

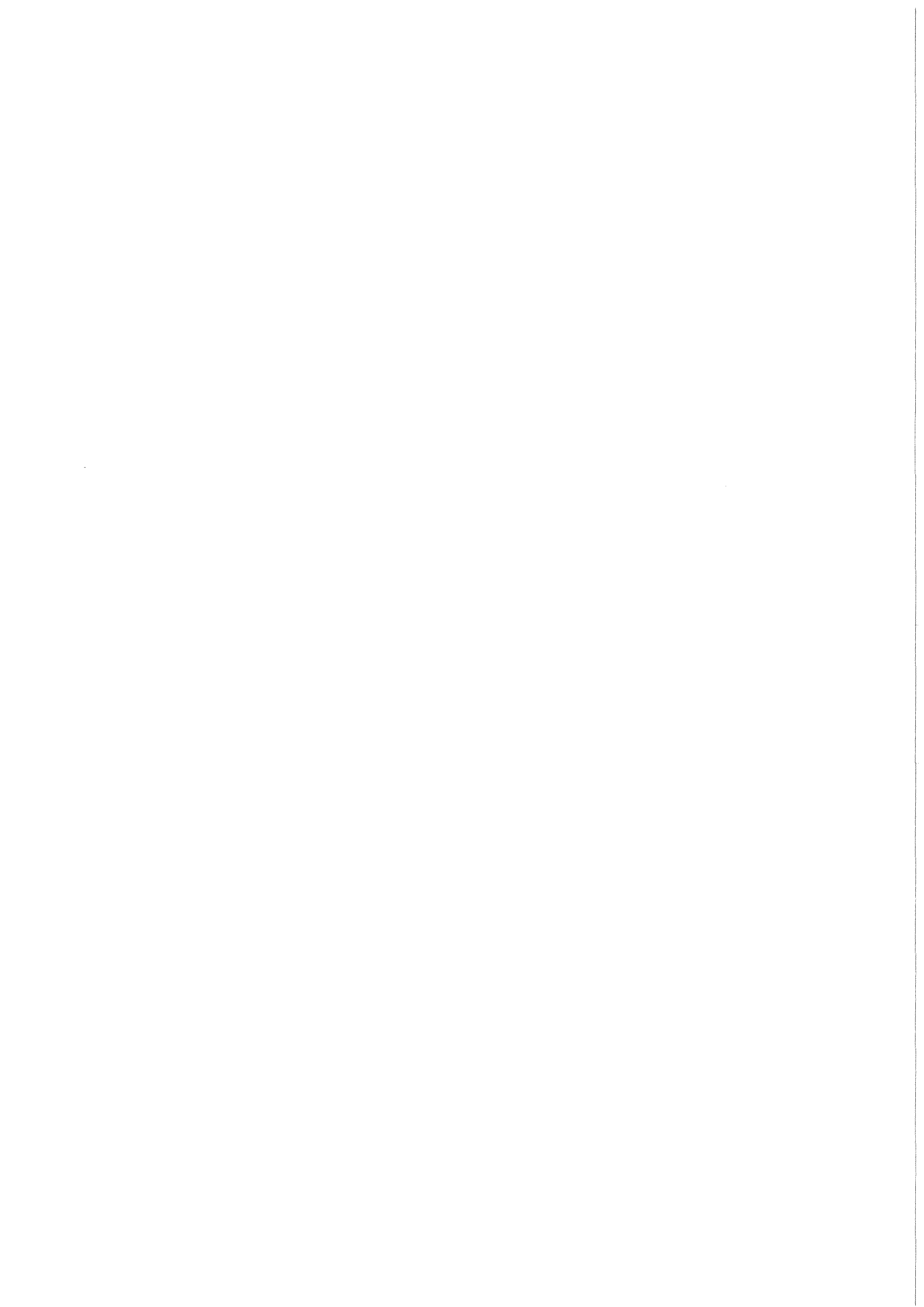
KfK 4150  
Oktober 1986

**Zeitstandversuche am  
Grundwerkstoff und an  
Schweißverbindungen des  
Stahles X6CrNi 1811  
(DIN 1.4948) im Rahmen des  
Programmes AUSOL**

**1. Zwischenbericht (Sept. 1986)**

**M. Schirra, B. Ritter  
Institut für Material- und Festkörperforschung  
S. Barroso, M. de las Rivas, R. R. Solano  
Junta de Energia Nuclear (JEN)**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



Kernforschungszentrum Karlsruhe  
Institut für Material- und Festkörperforschung

KfK 4150

"Zeitstandversuche am Grundwerkstoff und an Schweißverbindungen  
des Stahles X6CrNi 1811 (DIN 1.4948)  
im Rahmen des Programmes AUSOL"

