

P 413 299: 103

LBF

**Fraunhofer-Institut
für Betriebsfestigkeit
Darmstadt**

FhG

Technische Mitteilungen

TM Nr. 103/91



EINFLUSS DES VIBRATIONSENTSPANNENS AUF DIE SCHWINGFESTIGKEIT VON
REPARATURGESCHWEISSTEN NÄHTEN IM VERGLEICH ZUM SPANNUNGSARMGLÜHEN

1 EINLEITUNG

Fertigungsinduzierte Zugeigenspannungen, die einerseits zum unerwünschten Bauteilverzug führen und andererseits das Schwingfestigkeitsverhalten eines Bauteils nachteilig beeinflussen können, werden in der Regel durch Spannungsarmglühen abgebaut. Über die mit dem Zugeigenspannungsabbau einhergehende Verbesserung der Schwingfestigkeit wurde bereits an anderer Stelle berichtet [1]. Da das Spannungsarmglühen größerer Bauteile aber relativ zeitaufwendig und teuer ist, und da sich bei der Wärmebehandlung außer der Verzunderung der Bauteiloberfläche abermals ein Bauteilverzug einstellen kann, wird auch das Verfahren des Vibrationsentspannens eingesetzt [2,3,4]. Es stellt sich die Frage, ob mit diesem Verfahren die Schweißigenspannungen so weit verringert werden können, daß das Schwingfestigkeitsverhalten geschweißter Konstruktionen dadurch merklich verbessert wird. Im Rahmen eines von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) geförderten Forschungsvorhabens, das als Gemeinschaftsarbeit der Technischen Universität Delft (Niederlande) mit dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit durchgeführt wurde [5], sollte daher geklärt werden, ob das Verfahren des Vibrationsentspannens das Spannungsarmglühen ersetzen kann.

ETH-Bibliothek



EM000006461307

2 WERKSTOFFE, PROBENFORMEN UND NACHBEHANDLUNGEN

Die vom LBF untersuchten T-Stöße wurden aus dem Werkstoff St E 690 gefertigt, während die gekreuzten Längssteifen für die TU Delft aus St 52-3 hergestellt wurden, Blatt 1. Durch die Wahl von Werkstoffen mit hohen Streckgrenzen war gewährleistet, daß sich in den Proben hohe Eigenspannungen ausbilden konnten. Zur gezielten Einbringung von Zug-eigenspannungen im Nahtbereich wurde bei den T-Stößen aus St E 690 zusätzlich eine Reparaturschweißung simuliert. Hierzu wurde durch Fräsen eine Nut in die Schweißnaht eingebracht. Anschließend wurde die Probe fest eingespannt und die Nut wurde unter dieser äußeren Verspannung wieder zugeschweißt. So war gewährleistet, daß nach der Abkühlung im Bereich der Schweißnaht auf jeden Fall die höchsten Eigenspannungen vorlagen. Nach dem Schweißen wurden die Proben in drei Gruppen aufgeteilt:

- Im Schweißzustand belassene Proben,
- vibrationsentspannte Proben und
- spannungsarmgeglühte Proben.

Das Vibrationsentspannen wurde jeweils von den nationalen Vertretungen der Hersteller und Betreiber von Vibrationsgeräten selbst vorgenommen. Da zum damaligen Zeitpunkt keine Unterlagen über die Durchführung einer fachgerechten Vibrationsbehandlung vorhanden waren, wurde dem Hersteller die Wahl der optimalen Vibrationsparameter überlassen. Die Proben der TU Delft wurden bis zu 15 min vibriert, während die Proben für das LBF bis zu 25 min behandelt wurden. Die Vibrationsfrequenz betrug 100 Hz. Der Abschlußbericht [5] enthält eine detailliertere Beschreibung zur Vibrationsbehandlung.

Die Angaben zu den Nachbehandlungen sowie die mechanischen Kennwerte der Werkstoffe sind in Blatt 2 zusammengefaßt.

3 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Eigenspannungsmessungen

An einigen stichprobenartig ausgewählten T-Stößen wurden in engen Abständen auf einer Linie senkrecht zur Reparaturschweißnaht die Längseigenspannungen röntgenographisch gemessen, d.h. in Richtung der während des Schwingfestigkeitsversuches wirkenden Beanspruchungen, Blatt 3. Die anhand dieser Messungen ermittelten Eigenspannungsverläufe

sind auf Blatt 4 dargestellt: Während die spannungsarm geglühte Probe nahezu völlig frei von Eigenspannungen ist, wird durch die geschilderte Vibrationsbehandlung nur ein sehr geringer Teil der Längseigenspannungen abgebaut. Das Vibrationsentspannen kann daher im vorliegenden Fall das Spannungsarmglühen nicht ersetzen.

Dies wurde indirekt auch durch die Messungen an der TU Delft mit Hilfe eines über der Schweißnaht angebrachten Aufnehmers zur Erfassung der Aufweitung bestätigt: Aufgrund der im Nahtbereich wirkenden Zugeigenspannungen wurde im Verlauf eines Belastungszyklus der Riß trotz des Einwirkens von Druckspannungen durch die äußeren Lasten bis zu einer gewissen Grenze offen gehalten. Im Gegensatz dazu wurde der Riß bei den spannungsarm geglühten Proben beim Eintritt der Belastung in die Druckphase sofort geschlossen.

