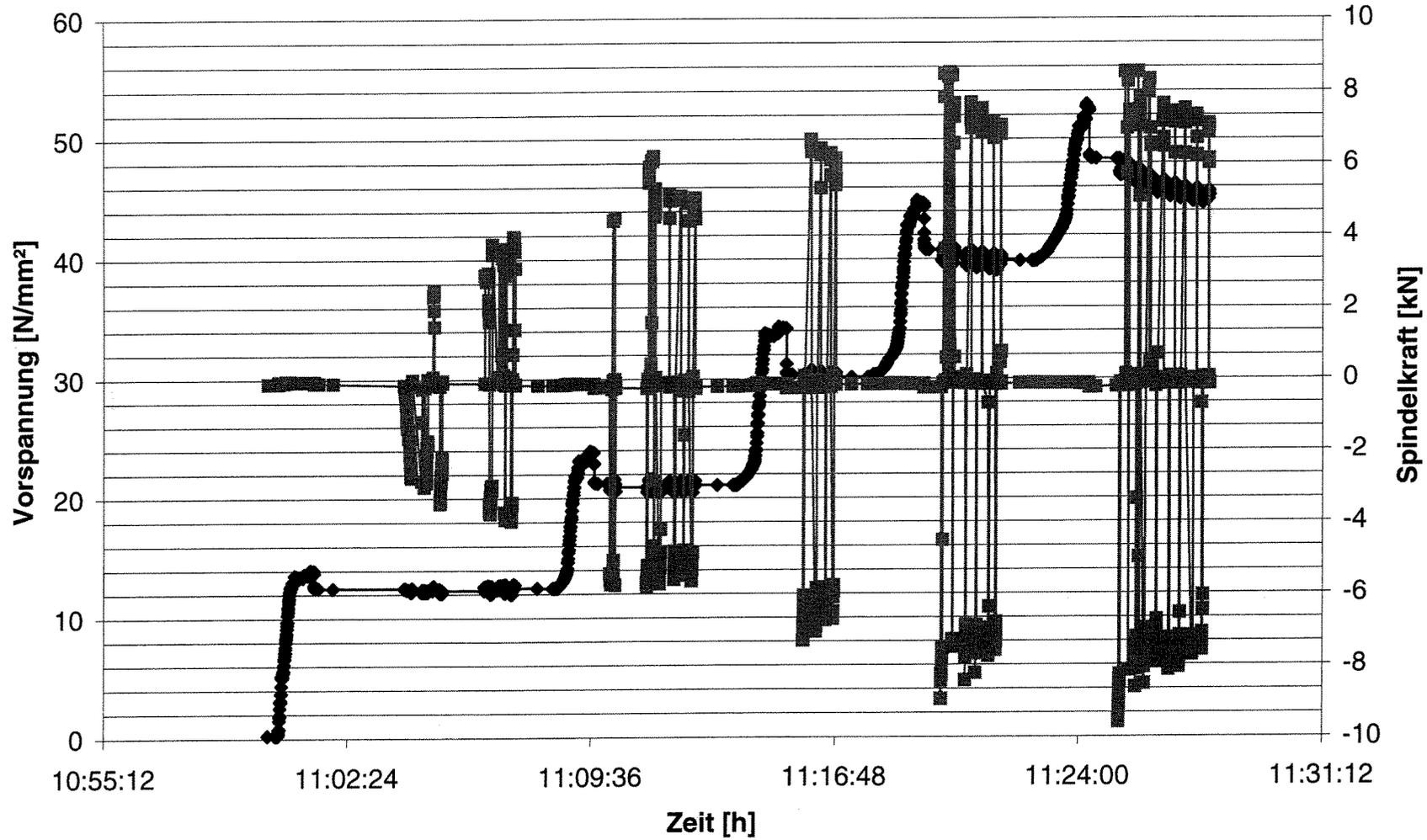
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Reibwerte 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Temperatur 350 °C



Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

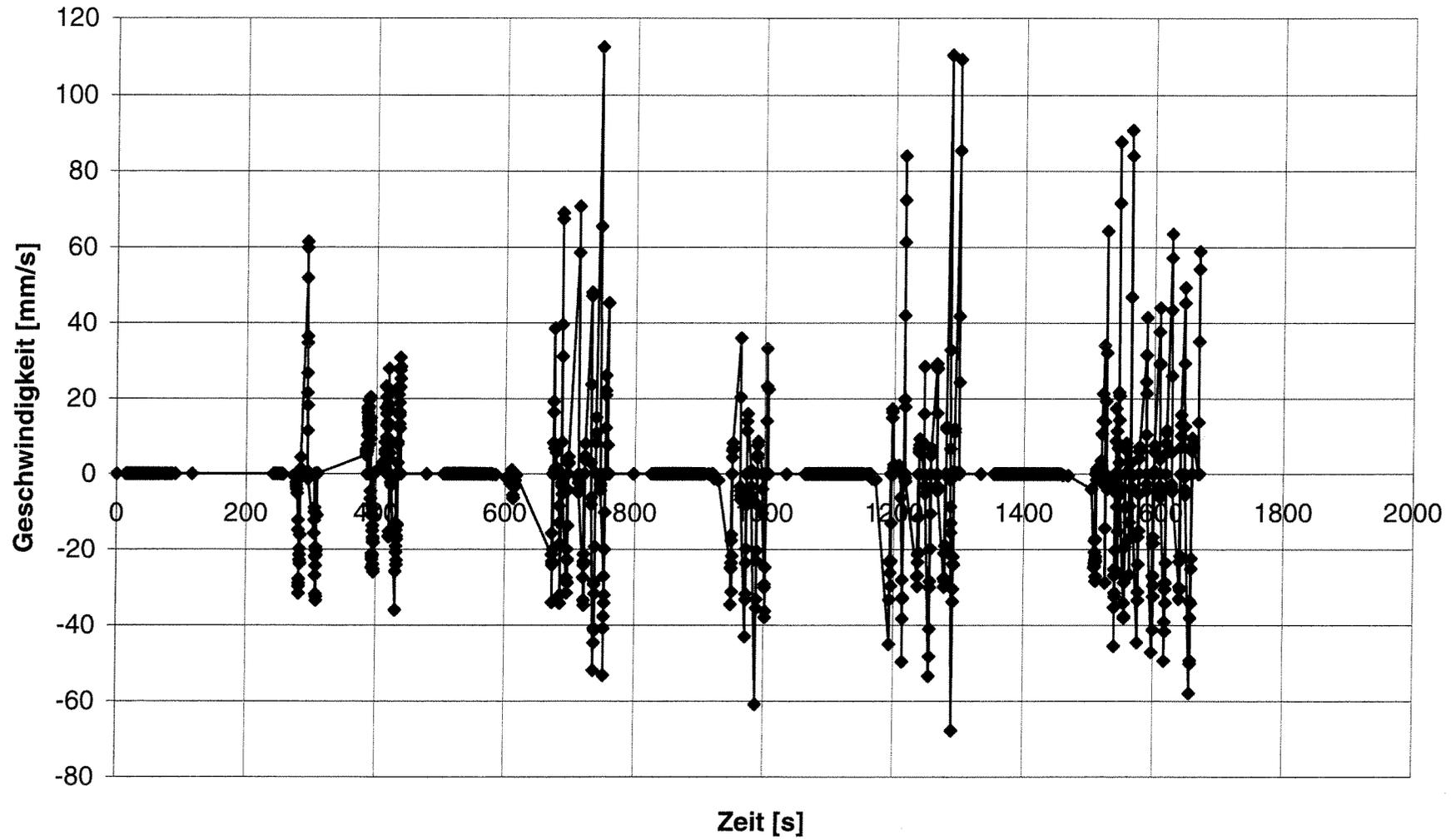
**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelgeschwindigkeit  $v = 20 - 130 \text{ mm/s}$**



Spindeltrieb mittels Hydraulikzylinder

Ringe: Ø60xØ80x10

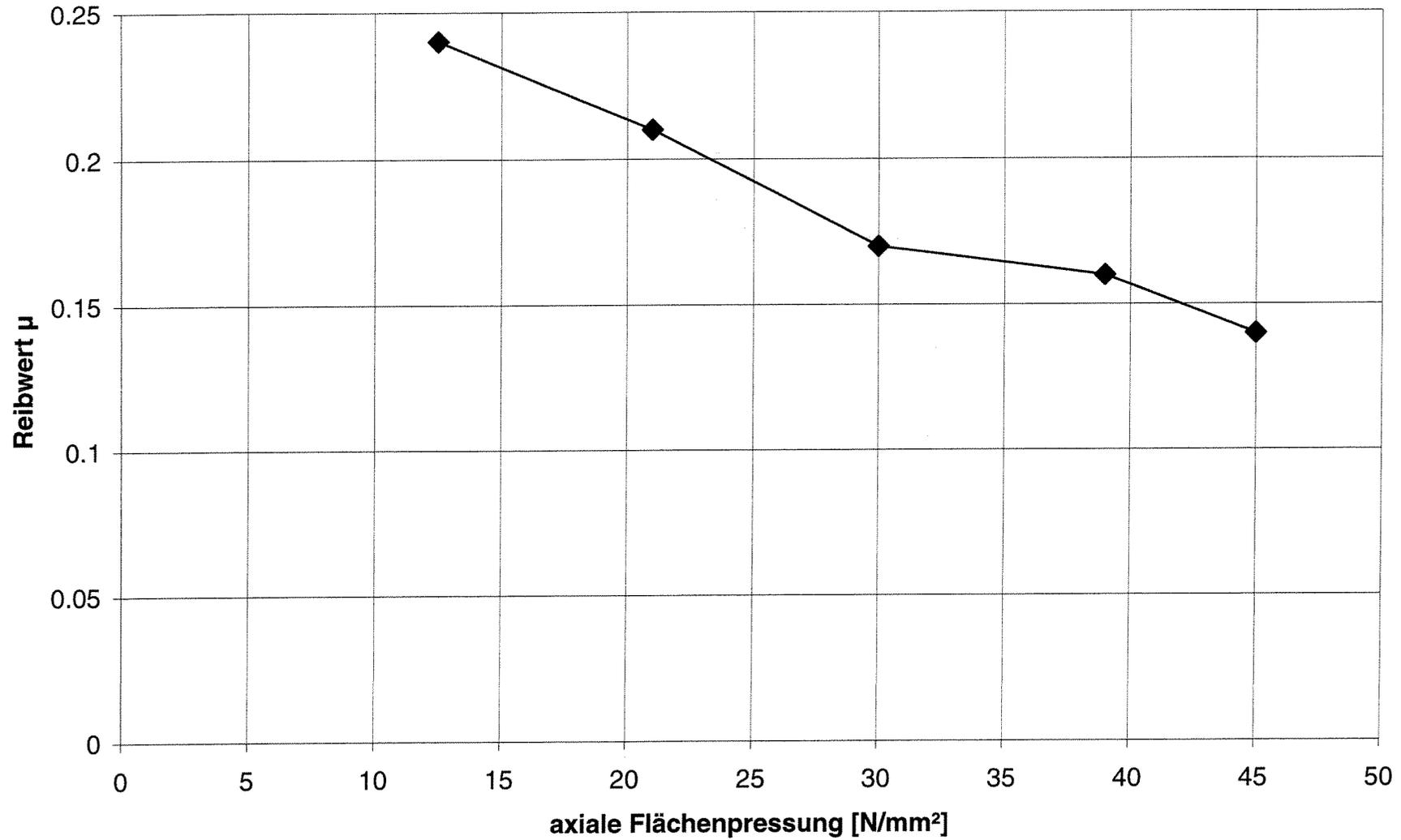
Geschwindigkeiten beim Auf /Zu-Fahren  
1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1



Spindelantrieb mittels Hydraulikzylinder

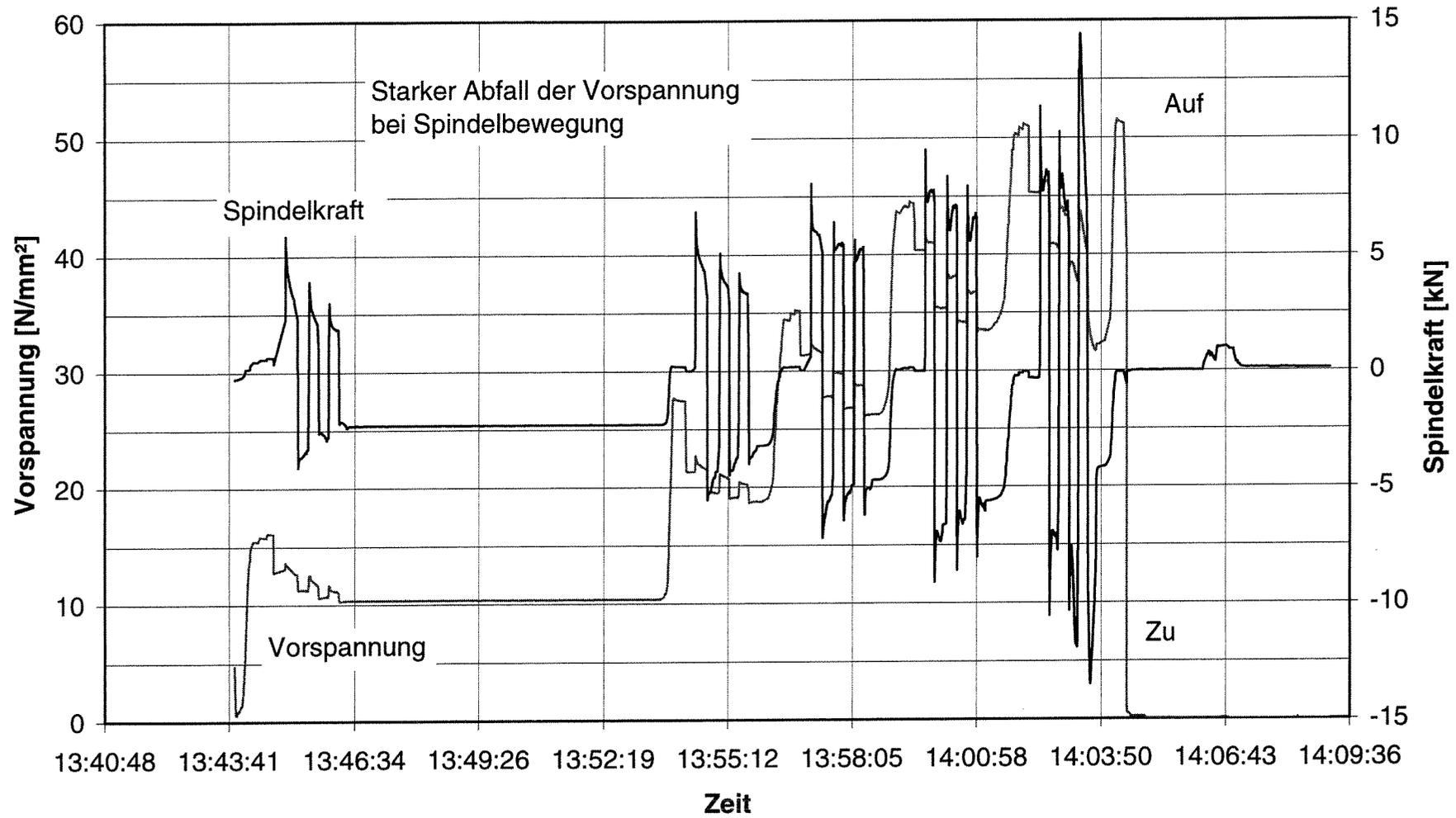
Ringe:  $\varnothing 60 \times \varnothing 80 \times 10$

Reibwerte 1 Ring R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelgeschwindigkeit  $v = 20 - 130 \text{ mm/s}$



