

Alterungsverhalten von Verbindungen:
Gewebe/Gewebe aus PVC-beschichtetem
Polyestergewebe unter natürlicher Bewitter-
ung nach mehrjährigem Einsatz im Bauwerk

T 1364

T 1364

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

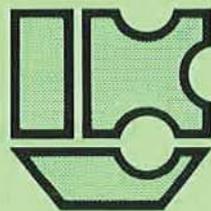
www.baufachinformation.de

T 1364: Alterungsverhalten von Verbindungen: Gewebe/Gewebe aus PVC-beschichtetem Polyester-gewebe unter natürlicher Bewitterung nach mehrjährigem Einsatz im Bauwerk

LEHRSTUHL UND INSTITUT
FÜR KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

RHEIN.-WESTF. TECHNISCHE HOCHSCHULE

AACHEN



INSTITUT FÜR KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

in Industrie und Handwerk an der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen
LEHRSTUHL FÜR KUNSTSTOFFVERARBEITUNG
PROF. DR.-ING. G. MENGES



Abschlußbericht

zum Forschungsvorhaben IV/1-5-325/82

Alterungsverhalten von Verbindungen:
Gewebe/Gewebe aus PVC-beschichtetem Polyestergewebe
unter natürlicher Bewitterung nach mehrjährigem
Einsatz im Bauwerk

Aachen, im Juli 1984


Prof. Dr.-Ing. G. Menges

Bearbeiter: Dipl.-Ing. J. Michel *JM*

Der Bericht umfaßt:

25 Seiten

22 Abbildungen

7 Tabellen

Danksagung

Die Untersuchungen zum vorliegenden Forschungsbericht wurden vom Institut für Bautechnik, Berlin, finanziert.

Die Versuchsmaterialien und Prüfzeugnisse wurden von den Firmen L. Stromeyer, Konstanz; Verseidag GmbH, Krefeld; Struckmeyer Systembau, Porta Westfalia; Wülfing und Hauk, Kaufungen; Stromeyer Ing.-Bau, Konstanz, und dem Hochbauamt Gronau kostenlos zur Verfügung gestellt. Den Firmen und Institutionen sei für die großzügige Unterstützung gedankt.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Zusammenfassung	1
Summary	2
Résumé	3
2. Ausgangssituation	4
3. Zielsetzung	5
4. Versuchstechnik	6
4.1 Werkstoff	6
4.2 Kurzzeitversuche	7
4.3 Zeitstandbruchversuche	7
4.4 Restfestigkeitsversuche an Nähfäden	8
4.5 Mikroskopische Untersuchungen	8
5. Versuchsergebnisse	9
5.1 Kurzzeitzugversuche	9
5.1.1 Gewebe	9
5.1.2 Verbindungen	10
5.2 Zeitstandbruchversuche	12
5.3 Restfestigkeit der Nähfäden	13
5.4 Mikroskopische Untersuchung der Nähfäden	13
5.5 Bruchformen	14
6. Vergleichende Wertung der Ergebnisse	16
7. Abschätzung der Standsicherheit und der Restlebensdauer	20
8. Restfestigkeiten von HF-Nähten	22
9. Literaturverzeichnis	23
10. Abbildungen	25

1. Zusammenfassung

Ergebnisse bisheriger Untersuchungen an natürlich und künstlich bewitterten Gewebeproben lassen den Schluß zu, daß Aussagen über die Alterungsbeständigkeit von PVC-beschichteten Polyestergeweben und somit über deren Gebrauchsfähigkeit für Membranbauwerke im wesentlichen über die Alterungsbeständigkeit der Nahtverbindungen möglich ist.

An sechs einsatzbelasteten Nahtchargen mit Einsatzzeiten zwischen 4 und 14 Jahren wurden umfangreiche werkstoffkundliche Untersuchungen durchgeführt. Die Prüfung der Altmaterialien wurde nach den gleichen Gesichtspunkten und Richtlinien durchgeführt, die bei Neumaterial für eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung herangezogen werden.

Es zeigte sich, daß der Abminderungsfaktor A_3 gegen erhöhte Umgebungstemperatur bei Nähnähten als unabhängig von der Einsatzzeit angesehen werden kann. Auch die Charakteristik der Zeitstandbruchkurven ändert sich durch die Einsatzbelastung bei genähten Verbindungen nicht.

Die Restfestigkeit gegen kurzzeitige Spitzenbelastung nimmt jedoch bei Nähnähten mit zunehmender Einsatzzeit stark ab. Der bisher in der Regel angenommene Abminderungsfaktor $A_2 = 1,4$ stellt für eine Lebensdauer der Bauwerke von ca. 12 bis 15 Jahren eher einen unteren Grenzwert dar. In Zweifelsfällen muß bei älteren Traglufthallen mit Nähverbindungen die Standsicherheit für den kritischen Lastfall "Wintersturm" auf der Grundlage der tatsächlichen Lasten und zulässigen Tragkräfte nachgerechnet werden. Eine mögliche Vorgehensweise dazu wird vorgestellt.

Summary

The results of previous investigations on natural and artificially weathered coated fabrics allow the conclusion to be drawn that the aging of PVC-coated polyester materials and the suitability of membrane constructions can be estimated from the aging behavior of the joints.

Using 6 practically aged seam charges of life time in application of between 4 and 14 years, extensive material science investigation have been carried out. The testing methods employed for the aged material were kept consistent and always followed the same identical procedure as laid down by the "allgemeine bauaufsichtliche Zulassung" (General building authority licensing).

It can be shown that the reduction factor A_3 , valid for higher environmental temperatures, is independent of the life time of stucked seams. Similarly, the characteristic of the long-term fracture curves do not alter during application loading of the stucked seams.

The residual strength as determined in short-term fracture loading however does infact decrease with increasing life time. The normally used reduction factor for stucked seams $A_2 = 1,4$ represents a lower limit for a construction life time of 12 to 15 years. In border-line cases, the stability of an old pressurized membrane structure containing stucked seams during the critical loading "winter storm" must be calculated from the position of the actual loadings and the maximum permitted forces. A possible method of doing this is described in this paper.

1. Résumé

Les résultats des recherches, effectuées à des échantillons résistants naturellement et artificiellement aux intempéries, nous apprennent que des rapports sont possibles concernant la résistance de vieillissement des tissus de polyester recouverts de PVC et aussi la capacité d'usage pour des constructions à membrane, principalement la durabilité de vieillissement des soudures.

Des larges recherches matérielles ont été entreprises à six charges de soudure avec des temps d'action entre 4 et 14 ans. L'examen des vieux matériaux a été fait avec les mêmes aspects et normes que ceux que nous employons pour des matériaux nouveaux pour l'obtention de l'autorisation de surveillance des travaux.

Il résultait, que le coefficient de perte A_3 contre une température environnante élevée aux soudures peut être considéré comme indépendant du temps d'action. Par la charge d'action aux surfaces de soudage, la caractéristique de la courbe de rupture de fluage ne change pas.

La résistance affaiblissante contre la charge de pointe à temps réduit diminue toutefois fort aux soudures avec l'augmentation du temps d'action. Le coefficient de perte, supposé à ce jour, $A_2 = 1,4$, représente pour la durée de vie des constructions de 12 à 15 ans plutôt une limite inférieure. En cas de doute, il y a lieu de vérifier à des dômes gonflables auto-portants avec soudures la sûreté d'emplacement concernant la charge "tempête d'hiver" à base des charges réelles et forces porteuses autorisées. Un procédé éventuel sera présenté.

2. Ausgangssituation

Seit ca. 20 Jahren werden beschichtete Chemiefasergewebe im Bauwesen für pneumatisch gestützte oder mechanisch vorgespannte Dachkonstruktionen eingesetzt. PVC-beschichtete Polyestergewebe haben hier den größten Anteil. Bei bisherigem Stand der Erkenntnisse wird mit einer Mindestlebensdauer der Membranen von 12 bis 15 Jahren gerechnet /1/.

Die Bauwerke und Bauteile werden aus einzelnen, speziell zugeschnittenen Gewebekonstruktionen mit Hilfe von Verbindungselementen zusammengesetzt. Bei Membranbauten aus Chemiefasergeweben sind die Schwachstellen derartiger Konstruktionen, wie bisherige Untersuchungen /2, 3/ zeigen, diese Verbindungselemente wie z.B. die Flächennähte.

Wie alle Kunststoffe, die im Bauwesen eingesetzt werden und somit meist der natürlichen Bewitterung ausgesetzt sind, zeigen auch beschichtete Chemiefasergewebe Alterungserscheinungen, die zeit- und temperaturabhängig sind. Es wurde immer wieder versucht, mit Hilfe zeitraffender, künstlicher, korrosiver Einwirkungen auf das Material den Bereich der Eigenschaftsänderung qualitativ und quantitativ zu erfassen. Sehr häufig blieben derartige Untersuchungen bei Membranwerkstoffen auf das Grundmaterial Gewebe beschränkt /4 - 6/. Selbst wenn in zeitraffenden Versuchen eindeutige Zusammenhänge zwischen Eigenschaftsänderung und Zeit bzw. Temperatur gefunden wurden, ist die Übertragung der Ergebnisse auf den praktischen Einsatz meist nicht generell möglich /2, 6/. Dies gilt auch für die Versuchsergebnisse, die unter Freibewitterung erarbeitet wurden. Dennoch lassen diese Ergebnisse den Schluß zu, daß Aussagen über die Alterungsbeständigkeit von PVC-beschichteten Polyestergeweben und somit über deren Gebrauchsfähigkeit für Membranbauwerke im wesentlichen über die Alterungsbeständigkeit der Verbindungen und hier insbesondere der Flächennähte möglich ist.

Da nun eine Vielzahl von Membranbauwerken einer Bauüberwachung im Rahmen von Zustandskontrollen unterliegen und zunehmend an den Rand ihrer geschätzten Lebensdauer kommen, sind Aussagen über den tatsächlichen Alterungszustand der Bauwerke mehr denn je erforderlich. Dies gilt insbesondere für Nähnähte, da diese Verbindungsart früher gerade bei den in großer Zahl erstellten Traglufthallen fast ausschließlich zum Einsatz kam, während heute in erster Linie Kombinationsnähte Verwendung finden.

3. Zielsetzung

Die höchste Aussagefähigkeit in Bezug auf das Alterungsverhalten von Verbindungen: Gewebe/Gewebe bei beschichteten Chemiefasergeweben haben Untersuchungen, die hinsichtlich Verbindungsgeometrie, mechanischer Beanspruchung und Klimabedingungen möglichst nahe an den tatsächlichen Einsatzzweck angelehnt werden. Daher bietet es sich an, Untersuchungen über das Alterungsverhalten und die Gebrauchsfähigkeit an einsatzbelastetem Material durchzuführen, d.h. an Verbindungen, die unterschiedlich lange in textilen Bauwerken im Einsatz waren.

Der Alterungszustand kann dann quantitativ mit Hilfe werkstoffkundlicher Untersuchungen anhand des kurz- und langzeitigen Resttragverhaltens nach unterschiedlichen Einsatzzeiten erfaßt werden. Voraussetzung dazu ist natürlich, daß die entsprechenden "Neuwerte" bekannt sind. Hierzu bieten sich neben den mechanischen Kennwerten entsprechender Materialien und Verbindungen Zahlenmaterial aus früheren Gutachten über den Neuzustand des untersuchten einsatzbelasteten Materials an. Außerdem muß die Untersuchung des Altmaterials nach den gleichen Gesichtspunkten und Richtlinien durchgeführt werden, die bei Neumaterial für bauaufsichtliche Zulassungen herangezogen werden. Der direkte Vergleich der mechanischen Eigenschaften des einsatzbelasteten Materials mit entsprechendem fabrikneuem Werkstoff läßt dann eine zuverlässige Abschätzung der tatsächlichen Standzeit von textilen Bauwerken zu.

4. Versuchstechnik

4.1 Werkstoff

Für die Untersuchungen stand Altmaterial aus Traglufthallen mit unterschiedlichen Einsatzzeiten zwischen 4 und 14 Jahren zur Verfügung. Einen Überblick über Gewebespezifikation, Nahtart, Standort und Alter gibt Tabelle 1.

Abgesehen von der Nahtcharge D handelt es sich bei den Geweben um PVC-beschichtete Polyestergewebe entsprechend Typ I. Doch das PVC-beschichtete Polyamidgewebe (D) wurde ebenfalls mit in die Untersuchungen aufgenommen, da die Naht ein übertragbares Verhalten aufweist. Während die Chargen A bis E Nähnähte aufweisen, besitzt das Muster F eine 2fach HF-Naht von jeweils 20 mm Breite mit einem ungeschweißten Zwischenbereich von 10 mm und einer Gesamtüberlappungslänge von 50 mm (Bild 1). Diese Naht ist im folgenden gesondert zu betrachten.

Bei den Nähnähten A bis E treten zwei Nahtformen auf. A bis C sind Doppelkappnähte, D und E 2fach Flachnähte. Die jeweiligen Geometrien sind ähnlich (Bild 1).

Versuchsmaterial	A	B	C	D	E	F
Gewebespezifikation (neu)						
Garn	Polyester	Polyester	Polyester	Polyamid	Polyester	Polyester
Bindung	L1/1	L1/1	L1/1	L2/2	L1/1	L1/1
Einstellung (Fd/cm in Kette/Schuß)	ca. 9/9	ca. 9/9	ca. 9/9	ca. 12/12	ca. 9/9	ca. 9/9
Flächengewicht (g/m ²)	ca. 720	ca. 745	ca. 700	ca. 700	ca. 745	ca. 720
Dicke (mm)	ca. 0,6	ca. 0,6	ca. 0,6	ca. 0,6	ca. 0,6	ca. 0,6
Titer (dtex)	1000	1100	1100	unbekannt	1100	1100
Verbindungsart	DK	DK	DK	2F	2F	2HF
Standort	Radolfzell	Krefeld	Konstanz	Berlin	Gronau	Göppingen
Einsatzzeit (Jahre)	11,5	11	10	14	6	4

DK: Doppelkappnaht 2F: 2fach-Flachnaht 2HF: 2fach HF-Naht

Tabelle 1: Spezifikation des Versuchsmaterials

4.2 Kurzzeitzugversuche

Zur Ermittlung des Resttragverhaltens der Nähte unter kurzzeitiger Lasteinwirkung wurden in Anlehnung an DIN 53354 und an die "Richtlinie zur Prüfung beschichteter Gewebe und deren Verbindungen" /7/ des Instituts für Bautechnik (IfBt), Berlin, Kurzzeitzugversuche unter einachsiger Zugbeanspruchung bei Normal Klima 23/50 DIN 50014 sowie bei 70 °C durchgeführt. Prüfrichtung war Gewebeschußrichtung, senkrecht zum Nahtverlauf. Als Prüfmaschine wurde eine Universalprüfmaschine nach DIN 5221 verwendet. Die Einspannung erfolgte in Walzenspannköpfen. Die freie Einspannlänge der Proben betrug ca. 200 mm. Die Probenbreite wurde mit Rücksicht auf die zur Verfügung stehenden begrenzten Materialmengen von üblicherweise 50 mm auf 30 mm reduziert. Bei Nähverbindungen wurden im Nahtbereich Verbreiterungen auf ca. 60 mm belassen, um ein Herausziehen der Nähfäden unter Last zu vermeiden. Die Abzugsgeschwindigkeit im Kurzzeitzugversuch betrug 50 mm/min, was einer Deformationsgeschwindigkeit von ca. 25 %/min entspricht.

Aus den Einzelergebnissen (meist 5) wurden jeweils die arithmetischen Mittelwerte und die zugehörigen Standardabweichungen gemäß DIN 1391, Blatt 3, errechnet.

4.3 Zeitstandbruchversuche

Soweit ausreichend Versuchsmaterial zu Verfügung stand, wurden bei Prüftemperaturen von 23 °C und 70 °C Zeitstandbruchversuche unter einachsiger, zeitlich konstanter Zugbeanspruchung an den einsatzgealterten Nahtchargen durchgeführt, um ihr Resttragverhalten bei langzeitiger Lasteinwirkung und erhöhter Temperatur (70 °C) zu untersuchen. Prüfrichtung war Gewebeschußrichtung, senkrecht zum Nahtverlauf. Die Probekörpergeometrie entspricht der in Kap. 4.2 beschriebenen.