1. Zwischenbericht (Sept. 1986)

M.Schirra - B.Ritter  
S.Barroso - M. de las Rivas - R.R.Solano x)

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Zusammenarbeit  
auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie  
zwischen dem Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK)  
und der Junta de Energia Nuclear (JEN) durchgeführt

x) Junta de Energia Nuclear, Madrid/Spanien  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

## Kurzfassung

Das Programm AUSOL umfaßt Zeitstandversuche an einem austenitischen CrNi-Stahl und wird im Rahmen der deutsch-spanischen Zusammenarbeit (KfK-JEN) durchgeführt. Bei dem Werkstoff handelt es sich um den Stahl X6CrNi1811 (W.Nr. 1.4948), der als Strukturmaterial beim Schnellen Natriumgekühlten Brutreaktor SNR-300 verwendet wurde. Die Versuche an Proben des Grundwerkstoffes und einer Schweißnahtkombination decken zur Zeit bei 500-700°C den Standzeitbereich bis 25000 std experimentell ab. Die Versuchsergebnisse zum Zeitstandfestigkeitsverhalten, Kriechverhalten, Duktilität und erste metallographische und fraktographische Befunde werden dargestellt; insbesondere als Vergleich Grundwerkstoff gegenüber Schweißverbindung. Soweit Unterschiede im Zeitstandfestigkeits- und Kriechverhalten auftreten, liegen sie innerhalb des Streubandes dieses Stahltyps. Die Duktilität der geschweißten Proben ist erwartungsgemäß niedriger als die der Grundwerkstoffproben. Das Programm wird planmäßig weitergeführt, um mit den laufenden Versuchen den angestrebten Standzeitbereich bis  $\approx 5 \cdot 10^4$ std abzudecken.

## Abstract

### CREEP TESTS IN BASE MATERIAL AND WELDED SPECIMENS OF X6CrNi 1811 (DIN 1.4948) STEEL IN THE FRAME OF AUSOL-PROGRAM

The program AUSOL encompasses the creep-tests carried out with the austenitic steel CrNi in the frame of the German-Spanish collaboration (KfK-JEN). The material studied is the X6CrNi 1811 (DIN 1.4948) steel selected as structural material for the sodium-cooled fast breeder reactor SNR-300. They have been tested, base material and welded specimens, in the range 500-700°C having reached experimental results up to 25 000 h. The results on creep-behaviour, time to rupture, ductility and previous metallographic and fractographic studies are presented, taking into account the comparative behaviour between base material and welded specimens.

The results of creep behaviour and time to rupture fit in a dispersion margin corresponding to this type of steel. As expected the ductility of welded specimens is lower than the corresponding one to welded joints. It is scheduled to continue the program and with running tests it is expected to reach time to rupture up to  $5 \cdot 10^4$  hours.

## Resumen

### ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A LA FLUENCIA DEL ACERO X6 CrNi 1811 (DIN 1.4948) Y UNIONES SOLDADAS DEL MISMO MATERIAL EN EL PROGRAMA AUSOL

El programa AUSOL consiste en el estudio del comportamiento a la fluencia de un acero austenítico CrNi y se realiza bajo el acuerdo de colaboración hispano-alemán (JEN-KfK). El material ensayado es el acero X6CrNi 1811 (Norma DIN 1.4948) seleccionado como material de estructura para el reactor reproductor rápido refrigerado por sodio SNR-300. Los ensayos realizados, tanto en probetas del material base como las correspondientes a secciones soldadas, a arcan, hasta el momento presente, un margen de temperaturas de 500-700°C con tiempos de rotura de hasta 25 000 h. Los resultados presentados se refieren a tiempo para alcanzar la rotura, comportamiento en fluencia y primeros resultados metalográficos y fractográficos.

Se ha prestado una especial atención al estudio comparativo de los resultados en material base y uniones soldadas. Las desviaciones de los resultados de tiempo de rotura y velocidad de fluencia caen dentro de la banda de dispersión para aceros de este tipo.

La ductilidad de las probetas soldadas es, como era de esperar, menor que la de las probetas de material base. La planificación del programa incluye una extensión en la duración de los ensayos hasta tiempos de rotura de aproximadamente  $5 \cdot 10^4$  horas.