3.2 Schwingfestigkeitsuntersuchungen

In Anlehnung an in der Praxis vorkommende Beanspruchungsverhältnisse wurden die T-Stöße in einer Vierpunkt-Biegevorrichtung mit einem Spannungsverhältnis von $R = \sigma_U / \sigma_O = -1$ bis Bruch gefahren.

Die Versuchsergebnisse einer ersten Versuchsserie fielen in das Streuband einer einzigen Wöhlerlinie, Blatt 5, obwohl die Eigenspannungen der einzelnen Varianten voneinander verschieden waren. Dies ist auf die starke Spannungsüberhöhung an der Einbrandkerbe zurückzuführen, die schon während der ersten Schwingspiele lokale Plastifizierungen bewirkt und einen teilweisen Abbau der Zugeigenspannungen zur Folge hat. Deswegen verhalten sich alle Varianten im Schwingfestigkeitsversuch ähnlich. Allerdings ist eine leichte Tendenz der spannungsarmgeglühten Proben zu höheren Schwingspielzahlen hin feststellbar, während die im Schweißzustand belassenen und die vibrationsentspannten Proben zu der unteren Grenze des Streubandes der Bruchschwingspielzahlen tendieren.

Für eine zweite Versuchsserie wurde einerseits die Temperatur beim Spannungsarmglühen erhöht, um den schwingfestigkeitssteigernden Effekt der thermischen Nachbehandlung weiter zu verbessern, und andererseits wurden einige Versuche auf einem niedrigeren Beanspruchungsniveau angesetzt, um den Eigenspannungsabbau im Bereich der Einbrandkerbe zu verringern. Es zeigt sich im Bereich höherer Schwingspielzahlen, daß der Abbau der Eigenspannungen durch das Spannungsarmglühen im Mittel zu höheren Schwingspielzahlen führt, Blatt 6. Auf diesem Beanspruchungsniveau erreichen die vibrationsentspannten Proben die Lebensdauer der geglühten Proben nicht.

Aufgrund des teilweisen Eigenspannungsabbaus bei den T-Stößen während der ersten Belastungszyklen wurden die Versuche an der TU Delft mit gekreuzten Längssteifen bei einem Spannungsverhältnis von $R = -1,5$ und $-2,5$ durchgeführt. In diesem Fall macht sich ein Einfluß der Eigenspannungen auf die Schwingfestigkeit deutlicher bemerkbar, da das Niveau der lastinduzierten Zugspannungen bei diesen Spannungsverhältnissen keine nennenswerten Plastifizierungen und damit keinen Eigenspannungsabbau an der Schweißnaht hervorruft. Die Schwingfestigkeit der vibrationsentspannten Proben liegt bei diesen Versuchsreihen auf dem Niveau der im Schweißzustand belassenen Proben, Blatt 7. Die Schwingfestigkeit der spannungsarmgeglühten Proben liegt dagegen weitaus höher.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß das Vibrationsentspannen das Spannungsarmglühen nicht ersetzen kann, weil die durch das Schweißen in den Proben erzeugten Eigenspannungen durch die Vibrationsbehandlung kaum verringert wurden. Infolgedessen erreichten vibrationsentspannte Proben die Lebensdauer der geglühten Proben nur bei höheren Beanspruchungshorizonten, d.h. im Bereich kürzerer Lebensdauer, wo aufgrund der Spannungsüberhöhung an der Einbrandkerbe die Eigenspannungen durch lokale Plastifizierungen bereits während der ersten Beanspruchungszyklen abgebaut werden.

Folgt man dem Schrifttum, so ist das Verfahren des Vibrationsentspannens in Einzelfällen bei größeren Bauteilen erfolgreich angewandt worden; vor allem wird auf die durch die Vibration hervorgerufene Verringerung des Verzuges hingewiesen, während ein Eigenspannungsabbau meßtechnisch nicht nachgewiesen wurde. In den Fällen, wo die Eigenspannungen vor und nach der Vibration gemessen wurden, konnten stets nur sehr geringe Eigenspannungsänderungen festgestellt werden [6,7]. Diese Tatsache steht im Widerspruch zum Namen des Verfahrens. Auch in der vorliegenden Untersuchung konnten die Eigenspannungen durch Vibrationsentspannen kaum verringert werden. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß das Probengewicht der T-Stöße von 50 kg von manchen Anwendern als unterste Grenze dieses Verfahrens angesehen wird. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sowie wegen des Fehlens von allgemeingültigen, zuverlässigen Richtlinien für den erfolgreichen Einsatz des Vibrationsentspannens kann dieses Verfahren zum Eigenspannungsabbau derzeit nicht empfohlen werden.