Es wurden für die jeweilige Prüfbedingung mindestens 7 Laststufen so gewählt, daß Brüche in einem Zeitbereich von 1 Minute bis 1000 Stunden auftraten. Mit Hilfe von Regressionsrechnungen wurden aus den Versuchsergebnissen Zeitstandbruchkurven als Geraden ermittelt. Die jeweiligen Korrelationskoeffizienten (r) sind in den Kurven angegeben.

4.4 Restfestigkeitsuntersuchungen an Nähfäden

Zur Ermittlung des kurzzeitigen Resttragverhaltens der Nähfäden wurden Kurzzeitzugversuche an aus den Verbindungen herausgelösten Nähfäden bei Normalklima 23/50 Din 50014 durchgeführt. Die Einspannlänge betrug 100 mm, die Deformationsgeschwindigkeit ca. 25 % min, die Probenzahl mindestens 3.

Es wurden von allen Nähnahtchargen die außenliegenden Nähfäden untersucht, da sie der Bewitterung stärker ausgesetzt sind als die Innenfäden. Diese wurden nur stichpunktartig zum Vergleich mit untersucht.

Um Anhaltswerte über den Neuzustand zu erhalten, wurden auch Nähfäden aus fabrikneuen Verbindungen untersucht.

4.5 Mikroskopische Untersuchungen

Sowohl am Gewebe als auch an den Nähfäden wurden mikroskopische Untersuchungen durchgeführt, um Aufschlüsse über den Bewitterungszustand zu erhalten. Zum Einsatz kam sowohl Lichtmikroskopie (Querschnitte von Nähfäden) als auch Rasteleketronenmikroskopie.

5. Versuchsergebnisse
5.1 Kurzzeitzugversuche
5.1.1 Gewebe

Zur Bestimmung der Restreißfestigkeit der einsatzbewitterten beschichteten Gewebe wurden Kurzzeitzugversuche an Gewebestreifenproben bei Raumtemperatur durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Versuchsmat.	Einsatzzeit Jahre	N ₀₂₃ (N/cm)	s ₀₂₃ (N/cm)	N _{neu} * (N/cm)
A	11,5	444	-	660
B	11	472	12	o.A.
C	10	359	12	o.A.
D	14	542	44	ca. 800
E	6	620	23	623
F	4	587	12	o.A.

Prüftemperatur: 23 °C
Einspannlänge: 200 mm
Abzugsgeschwindigkeit: 50 mm/min
Prüfrichtung: Schuß
Abkürzungen: N₀₂₃: mittlere Bruchlast
s₀₂₃: Standardabweichung
o.A.: ohne Angaben

* Werte aus div. Materialgutachten /8 - 10/

Tabelle 2: Kurzzeitbruchlasten von einsatzgealterten PVC-beschichteten Geweben

Obwohl es sich bei den untersuchten Geweben mit Ausnahme der Charge D um PVC-beschichtete Polyestergewebe vergleichbar Typ I handelt, differieren die Restfestigkeiten sehr stark.

Dies ist in der unterschiedlichen Verwitterung und auch in der unterschiedlichen Einsatzzeit begründet. So war beispielsweise bei der Charge C ein Großteil der Beschichtung verwittert und das Gewebe machte optisch bereits einen geschädigten Eindruck. Die Neuwerte, die teilweise zur Verfügung standen /8 - 10/, differieren jedoch nicht stark. Sie liegen in der gleichen Größenordnung wie sie allgemein für Gewebetyp I z.B. in /2, 11/ angegeben werden. Daher wird für die weiteren Rechnungen eine Gewebefestigkeit bei 23 °C in Schußrichtung von 640 N/cm zugrunde gelegt /2/.

5.1.2 Verbindungen

An den zur Verfügung stehenden Gewebeverbindungen wurden Kurzzeitzugversuche bei 23 °C und bei 70 °C durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Zum Vergleich sind entsprechende Festigkeitswerte fabrikneuer Verbindungen mit angegeben. Auf gesichertes Zahlenmaterial der untersuchten Nahtmuster konnte nicht zurückgegriffen werden.

Zusätzlich zu den Bruchlasten und Standardabweichungen ist der Abminderungsfaktor A_3 angegeben, der das Verhältnis der mittleren Bruchlasten bei 70 °C zu 23 °C wiedergibt und ein Maß für die Abminderung des Tragverhaltens bei kurzzeitig erhöhter Temperatur darstellt.

Für die Nahtcharge A konnten wegen Versuchsmaterialmangel keine Kurzzeitzugversuche bei 70 °C durchgeführt werden.

Werkstoff	Nahtart	Einsatzzeit (Jahre)	N_{023} (N/cm)	s_{023} (N/cm)	N_{070} (N/cm)	s_{070} (N/cm)	A_3
A	DK	11,5	204	10	-	-	-
B	DK	11	131	16	92	7	1,4
C	DK	10	300	12	253	12	1,2
D	2F	14	394	44	288	42	1,4
E	2F	6	255	30	197	5	1,3
F	2HF	4	506	20	439	22	1,2

zum Ver-
gleich:

/12/	DK	neu	359	12	305	14	1,2
/ 2/	2HF	neu	506	-	480	-	1,1
/13/	2F	neu	443	-	333	-	1,4

Prüftemperatur: 23 °C und 70 °C

Einspannlänge: 200 mm

Abzugsgeschwindigkeit: 50 mm/min

Prüfrichtung: Schuß

Abkürzungen: DK: Doppelkappnaht

2F: 2fach-Flachnaht

2HF: 2fach-HF-Naht

N_{023} : mittlere Bruchlast bei 23 °C

N_{070} : mittlere Bruchlast bei 70 °C

s: Standardabweichung

Tabelle 3: Kurzzeitbruchlasten von einsatzgealterten Verbindungen PVC-beschichteter Gewebe

5.2 Zeitstandbruchversuche

Die Ergebnisse von Versuchen unter zeitlich konstanter einachsiger Zugbeanspruchung bei 23 °C bzw. 70 °C sind in Form von Zeitstandbruchkurven in den Bildern 2 bis 7 dargestellt. Aufgetragen ist die auf die jeweilige Kurzzeitzugfestigkeit bei 23 °C normierte Last im Zeitstandversuch über der Standzeit in doppeltlogarithmischer Darstellung. Die Kurven geben das Resttragverhalten der einsatzbelasteten Nähte unter langfristig einwirkender Last wieder.

Die sich aus dem Zeitstandverhalten bei 23 °C ergebenden Abminderungsfaktoren A_1 sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Zum Vergleich sind Literaturwerte für Neumaterialien mit angegeben, da über das Zeitstandverhalten der einsatzbelasteten Nähte im Neuzustand keine Unterlagen zur Verfügung standen.

Werkstoff	Nahtart	Einsatzzeit	A_1
A	DK	11,5	1,7
B	DK	11	1,8
C	DK	10	1,8
D	2F	14	2,8
E	2F	6	2,3
F	2HF	4	-
/12/	DK	neu	1,8
/2/	2 HF	neu	1,7

Abkürzungen: DK: Doppelkappnaht
 2F: 2fach-Flachnaht
 2HF: 2fach HF-Naht

$$A_1 = 1,1 \frac{N_{O23}}{N_Z (23^\circ C, 10^5 h)}$$

mit: N_{O23} : Kurzzeitzugfestigkeit bei 23 °C
 $N_Z (23^\circ C, 10^5 h)$: Zeitstandfestigkeit bei 23 °C nach einer Belastungszeit von $10^5 h$

Tabelle 4 Abminderungsfaktor A_1 von einsatzgealterten Verbindungen PVC-beschichteter Gewebe

5.3 Restfestigkeiten der Nähfäden

Aus den einsatzbelasteten Nähverbindungen wurden Nähfäden herauspräpariert und einem Kurzzeitzugversuch bei 23 °C unterzogen. Diese Untersuchungen wurden durchgeführt, da bei den Zugversuchen an den Nähverbindungen stets ein Nähfadenbruch Versagensursache war.

Für die Chargen A und E wurden sowohl die innen- wie die außenliegenden Fäden untersucht, für alle anderen nur noch die außenliegenden, da sich herausstellte, daß diese eine geringere Restfestigkeit besaßen und in der Verbindung immer für das Versagen verantwortlich waren.

Die Versuchsergebnisse sind zahlenmäßig in Tabelle 5 zusammengestellt.

Werkstoff	Einsatzzeit (Jahre)	Lage	N_{Rest} (N)
A	11,5	innen	22
		außen	7
B	11	außen	14
C	10	außen	61
D	14	außen	18
E	6	innen	38
		außen	21
aus fabrikneuer Naht			130

Tabelle 5: Restfestigkeit N_{Rest} von Nähfäden aus einsatzbelasteten Nähverbindungen PVC-beschichteter Gewebe

5.4 Mikroskopische Untersuchungen der Nähfäden

Um den Bewitterungszustand der Nähfäden optisch beurteilen zu können, werden sie mikroskopischen Untersuchungen unterzogen. Im Bild 8 ist neben einer Rasteraufnahme eines neuwertigen Fadens exemplarisch ein einsatzgealterter dargestellt (unterer Bildteil). Man erkennt deutlich, daß einzelne Filamente gebrochen sind, der Verbund ist lockerer. Bei weiterer Steigerung

der Vergrößerung (Bild 9) sind die Folgen korrosiver Angriffe auf die Einzelfilamente erkennbar, teilweise sind sie gebrochen, teilweise längs gespalten. Außerdem sieht man mehr oder weniger scharfkantige Schmutzpartikel.

Weitere Anhaltspunkte liefern auflichtmikroskopische Aufnahmen von Fadenquerschnitten. Hierzu werden herauspräparierte Fäden in Kunstharz eingegossen, anschließend in Abschnitte unterteilt, plangeschliffen und poliert. Bild 10 zeigt Querschnitte des Außen- und des Innenfadens der Nahtcharge B, Bild 11 das gleiche für die Charge E. Während man in beiden Fällen bei den Innenfäden durchaus noch von einem mehr oder weniger geschlossenen Filamentverband sprechen kann, ist dieser für die Außenfäden teilweise (B) völlig verlorengegangen.

Die Aussagen der mikroskopischen Untersuchungen korrelieren gut mit den Ergebnissen der Restfestigkeitsmessungen in Tabelle 5. Je stärker der Verbund aufgelöst wurde, bzw. je mehr Filamente beschädigt wurden, umso geringer wird die Restfestigkeit.

5.5 Bruchformen

Alle untersuchten Nähte wurden nach Abschluß der Kurz- und Langzeitversuche einer Analyse ihrer Bruchursachen unterzogen und gemäß Tabelle 6 in Anlehnung an /13/ mit Kennbuchstaben klassifiziert. Eine Zusammenstellung der hauptsächlichlichen Bruchursachen zeigt Tabelle 7 (verwendete Kennungen siehe Tabelle 6).

F = Brüche in freier Länge, nicht im Klemmen- bzw. Nahtbereich

N = Brüche der Nahtverbindung

NG = Bruch des Gewebes in bzw. an der Nahtverbindung

NS = Scherbruch der Naht

(hauptsächlich bei HF-Nähten)

NS_H = augenscheinlich Versagen der Haftung
(PVC-Gewebe)

NS_B = augenscheinlich Versagen der Beschichtung
(PVC-PVC)

NN = Bruch der Nähnahtfäden

NF = tragende Fäden aus der Nahtverbindung gezogen,
größtenteils ohne Schädigung

NP = Bruch der Gewebe an bzw. in der Naht durch
Perforation (Nähnähte)

K = Brüche mit möglicher Klemmeinwirkung

Tabelle 6: Kennbuchstaben für die Beurteilung von Bruchursachen bei Nahtverbindungen

Werkstoff	Kurzzeitzugversuch		Zeitstandbruchversuch	
	23 °C	70 °C	23 °C	70 °C
A	NN	-	NN	-
B	NN	NN	NN	NN
C	F	F	NG, F	NG, F
D	F	NN, F	F	NN
E	NF	NN	NN	NN, NF
F	F	F	-	NS _B

Tabelle 7: Bruchformen an Nahtverbindungen

6. Vergleichende Wertung der Ergebnisse

Die dargestellten Untersuchungen über das Alterungsverhalten einsatzbelasteter Nahtverbindungen PVC-beschichteter Gewebe verfolgten 2 Ziele:

- 1) eine Überprüfung des Abminderungsfaktors A_2 für Alterungseinflüsse in Abhängigkeit von Umgebungsmedium und Strahlung sowie der Einwirkdauer. Er wird für den geschätzten Lebensdauerzeitraum bei Verbindungen mit offenliegenden Nähnähten mit 1,4, bei allen anderen Verbindungen und beim Gewebe mit 1,2 angesetzt.
- 2) eine praktikable Möglichkeit zu finden, bei Bedarf die Restlebensdauer der Membran eines textilen Bauwerkes aufgrund von Werkstoffuntersuchungen abschätzen zu können.

Um diese Ziele erreichen zu können, müssen idealerweise in erster Linie zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

- 1) Die werkstoffkundlichen Grunddaten, d.h. die mechanischen Kennwerte im Neuzustand müssen bekannt oder ermittelbar sein.
- 2) Die Einsatzzeit der Bauwerke muß mit der Änderung der mechanischen Kennwerte korrelierbar sein.

Beide Voraussetzungen erwiesen sich im vorliegenden Fall jedoch nicht oder nur teilweise als gegeben.

Es konnten zwar mit dem Altmaterial teilweise alte Prüfzeugnisse /8 - 10/ beschafft werden, in denen Aussagen über mechanische Kenndaten gemacht wurden, diese bezogen sich jedoch ausschließlich auf die verwendeten Gewebe und nicht auf die Flächenverbindungen. Außerdem beschränkten sich die Angaben auf Ergebnisse von Kurzzeituntersuchungen, Zeitstandbruchkurven zum Beispiel waren nicht enthalten.

Für reine Nähverbindungen haben vorangegangene Untersuchungen /14, 2/ jedoch gezeigt, daß zum einen unabhängig von der konstruktiven Gestaltung bei gleichem Grundgewebetyp in etwa gleiche Kurzzeitfestigkeiten erreicht werden und zum anderen bei Variation des Gewebetyps etwa die gleiche Gewebeausnutzung erreicht wird. Dies wird in Bild 12 deutlich, wo die Gewebeausnutzung verschiedener 2fach-Nähnähte zum Teil unterschiedlicher PVC-beschichteter Polyestergewebe gegenübergestellt wurde. Die Daten dazu wurden am Institut für Kunststoffverarbeitung im Laufe der Zeit erstellten Werkstoffgutachten entnommen. Für eine Prüftemperatur von 23 °C streuen diese Werte nur zwischen 49 % und 57 %, im Mittel liegen sie bei etwa 54 % der Gewebefestigkeit.

Weiterhin konnte festgestellt werden, daß die in den alten Prüfzeugnissen gefundenen Angaben zur Gewebefestigkeit bei Raumtemperatur mit an Neumaterial vergleichbaren Typs ermittelten übereinstimmen. Daraus wurde in Ermangelung tatsächlich bekannter Neuwerte der Kurzzeitkennwerten der einsatzbelasteten Nähverbindungen der Schluß gezogen, daß die 23 °C-Kurzzeitfestigkeiten der Nähnähte im Neuzustand etwa bei 350 N/cm gelegen haben müssen.

Die nächste Schwierigkeit ergab sich bei der Korrelation des Alterungszustandes mit der Einsatzzeit. Vergleicht man die Restfestigkeiten z.B. der untersuchten Doppelkappnähte und den zugehörigen Geweben mit den Einsatzzeiten (Bild 13), so ist auf den ersten Blick kein Zusammenhang erkennbar. Gleiches gilt für die Nähfadenfestigkeit (Bild 14). Aus Bild 13 erkennt man außerdem, daß die ehemals annähernd gleichen Ausnutzungsgrade nach erfolgter Einsatzalterung stark differieren (zwischen 27 % und 83 %). Daraus ist zu folgern, daß Gewebe und Naht unterschiedlich altern.