Gliederung

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Versuchsprogramm	1
3. Versuchsmaterial	2
4. Versuchsdurchführung	3
5. Versuchsergebnisse	4
5.1 Belastungsdehnung	4
5.2 Zeitstandfestigkeit und Zeit-Dehngrenzen	4
5.3 Kriechverhalten	7
5.4 Bruchverhalten der geschweißten Proben	8
5.5 Metallografische Untersuchungen und Härtemessungen	9
5.6 Bruchdehnung und Brucheinschnürung	10
6. Literatur	11

## 1. Einleitung

Im Rahmen der deutsch-spanischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der metallischen Werkstoffe werden u.a. Zeitstandversuche an hochwarmfesten Legierungen durchgeführt /1, 2/. >Nach dem erfolgreichen Abschluß des sog. "Extrapolationsprogrammes" /3/, wurde 1982 ein weiteres, längerfristig angelegtes gemeinsames Versuchsprogramm in Angriff genommen. Im Extrapolationsprogramm wurde der Grundwerkstoff und eine artgleiche Schweißverbindung des hochwarmfesten Werkstoffes X6CrNi 1811 (1.4948) untersucht. Dieser Stahl wird sowohl im konventionellen Kraftwerksbau und Anlagen der Petrochemie, als auch im nuklearen Kraftwerksbau als Strukturwerkstoff eingesetzt /4, 5, 6/. Während im Extrapolationsprogramm baugleiches SNR-Strukturmaterial untersucht wurde, um mit den experimentellen Daten, die den Zeitraum bis  $\cong 30\ 000$  std abdecken, auf den anlagenrelevanten Zeitraum  $\cong 10^5$  std extrapolieren zu können, wird im Nachfolgeprogramm AUSOL eine neuartige Schweißverbindung des gleichen Stahltyps auf ihr Langzeitfestigkeits- und Kriechverhalten untersucht /7/-

## 2. Versuchsprogramm

Die Qualifizierung der Schweißnahtkombination 1.4948 + 16-8-2-Elektrode für den Langzeiteinsatz im Anlagenbau ( $\approx 2 \cdot 10^5$  std) erfordert u.a. Zeitstandversuche in einem breiteren Temperaturbereich bis mindestens  $3 \cdot 10^4$  std, um ausreichend sicher im anlagenrelevanten Temperaturbereich auf  $\cong 10^5$  std extrapolieren zu können.

Das Programm AUSOL (= Austenit-SOLldado) umfaßt Zeitstandversuche im Temperaturbereich 500-700 °C an geschweißten Proben mit angestrebten Standzeiten von max. 50 000 std. Diese Versuche werden im Rahmen der deutsch/spanischen Zusammenarbeit in den Anlagen der JEN/Madrid durchgeführt. Parallel werden beim KfK/IMF die Versuche am Grundwerkstoff im T-Bereich 500-750 °C im Rahmen des PSB durchgeführt. Als Gegenprobe werden im IMF einige Versuche an geschweißten Proben und bei der JEN einige Versuche mit GW-Proben gefahren.

Das gesamte Versuchsprogramm umfaßt ca. 300 000 Versuchsstunden für die geschweißten und ca. 400 000 std für Grundwerkstoff-Proben. Die Versuche



wurden 1982 begonnen. Z.Zt. (10/86) liegen Standzeitwerte bis  $10^4$  std bei allen Prüftemperaturen vor. Die laufenden Versuche decken experimentell den Zeitbereich bis rd. 25 000 std ab und umfassen alle Versuche, die den angestrebten Zeitbereich bis  $\approx 50\ 000$  std abdecken sollen.

### 3. Versuchsmaterial

Das Ausgangsmaterial für das Versuchsprogramm waren 20 mm Platten einer Lieferung der Fa. Uddeholm (Chg. LU 9559) mit der internen Bezeichnung GW 430. Vom Grundwerkstoff erhielt das IMF eine Platte der Abmessung 1000 x 1000 x 20 mm aus der Tafel 1446. Die chemische Zusammensetzung geht aus Tabelle I hervor. Die Analysen des Herstellers und des IMF stimmen gut überein und liegen innerhalb der SNR-Spezifikation. Zusätzlich sind noch in Tabelle II die Analysen mehrerer SNR-Chargen aufgeführt, auf die noch vergleichend Bezug genommen wird.

Das Gefüge des Anlieferzustandes (lösungsgeglüht 1065 °C/Wasser) ist mit Härteangaben im Bild 1 dargestellt. Die Korngröße liegt zwischen 50-150  $\mu\text{m}$ . Die Schweißverbindungen wurden von Interatom hergestellt. 40 Probenabschnitte der Abmessung 30 x 15 x 20 mm, die der Schweißnaht Nr. 1 aus Platte 6 entstammten, wurden für die Probenfertigung an KfK geliefert.