4 LITERATUR

- [1] Sonsino, C.M.; Kulka, C.; Boehme, D.; Helwig, R.:
Slope of the S-N-Curve and High-Cycle Fatigue Behaviour of Longitudinal
Stiffeners in As-Welded and Stress-Relieved States
IIW-Document No. XIII - 1242 - 87 (1987)
- [2] Rappen, A.:
Vibration nach dem VSR-Verfahren zur Verminderung des Eigenspannungverzuges
Lasttechnik 38 (1972) Nr. 10, S. 223 - 233
- [3] Döbler, E.:
Abbau von Eigenspannungen durch Vibration
Werkstatt und Betrieb 114 (1981) Nr. 7, S. 459 - 461
- [4] Rappen, A.:
Verringerung von Schweißeigenspannungen durch Vibration zur
Erzielung von Maß- und Formgenauigkeit von Maschinen
Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH, Düsseldorf
DVS-Bericht, Band 74 (1982), S. 191 - 202
- [5] de Back, J.; Gresnigt, A.M.; Sonsino, C.M.; Müller, F.:
Influence of Stress Relieving by Vibration as Compared to Postweld
Heat Treatment on the Fatigue Behaviour of Repaired Welds
Commission of the European Community, Luxemburg
EUR-Report (1991), demnächst
Bezug durch Verlag Bundesanzeiger, Köln
- [6] Nøkleby, J. O.; Larsson, T. B.; Tronskar, J. P.:
Influence of Vibration Stress Relieving on Welding Stresses
and Cracking Susceptibility
VERITEC Marine Technology Consultants, Høvik (Norway)
Technical Report No. VT-84-3158 (1984)
- [7] Sedek, P.:
Können mechanische Schwingungen das Spannungsarmglühen
geschweißter Maschinenelemente ersetzen ?
Schweißen und Schneiden 35 (1983) Heft 10, S. 483 - 486
- [8] Overbeeke, J.L.; de Back, J.:
The Effect of Residual Stresses and R-Value on the Service Life
of Welded Connections Subjected to Fatigue
Report of the Netherlands Institutions for Welding Technology
Report No. NIL-TC-XIII-164-82 (1982), Delft, IIW-Doc. XIII-1095-83 (1983)