Die anscheinend mangelnde Korrelation zwischen Einsatzalter und Restfestigkeit ist zum einen in den unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten und Umweltbelastungsgraden der Standorte begründet, zum anderen in der verhältnismäßig kleinen Zahl der Materialien, die hier untersucht werden. Bezieht man die Restfestigkeit der einsatzgealterten Nähnähte auf die jeweilige

Gewebefestigkeit im Neuzustand, so können einige Angaben aus der Literatur mitverarbeitet werden /13, 15/, auch wenn dort andere Gewebetypen untersucht wurden. Trägt man nun, wie in Bild 15 geschehen, die Gewebeausnutzung über der Einsatzzeit auf, so ist eine Korrelation deutlich erkennbar. Die Streubreite entspricht maximal der im Neuzustand entsprechend Bild 12. Die Charge C ist offensichtlich jedoch deutlich weniger gealtert, als es ihrer Einsatzzeit entspricht. Aus Bild 15 und der direkten Gegenüberstellung der Meßergebnisse in Bild 16 und Tabelle 3 ist außerdem erkennbar, daß die Unterschiede in der Nahtfestigkeit bei 23 °C und bei 70 °C, also der Abminderungsfaktor A_3 in der Größenordnung der Neuwerte liegt. A_3 erhöht sich also bei Nähnähten offensichtlich nicht mit zunehmender Einsatzzeit.

Eine durchgeführte elektronenmikroskopische Analyse der einsatzbelasteten Beschichtung im Nahtbereich brachte keine Aufschlüsse über den Alterungszustand. Es ergaben sich unabhängig von der Einsatzzeit zwei unterschiedliche Eindrücke. Während die Charge A (Bild 17) eine stark zerklüftete, tief eingerissene Oberfläche zeigt, aus der im Nahtbereich teilweise Stücke herausbrechen, so daß die Gewebefäden freiliegen, zeigen alle anderen eine eher fein gerissene gleichmäßige Oberfläche. Als Beispiel sei hier in Bild 18 die Gewebeoberfläche der Charge C dargestellt. Beide Chargen stammen aus klimatisch ähnlicher Umgebung.

Das Zeitstandverhalten der einsatzbelasteten Nähverbindungen ist vergleichend in den Bildern 19 und 20 dargestellt. Als Ausgangswerte wurden die Daten aus /12/ herangezogen, die Zeitstandkurven der dort untersuchten Doppelkappnähte wurden mit in die Diagramme eingezeichnet.

Im Zeitstandverhalten ist keine Korrelation zwischen Einsatzzeit und Alterungszustand erkennbar, jedoch entspricht die Reihenfolge der aus den Kurzzeitversuchen. Mit Ausnahme der Charge E laufen die Kurven im Bereich der Meßungenauigkeiten parallel, ihre Neigung ist ähnlich der Neuwertkurve. Die starken Niveauunterschiede beruhen in erster Linie auf den stark unterschiedlichen Kurzzeitwerten. Offensichtlich hat sich das langzeitige Tragverhalten,

wenn man von der Charge E einmal absieht, nach langjähriger Einsatzbelastung nicht grundlegend gegenüber dem Neuzustand verändert. Dies entspricht den Aussagen in /15/.

Um das Verhalten von "E" zu erklären, hätte es weitergehender Versuche - für die kein Material vorhanden war - und exakter Kenntnisse über den Kurvenverlauf im Neuzustand bedurft.

Aus den bisher dargestellten und verglichenen Versuchsergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß sich die zunehmende Alterung von einsatzbelasteten Nähverbindungen in erster Linie in einer Abnahme der Restfestigkeit gegenüber kurzzeitiger Belastung ausdrückt. Trägt man nun das Verhältnis der Kurzzeitzugfestigkeiten von Nähnähten nach und vor erfolgter Einsatzalterung über der Einsatzzeit auf, so ergibt sich der in Bild 21 dargestellte Zusammenhang. Neben den eigenen Untersuchungsergebnissen wurden die Literaturangaben aus /13/ und /15/ mit verarbeitet. Da die Werte stark streuen, erscheint eine Regression in Anbetracht des begrenzten Stichprobenraumes wenig sinnvoll. Stattdessen wurde ein Streuband angegeben, das durch die besten und die schlechtesten Nähte begrenzt ist. Die Charge B wurde nicht gewertet. Es zeigt sich, daß der bisher angesetzte Zahlenwert von $A_2 = 1,4$ für Nähverbindungen teilweise deutlich überschritten wird. Er stellt bei 15 Jahren Lebensdauer eher einen unteren Grenzwert dar. Im schlechtesten Fall wäre $A_2 = 1,4$ bereits nach weniger als 7 Jahren erreicht. Ein Wert von 1,6 bis 1,8 entspräche der Realität mehr. Dies kann an dieser Stelle jedoch nur ein Hinweis für Zustandskontrollen bestehender Bauwerke sein, da zur Erhärtung der Aussage Untersuchungen in größerem als dem hier durchgeführten Umfang notwendig wären.

7. Abschätzung der Standsicherheit und der Restlebensdauer

Basierend auf statischen Versuchen mit einachsiger Beanspruchung wurden Berechnungen von zulässigen Tragkräften (zul n_o) für Tragluftbauten insbesondere für bauaufsichtliche Zulassungsverfahren vorgenommen /16, 17/. Dabei wurden die Ergebnisse von Kurzzeit- und Zeitstandversuchen in Form von Abminderungsfaktoren miteinander kombiniert. Für Tragluftbauten erfolgt die Berechnung der zulässigen Tragkräfte für die Lastfälle "Wintersturm, Sommergewitter und Dauerbeanspruchung". In der Praxis hat sich der Lastfall "Wintersturm" als kritisch und bemessungsbestimmend erwiesen. Im Rahmen von Zustandskontrollen muß der Sachverständige im Zweifelsfall die Dimensionierung für diesen Lastfall nachvollziehen. Dies kann bei starker Verwitterung der Nähfäden im Nahtbereich oder bei Ablauf der vorgegebenen Lebensdauer notwendig werden.

Die Vorgehensweise dazu ist wie folgt:

- 1) Ermittlung der Restfestigkeit der Nahtverbindung
- 2) Ermittlung der tatsächlichen Nahtbelastung n_o (Naht) für den Lastfall "Wintersturm"
- 3) Berechnung der zulässigen Tragkraft zul n_o (Naht) für den Lastfall "Wintersturm"
- 4) Vergleich der tatsächlichen Nahtbelastung mit der zulässigen Tragkraft.

Dies wurde am Beispiel der Charge E nach 6 Jahren Einsatzzeit durchgeführt. Es handelte sich hier um eine Traglufthalle von 36 m Länge, 18 m Breite und 7 m Kuppelhöhe bei einem Kuppelradius von 9,3 m. Der Innendruck beträgt 0,3 kN/m². Hieraus ergibt sich für den Lastfall "Wintersturm" eine Nahtbelastung n_o Naht von ca. 75 N/cm.

Die zulässige Tragkraft der einsatzgealterten Naht errechnet sich nach der Gleichung

$$\text{zul } n_o = \frac{N_{\text{Bez.23}}(\text{alt})}{\gamma \cdot A_o}$$

mit $A_0 = 1,2$ und $\gamma = 1,5 / 2$.

Die Bezugsgröße der Kurzzeitfestigkeit ergibt sich aus

$$N_{\text{Bez.23}} = N_{023} (1 - k(p) \cdot v_{23})$$

mit N_{023} : Restfestigkeit der Naht bei 23 °C (255 N/cm)
 $k(p)$: von der Probenzahl abhängiger Faktor (hier für
5 Proben $k = 2,46$)
 v_{23} : Variationskoeffizient aus der Restfestigkeitsunter-
suchung (0,11)

im vorliegenden Fall zu $N_{\text{Bez.23}} = 186$ N/cm.

Da mit den tatsächlichen Restfestigkeiten gerechnet wurde, bleibt zum Nachweis der Standsicherheit A_2 unberücksichtigt. Im Beispiel ergibt sich nun n_0 (Naht) zu 103 N/cm. Zum Zeitpunkt der Materialentnahme hatte das Bauwerk also gegen "Wintersturm" noch eine zusätzliche rechnerische Restsicherheit von

$$s = \frac{\text{zul } n_0 \text{ (Naht)}}{n_0 \text{ (Naht)}} = 1,37$$

Da, wie aus Bild 21 ersichtlich wird, A_2 der Naht im Laufe der Einsatzzeit zunimmt, ist es wünschenswert abzuschätzen, wie lange die Standsicherheit gegen den Lastfall "Wintersturm" noch gegeben ist. Dies ist bis zu dem Zeitpunkt der Fall, an dem sich A_2 um den Restsicherheitsfaktor 1,37 erhöht. Im vorliegenden Beispiel wäre das (einen linearen Zusammenhang vorausgesetzt) etwa nach 10 Jahren.

8. Restfestigkeiten von HF-Nähten

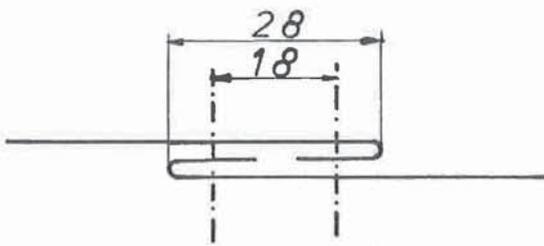
Leider konnte für die hier dargestellten Untersuchungen nur eine HF-geschweißte Verbindung (F) beschafft werden. Die Einsatzzeit war auch mit 4 Jahren verhältnismäßig gering. Auch in der Literatur fanden sich nur 2 Quellen /13, 18/. Eine umfassende Übersicht analog den Nähverbindungen war daher hier nicht möglich. Eine Zusammenstellung der Kurzzeitfestigkeiten aus eigenen Versuchen und den gefundenen Literaturangaben zeigt Bild 22. Es fällt auf, daß die 30 mm HF-Naht /18/ nach 9 Jahren Einsatzzeit mit ca. 400 N/cm um etwa 25 % unter dem mit dieser Naht erfahrungsgemäß erreichbaren Neuwert liegt. Doch Analogieschlüsse ähnlich wie bei Nähverbindungen sind bei Schweißnähten nicht möglich, da hier die erreichbaren Festigkeiten stark vom Material und den Schweißbedingungen abhängen /3/. Um das Alterungsverhalten geschweißter Flächennähte PVC-beschichteter Polyester-gewebe beurteilen zu können, sind unbedingt Daten vom tatsächlichen Neuzustand nötig.

9. Literaturverzeichnis

- /1/ Gallep, H. Die bauaufsichtliche Behandlung von Kunststoff-Membranen
Vorabdruck zum IKV-Symposium
"Beschichtete Chemiefasergewebe"
Aachen, 1979
- /2/ Minte, J. Das mechanische Verhalten von Verbindungen beschichteter Chemiefasergewebe
Dissertation, RWTH Aachen, 1981
- /3/ Michel, J. Verbindungselemente PVC-beschichteter Polyestergerewebe unter zyklischer Beanspruchung
Minte, J. Forschungsbericht, IKV Aachen, 1983
IKV-Archiv-Nr. B 8315
- /4/ Blumberg, H. Zeitstandverhalten von PVC-beschichteten Polyamid- und Polyestergereweben in Praxis- und Laborprüfungen
Krummheuer, W. Nebe, J. Kunststoffe 66 (1976) 2, S. 97 - 103
- /5/ Behm, G. Membranen: Künstliche Bewitterung und mechanische Eigenschaften
Münsch, R. SFB-64 Mitteilungen, 58/1980, S. 152 - 171
- /6/ Ziegmann, G. Untersuchung des Einflusses von Medien und Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften von PVC-beschichteten Polyestergereweben
Minte, J. Forschungsbericht, IKV Aachen, 1979
IKV-Archiv-Nr. B 7934
- /7/ N.N. Richtlinien für Zulassungsprüfung beschichteter Gewebe und deren Verbindungen
Entwurf Institut für Bautechnik, Berlin 1982
- /8/ N.N. Qualitätszeugnis für Traglufthallenmaterial der Firma Ernstmeier KG, Herford
-
- /9/ N.N. Prüfzeugnis 3.2/5927 der Bundesanstalt für die Spinnstoffwirtschaft in Krefeld, 1971
- /10/ N.N. Prüfzeugnis V1/69/2142A der öffentlichen Prüfstelle für die Spinnstoffwirtschaft in Krefeld, 1971
- /11/ Meffert, B. Mechanische Eigenschaften PVC-beschichteter Polyestergerewebe
Dissertation, RWTH Aachen, 1978

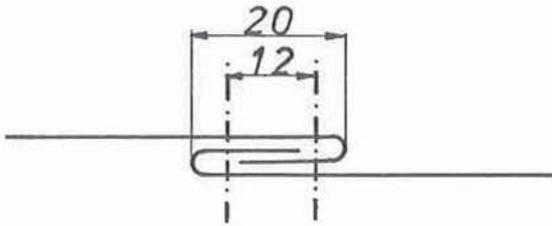
- /12/ Braun, W.
Michel, J. Werkstoffuntersuchungen an Doppelkapp-
nähten aus PVC-beschichtetem Polyester-
gewebe Typ I
IKV Aachen, 1983, unveröffentlicht
- /13/ Fick, K.F.
Schulz, U. Untersuchung an Membranwerkstoffen
und ihren Verbindungen
Forschungsbericht, Versuchsanstalt für
Stahl, Holz und Steine
Universität Karlsruhe, 1980
- /14/ Michel, J.
Minte, J. Optimierung von Verbindungselementen
PVC-beschichteter Chemiefasergewebe
Forschungsbericht, IKV Aachen, 1982
IKV-Archiv-Nr. B 8241
- /15/ Adamczyk, B. Untersuchung der mechanischen Eigen-
schaften von Nähverbindungen des PVC-
beschichtetem Polyestergewebe nach
5jährigem Einsatz im Bauwerk
Studienarbeit am IKV, Aachen, 1980
- /16/ König, G.
Neunisch, M.
Hosser, D. Gutachterliche Stellungnahme zur
Festlegung von Standsicherheitsanforde-
rungen für den Standsicherheitsnachweis
von Tragluftbauten, Teil I und Teil II
unveröffentlichter Bericht, Frankfurt,
1979
- /17/ Hosser, D. Erläuterung zum Bemessungskonzept für
Tragluftbauten
unveröffentlichte Arbeit, Frankfurt,
1979
- /18/ Rehm, G.
Franke, L. Projektbereich K, Materialforschung
Jahresbericht 1981 des SFB 64,
Stuttgart, 1982
-