Eine Schweißverbindung wurde im IMF metallografisch untersucht. Zwei makroskopische Übersichtsaufnahmen sind im Bild 2 dargestellt, aus denen man gut die Lage und Verteilung der einzelnen Schweißraupen erkennen kann. Die mikroskopischen Gefügebildungen sind im Bild 3 zusammengestellt. Die Aufnahmen 1-3 zeigen Schweißgefüge der Rand-, Deck- und Mittellage. Die Aufnahmen 4 - 6 zeigen den Übergang Schweiß - Grundwerkstoff. Bemerkenswert ist die schmale wärmebeeinflusste Zone von ca. 0,1 - 0,15 mm. Bei den im EP-Programm /3/ untersuchten SV-Proben mit einer X-Naht war diese grobkörnige Zone ca. 0,7 mm breit. Die Aufnahme 5 entstammt der Ecke Wurzelnaht-Grundwerkstoff-Lage 1 + 2. Die Darstellung in der Bildmitte zeigt maßstabgerecht die Lage der Probenform (ZS-Probe  $d_o \times L_o = \varnothing 8 \times 50$  mm). Daraus erkennt man, daß rd. 1/3 der Meßlänge aus Schweißgut der Elektroden besteht, wohingegen im EP-Programm der Anteil  $< 10\%$  war und überwiegend aus Schmelze von Grundwerkstoff + Elektrode bestand.

Der Härteverlauf wurde horizontal (I-II) und vertikal (A-B) gemessen, so, wie er in der makroskopischen Aufnahme im Bild 2b erkennbar ist und im Bild 4 grafisch dargestellt ist.

Die Fertigung der Zeitstandproben erfolgte beim KfK. Die Proben mit Schweißnaht wurden vor dem Einsatz in den ZS-Anlagen der JEN dortselbst nochmals zerstörungsfrei auf Schweißnahtfehler untersucht.

#### 4. Versuchsdurchführung

Die Zeitstandversuche im AUSOL-Programm werden mit Gewindekopfproben (M12) der Abmessung  $\varnothing 8 \times 50$  mm ( $d_o \times L_o$ ) durchgeführt. Das Meßlängenverhältnis von  $6,25 \times d_o$  weicht zwar etwas von der empfohlenen Normprobe ( $5 \times d_o$ ) ab, liegt jedoch noch innerhalb der gültigen DIN Norm 50118. Ergänzende Versuche am Grundwerkstoff werden im IMF mit Proben  $\varnothing 5 \times 25$  mm ( $d_o \times L_o$ ) gefahren. Die Proben haben als Meßlängenbegrenzung umlaufende Meßkragen zur Aufnahme der induktiven Wegaufnehmer. Diese Aufnehmer registrieren kontinuierlich den Kriechverlauf mit einer Genauigkeit von  $2 \mu\text{m}$ . Die Versuchsspannung wird durch Gewichte über ein Hebelsystem (1:15) aufgebracht. Als Heizquelle dient ein 3 Zonenofen, dessen Zonen durch PID-Regler separat regelbar sind. Dadurch ergibt sich eine konstante Versuchstemperatur über die Probenlänge. Die Schwankung über die Versuchszeit liegt bei  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Die Kontrolle der Versuchstemperatur erfolgt durch drei über die Probenlänge verteilte Pt/Rh-Pt-Thermoelemente. Die Prüfstände im KfK und der JEN sind vom gleichen Hersteller (MFL = Mohr + Federhaff/Losenhausen) und gleicher technischer Ausstattung (Bild 5). Die Versuchsanordnung der Teststrecke geht aus Bild 6 hervor.

## 5. Versuchsergebnisse

### 5.1 Belastungsdehnung

Ein typisches Merkmal austenitischer Stähle im nur thermisch behandelten Zustand ist die weitgehend temperaturunabhängige und relativ niedrige Streckgrenze im Bereich der normalerweise für Zeitstandversuche üblichen Prüftemperaturen. Im Falle des Stahles X6CrNi 1811 liegen die Werte für  $R_{p0,2}$  (500-750 °C) zwischen 110-80 MPa für den Grundwerkstoff /3/. D.h., alle Versuchsspannungen bei Prüftemperaturen bis zu 600 °C, die noch in einem realistischen Zeitraum ( $< 10^5$  std =  $< 11,5$  Jahre) einen Standzeitwert liefern, führen bei Versuchsbeginn zu einer plastischen Verformung  $> 0,2\%$ . Die Belastungsdehnung kann im Zeitstandversuch nur erfaßt werden, wenn es sich um einen instrumentierten Versuch handelt, nämlich mit einer Dehnungsmeßeinrichtung, wie im Kapitel zuvor beschrieben.