Darmstadt, den 19. November 1991

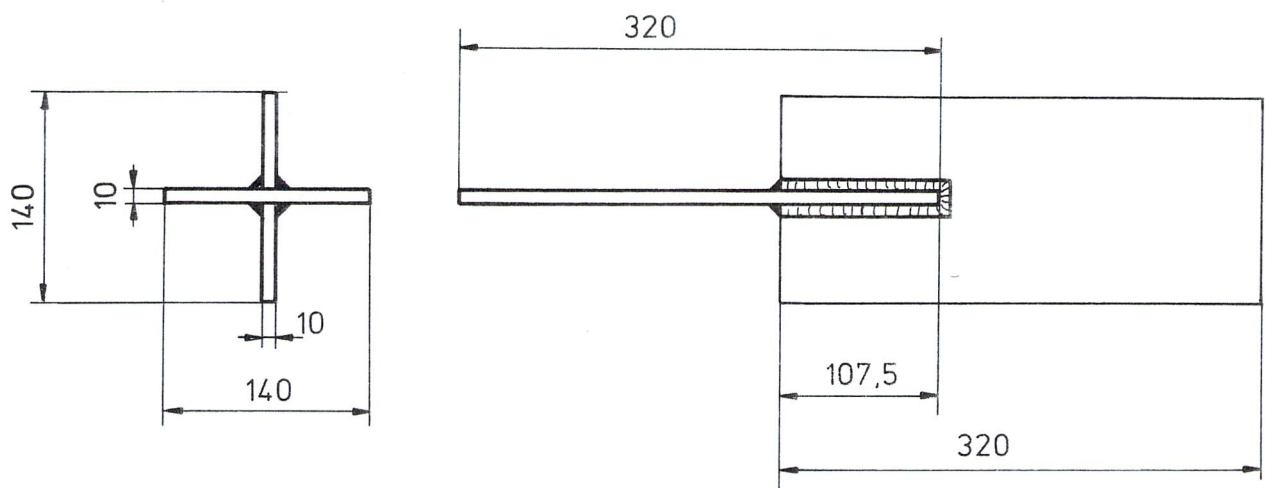
Bearbeitet: F. Müller, C. M. Sonsino

5 S. Text, 7 Blätter

Gesehen: O. Buxbaum

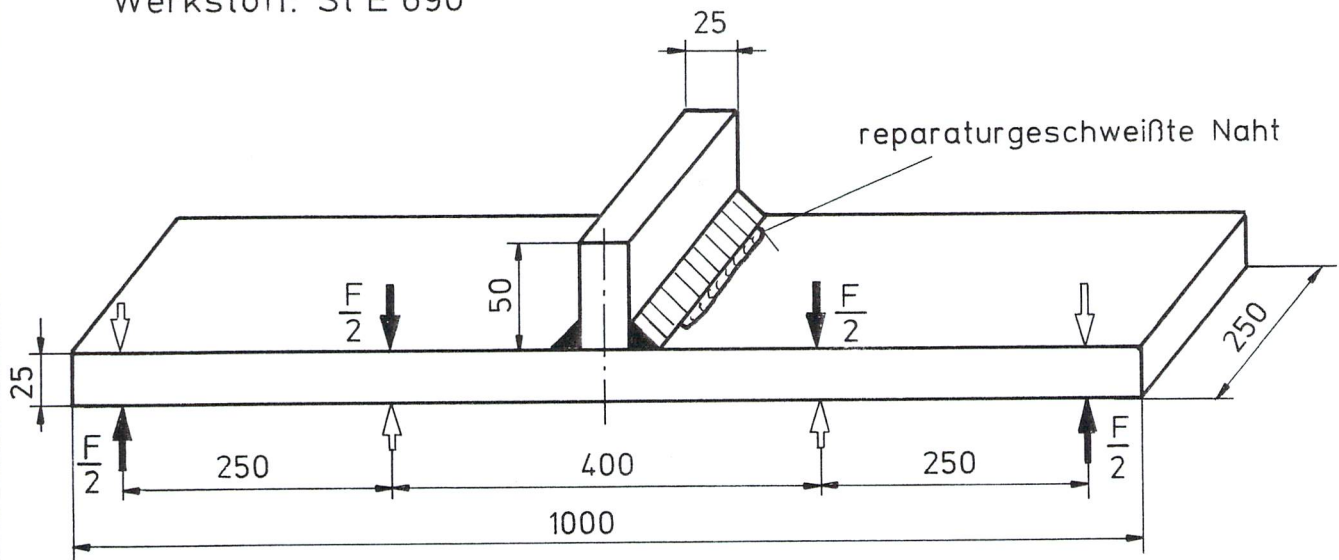
Probenform: gekreuzte Längsstufe

Werkstoff: St 52 - 3



Probenform: T - Stoß

Werkstoff: St E 690



Verwendete Probenformen

TM 103/91

Blatt 1

Mechanische Kennwerte:

	R_m	$R_{p0.2}$	A_5
St 52-3	542 MPa	380 MPa	30%