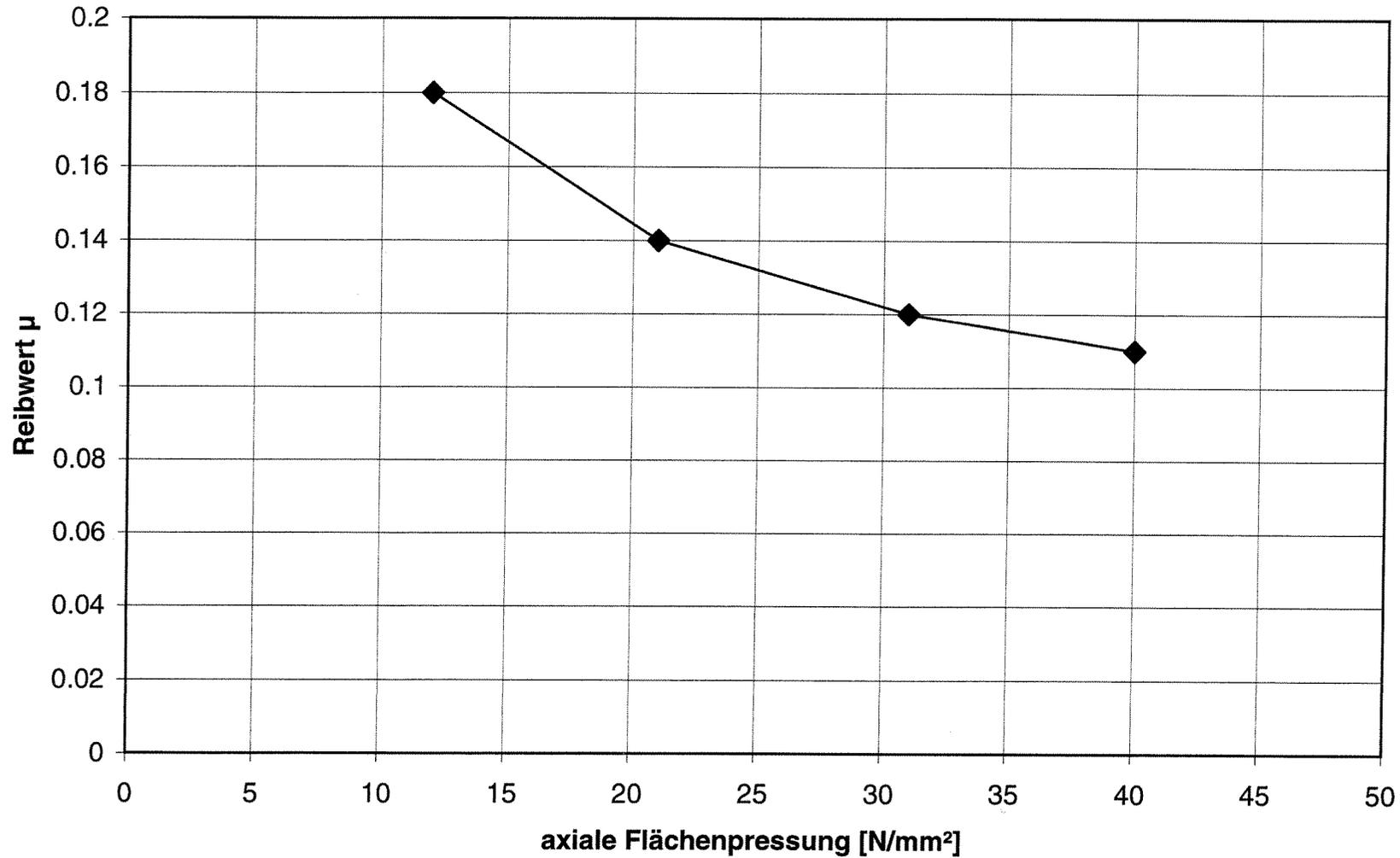
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft**  
**3 Ringe R-P0-10-00-00-C1**  
**Spindelrauigkeit Ra = 6; (Rz  $\cong$  25)**



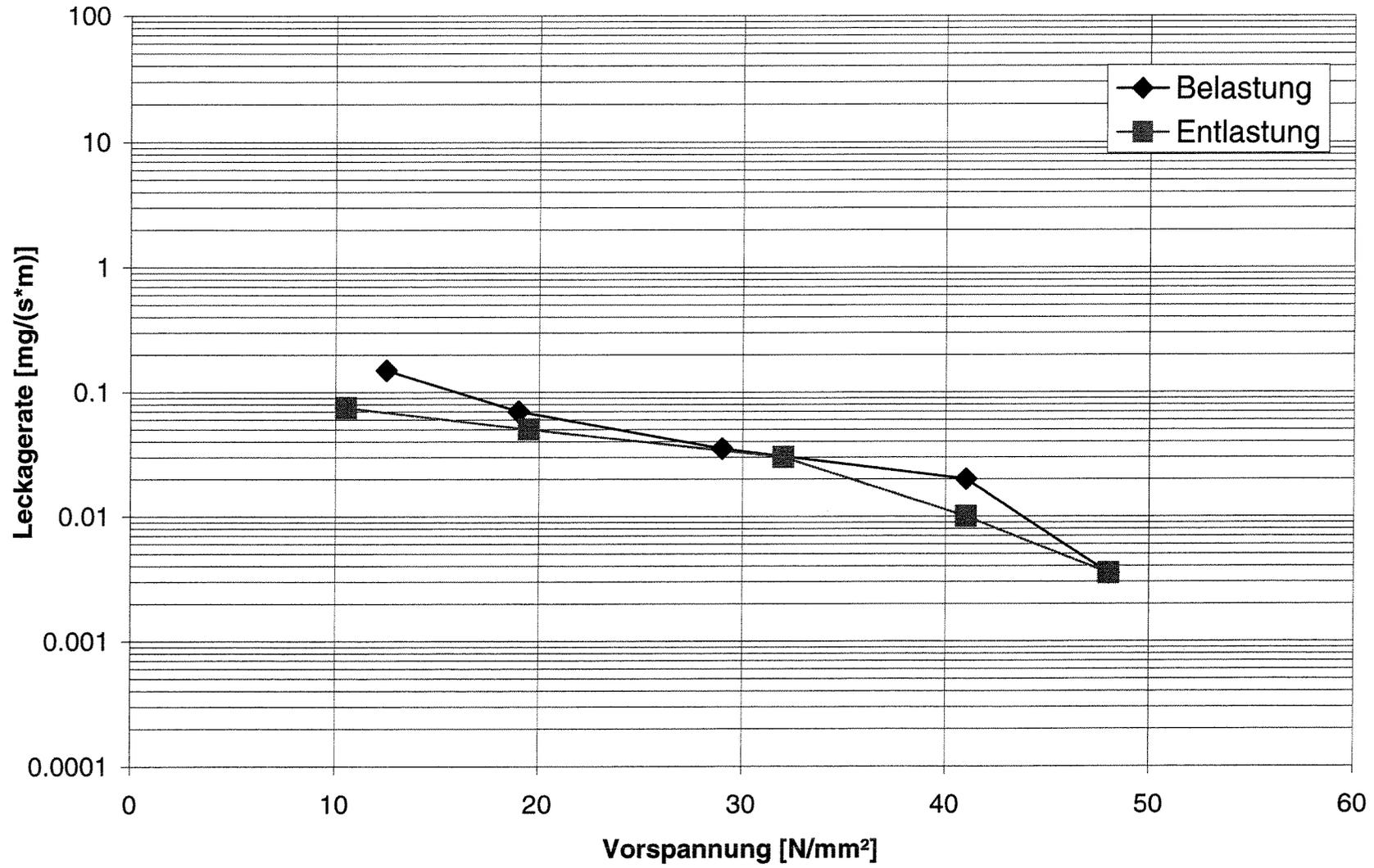
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Reibwerte 3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1**  
**Spindelrauigkeit Ra = 6; (Rz  $\cong$  25)**  
**Extrem signifikanter Abfall der Vorspannung bei Spindelbewegung**



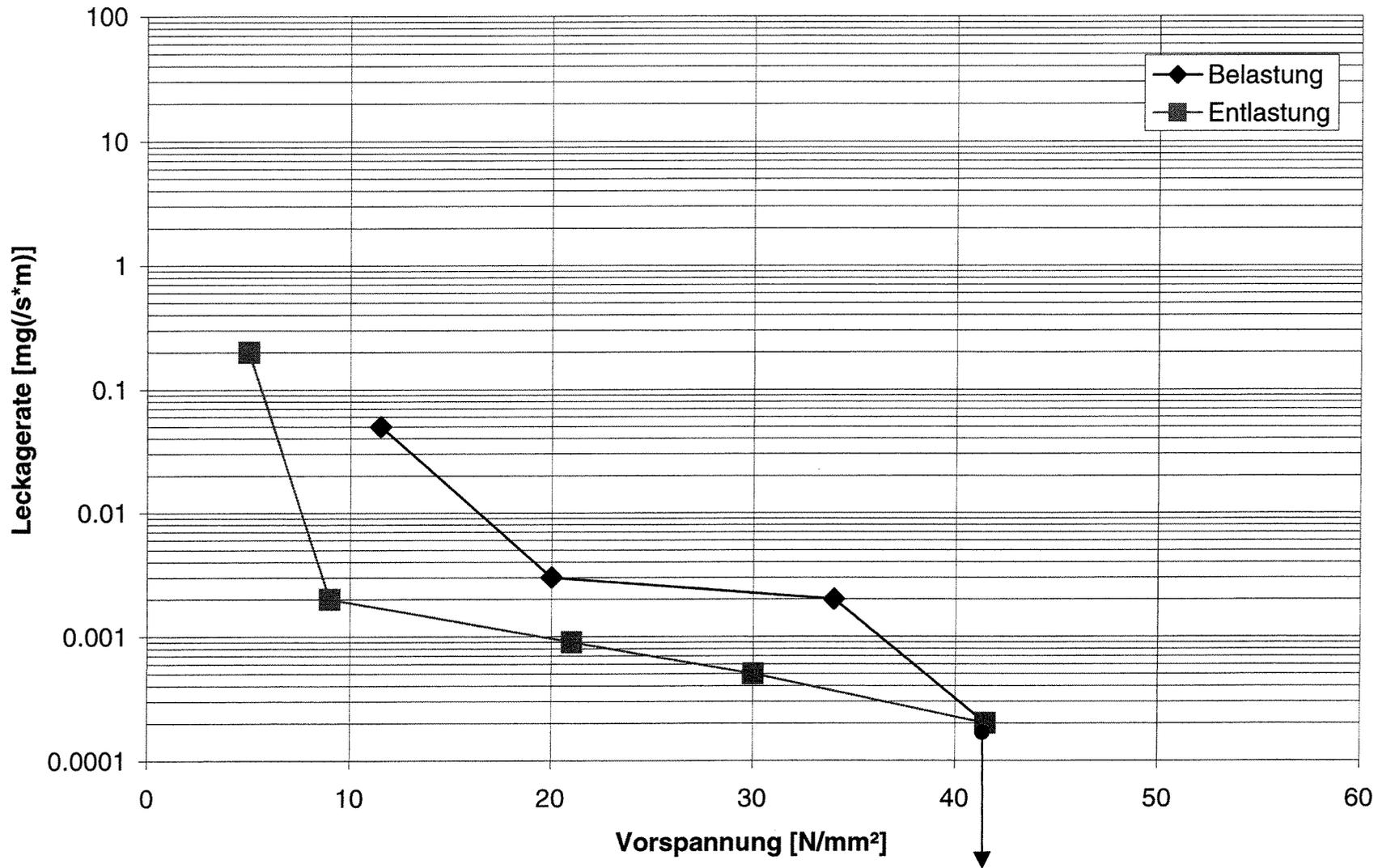
## 2.3 Quasistatische Leckageversuche

Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$   
Leckageraten bei einem Prüfdruck von 40 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-P0-10-00-00-C1



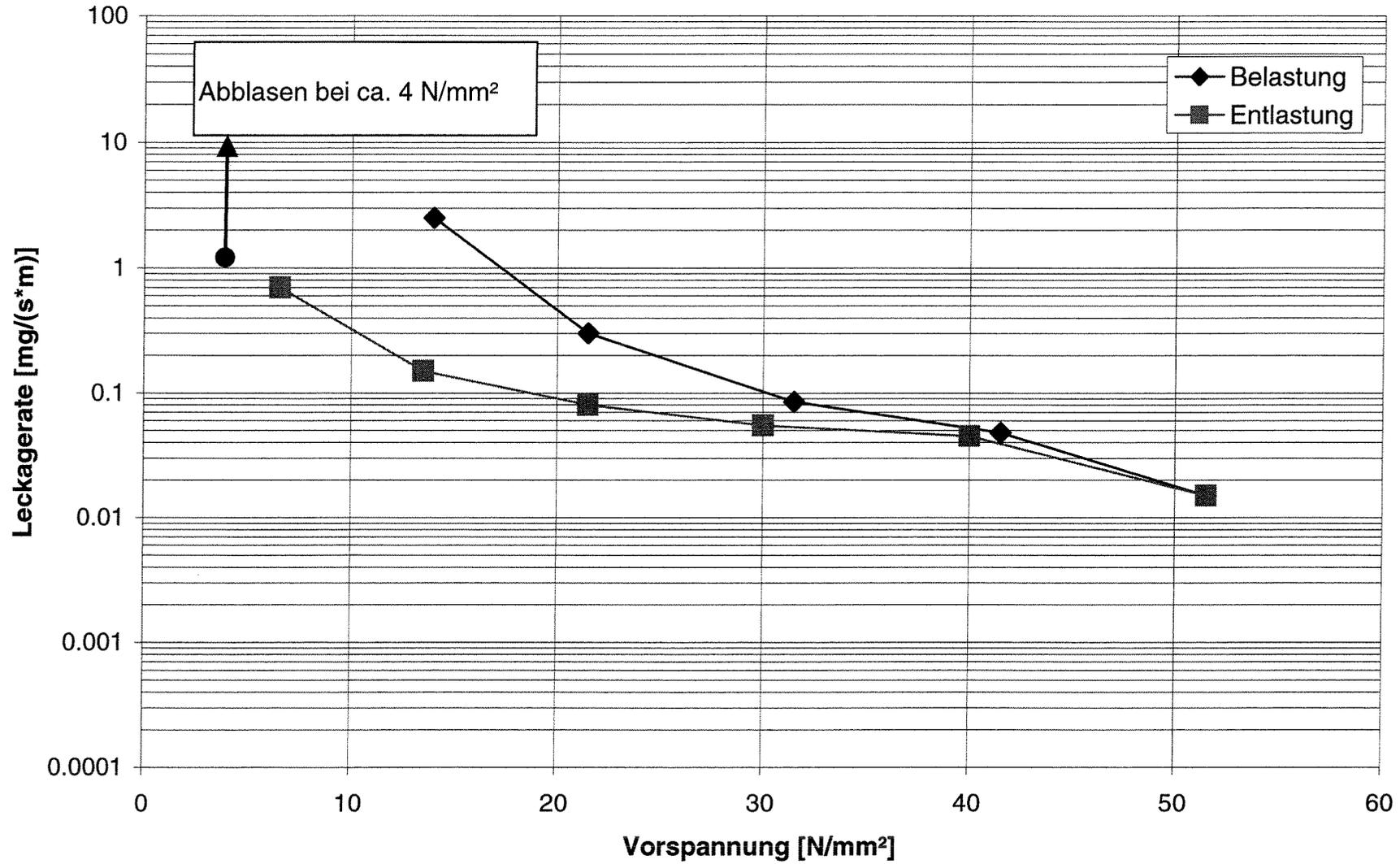
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 40 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2