Im Bild 7 ist für alle Proben die Belastungsdehnung  $\epsilon_0$  in Abhängigkeit von der Versuchsspannung aufgetragen. Die beiden Geraden geben den elastischen Anteil nach dem Hook'schen Gesetz an für einen E-Modul zwischen 150-250 KN/mm<sup>2</sup>. Proben des Grundwerkstoffes (GW) erfahren bei Versuchsspannungen  $> 110$  MPa bei Versuchsbeginn plastische Verformungen  $> 0,2\%$ , die zwischen 280 bis 400 MPa zwischen 10 und 40% betragen. Die geschweißten Proben (SV) zeigen aufgrund des Schweißnahtanteils mit seiner höheren Streckgrenze, bei gleichen Versuchsspannungen etwas niedrigere Beträge und ordnen sich auf einem zweiten Kurvenzug ein.

Diese Befunde sind bei der Behandlung und Bewertung von Zeit-Dehngrenzen und bei der Korrelation von mechanischen Kennwerten mit strukturellen Änderungen zu beachten.

### 5.2 Zeitstandfestigkeit und Zeit-Dehngrenzen

Die bisher ermittelten Standzeiten sind im Bild 8 in Abhängigkeit von der jeweiligen Versuchsspannung für den Grundwerkstoff und die geschweißten Proben vergleichend dargestellt. Bis  $10^4$  std Standzeit ordnen sich die Standzeitwerte im Rahmen einer normalen Streuung unabhängig von der Probenform und Prüflabor auf einer Zeitstandfestigkeitskurve für jede Prüftemperatur ein. Bei 500 °C, 650 °C und teilweise bei 700 °C besteht kein

nennenswerter Unterschied zwischen den Werten der Grundwerkstoffproben und den geschweißten Proben. Dagegen liegen die geschweißten Proben bei 550 °C und 600 °C durchweg 10% unter der Zeitstandfestigkeit der GW-Proben. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit den Ergebnissen aus dem Extrapolationsprogramm/3/.

Im Bild 9 sind die die Standzeitwerte in der Form des Larson-Miller-Parameters in Vergleich gesetzt mit den früheren Befunden an mehreren SNR-Chargen. Das von diesen Chargen gebildete Streuband wird im Bereich  $P = 19-20,5$  durch die Werte der Grundwerkstoffproben der Charge GW 430 etwas zu höheren Versuchsspannungen hin erweitert. Die Werte der geschweißten Proben liegen innerhalb des Streubandes. Dies gilt auch für Werte der andersartigen Schweißverbindung aus dem Extrapolationsprogramm. Zu bemerken ist noch, daß das Streuband der SNR-spezifizierten Chargen nur halb so breit ist wie das Streuband kommerzieller Chargen dieses Stahles, die im Auftrag des PSB vom VDEH bis z.Zt.  $\geq 10^5$  std untersucht werden /7, 8/.

Die kontinuierliche Registrierung des Kriechverlaufes erlaubt die exakte Bestimmung der Zeit-Dehngrenzenwerte, wie sie in den Wertetabellen 3-7 für 0,1% bis 10% Kriechdehnung (ohne Belastungsdehnung) zusammengestellt sind. Aus den Bildern 10 bis 15 geht die Spannungsabhängigkeit der Zeit-Dehngrenzenwerte für 0,1-2% Kriechdehnung im Vergleich zur Zeitstandfestigkeitskurve hervor.

Ein Vergleich der Zeit-Dehngrenzenkurven zwischen Proben des Grundwerkstoffes und der Schweißverbindung im Rahmen des Extrapolationsprogrammes /3/ ergab, daß die Zeit bis zum Erreichen von z.B. 1% Kriechdehnung bei den geschweißten Proben immer erheblich länger war als bei den Grundwerkstoffproben, auch wenn z.B. bei 550 °C die Bruchzeiten kürzer waren (Bild 16a). Die Proben der Schweißverbindung im AUSOL-Programm zeigen bei den Prüftemperaturen 600, 650 und 700 °C ebenfalls längere Zeiten bis zum Erreichen von 1% Kriechdehnung. Bei 500 und 550 °C ist bis  $10^3$  std im Rahmen der vorhandenen Streuung der Meßwerte kein eindeutiger Unterschied zwischen geschweißten und ungeschweißten Proben feststellbar, jedoch zeigt der bisherige Kriechverlauf der noch lfd. Langzeitversuche, daß im Bereich  $> 10^4$  std der Wert für 1% Kriechdehnung bei den geschweißten Proben größer ist. In den Bildern 10-15 ist teilweise erkennbar, daß die Zeitstandfestigkeitskurven mit zunehmender Standzeit einen stärkeren Abfall aufweisen als die Zeit-