10. Abbildungen

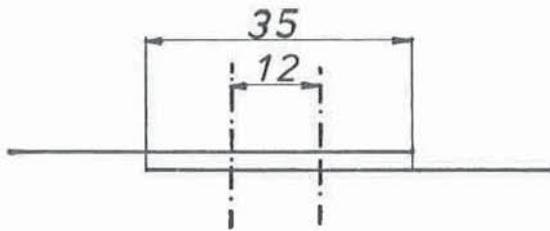


A,C

Doppelkappnaht

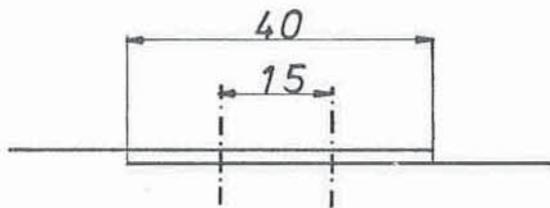


B

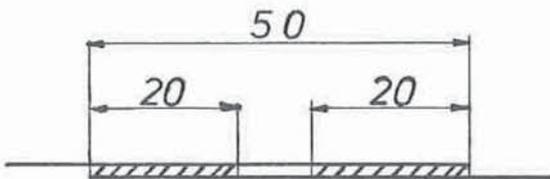


D

2-fach-Flachnaht



E



F

*Hochfrequenz -
Schweißnaht*

———— Gewebe

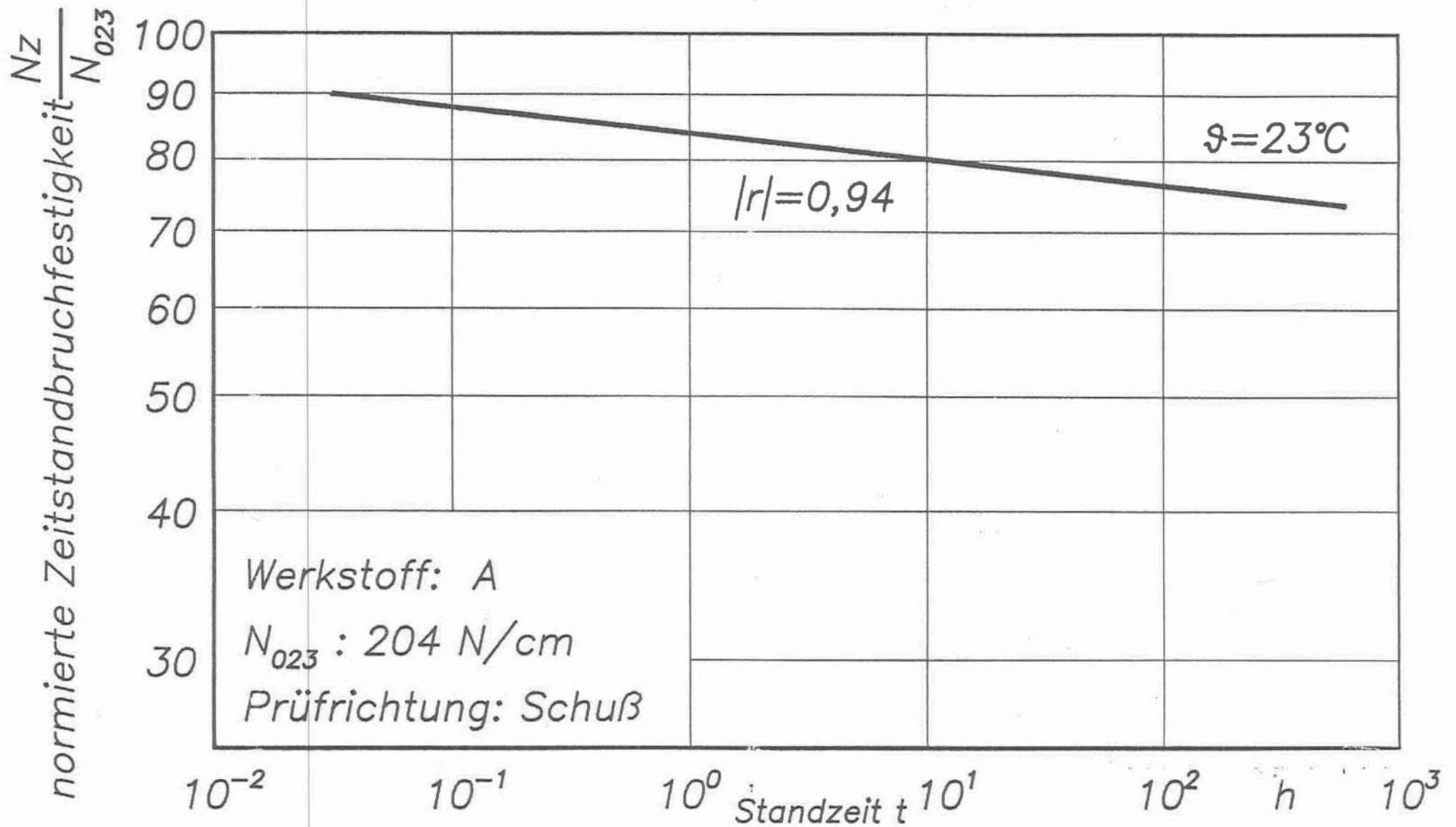
- - - - Nähnaht

/////// Schweißbereich



Nahtformen

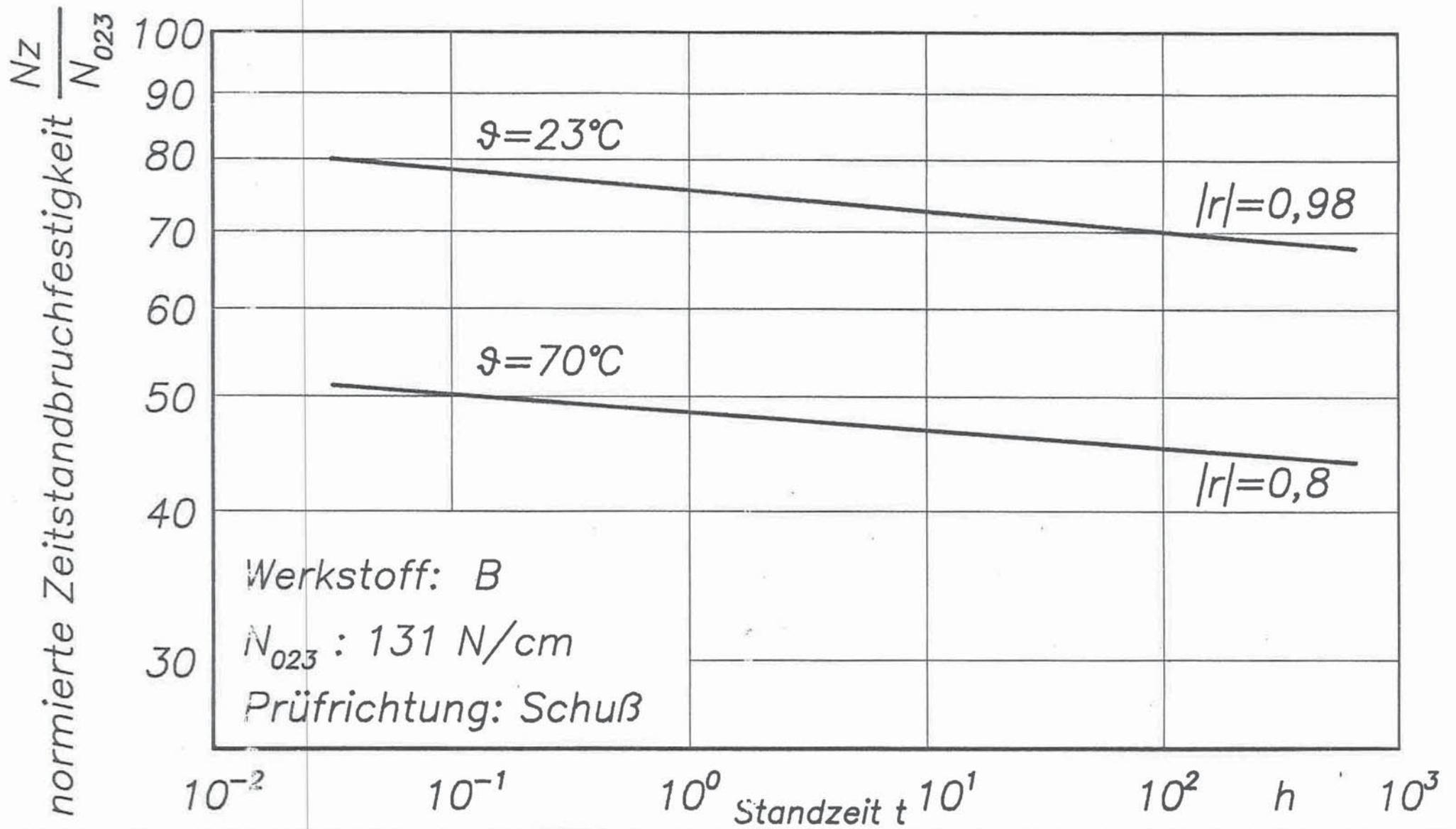
Bild 1



Zeitstandverhalten von Nähnähten

(Doppelkappnaht nach 11,5 Jahren Einsatz)

Bild 2

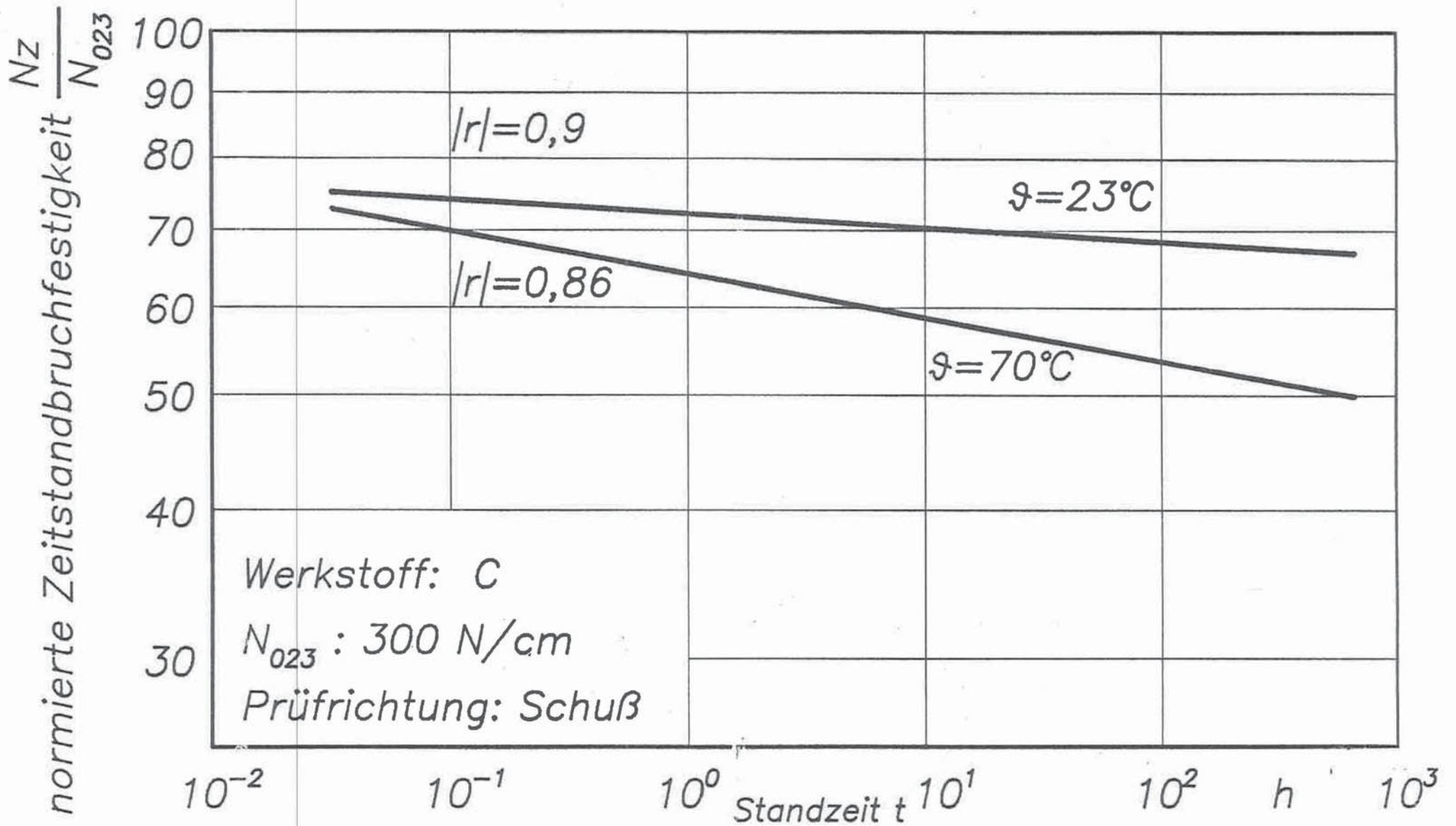


Zeitstandverhalten von Nähnähten

(Doppelkappnaht nach 11 Jahren Einsatz)

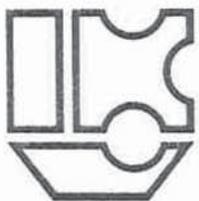


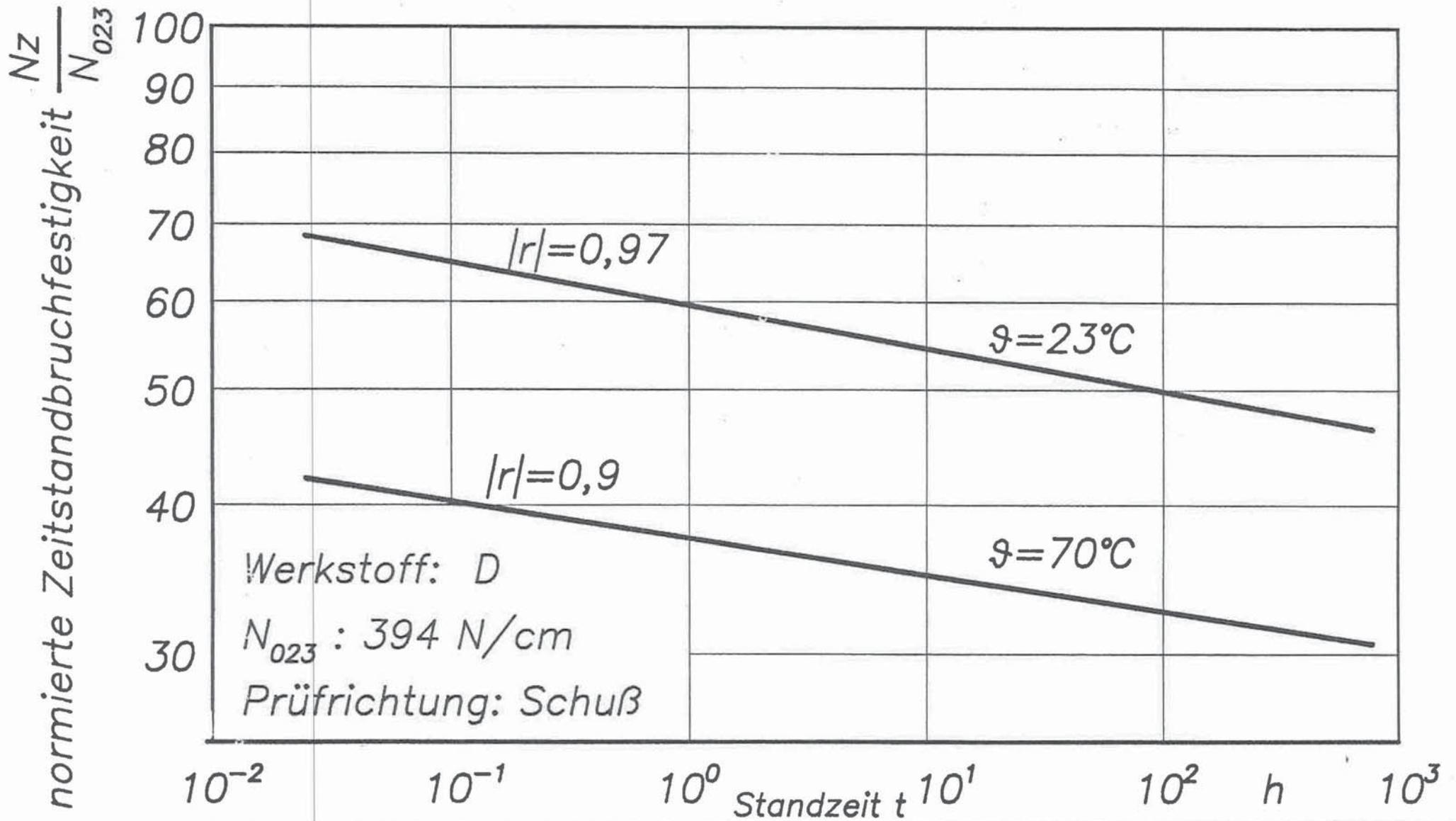
Bild 3



Zeitstandverhalten von Nähnähten

(Doppelkappnaht nach 10 Jahren Einsatz)