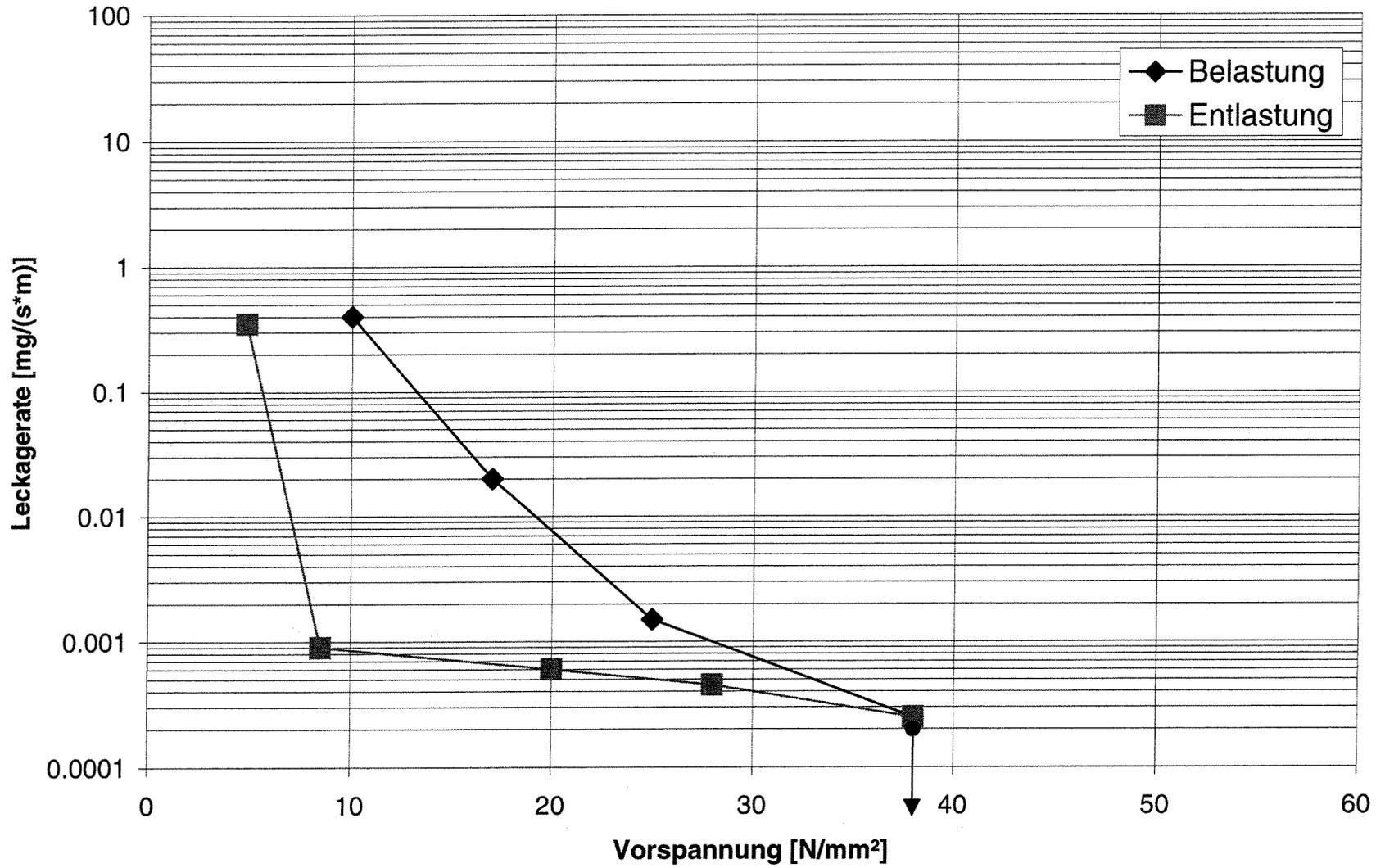


Ringe: Ø40xØ56x8

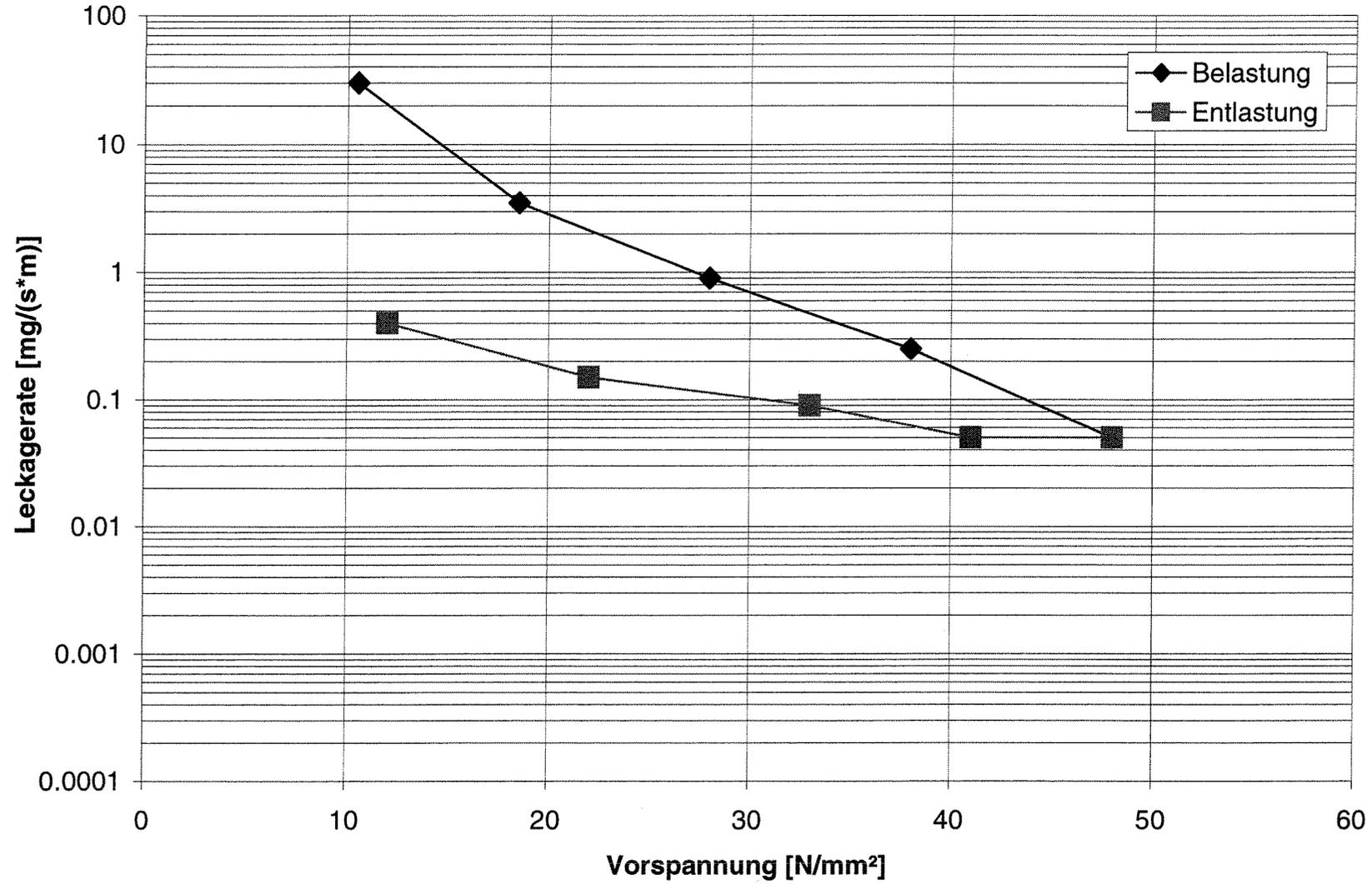
### Leckageraten bei einem Prüfdruck von 40 bar bei Raumtemperatur 2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



Ring:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$   
Leckgeraten bei einem Prüfdruck von 40 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-F0-20-00-00-00-M1

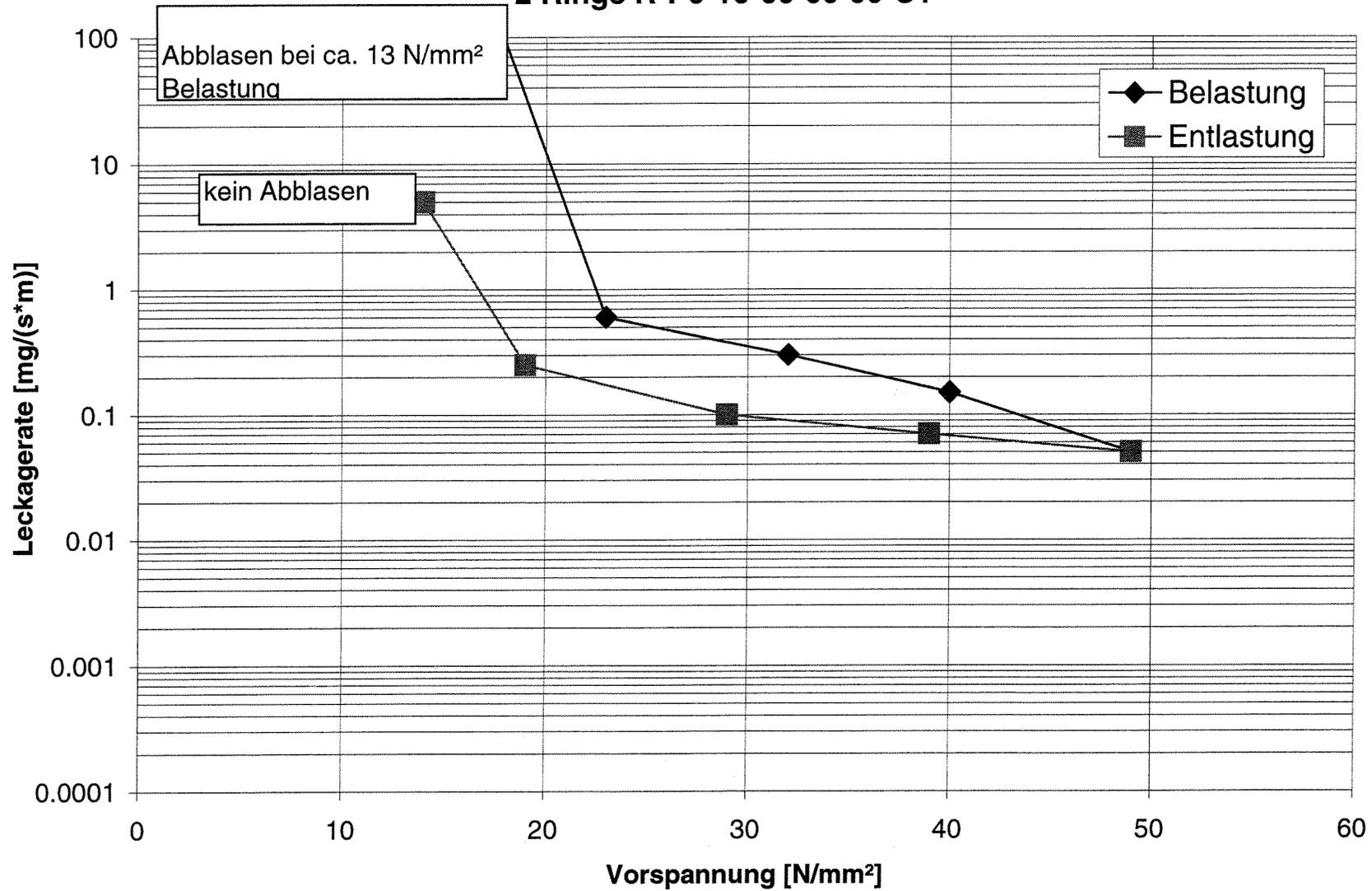


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$   
**Leckageraten bei einem Prüfdruck von 40 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-F0-30-00-00-M2**



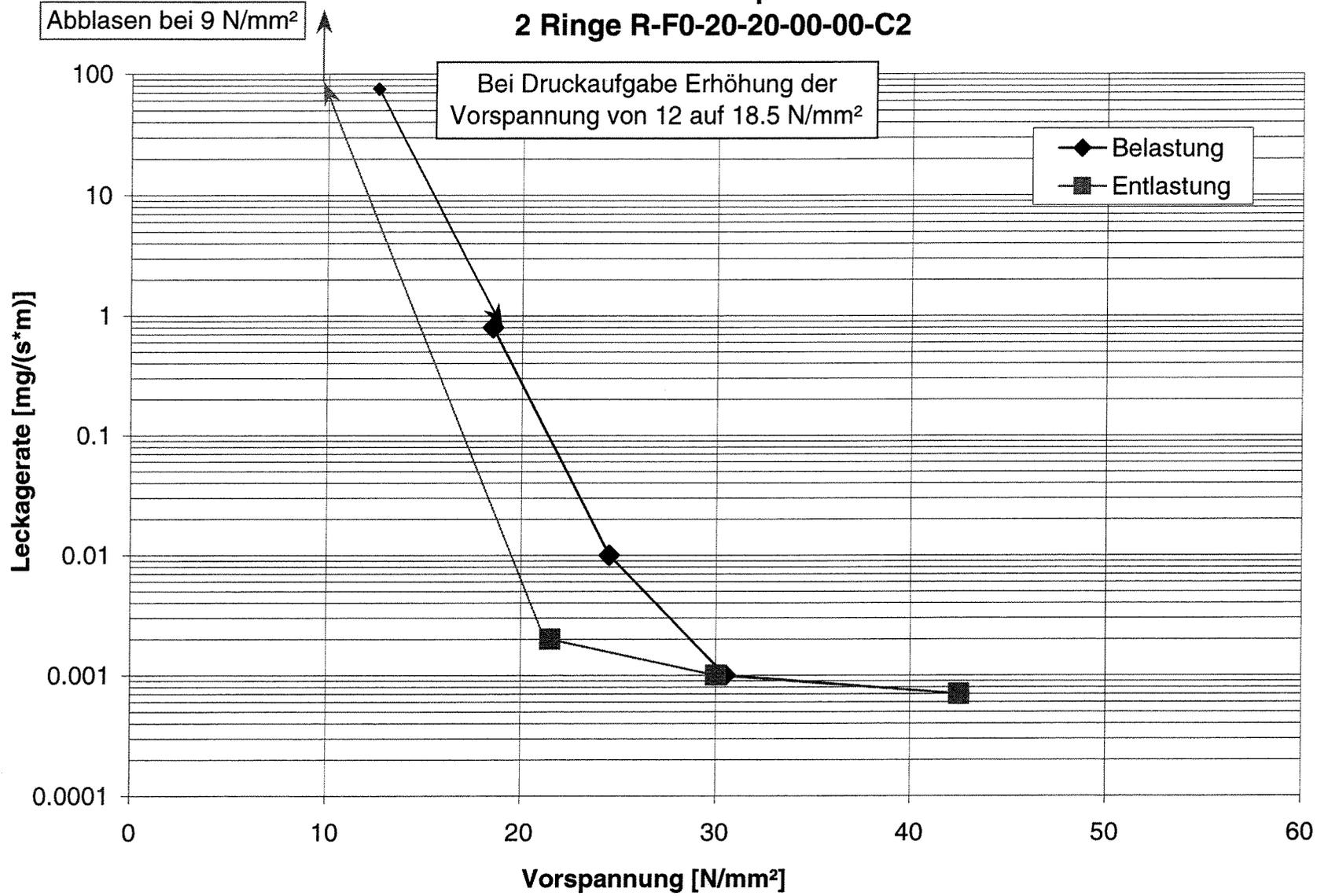
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 145 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