St E 690 (1. Serie)	869 MPa	774 MPa	18%
St E 690 (2. Serie)	829 MPa	777 MPa	16%

Chemische Zusammensetzung:

	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo
St 52-3	0.14	0.44	1.58	0.19	0.19	0.30	-	-
StE 690 ¹	0.19	0.67	0.67	<0.02	<0.01	-	0.71	0.03
StE 690 ²	0.18	0.69	0.86	<0.02	<0.01	-	0.71	0.32

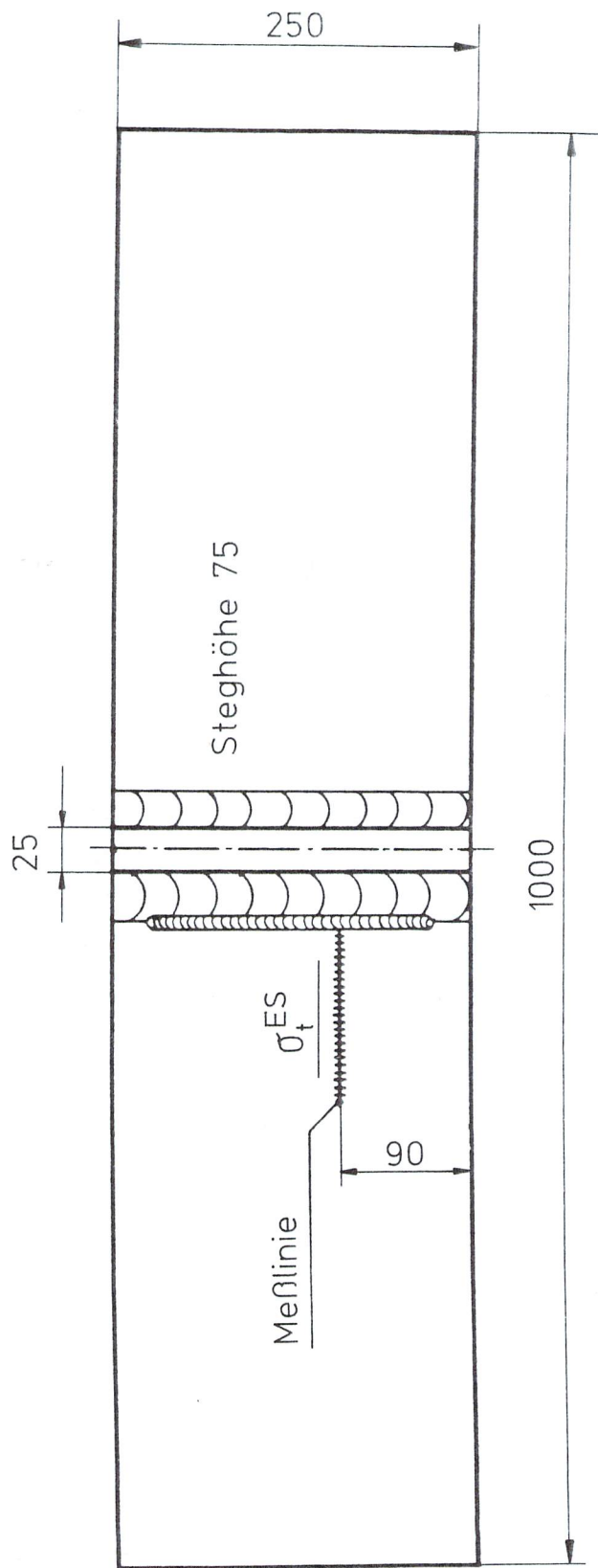
¹ = erste Probenserie
² = zweite Probenserie