Dehngrenzenkurven. Die Ursache ist die Abnahme der Bruchdehnungswerte infolge Verkürzung des tertiären Kriechbereiches (s. Kapitel 5.4). Diese Tatsache verändert auch das Zeit-Dehngrenzen-Verhältnis  $R_{p\epsilon}/R_m$  (bei vorgegebener Standzeit) bzw. das Zeitverhältnis  $t_{p\epsilon}/t_m$  (bei vorgegebener Spannung). Das Zeit-Dehngrenzen-Verhältnis gibt den technisch nutzbaren Anteil der Zeitstandfestigkeit bzw. der Bruchzeit an und ist gleichzeitig ein Maß für den "Sicherheitsabstand" zwischen einer tolerierbaren Deformation und dem Bruch. Die folgende Tabelle gibt als Beispiel die Verhältnismerte  $R_{p1\%}/R_m$  bei  $10^3$  und  $10^4$  std an:

		<u><math>R_{p1\%}/R_m (10^3 \text{ std})</math></u>	<u><math>R_{p1\%}/R_m (10^4 \text{ std})</math></u>
<u>Grundwerkstoff</u>	500 °C	0,81	0,90
GW	550	0,79	0,72
	600	0,69	0,67
	650	0,70	0,79
	700	0,72	0,75
	750	0,64	0,79
<u>Schweißverbindung</u>	500 °C	0,88	0,88
SV	550	0,82	0,84
	600	0,82	0,85
	650	0,78	0,89
	700	0,76	0,94

Bei der Vorgehensweise nach ASME-Code für die Ableitung von Berechnungskennwerten aus Zeitstandfestigkeitsdaten wird ein Sicherheitsfaktor von 1,5 in bezug auf die Spannung zugrundegelegt /9/. Der Auslegungskennwert  $S_t$  ergibt sich somit aus

$$S_t = 0,67 \times R_m (T,t) \text{ oder } 1 \times R_{p1\%} (T,t)$$

je nachdem welcher Wert kleiner ist. D.h., ist das Zeit-Dehngrenzenverhältnis  $R_{p1\%}/R_m (T,t) < 0,67$  wird der Wert von  $R_{p1\%}$  und bei  $> 0,67$  wird der Wert von  $R_m (T,t)$  bei der  $S_t$ -Festlegung zugrundegelegt.

### 5.3 Kriechverhalten.

Die kontinuierlich registrierten Kriechkurven wurden mittels Kurvendigitalisierer mit angeschlossenem Rechner analysiert und u.a. jeweils die minimale Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_{pmin}$  bestimmt. In [3] ist ausführlich auf gewisse Einschränkungen bei der Behandlung dieses Kennwertes hingewiesen worden, die sich ergeben aus unterschiedlicher Ausbildung der Kriechkurven, Werkstoffkombination und Strukturänderungen während des Versuches.

Im Bild 17 ist die Spannungsabhängigkeit der minimalen Kriechgeschwindigkeit dargestellt. Durch die doppellogarithmische Auftragung ordnen sich die Wertepaare für jede Prüftemperatur auf einer Geraden ein, deren Neigung nach dem Norton'schen Kriechansatz  $\dot{\epsilon} = k \times \sigma^n$  den Spannungsexponenten  $n$  ergibt. Ob diese Gerade Gültigkeit für den gesamten Spannungsbereich hat, oder durch Abknickung sich Teilstücke mit unterschiedlicher Neigung ergeben, kann nur der experimentelle Befund zeigen. Aus diesem Grund wurde zum jetzigen Zeitpunkt beim Programm AUSOL im Bild 17 auf eine endgültige Festlegung der Geraden und Bestimmung der Spannungsexponenten noch verzichtet. Als Vergleich und Anhaltspunkt sind die Werte für die Charge GW 326 aufgeführt und die Spannungsabhängigkeit von  $\dot{\epsilon}_{pmin}$  im Temperaturbereich von 550-750 °C ist jeweils durch die strichpunktierte Linie dargestellt. Diese Charge weist ein vergleichbar gutes Zeitstandfestigkeits- und Kriechverhalten auf wie die Charge GW 430.

Die Proben mit Schweißnaht zeigen in etwa das gleiche Kriechverhalten wie die Grundwerkstoffproben, mit der Tendenz zu niedrigeren Kriechraten bei niedrigeren Versuchsspannungen und steigender Prüftemperatur. Damit entspricht die Schweißnahtkombination im AUSOL-Programm dem Verhalten der Schweißnahtkombination im Extrapolationsprogramm. Der Vergleich dieser beiden Schweißkombinationen erfolgt im Bild 18. Für den Grundwerkstoff der beiden Chargen ist die Spannungsabhängigkeit von  $\dot{\epsilon}_{pmin}$  jeweils ohne Einzelwerte als Gerade dargestellt. Diese beiden Linien stellen gleichzeitig die obere und untere Begrenzung des Streubandes der bisher untersuchten 1.4948-Chargen dar. Die Proben mit einer X-Form-Schweißnaht der Chg. GW 206 zeigen in jedem Fall eine eindeutig niedrigere Kriechrate als die Grundwerkstoffprobe. Die Proben mit einer U-Form-Schweißnaht des AUSOL-Programmes liegen tendenziell nur geringfügig besser als ihre chargengleichen

Grundwerkstoffproben, absolut jedoch erweist sich die Chg. GW 430 als wesentlich kriechfester.