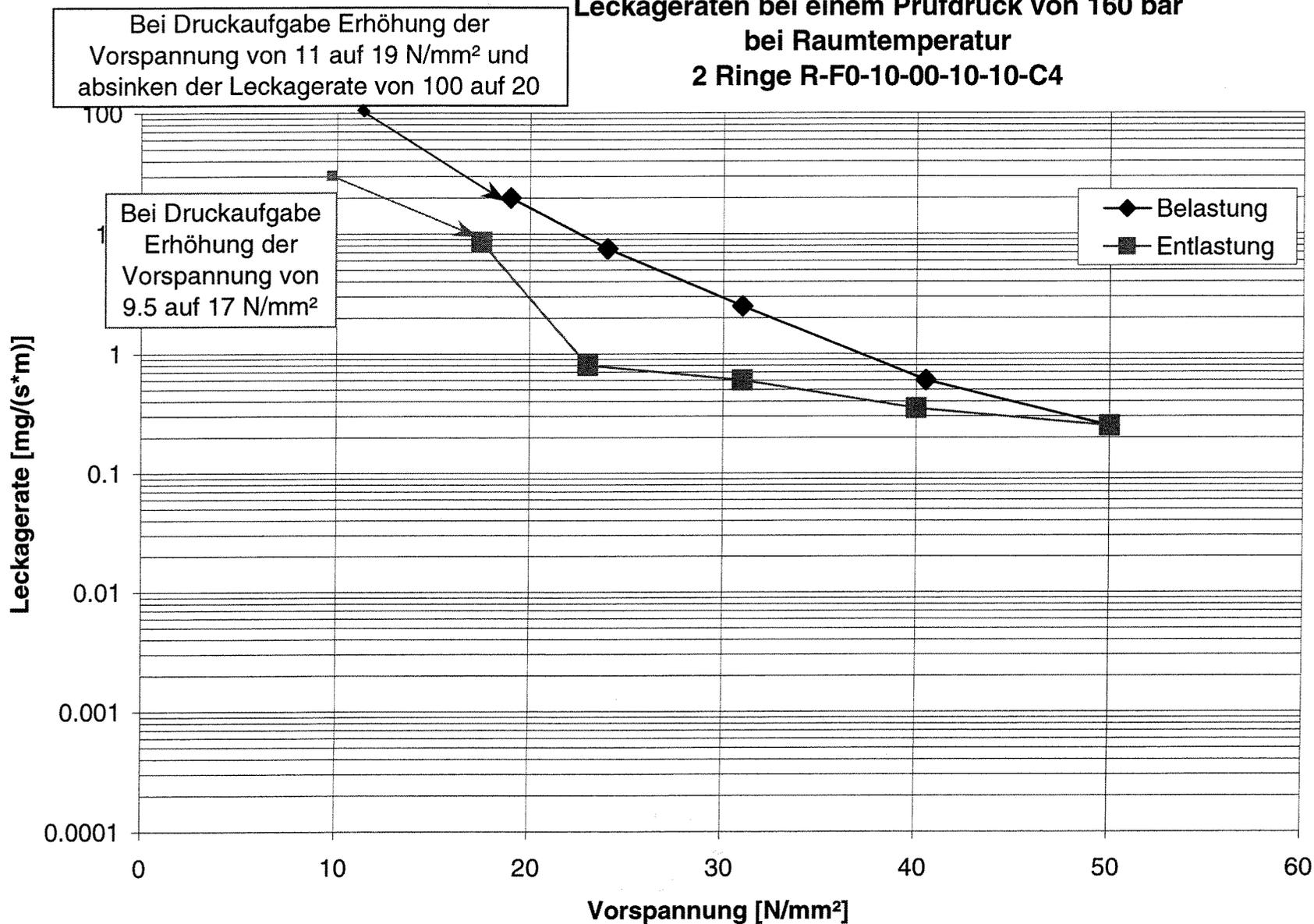
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

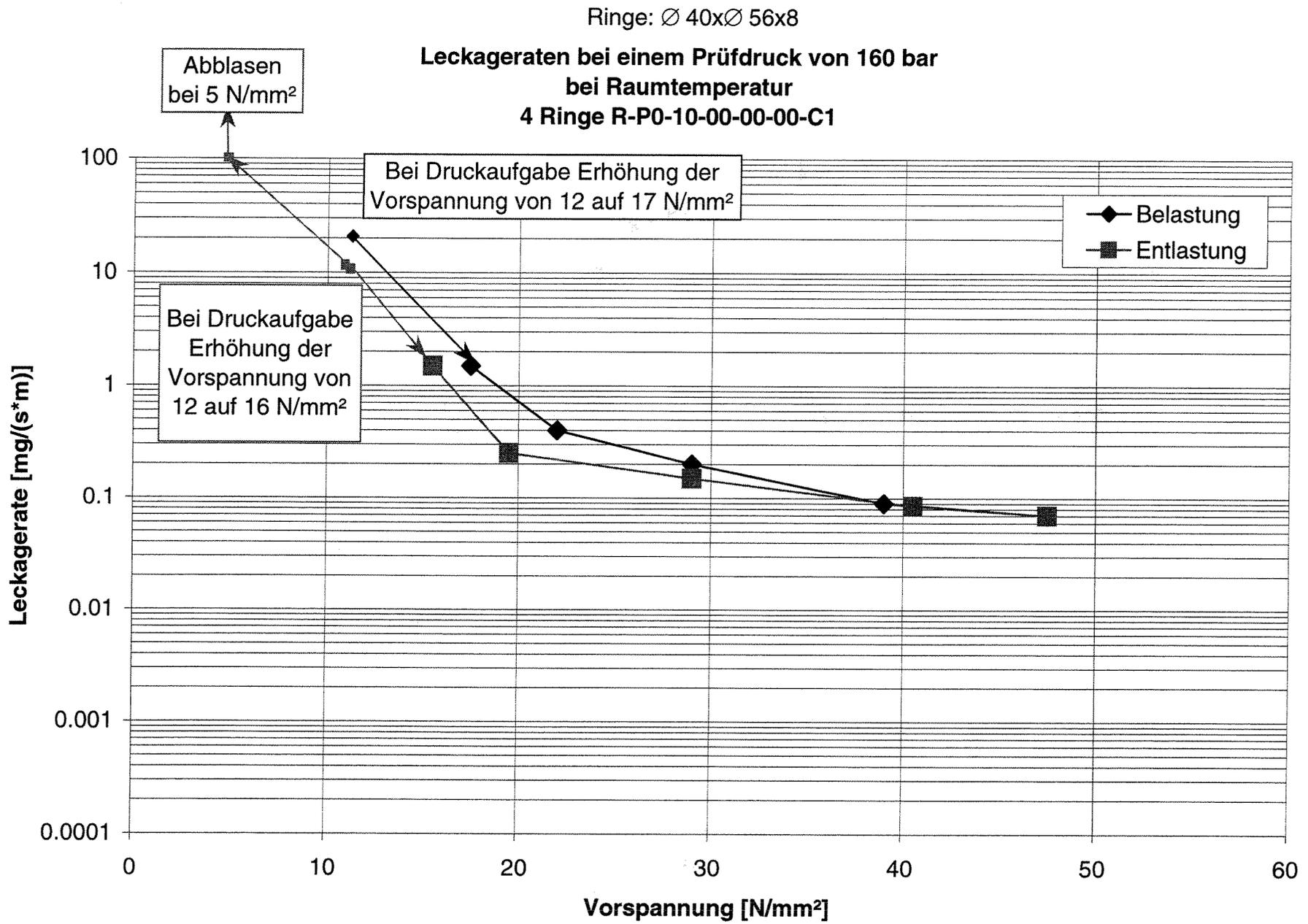
### Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar bei Raumtemperatur 2 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

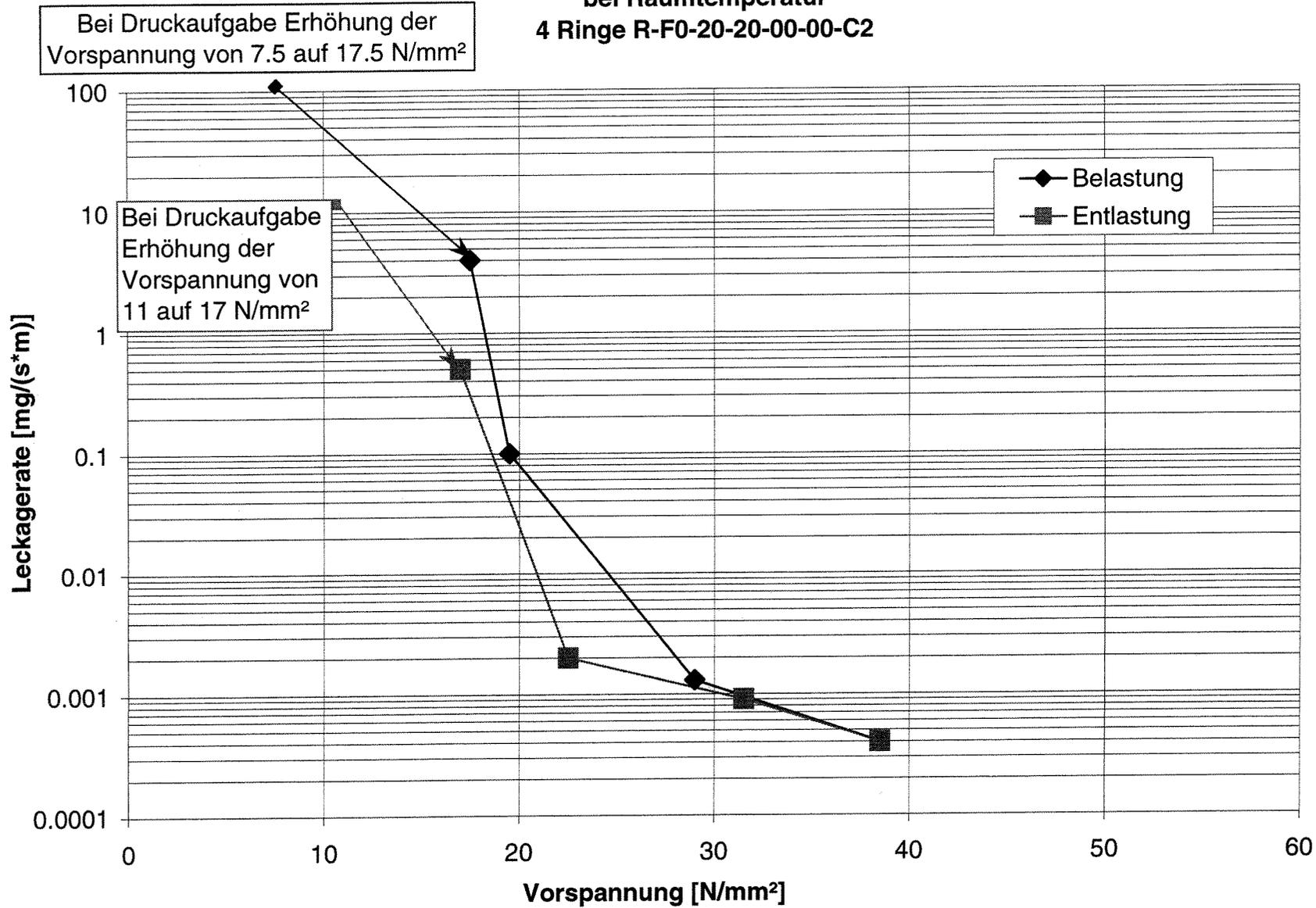
Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4





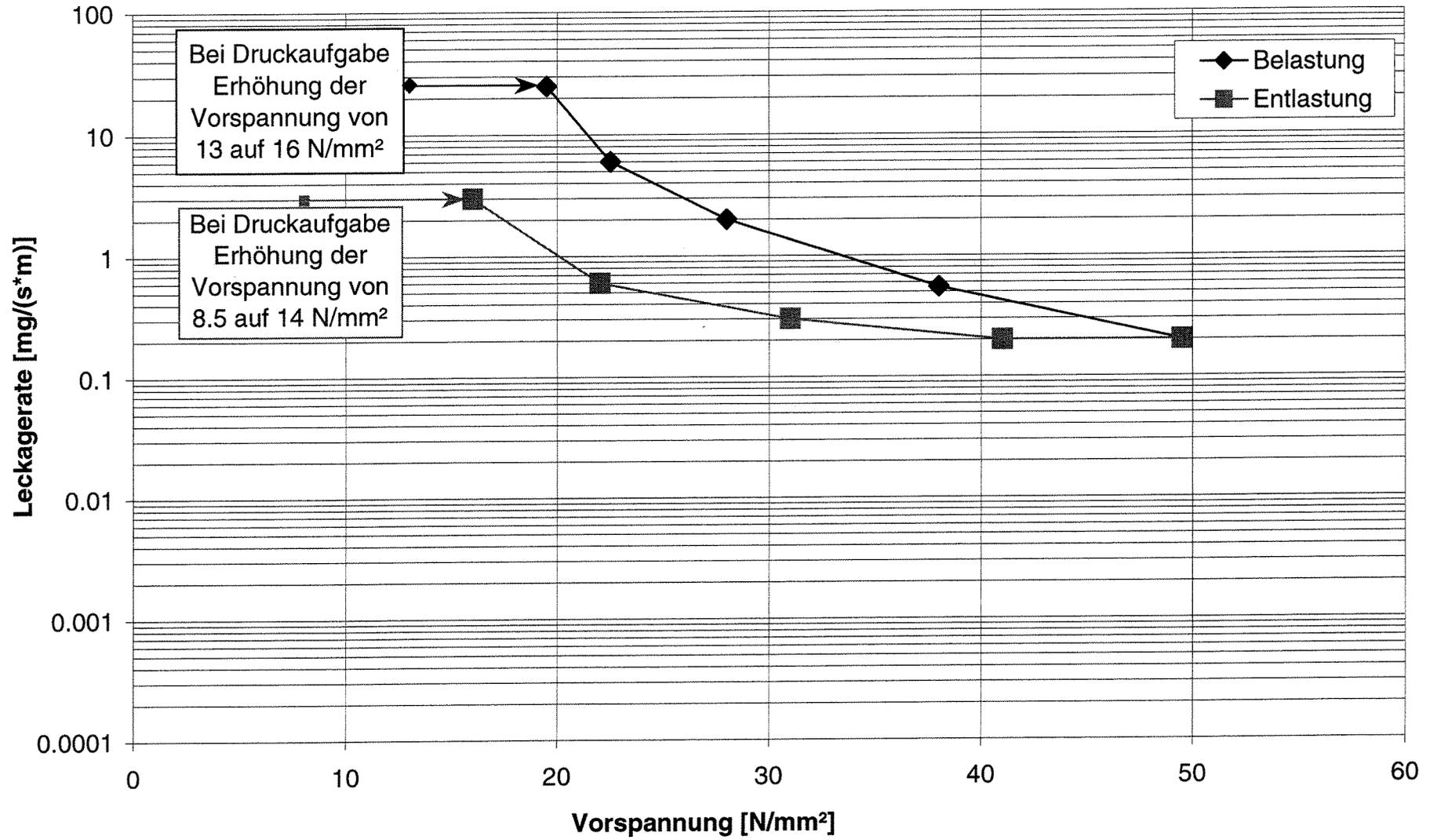
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



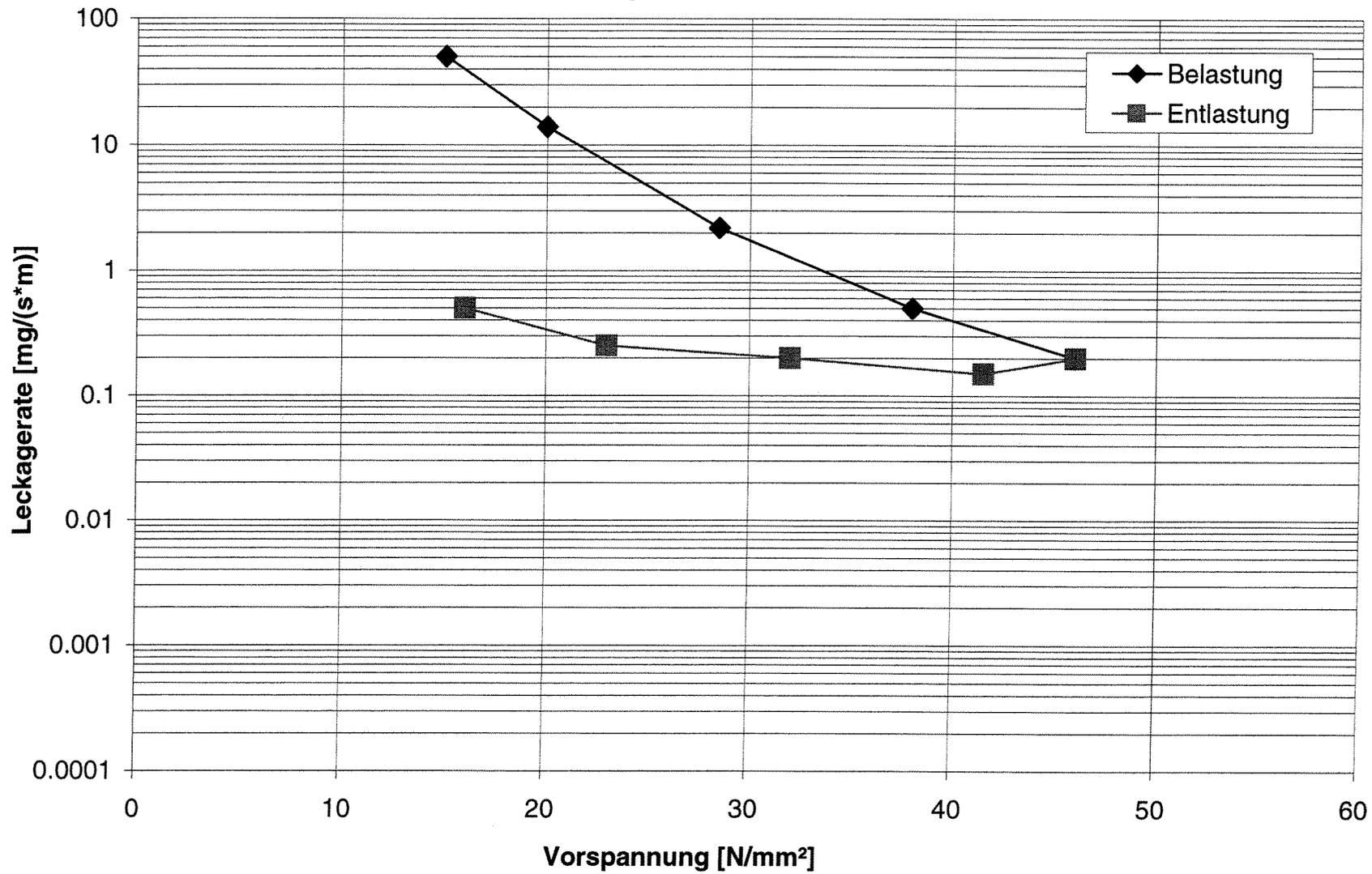
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckgeraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-F0-10-00-10-10-C4