Spannungsarmglühen:

St 52-3	650°C	1 Stunde	abkühlen im Ofen
St E 690 (1. Serie)	550°C	1 Stunde	abkühlen im Ofen
St E 690 (2. Serie)	600°C	50 min.	abkühlen im Ofen

Vibrationsbehandlung:

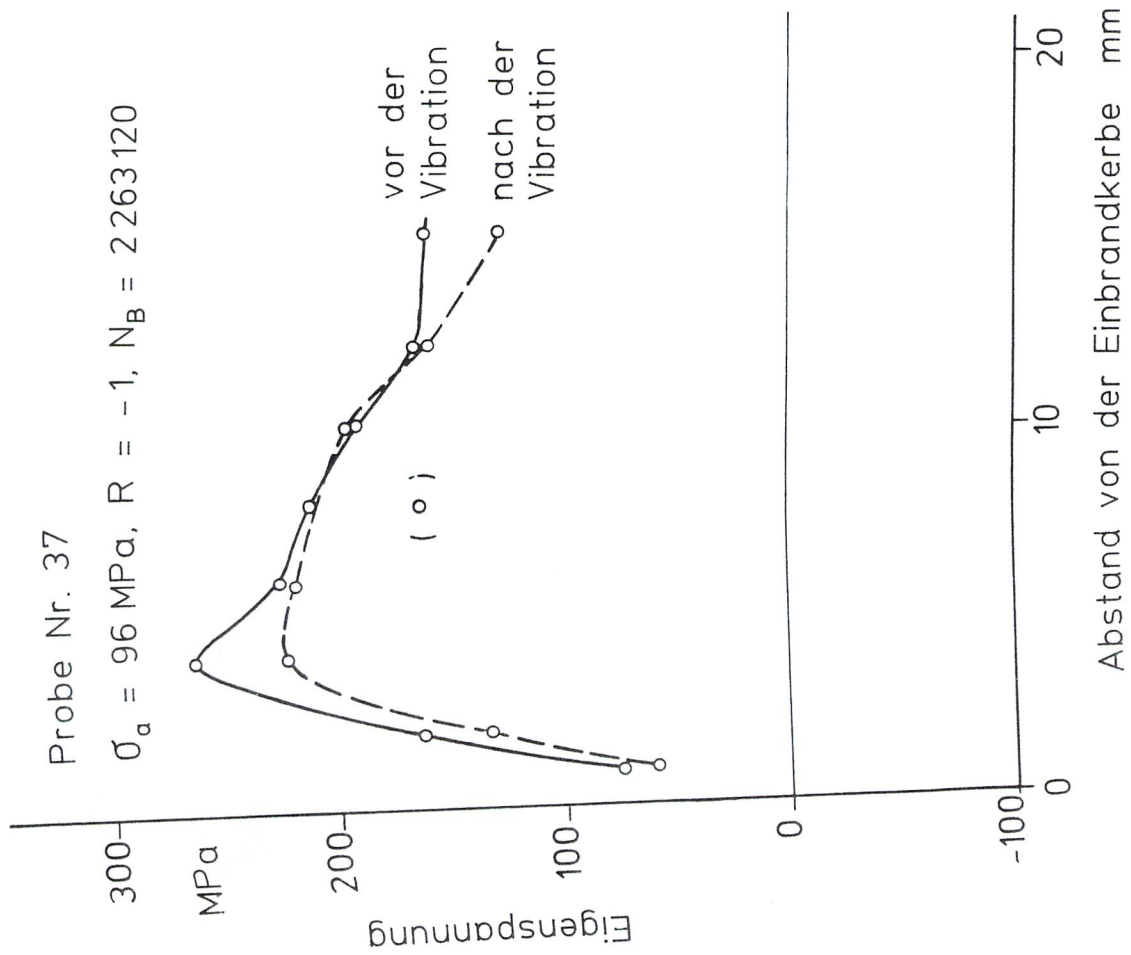
St 52-3	t = 10 min. bis 15 min.	f = 100 Hz
St E 690 (1. Serie)	t = 10 min. bis 25 min.	
St E 690 (2. Serie)	t = 10 min. bis 15 min.	