#### 5.4 Bruchverhalten der geschweißten Proben

Die Darstellung im Bild 19 zeigt schematisch, wo der Bruch in den Proben mit einer Schweißnaht erfolgt, aufgrund der makroskopischen Betrachtung nach dem Versuch und zusätzlicher fraktografischer Untersuchungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop. Bei 500 °C brachen die Proben im bisher abgedeckten Standzeitbereich in der Schweiße bzw. Übergangszone. Ebenso bei 550 °C bis 2500 std, wohingegen der Bruch beim Versuch mit 23450 std Standzeit im Grundwerkstoff erfolgte. Mit steigender Prüftemperatur erfolgt der Übergang vom Bruch in der Schweiße zum Bruch im Grundwerkstoff zu immer kürzeren Zeiten, sodaß bei 700 °C Prüftemperatur schon bei der kürzesten Standzeit (8.5 std) der Bruch im Grundwerkstoff auftritt. Daß dieser Zeitraum bei 700 °C der Übergang im Bruchverhalten ist, ergibt sich auch aus der Beobachtung, daß die Versuche mit 8.5 std und 23 std Standzeit eine Einschnürung in der Schweißzone aufweisen.

Bei einem in der Zwischenzeit nachträglich durchgeführten Versuch mit 190 MPa und 3,8 std Standzeit erfolgte der Bruch in der Scheweisse und bestätigte somit die zuvor gemachte Aussage.

Erfolgt der Bruch im Grundwerkstoff, so tritt in der Regel im zweiten Teil der Meßlänge im Grundwerkstoff eine 2. Einschnürung auf. Damit entspricht das Bruchverhalten der geschweißten Proben qualitativ und weitgehend quantitativ dem Verhalten der Schweißnahtkombination im EP-Programm /3, 7/.

Die Befunde der fraktografischen Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) sind in den Bildtafeln 20-23 in einigen Beispielen dargestellt. Bild 20 zeigt den typischen duktilen Bruch, wie er im Übergang Schweiße/Grundwerkstoff auftritt, also in der wärmebeeinflussten Zone, wohingegen im Bild 21a ein duktiler Bruch in der Schweißzone dargestellt ist und man die dendritische Struktur der Schweiße deutlich erkennen kann (s.a. Bild 3). Den Wechsel vom Bruch an/in der Schweiße zum Bruch im Grundwerkstoff demonstriert das Bild 21b mit interkristallinem Bruch, wie er nach langzeitiger Beanspruchung bei diesem Stahl typisch ist. In Anlehnung an die Darstellung im Bild 19 gelten diese Erscheinungsformen für die

Prüftemperaturen bis 600 °C. Bei 650 °C werden auch bei duktilem Bruch kavernenartige Aufrisse (Bild 22a) bzw. nach längeren Standzeiten interkristalline Aufrisse und Mischbruch beobachtet (Bild 22b). Diese Bruchformen wiederum sind auch typisch für die bei 700 °C geprüften Proben bis zu Standzeiten von rd. 3000 std (Bild 23a). Bei längeren Standzeiten (Versuche mit 60 bzw. 50 MPa, 5020 bzw. 9943 std) erfolgt der Bruch wiederum in der Schweißnaht mit interdentritischen Anrissen.

## 5.5 Metallografische Untersuchungen und Härtemessungen

Die im Anschluß an den Zeitstandversuch durchgeführten metallografischen Untersuchungen der Grundwerkstoffproben bestätigen die in /3/ gemachten Aussagen zum Bruchverhalten, Bildung interkristalliner Risse in der Bruchzone und Meßlänge, sowie das Auftreten von Ausscheidungen in der Matrix und auf den Korngrenzen. Weiterhin bestätigen die metallografischen Untersuchungen bei den geschweißten Proben, inwieweit der Bruch im Schweißgut oder in der Übergangszone erfolgt. Ob in der Zeitabhängigkeit bezüglich Bruchverhalten (Übergang vom Wabenbruch zum kristallinen Bruch) und dem Auftreten der  $M_{23}C_6$ -Ausscheidungen (im Korn und auf den Korngrenzen) Unterschiede auftreten im Vergleich zur Charge GW 206, sollen die laufenden TEM-Untersuchungen zeigen.