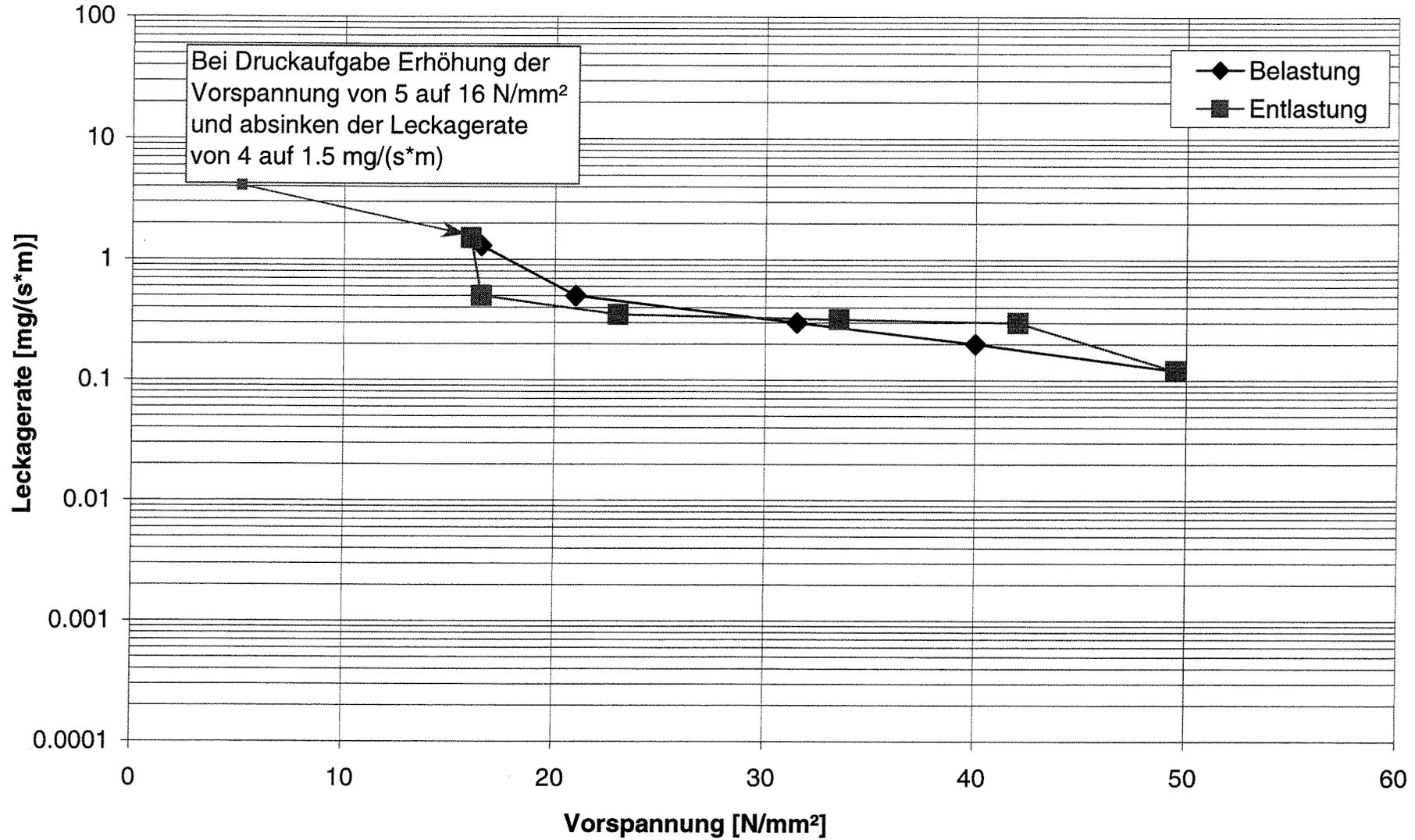
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 120 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-F0-30-00-00-00-M2

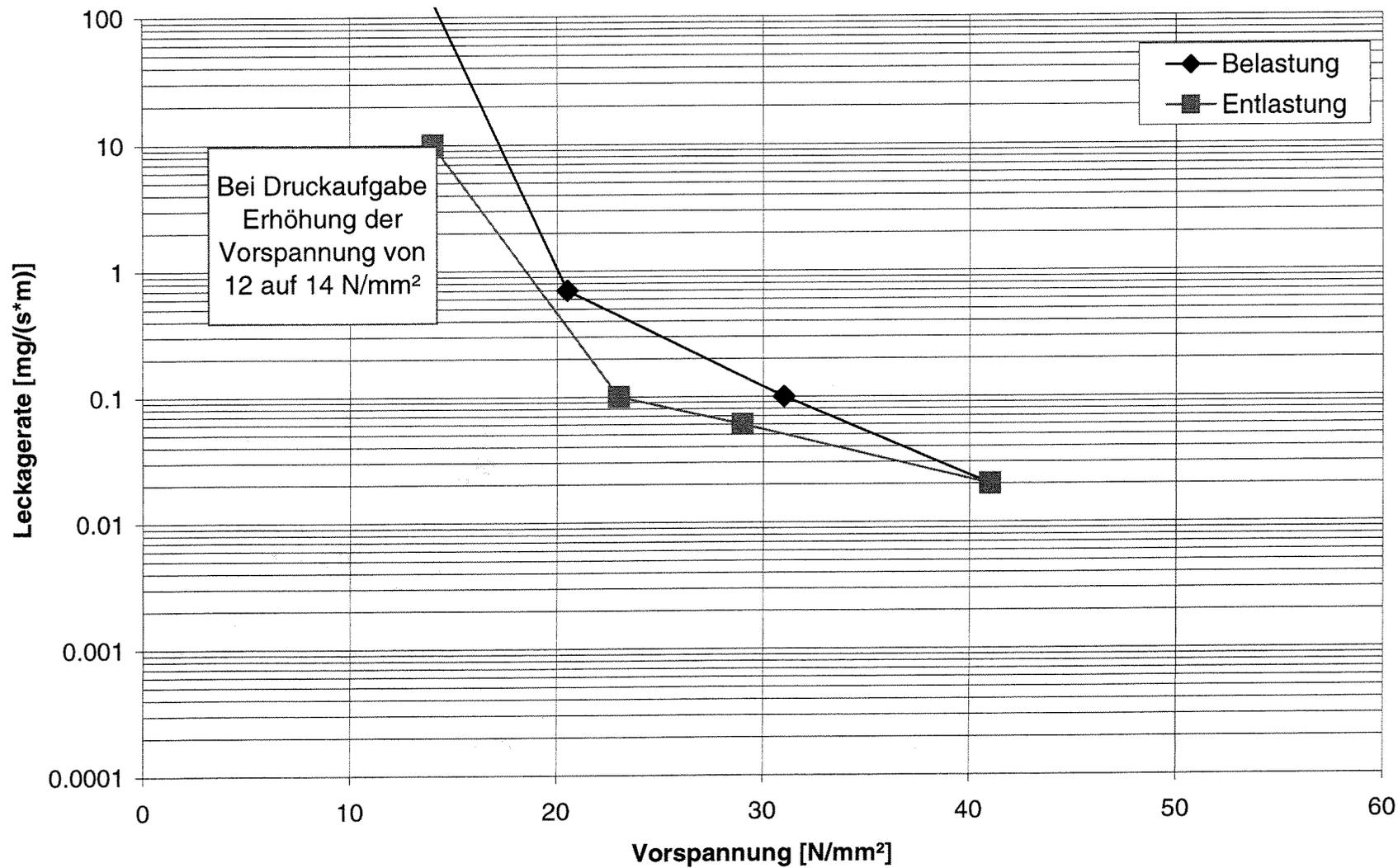


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

**Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
5 Ringe (2 x R-F0-10-00-10-10-C4 und 3 x R-P0-10-00-00-00-C1)**

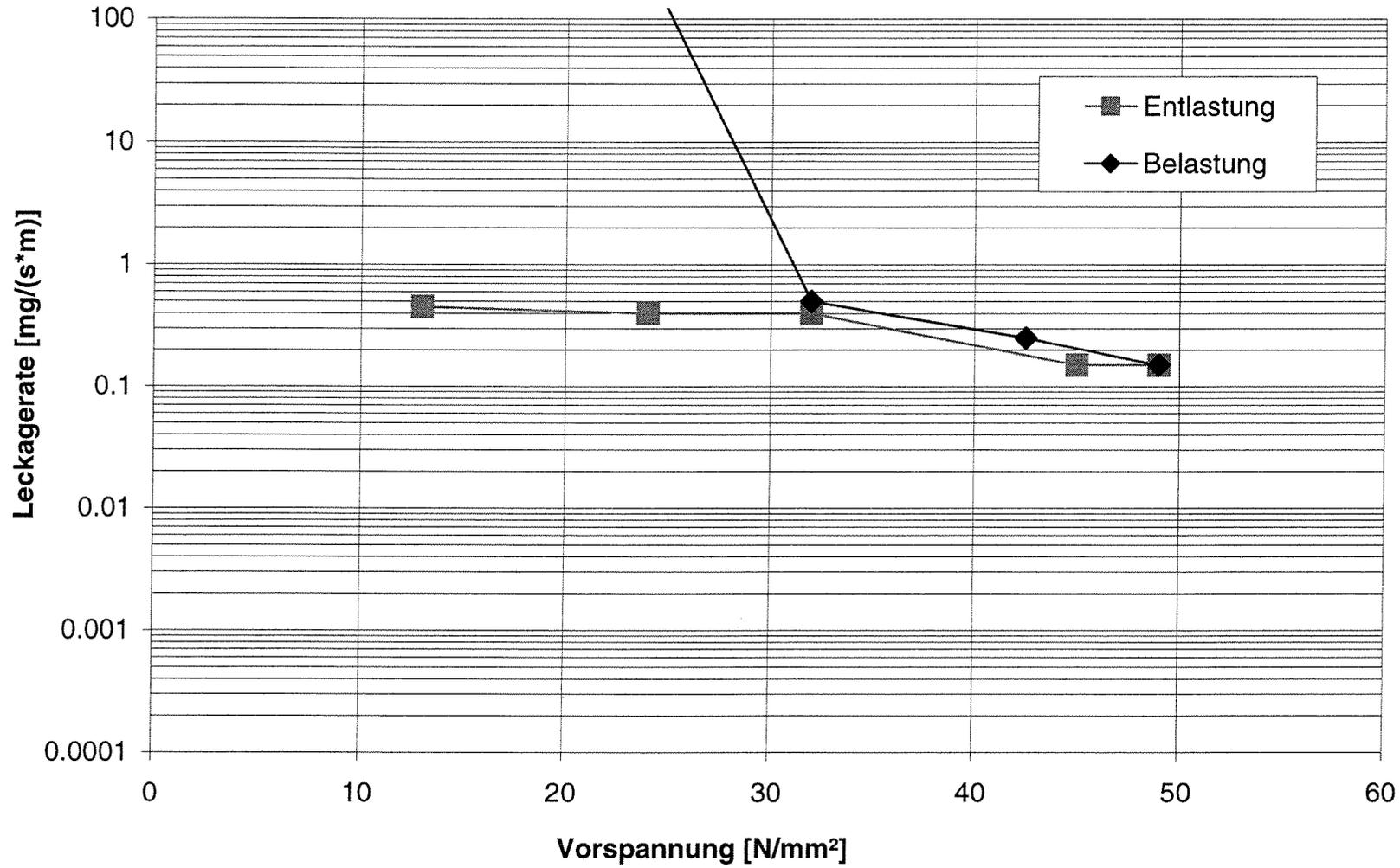


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$  mm  
Leckageraten bei einem Prüfdruck von 150 bar  
bei Raumtemperatur  
1 Packung R-P0-10-00-10-30-T1



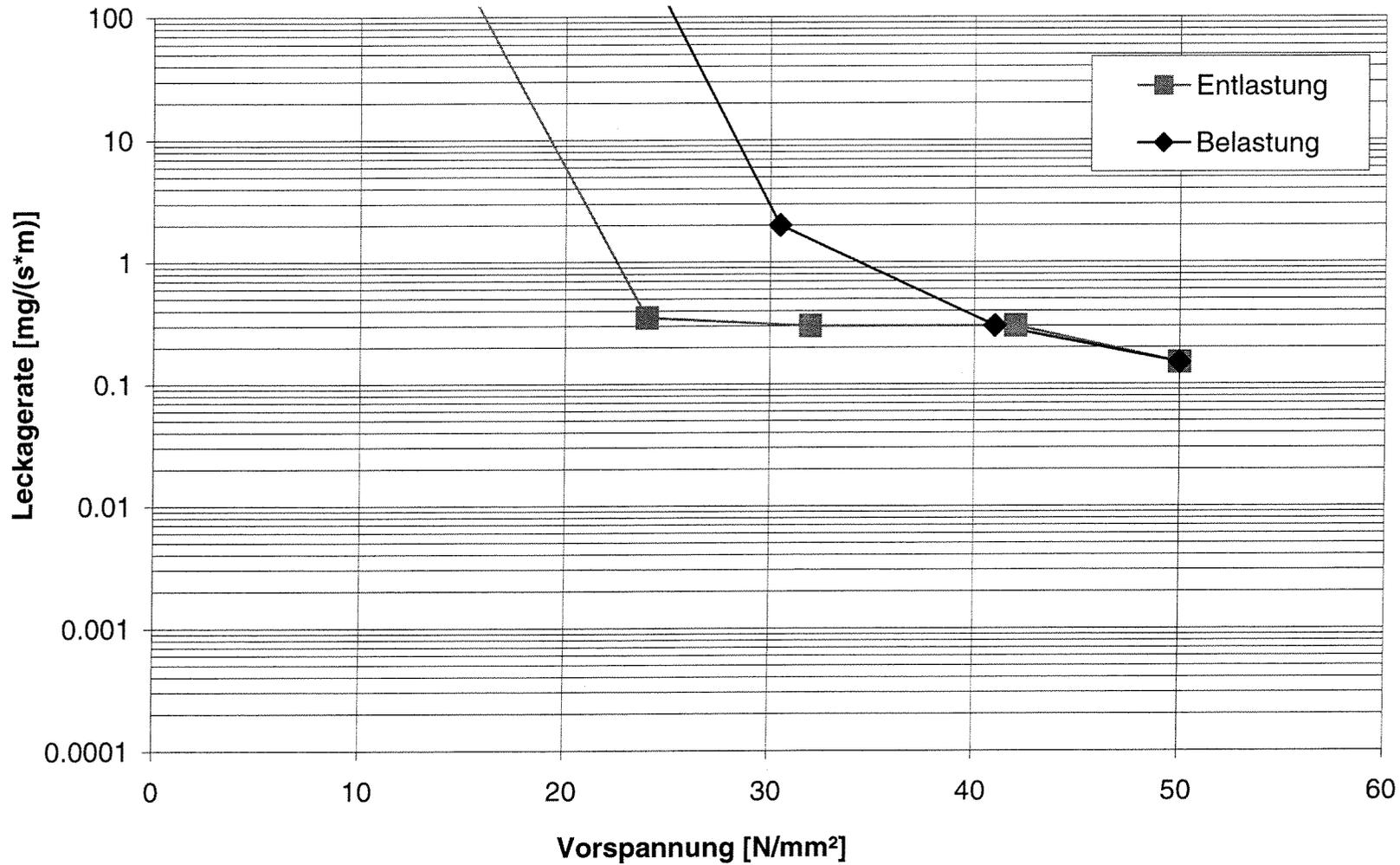
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindeldurchmesser  $\varnothing 39,6$  mm