Lage der Meßpunkte bei der Eigenspannungsmessung

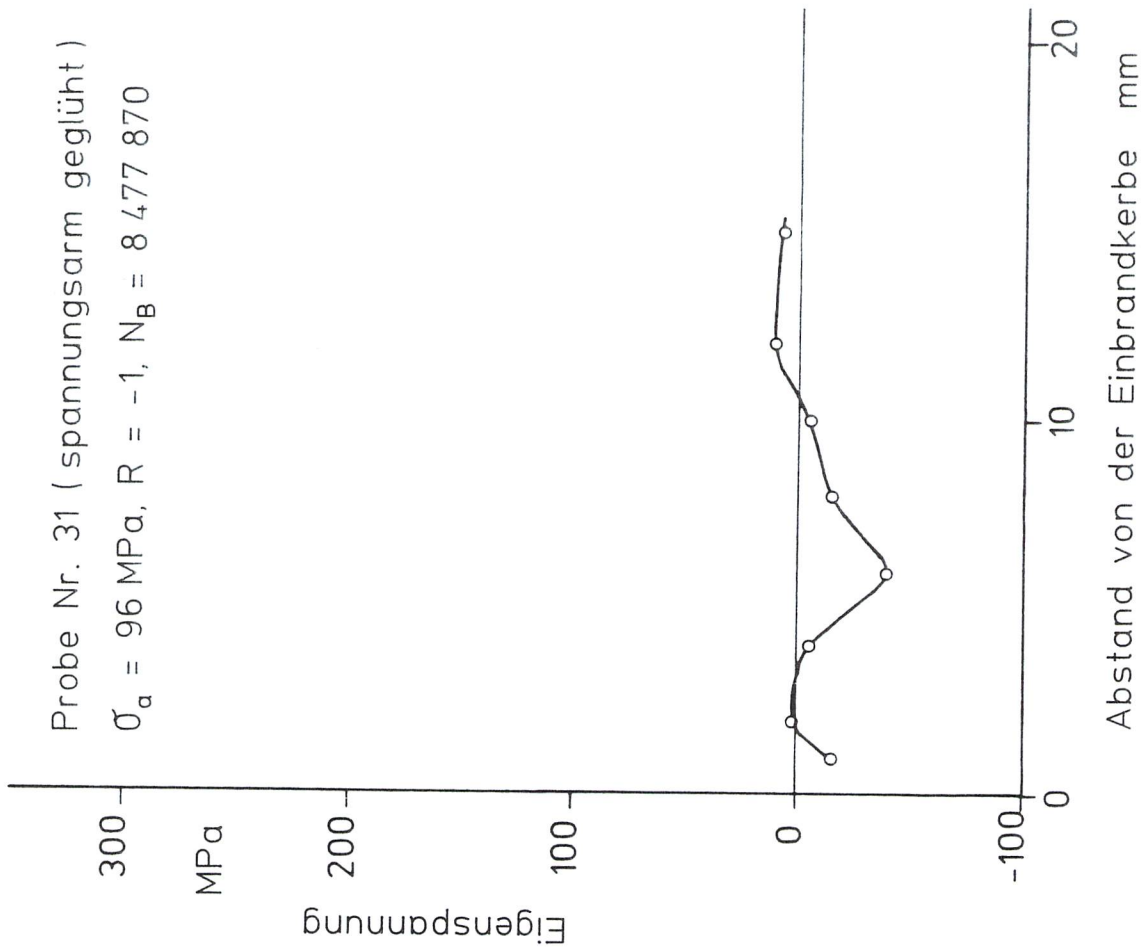
Probe Nr. 37

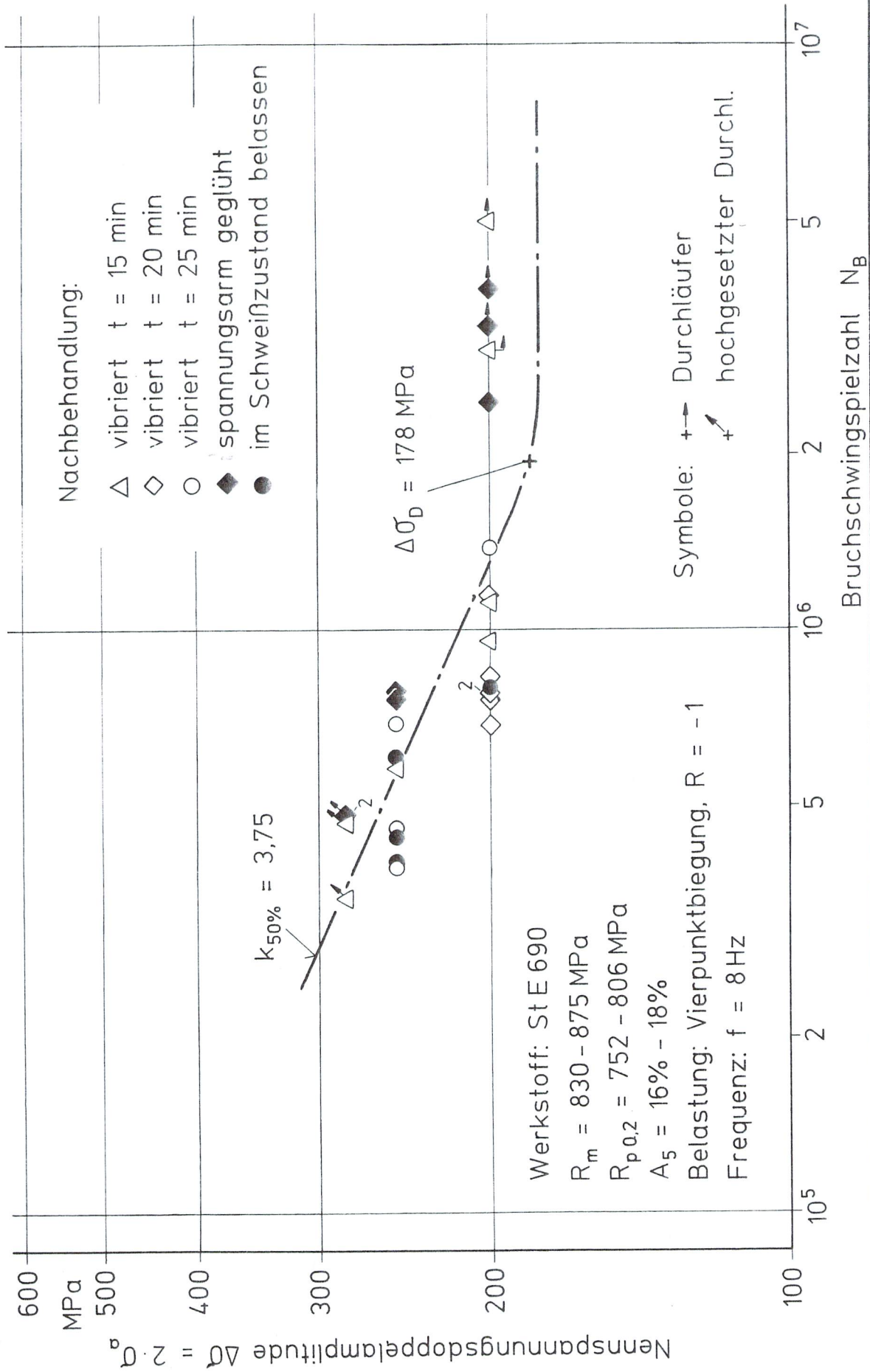
$\sigma_a = 96 \text{ MPa}$, $R = -1$, $N_B = 2263120$