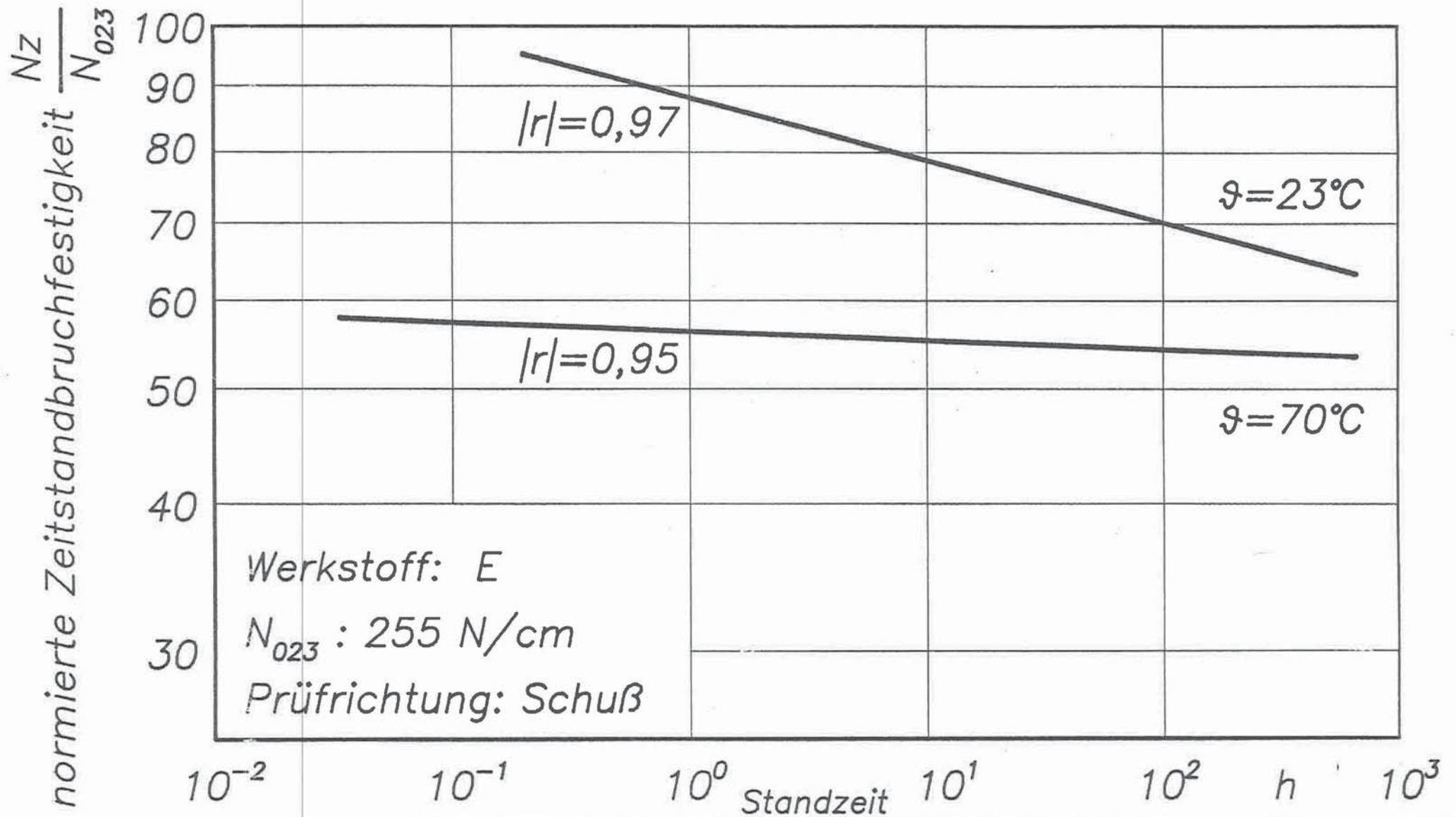




Zeitstandverhalten von Nähnähten

(2-fach Flachnaht nach 14 Jahren Einsatz)

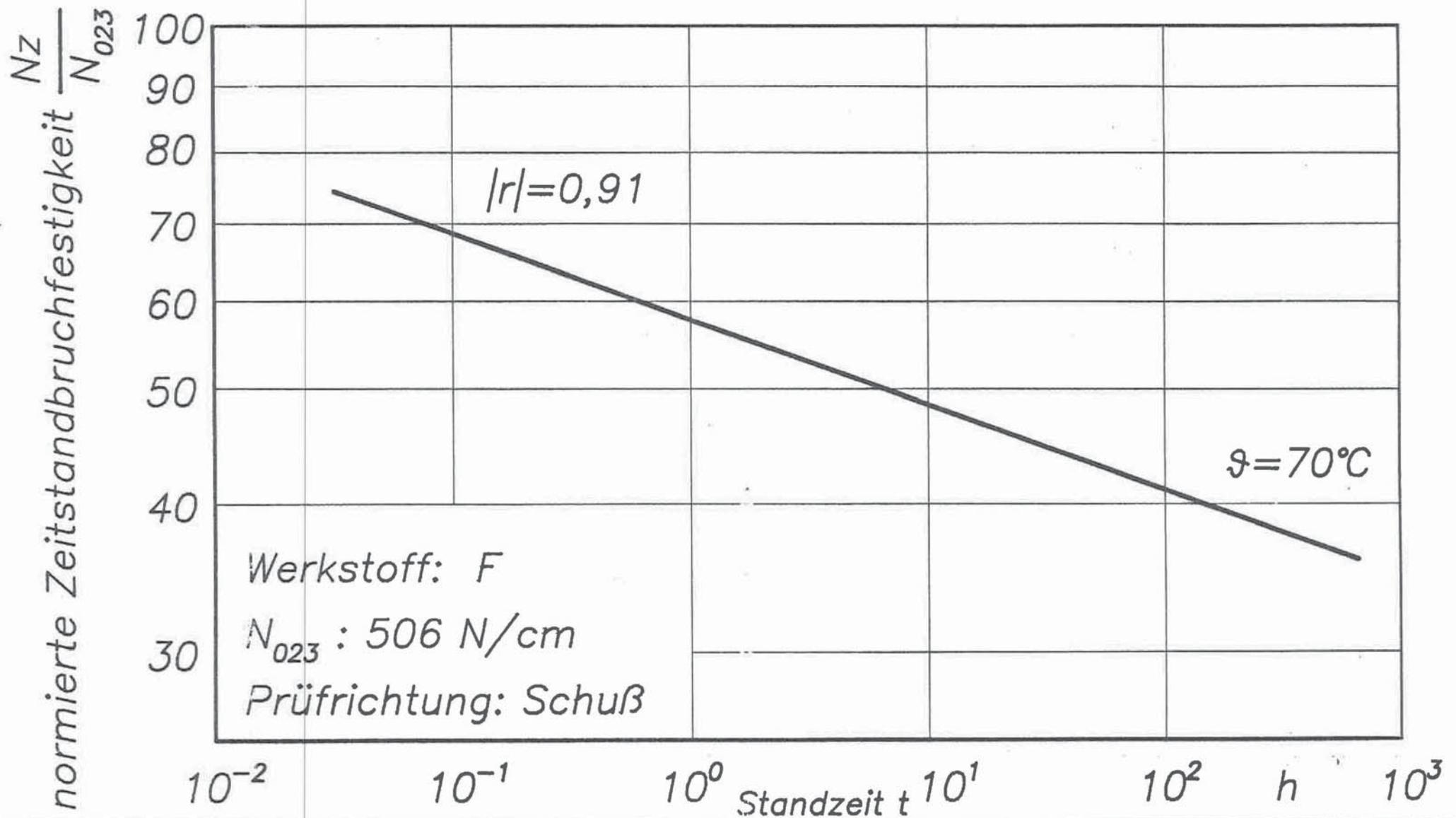
Bild 5



Zeitstandverhalten von Nähnähten

(2-fach Flachnaht nach 6 Jahren Einsatz)

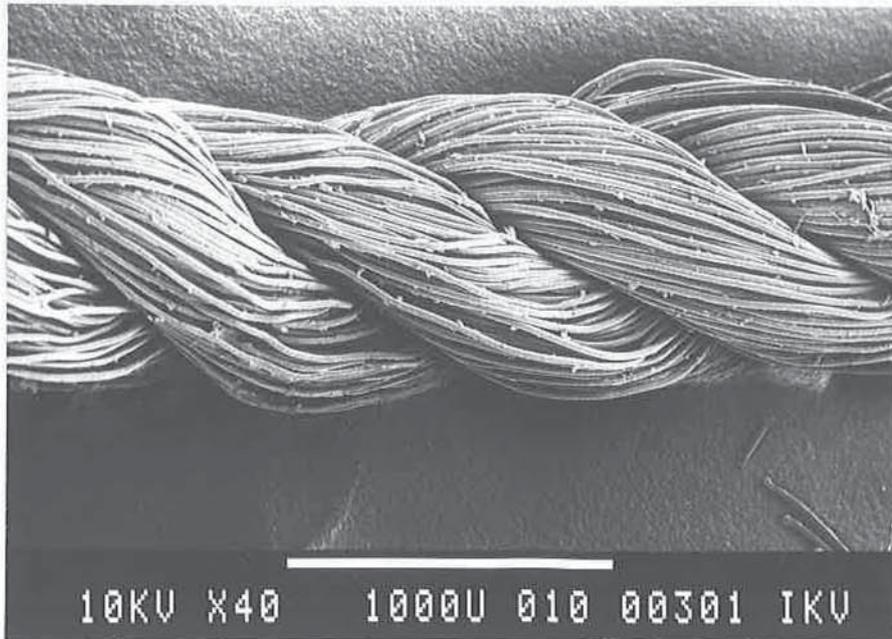
Bild 6



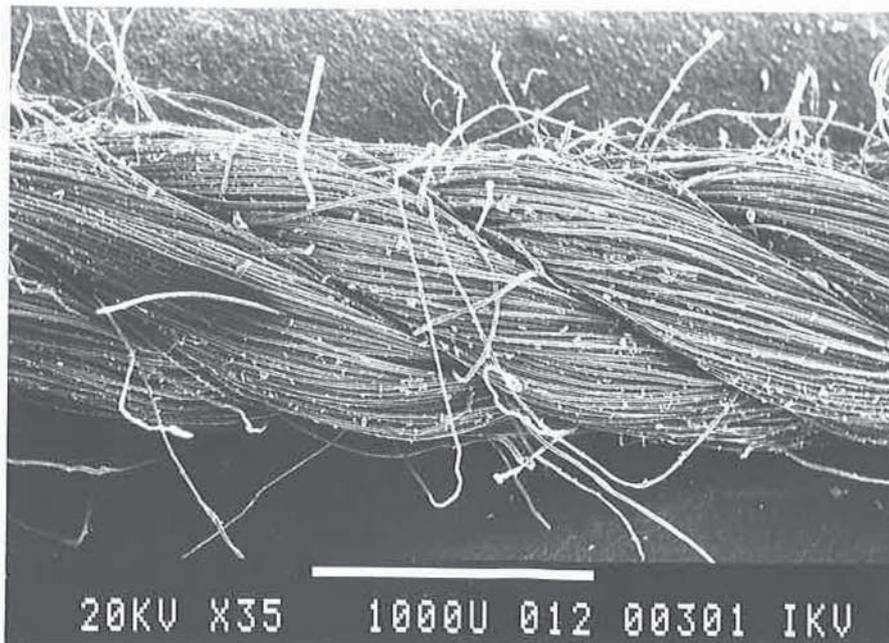
Zeitstandverhalten von Schweißnähten

(2-fach HF-Naht nach 4 Jahren Einsatz)