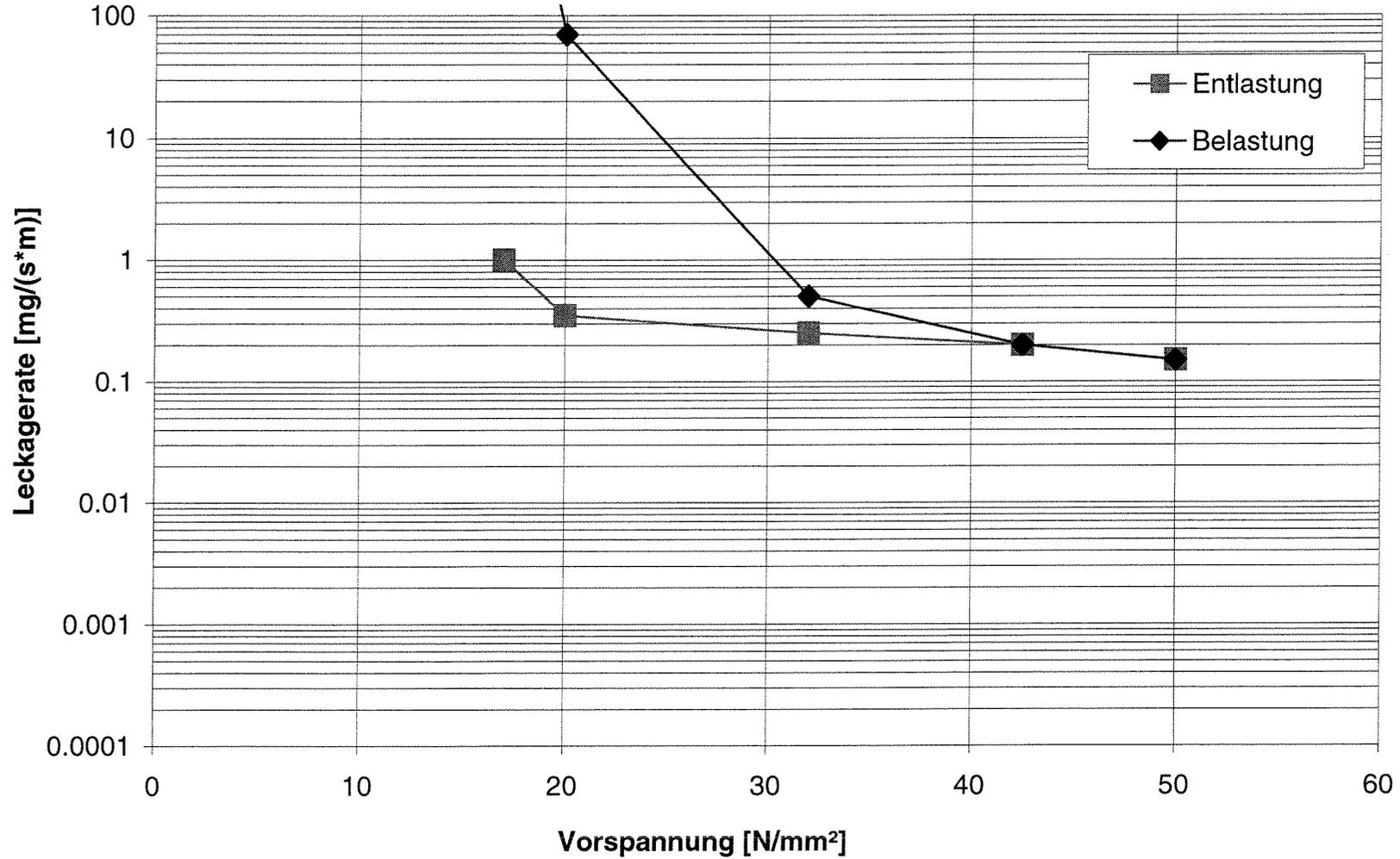
Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindeldurchmesser  $\varnothing 39,2$  mm

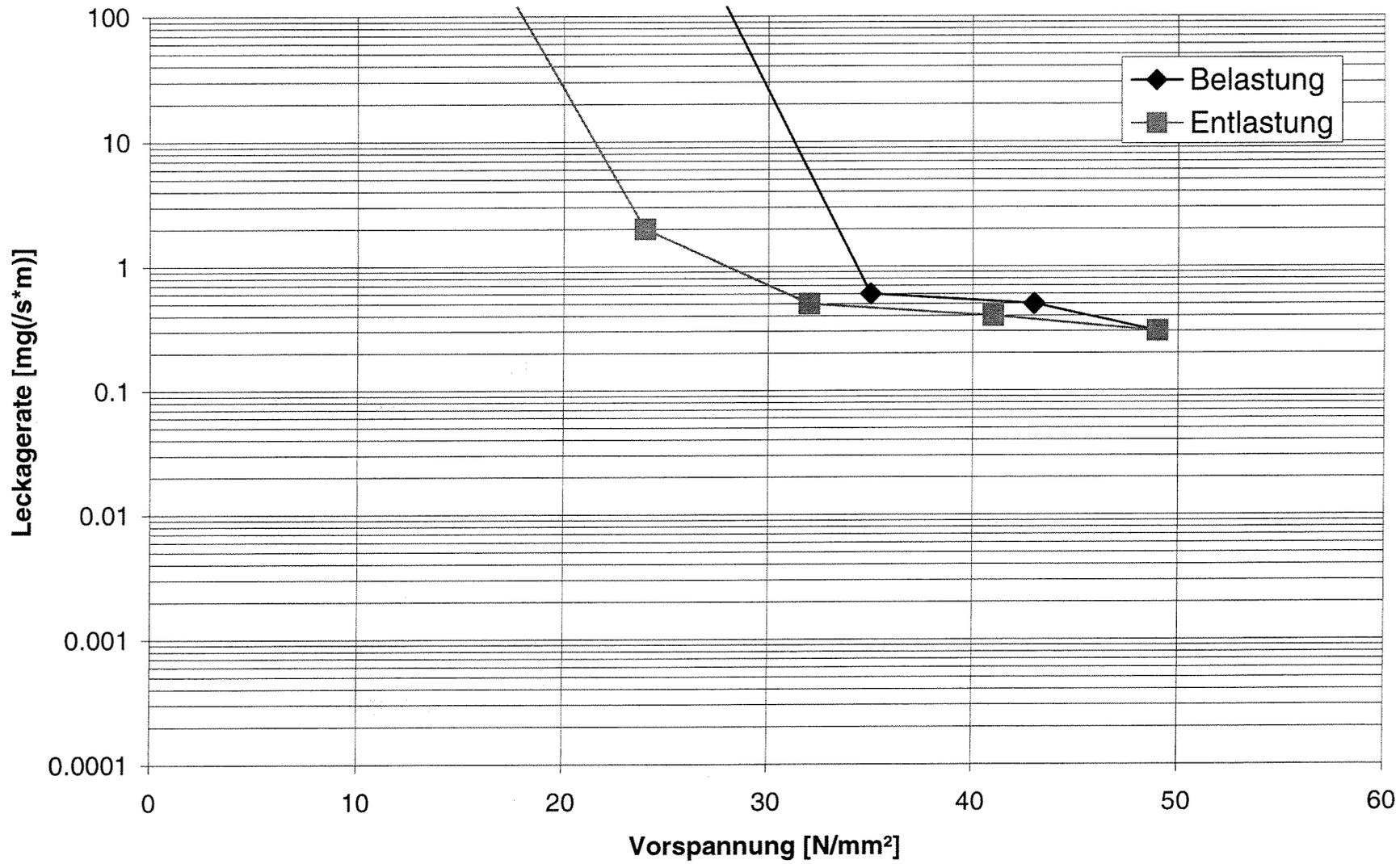


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

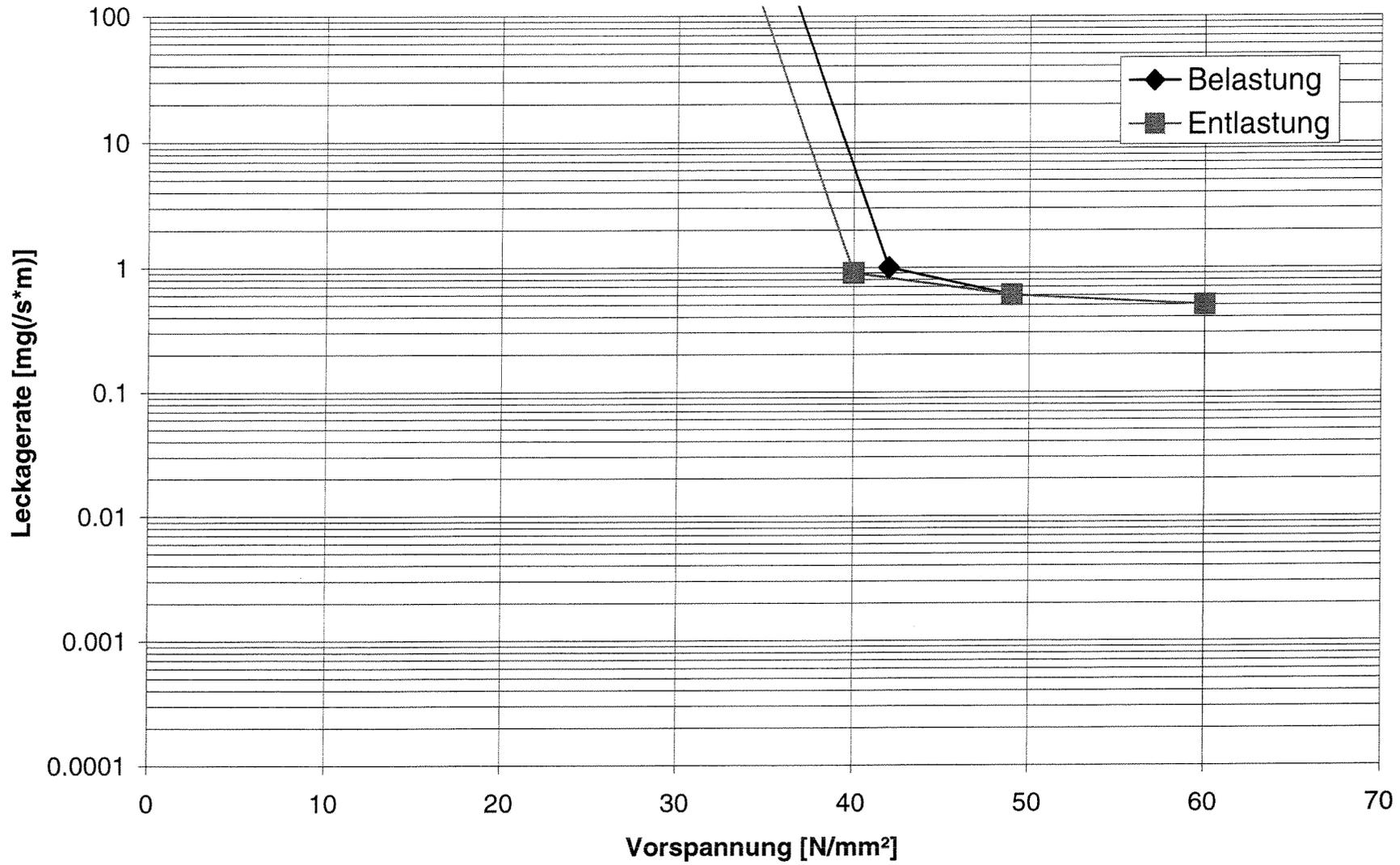
Leckageraten bei einem Prüfdruck von 160 bar  
bei Raumtemperatur  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindeldurchmesser  $\varnothing 40$  mm / Oberflächenrauigkeit  $R_z = 25$   $\mu\text{m}$



Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$   
Leckageraten bei einem Prüfdruck von 265 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1

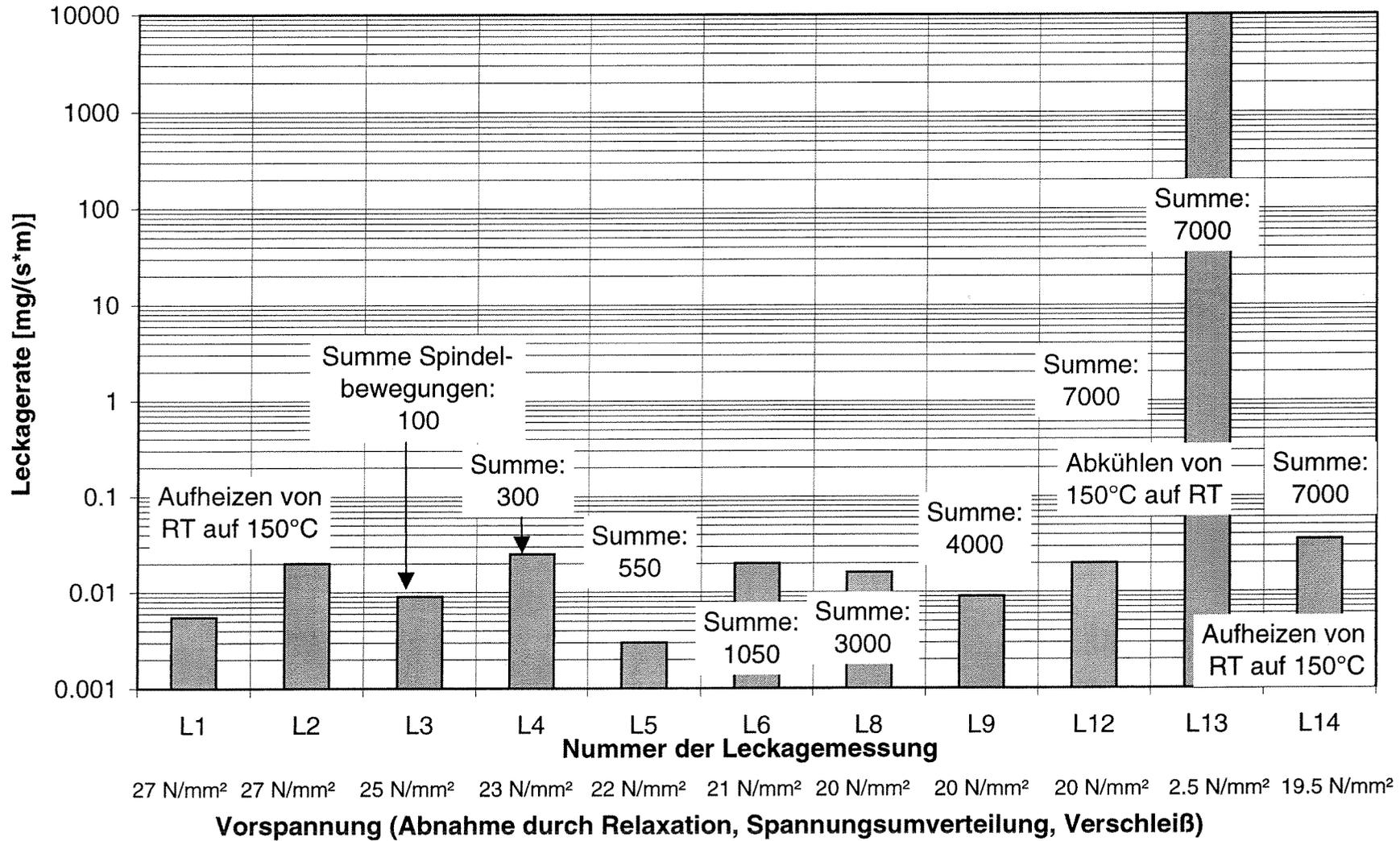


Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$   
Leckgeraten bei einem Prüfdruck von 370 bar  
bei Raumtemperatur  
2 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1