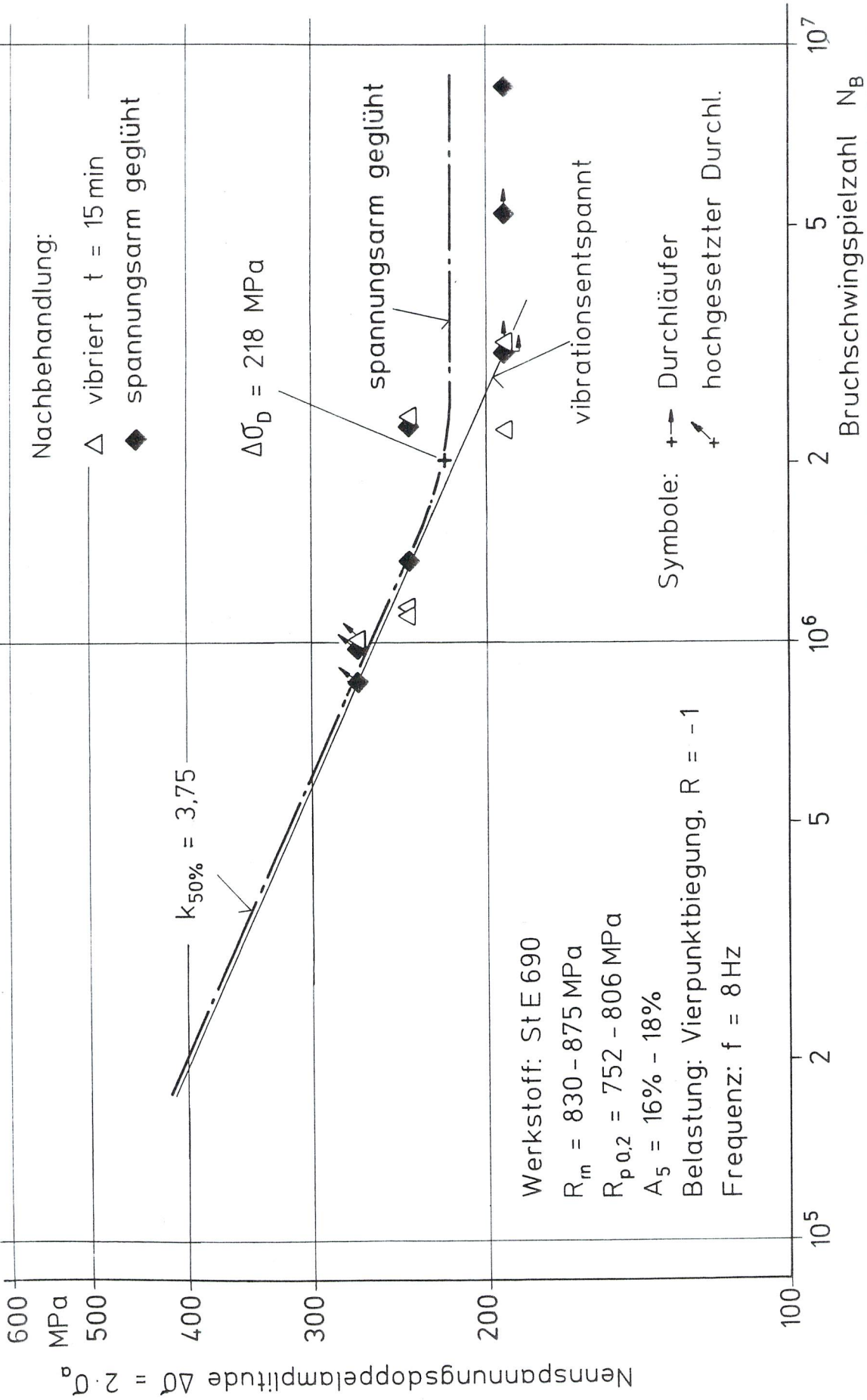


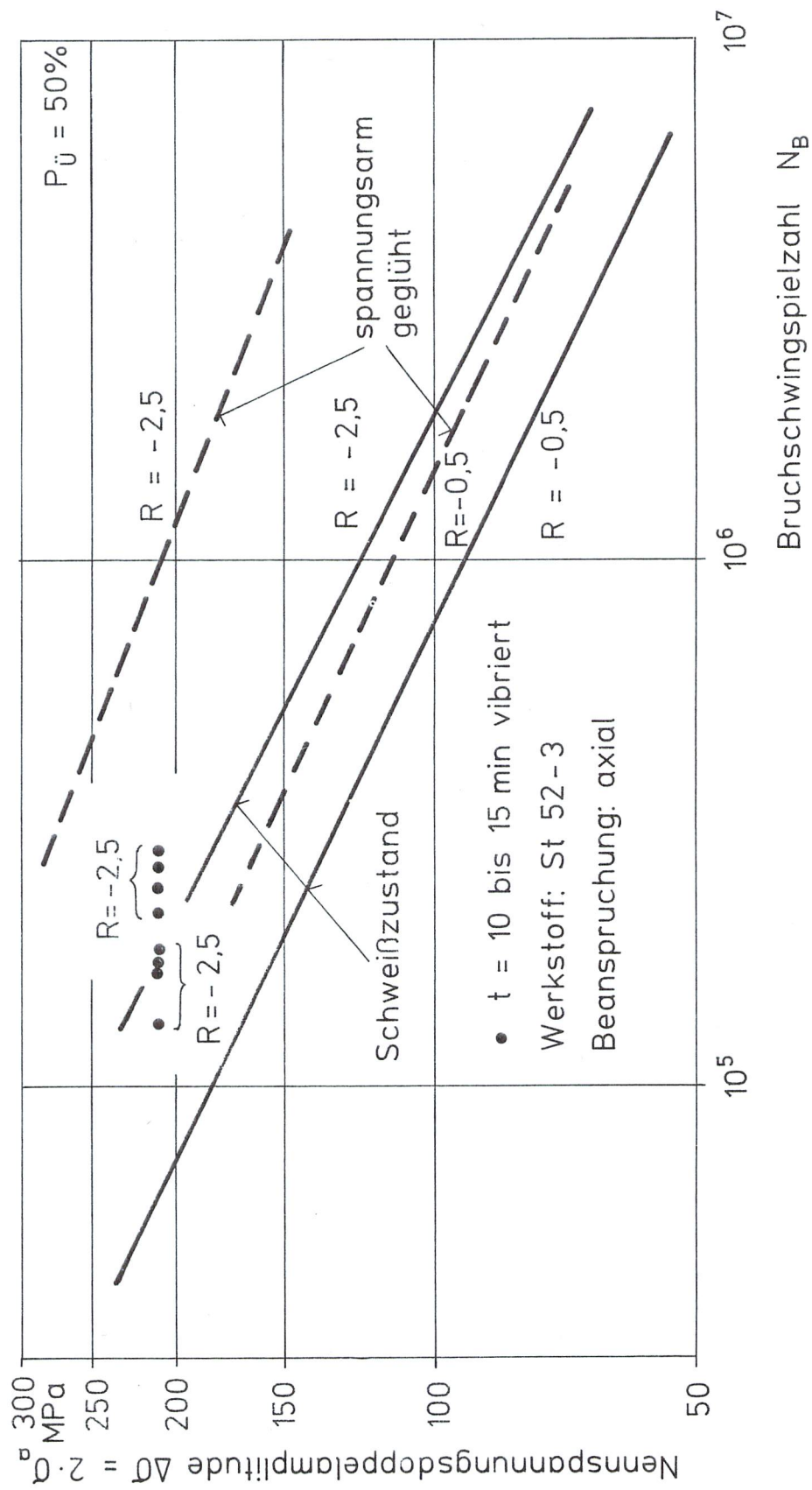
Probe Nr. 31 (spannungsarm gegläht)

$\sigma_a = 96 \text{ MPa}$, $R = -1$, $N_B = 8477870$









Wöhlerlinien nach J. L. Overbeek und J. de Back

TM 103/91

Blatt 7

Vergleich der Versuchsergebnisse mit Wöhlerlinien ($P_{\dot{U}} = 50\%$)