Bild 7



neu, Vergrößerung: 40-fach



alt, Vergrößerung: 35-fach

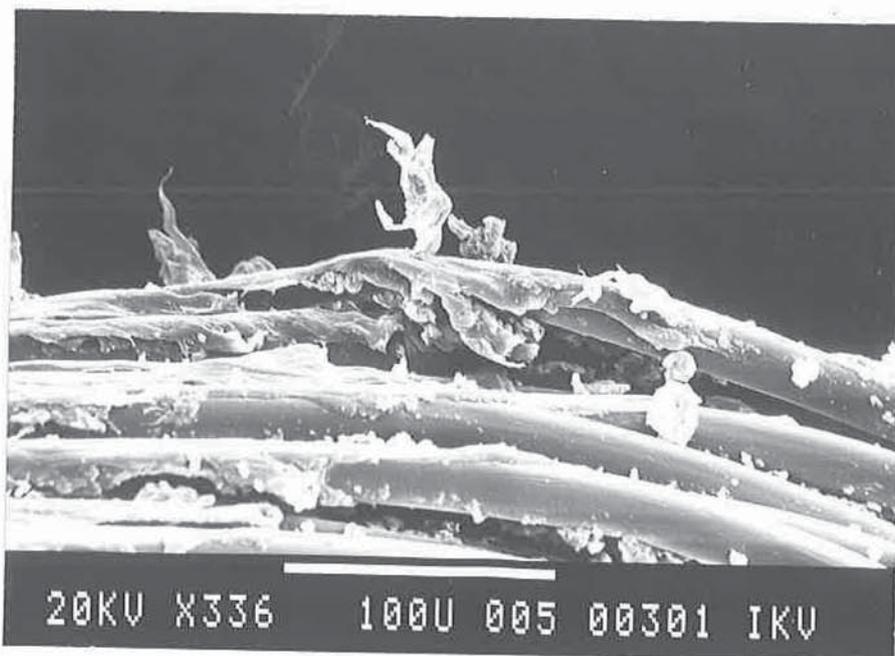


Nähfadenvergleich

neu / alt



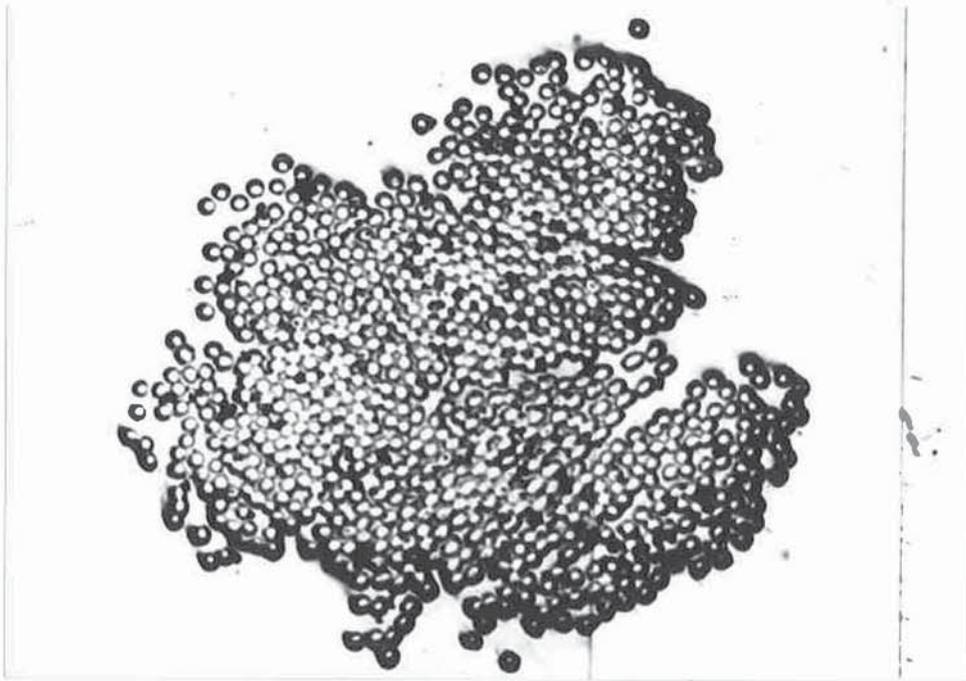
Vergrößerung: 144-fach



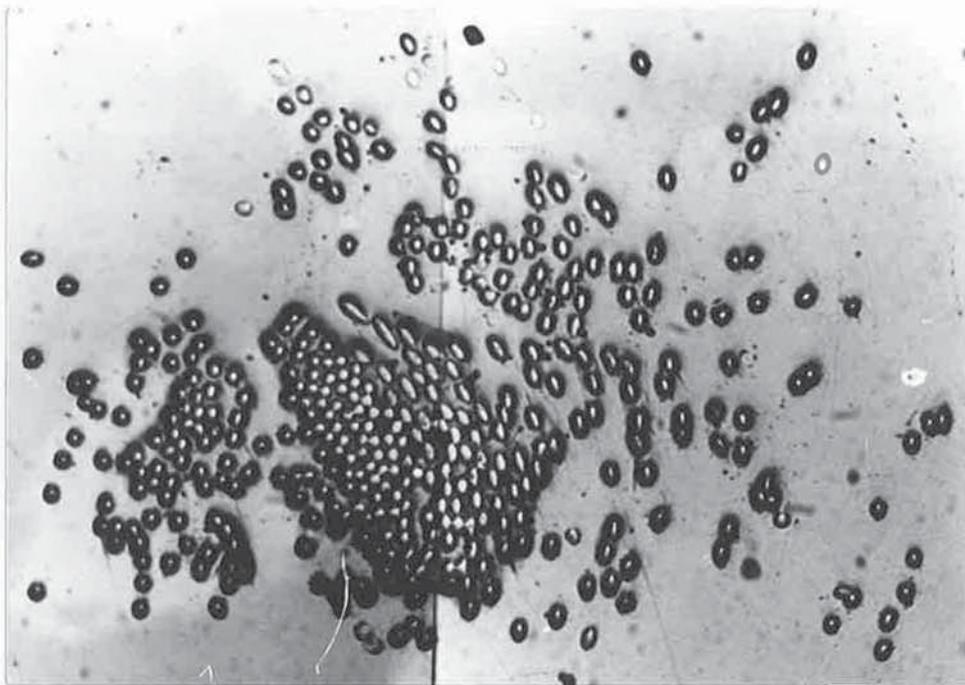
Vergrößerung: 336-fach



Nähfäden, alt



innen

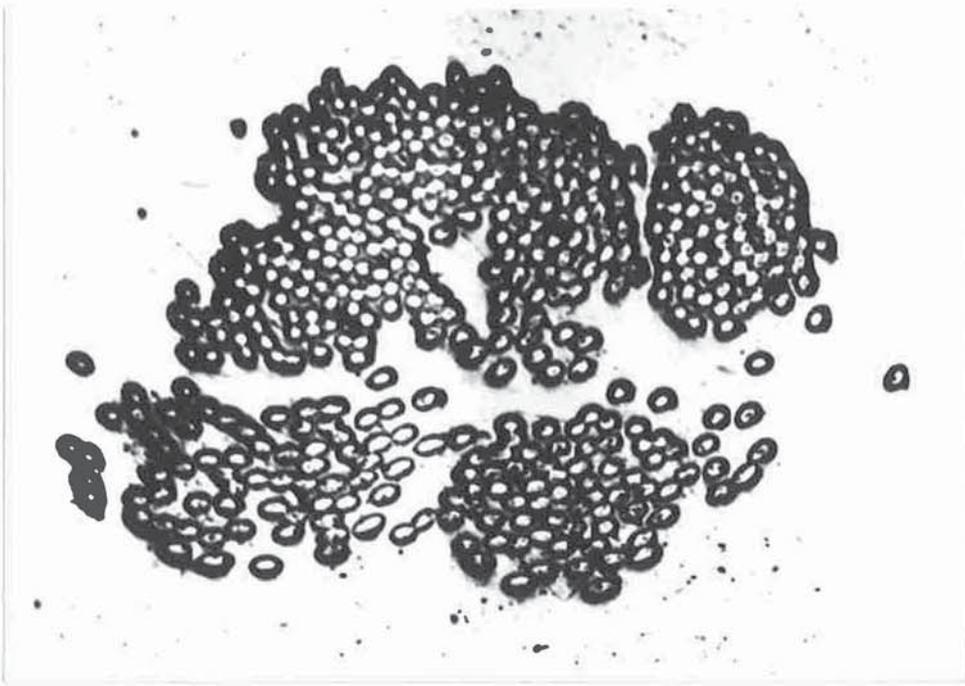


außen

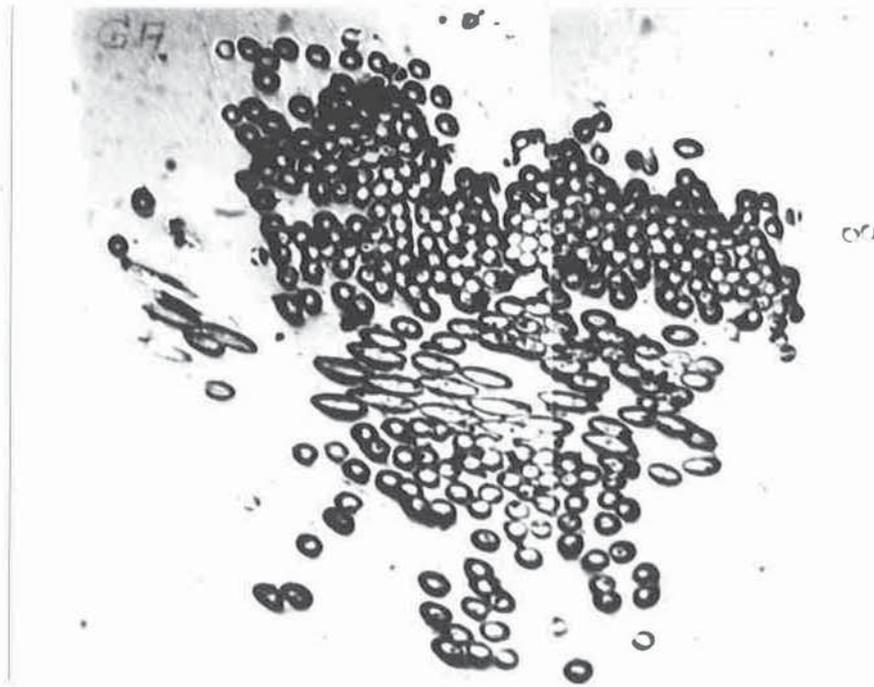


Nähfadenquerschnitt (B)

Bild 10



innen

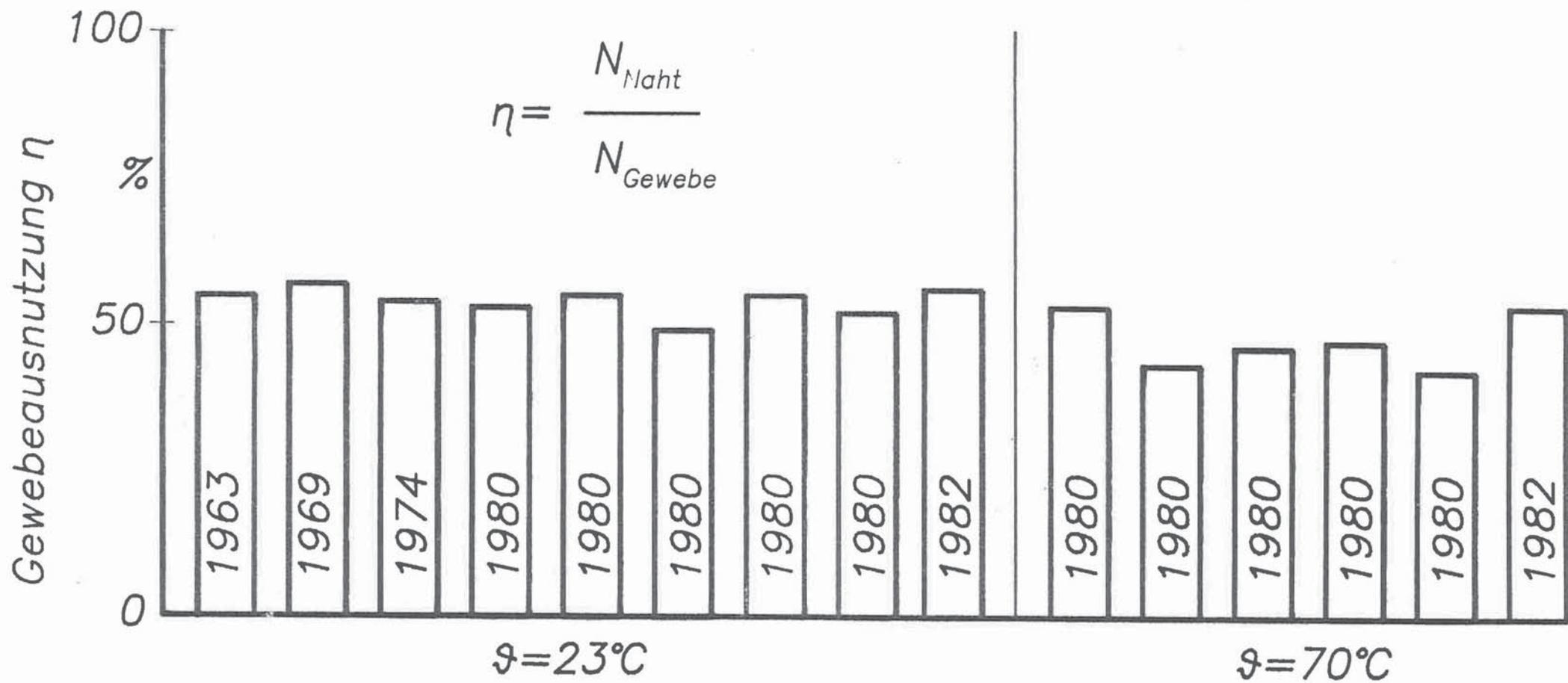


außen



Nähfadenquerschnitt (E)

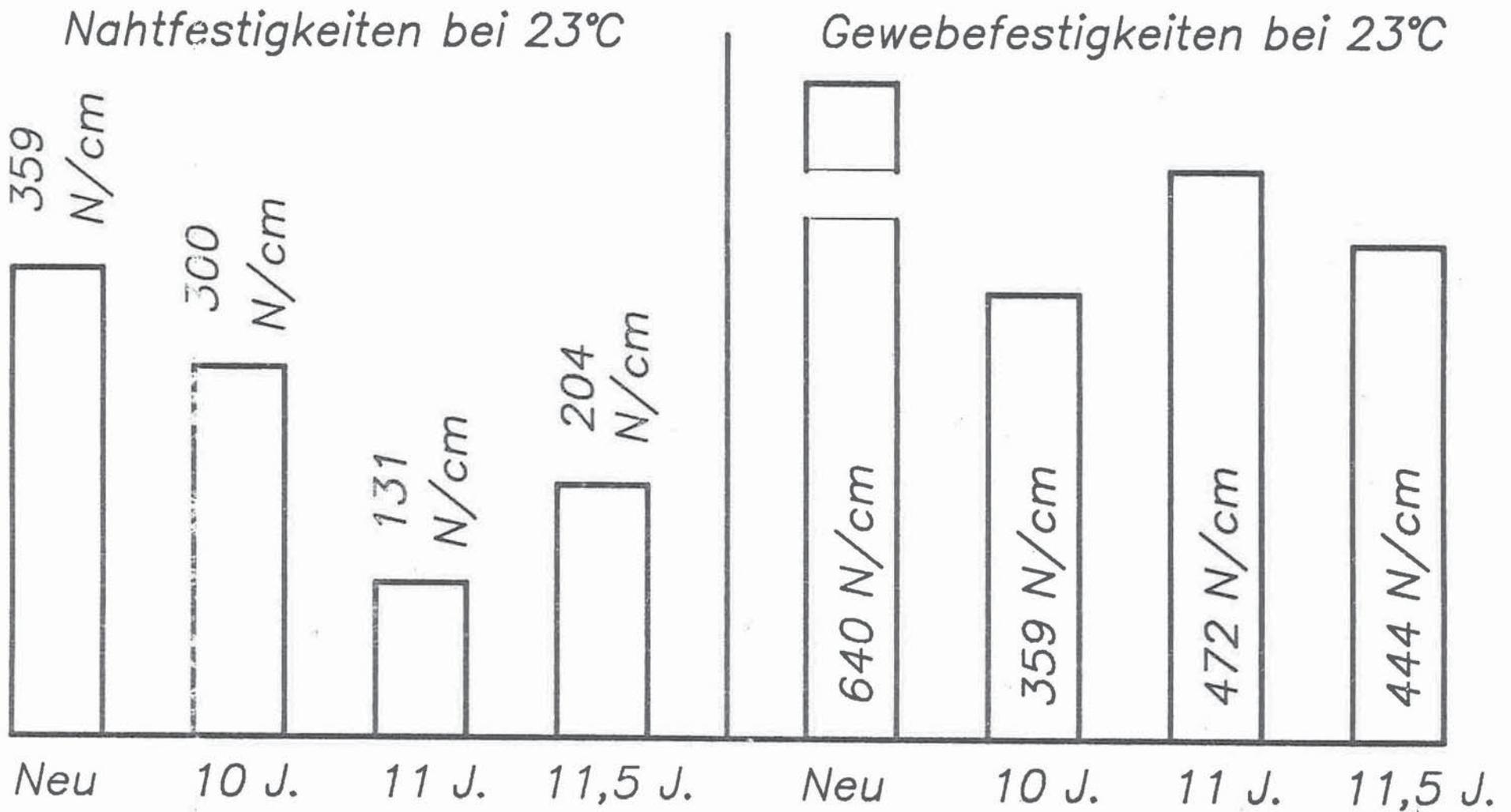
Bild 11



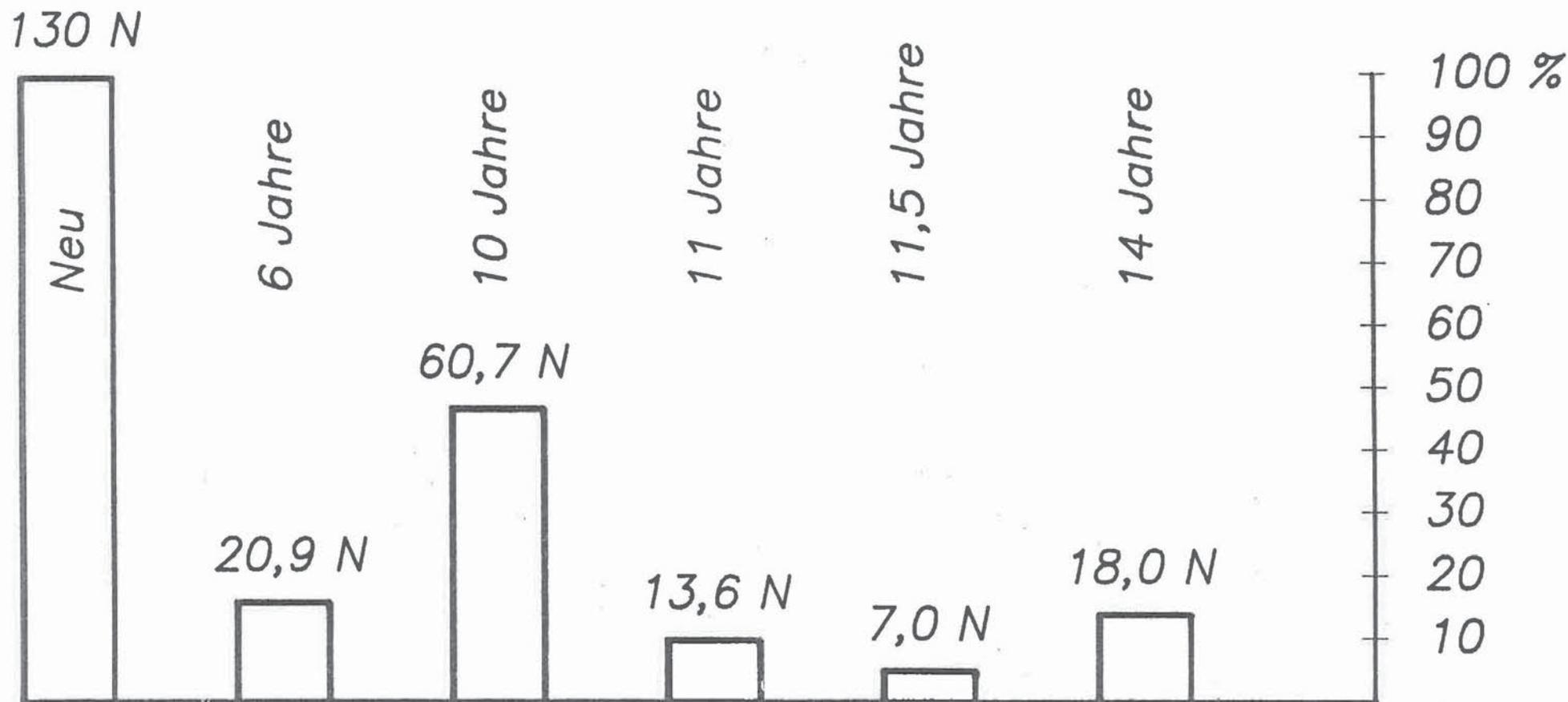
Gewebeausnutzung von Nähnähten

(Neuwerte)