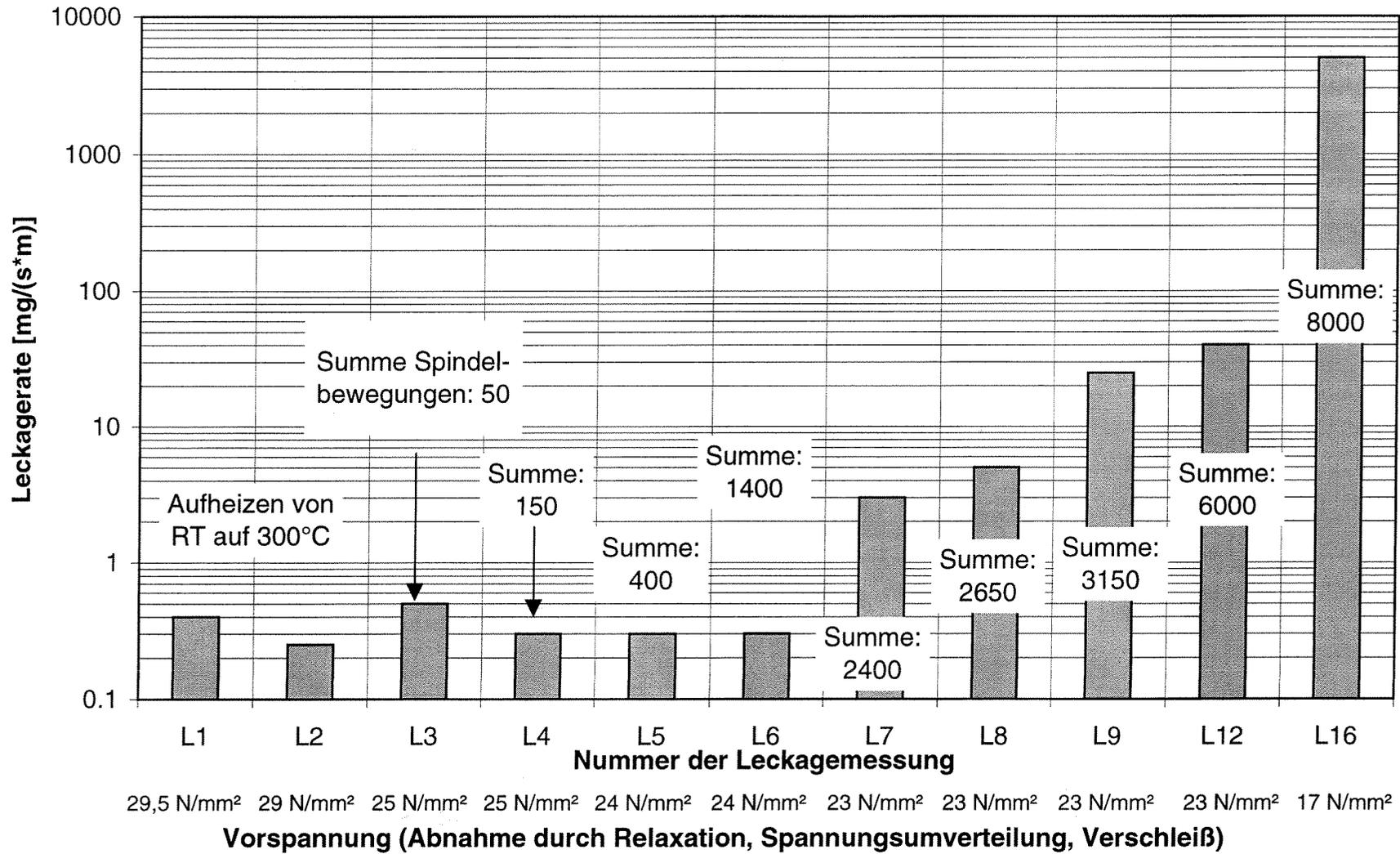


## 2.4 Langzeit-Reib- und Leckageversuche

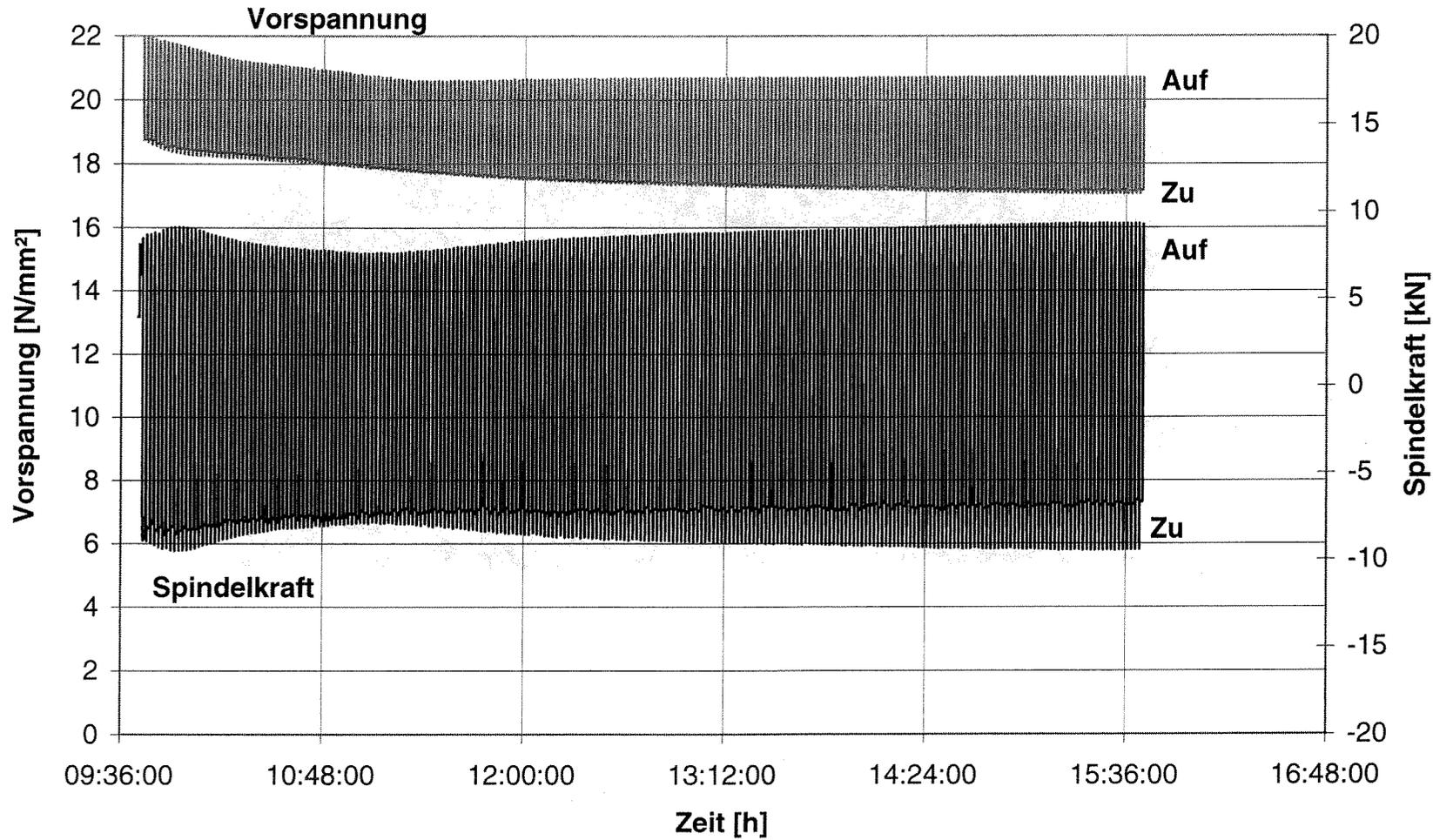
**Einfluß von Spindelbewegungen auf das Abdichtverhalten  
2 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2 + 2 Ringe R-F0-50-00-00-00-C3  
Innendruck 160 bar, Temperatur 150 °C**



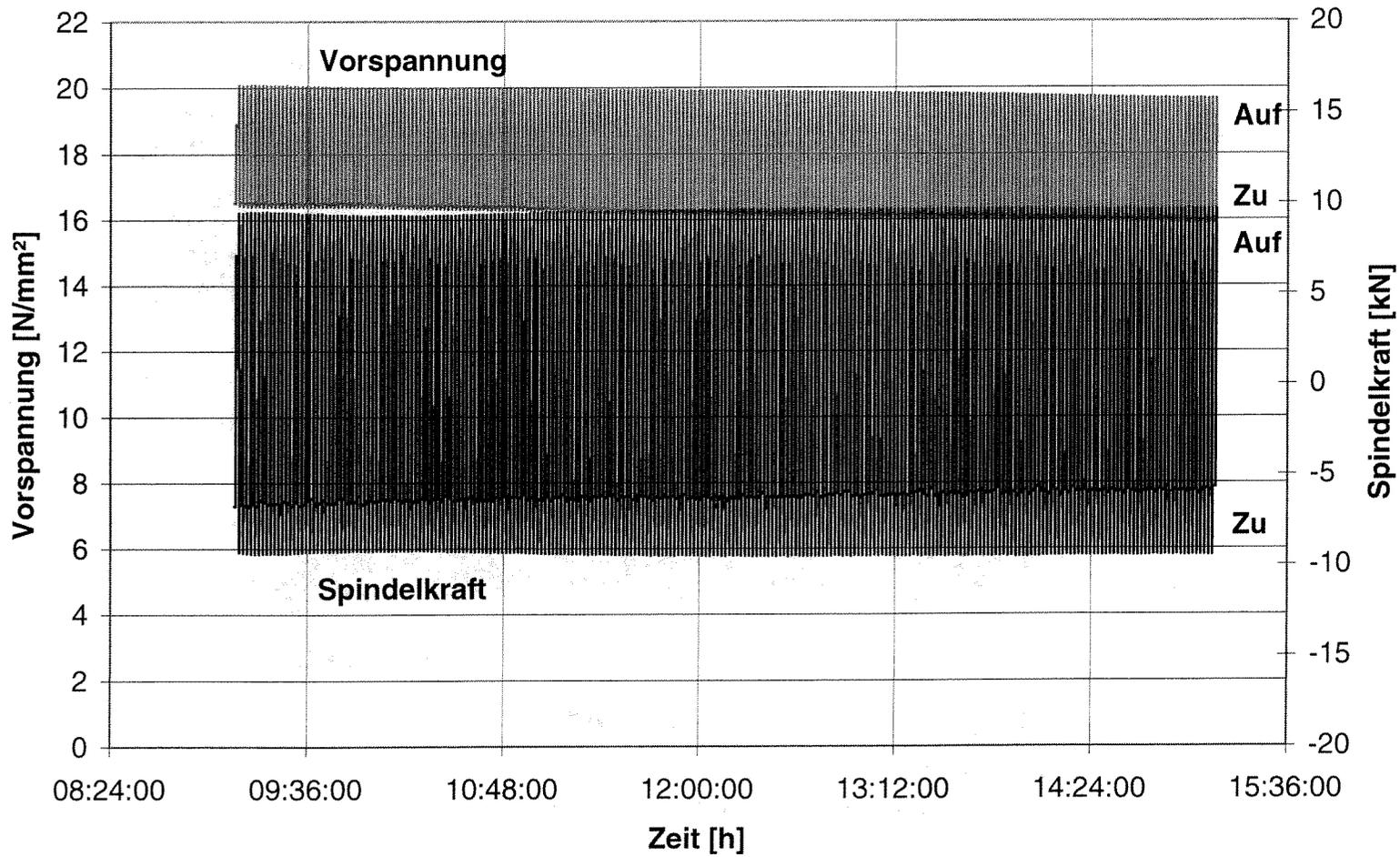
Einfluß von Spindelbewegungen auf das Abdichtverhalten  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Innendruck 160 bar, Temperatur 300 °C



Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelbewegung Nr. 1-250 bei RT

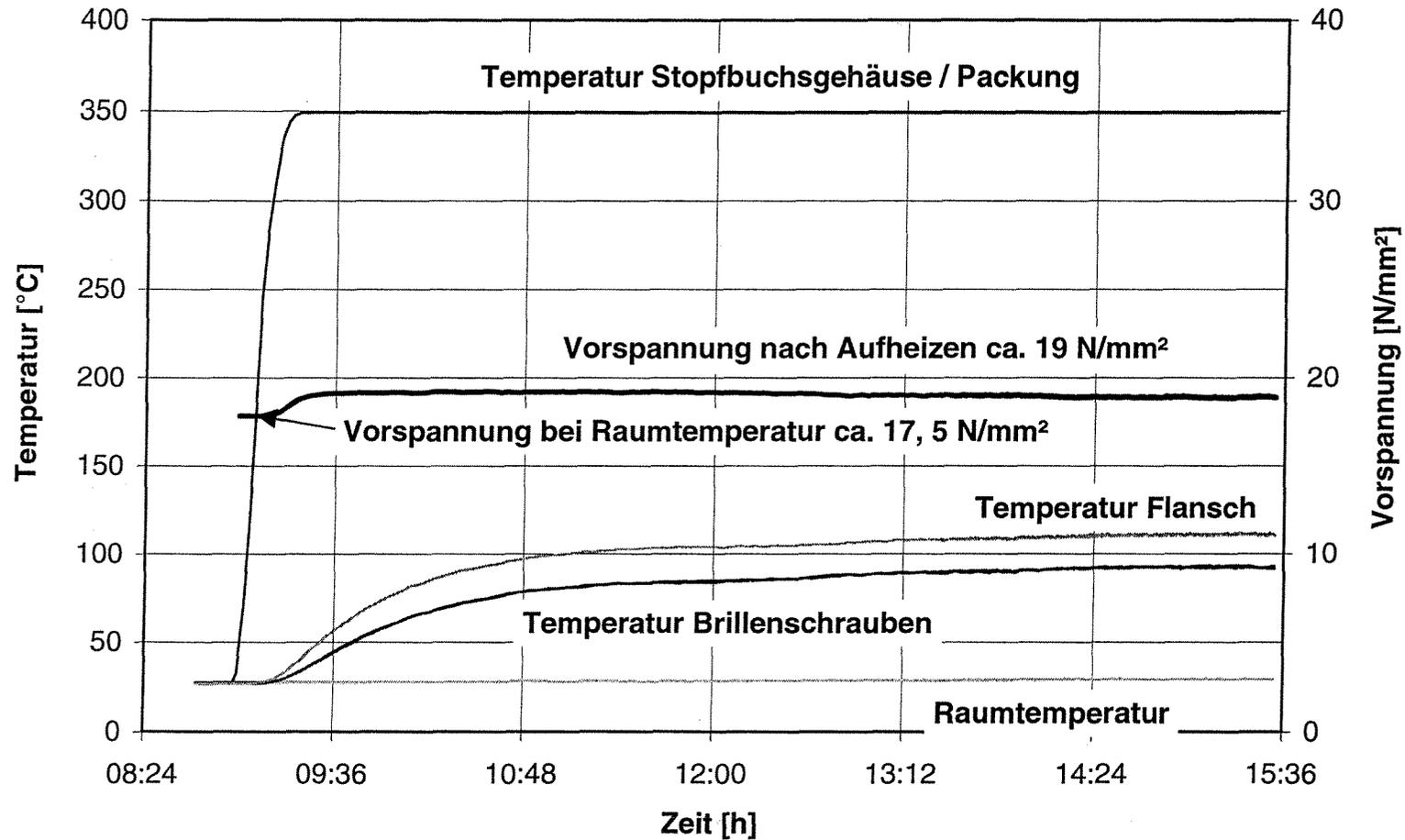


Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Spindelkraft  
4 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1  
Spindelbewegung Nr. 251-500 bei RT