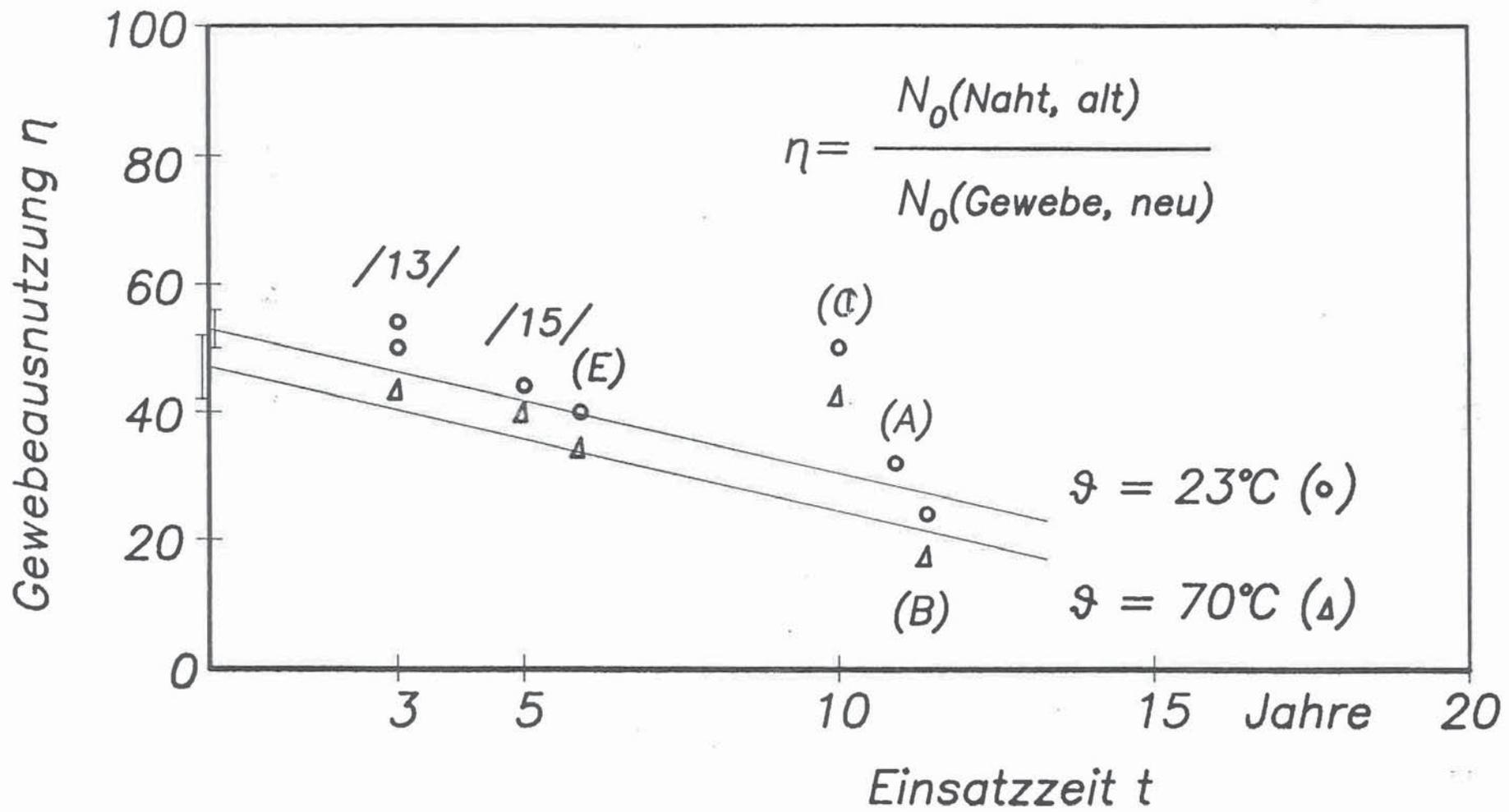


Festigkeiten von Doppelkappnähten und Geweben mit unterschiedlichen Einsatzzeiten
Bild 13



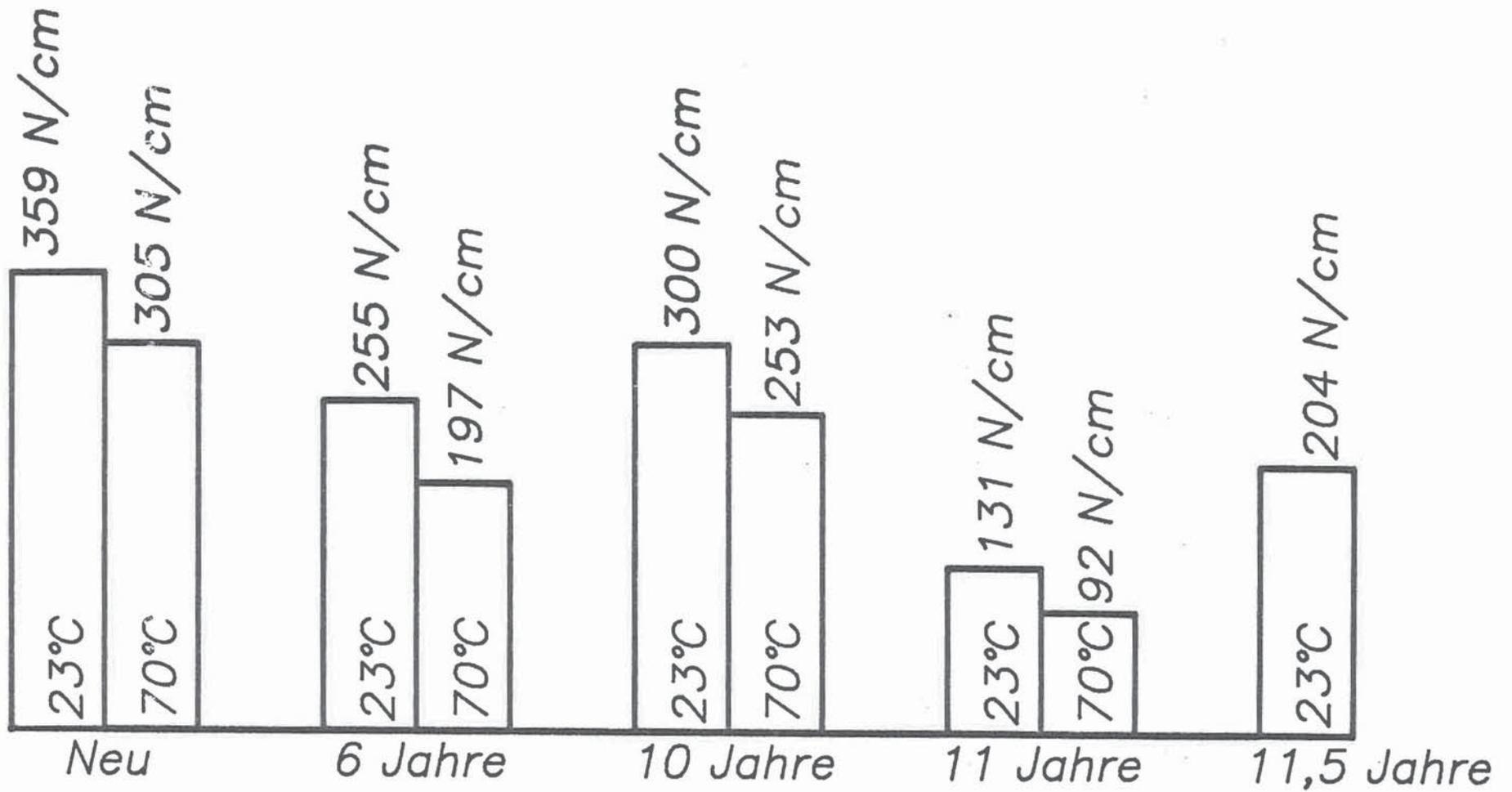
*Restfestigkeit der äußeren Nähfäden
in Abhängigkeit von der Einsatzzeit*

Bild 14

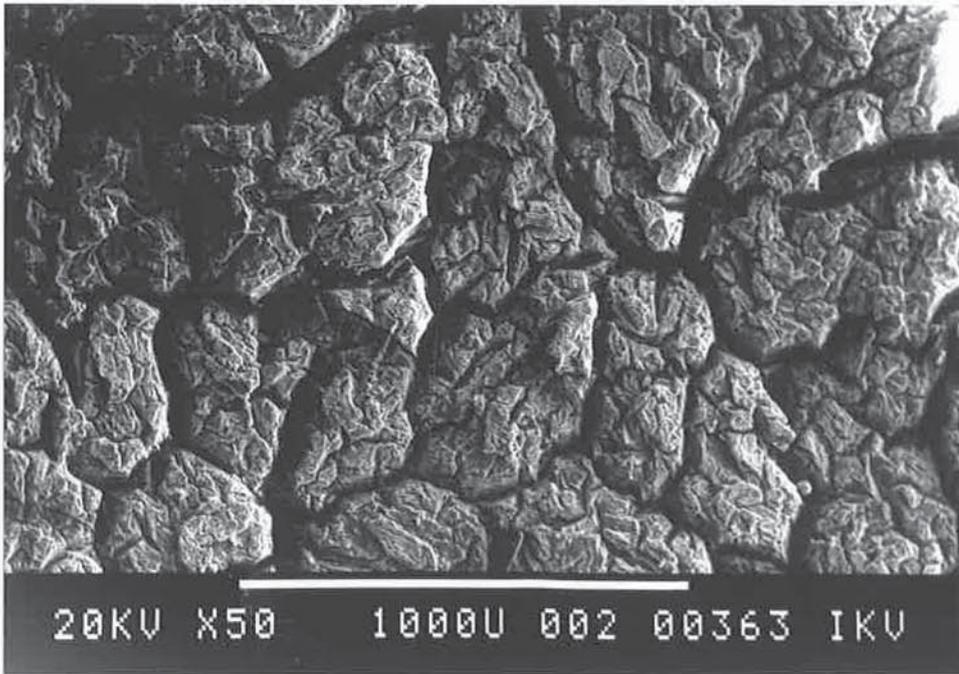


Gewebeausnutzung
 von einsatzbelasteten Nähnähten

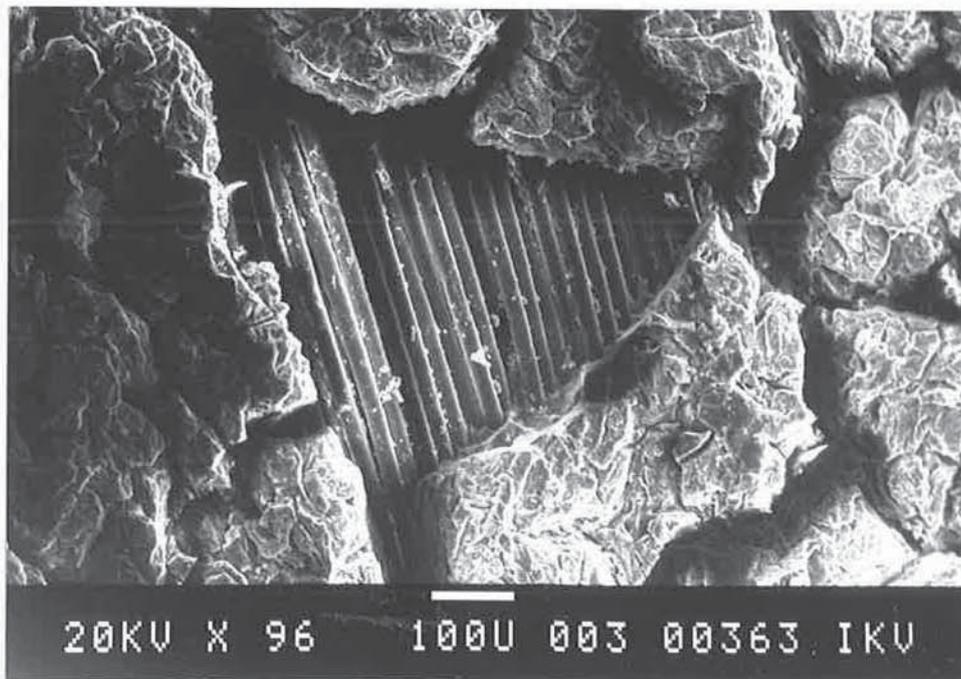




Vergleich der Kurzzeitfestigkeit
bei 23°C und 70°C (Nähnähte)



Vergrößerung 50-fach



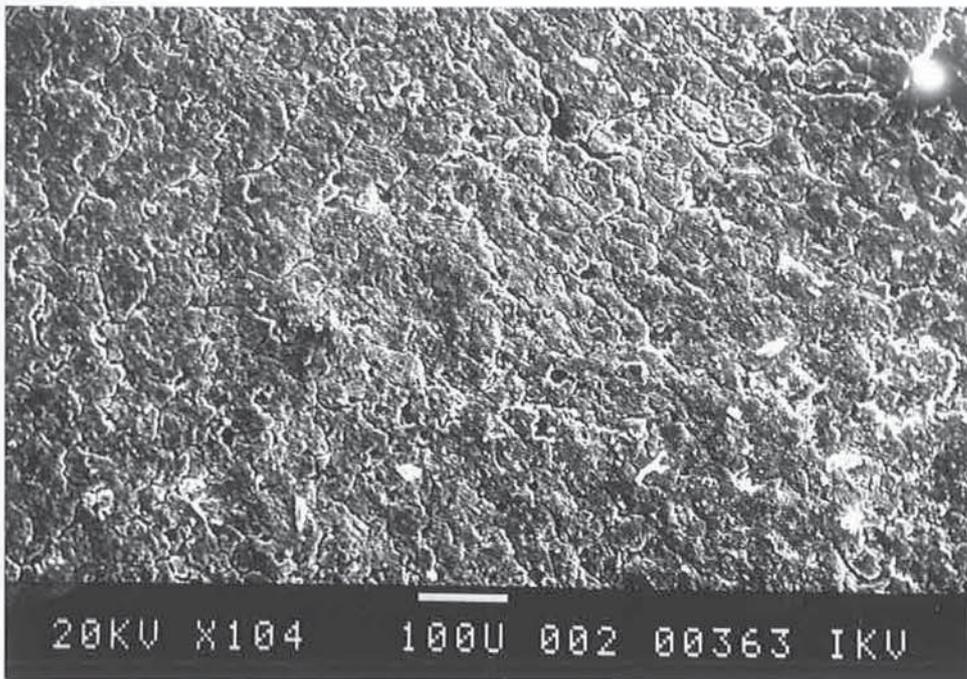
Vergrößerung 96-fach



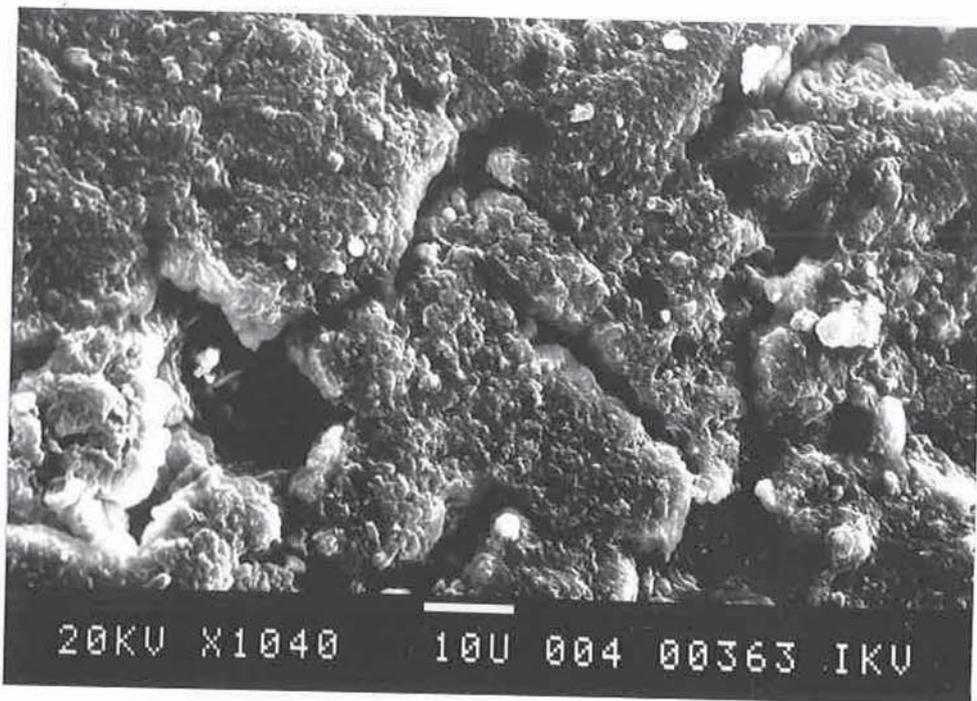
Gewebeoberfl. im Nahtbereich

Einsatzzeit: 11,5 Jahre

Bild 17



Vergrößerung 104-fach



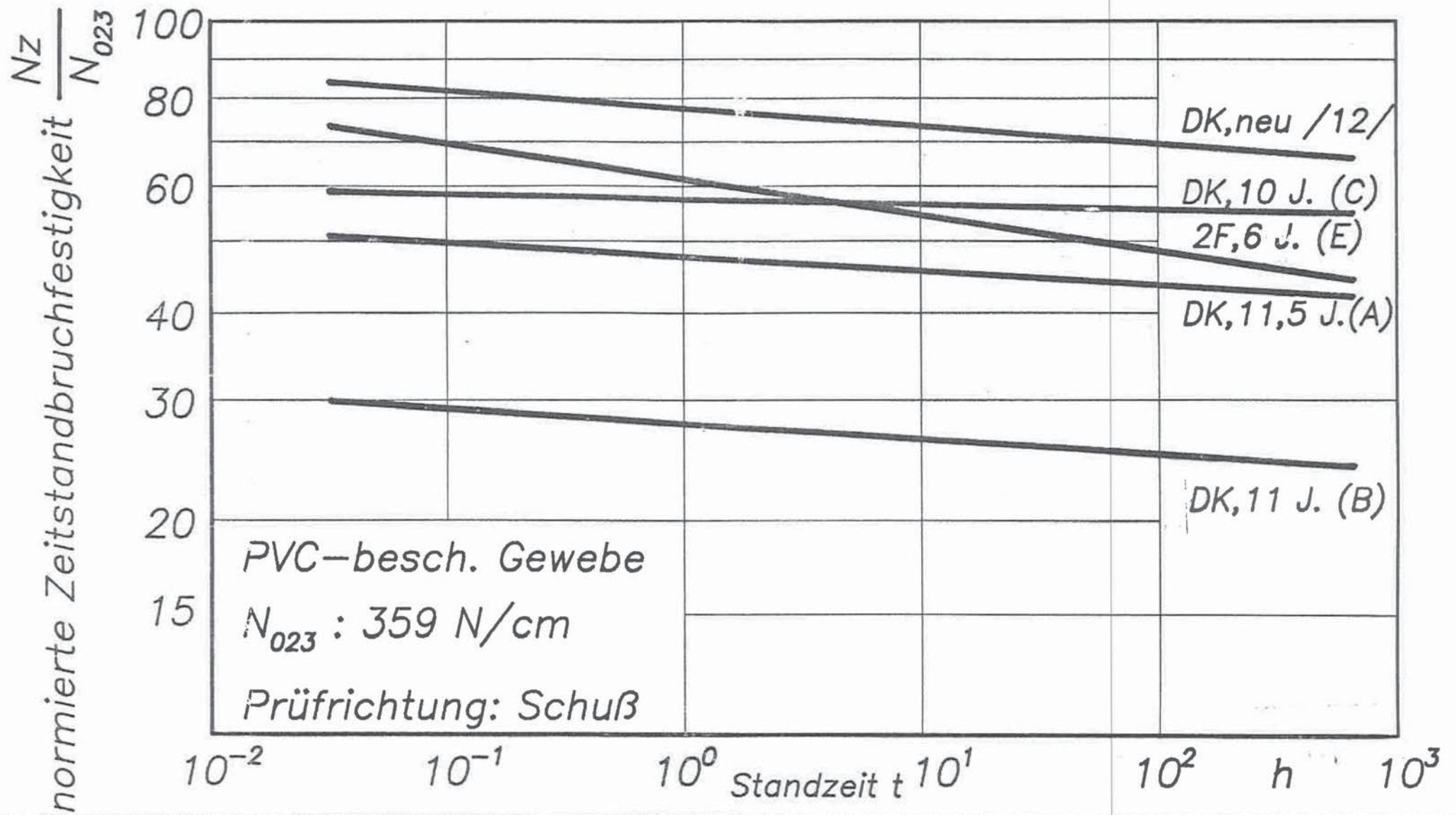
Vergrößerung 1040-fach



Gewebeoberfl. im Nahtbereich

Einsatzzeit: 10 Jahre

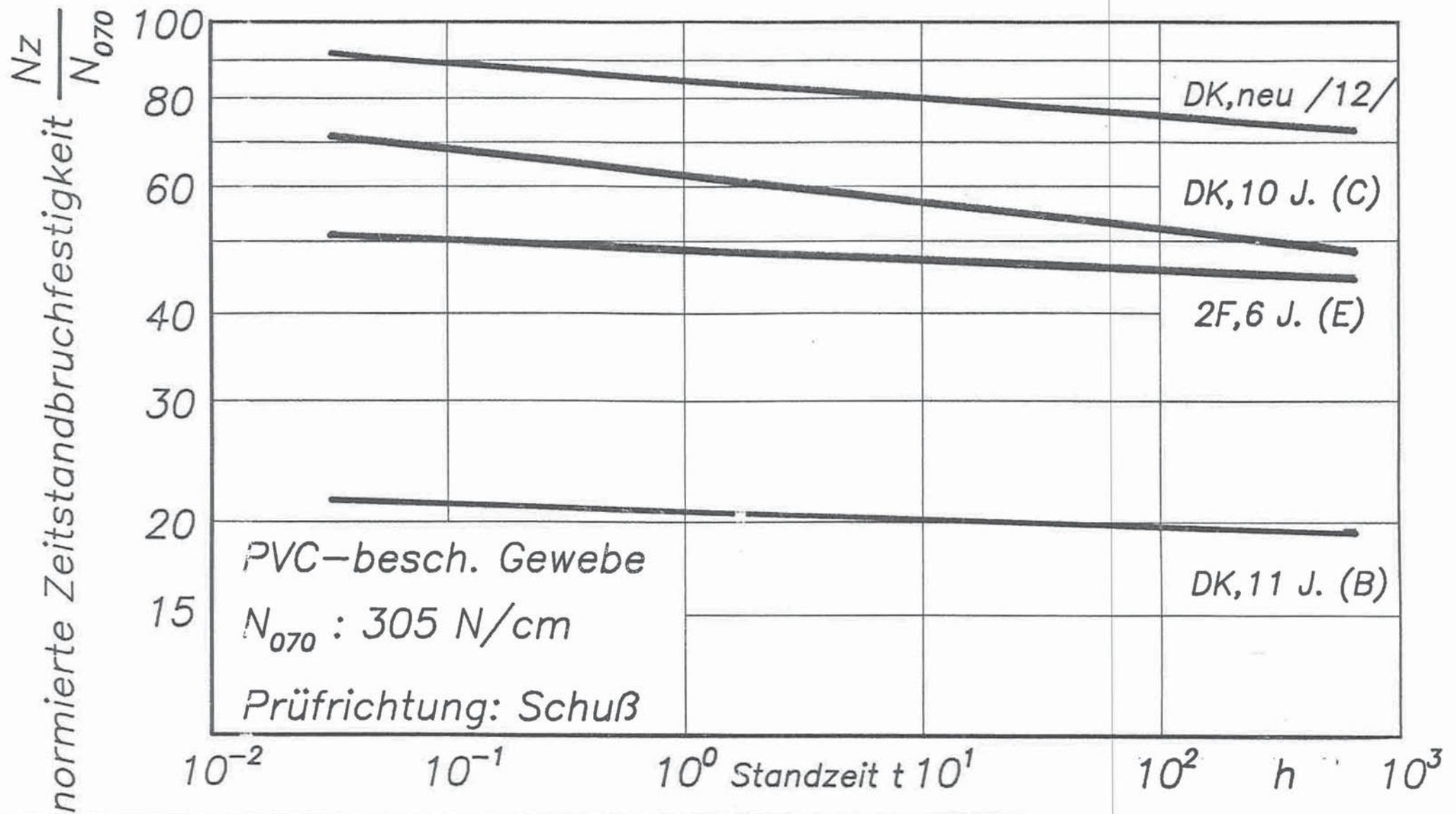
Bild 18



Zeitstandverhalten von Nähnähten

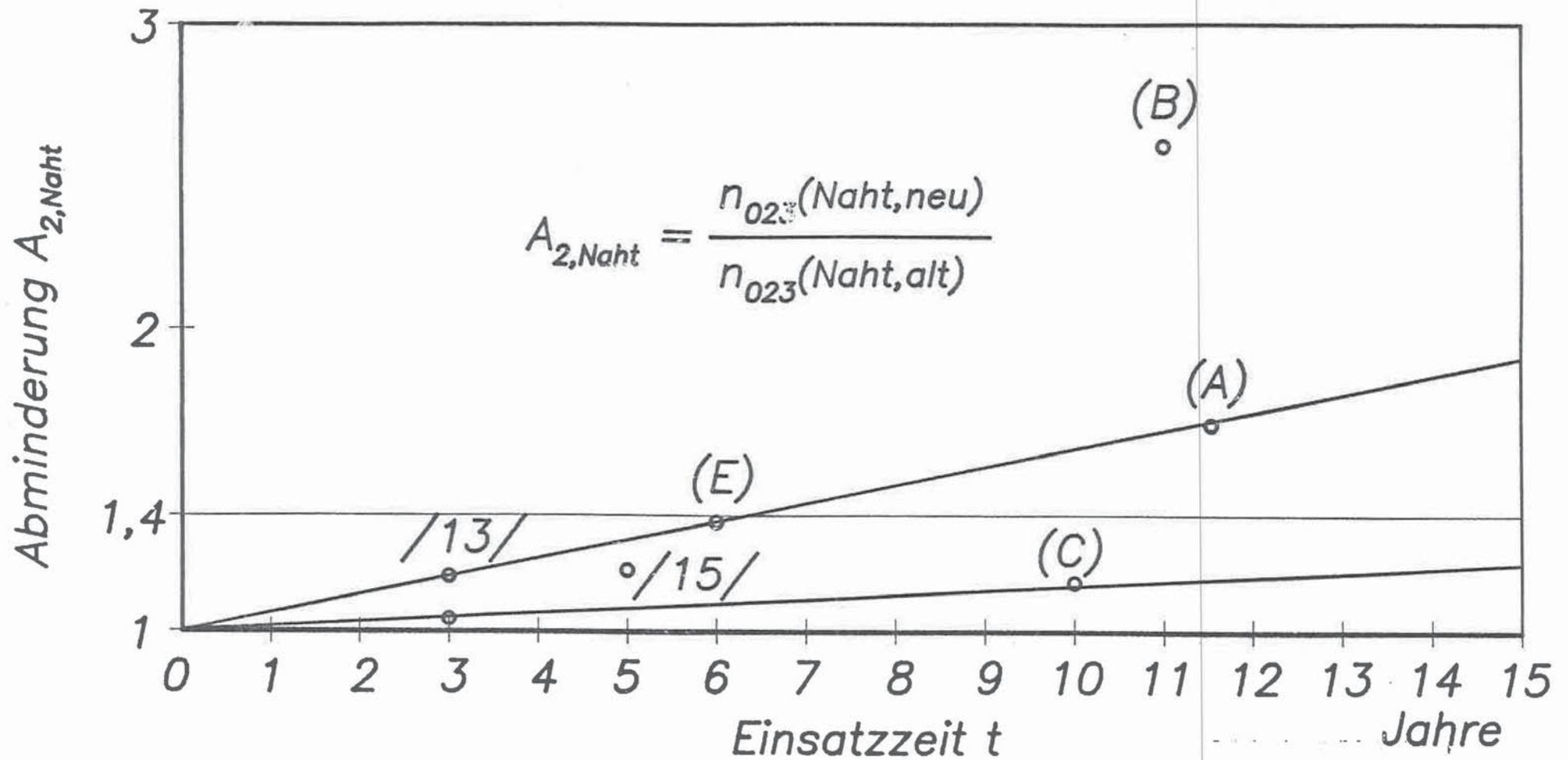
(unterschiedliche Einsatzzeiten im Bauwerk)



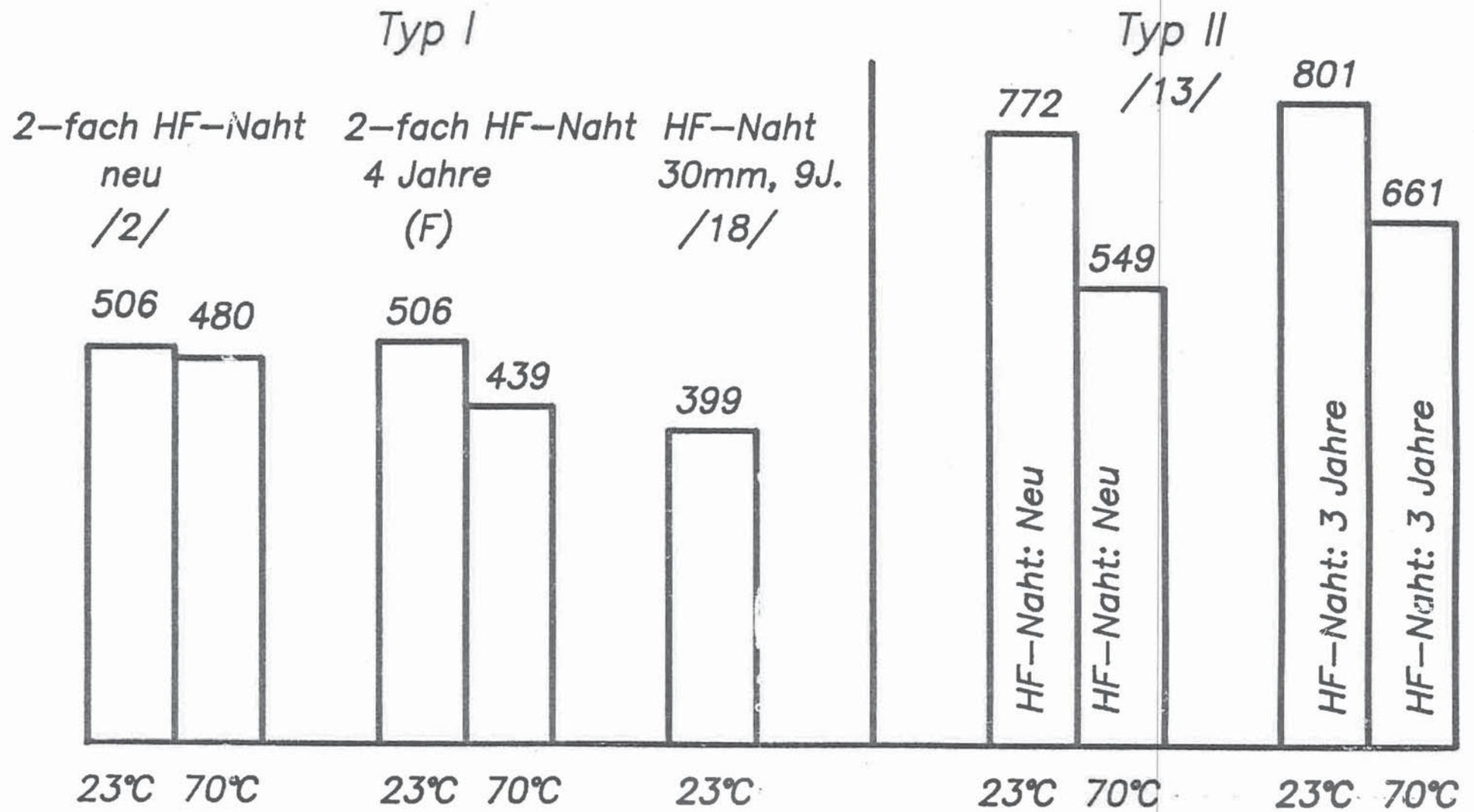


Zeitstandverhalten von Nähnähten

(unterschiedliche Einsatzzeiten im Bauwerk)



Alterung von Nähverbindungen



Vergleich der Kurzzeitfestigk. bei 23°C / 70°C
an HF-geschweißten Nähten

Bild 22