## 2.5 Wärmespannungen

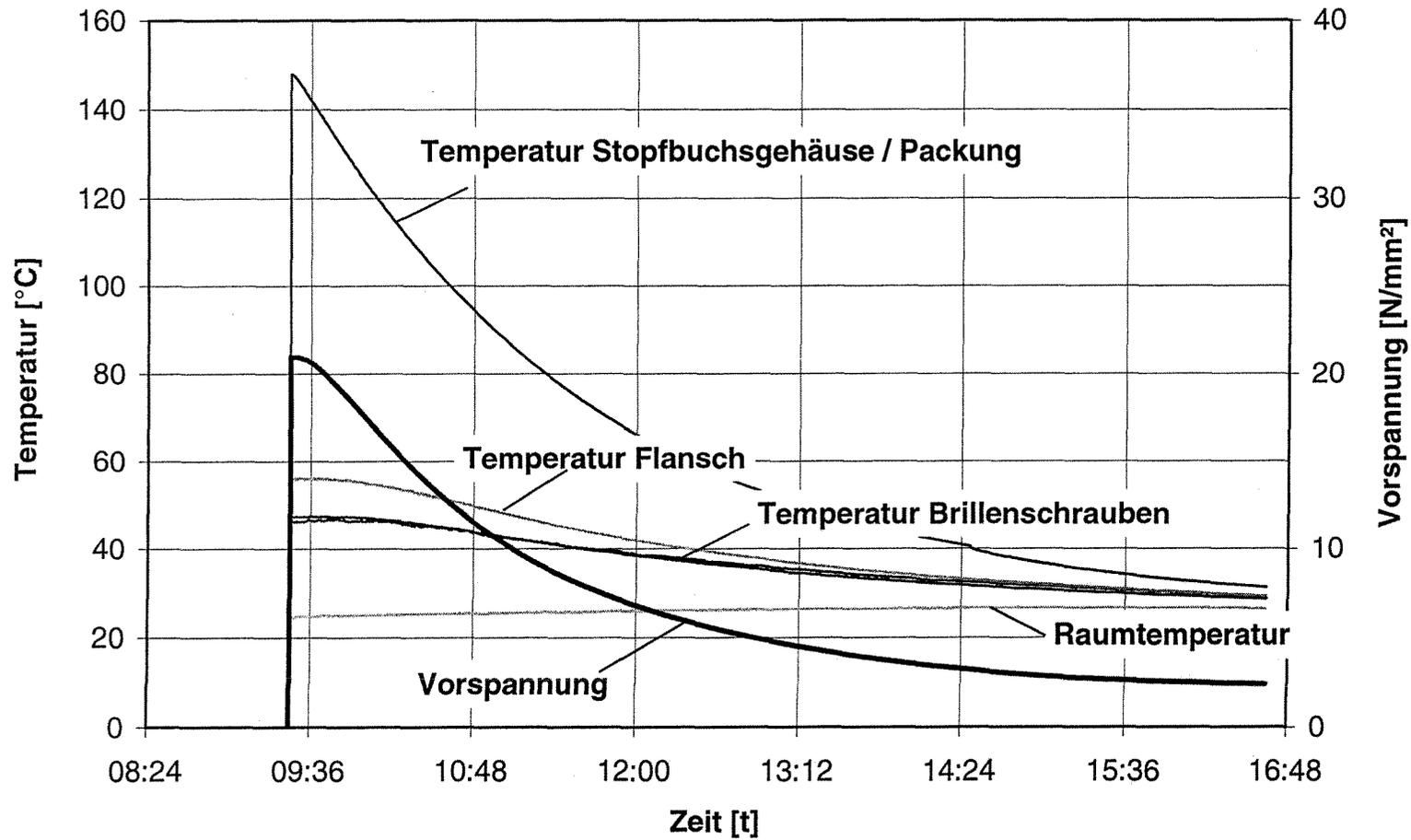
Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Temperatur an ausgewählten Meßstellen des  
Versuchsstandes beim Aufheizen einer Packung von RT auf 350 °C  
3 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe: Ø40xØ56x8

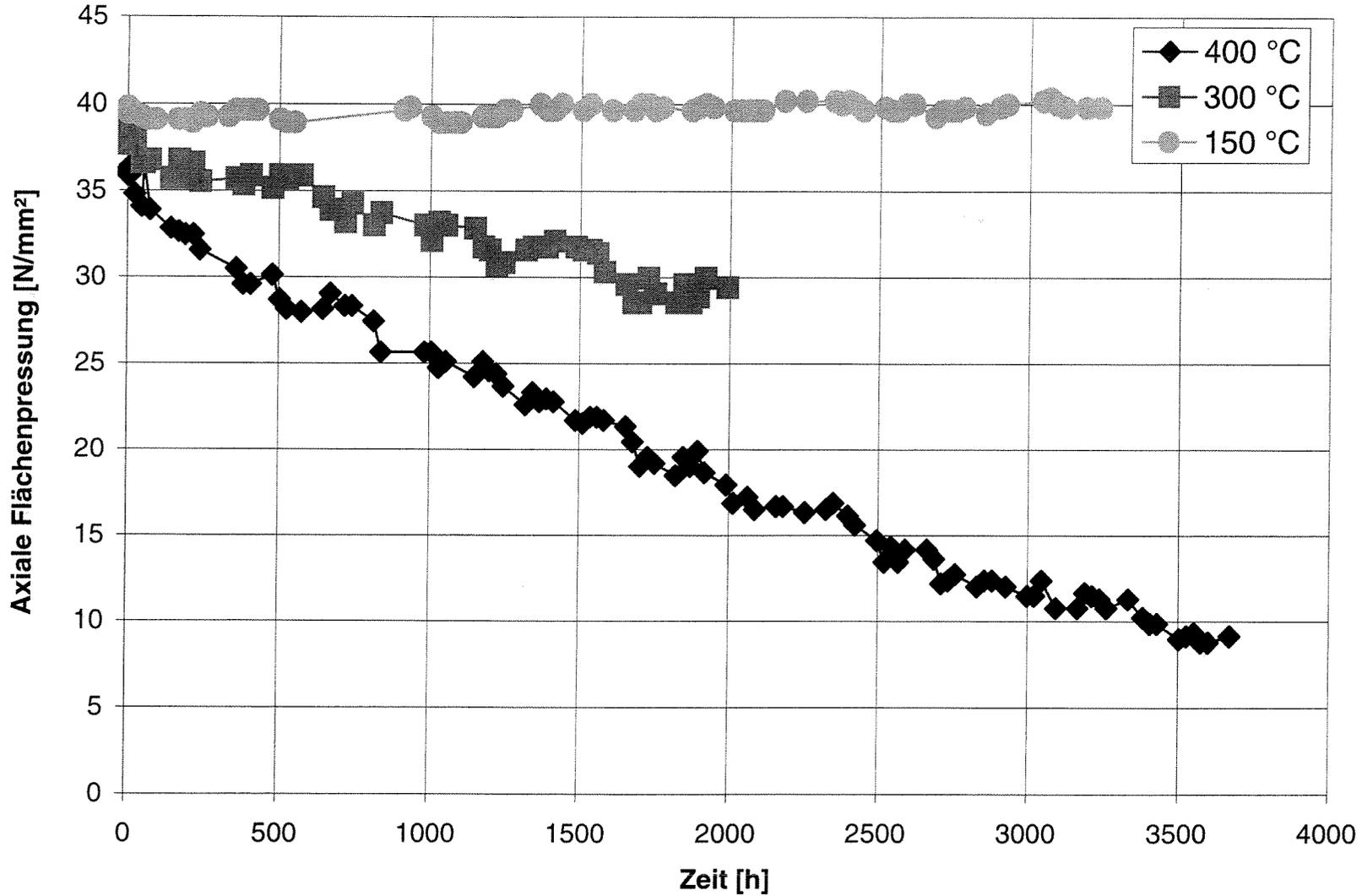
**Zeitlicher Verlauf der Vorspannung und der Temperatur an ausgewählten Meßstellen des  
Versuchsstandes beim Abkühlen einer Packung von 150 °C auf RT  
2 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2 + 2 Ringe R-F0-50-20-00-00-C3**



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

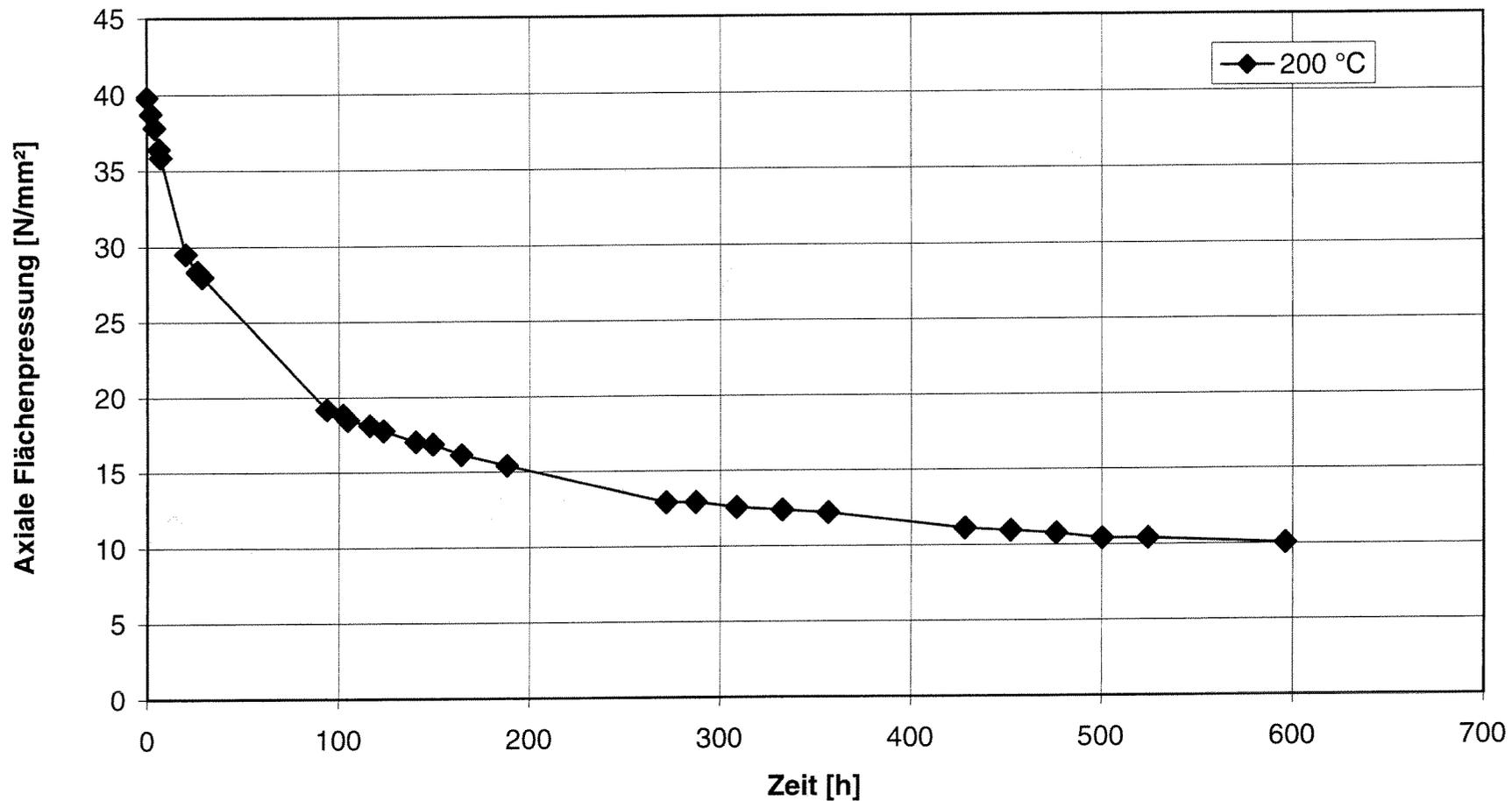
### 3 Relaxationsversuchsstand

Relaxation einer mit 40 N/mm<sup>2</sup> verspannten Packung  
6 Ringe R-P0-10-00-00-00-C1



Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

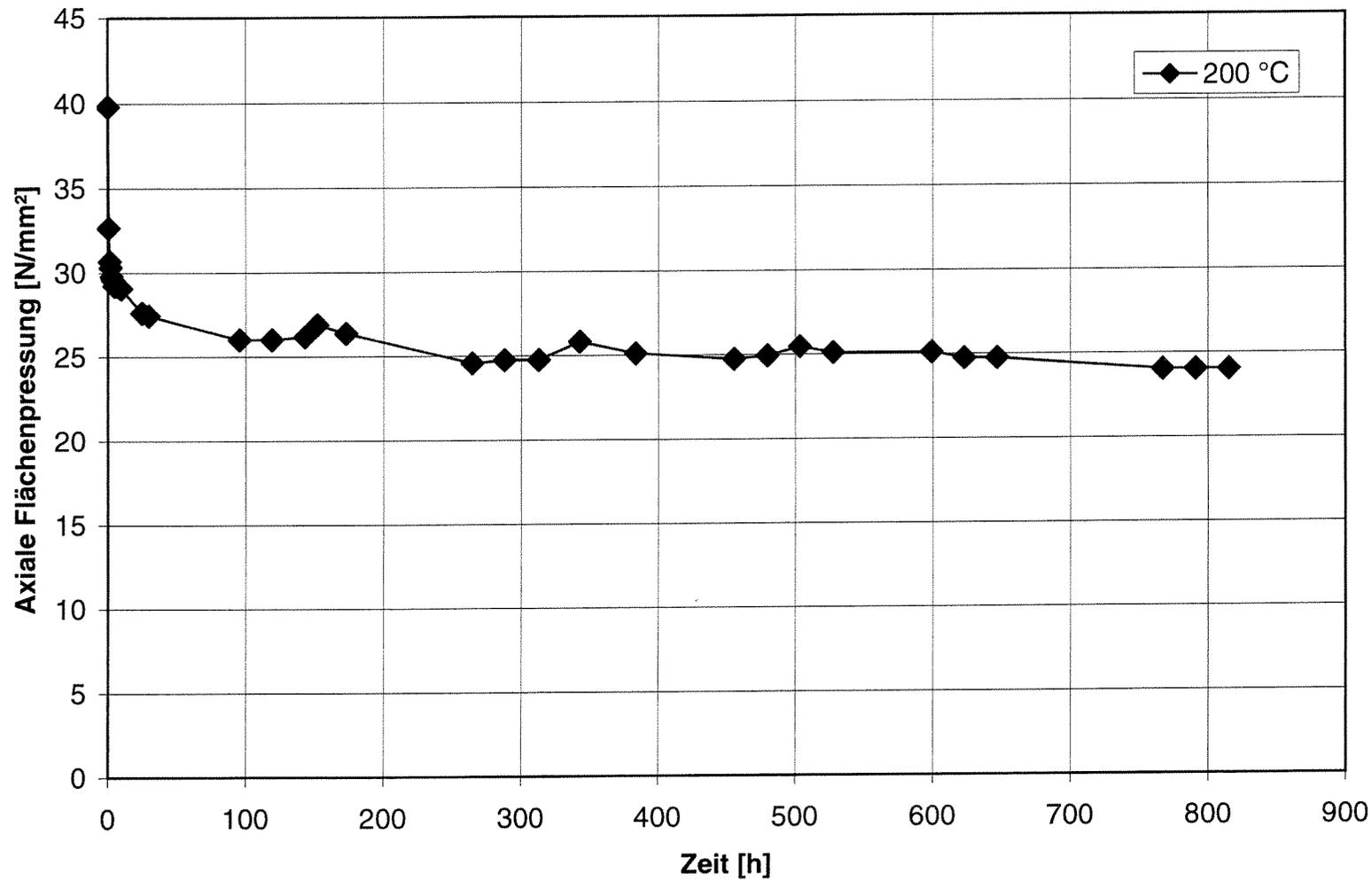
### Relaxation einer mit 40 N/mm<sup>2</sup> verspannten Packung 6 Ringe R-F0-20-20-00-00-C2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

Ringe:  $\varnothing 40 \times \varnothing 56 \times 8$

### Relaxation einer mit $40 \text{ N/mm}^2$ verspannten Packung 5 Ringe R-F0-30-00-00-00-M2



Spaltmaß Stopfbuchsgehäuse 0 mm  
Spaltmaß Grundringe 0 mm

## 4 Untersuchungen der HEW

## Reibwerte bezogen auf Brillenkraft Medium Stickstoff und Wasser