In den Bildtafeln 24-29 ist für einige Proben beispielhaft die Bruchzone im ungeätzten und geätzten Zustand dargestellt, um die Bruch- und Rißbildung lichtmikroskopisch zu zeigen. Aufnahmen aus dem Probenkopf zeigen die Bildung von Ausscheidungen in der Matrix und auf den Korngrenzen (Bilder 30-32).

Die Bildung der interkristallinen Anrisse erfolgt erst weit im tertiären Kriechbereich. Bei 550 °C und 600 °C wurden einige Versuche durchgeführt, die nicht bis zum Bruch, sondern nach Kriechdehnungen von 0,4% bis 7% abgebrochen wurden. Die Meßwerte dieser Versuche sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Dabei ist unterschieden zwischen Belastungsdehnung und Kriechdehnung. Trotz Belastungsdehnung zwischen 5,6 bis 22,2% zeigen die Proben mit der zusätzlichen Kriechdehnung von 3,4% bei 550 °C und 7% bei 600 °C keinerlei Anrisse in der Meßlänge (Bild 33 b + c). Untersuchungen an der Charge GW 326 bei 700 °C Prüftemperatur ergaben, daß bei der relativ hohen



Versuchsspannung von 110 MPa ( $\hat{=} tm \approx 300 \text{ std}$ ) die Ribbildung im Bereich  $> 10\%$  Kriechdehnung erfolgt. Bei niedrigen Spannungen ( $\hat{=} tm > 10^4 \text{ std}$ ) wird die Bildung von interkristallinen Anrissen ab 6% Kriechdehnung beobachtet.

Die bei hohen Spannungen auftretende Belastungsdehnung wird durch die noch sehr duktile Matrix über entsprechende Korndeformation aufgefangen. Mit zunehmender Beanspruchungszeit, insbesondere bei  $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ , behindert die zunehmende Anzahl von Ausscheidungen im Korn das Durchlaufen von Versetzungen. Die Kriechdehnung wird dann z.T. über ein Aufreißen der Korngrenzen anstatt über Kornverformung erbracht.

Im Bild 34 sind die an den metallografisch untersuchten Proben gemessenen Härtewerte in Abhängigkeit von der Standzeit aufgetragen. In der Meßlänge ergeben sich sehr viel höhere Härtewerte infolge der Deformation und Verfestigung durch die Belastungs- und Kriechdehnung. Die Werkstoffverfestigung wird allerdings mit steigender Prüftemperatur und Versuchszeit in immer stärkerem Maße abgebaut, bis daß die Härtewerte in der Meßlänge den Werten im Probenkopf entsprechen, der ja praktisch nicht durch die angelegte Versuchsspannung deformiert wird.

## 5.6 Bruchdehnung und Brucheinschnürung

Die an den gebrochenen Proben bestimmten Werte für die Bruchdehnung  $A_U$  und die Brucheinschnürung  $Z_U$  sind in den Bildern 35-40, getrennt nach Prüftemperaturen, jeweils in einem Teilbild in Abhängigkeit von der Standzeit aufgetragen. Dabei sind die Werte für Grundwerkstoff und Schweißverbindung einander gegenübergestellt.

Die Proben des Grundwerkstoffes zeigen mit zunehmender Standzeit bei 500 °C und 550 °C Prüftemperatur eine Abnahme der Duktilitätskennwerte, die bei 10<sup>4</sup> std zwischen 15-20% liegen. Ab 600 °C liegt mit steigender Prüftemperatur das Duktilitätsniveau jeweils etwas höher, jedoch setzt die Abnahme um so früher und stärker ein. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der übrigen SNR-Chargen.

Bei den geschweißten Proben werden bei allen Prüftemperaturen geringere Bruchdehnungswerte gemessen als bei den Grundwerkstoffproben. Die Brucheinschnürungswerte sind ebenfalls in der Regel kleiner, solange die Proben

in der Schweißnaht brechen (s. Bild 19). Die Werte für den Versuch 700 °C mit 60 MPa und 5020 std konnten wegen zu zahlreicher Aufrisse nicht bestimmt werden.

Im Bild 41 ist eine zusammenfassende Darstellung der Bruchdehnungswerte bei 550 °C und 600 °C für den Stahl 1.4948 vorgenommen worden, wie sie sich aus den Befunden einer Vielzahl von SNR- und VDEH-Schmelzen für den Grundwerkstoff u. für verschiedene Schweißverbindungen ergab /8/. Diese Schmelzen decken auch ein ziemlich breites Legierungs- und Herstellungsspektrum innerhalb der SNR- und VDEH-Spezifikation ab. Für den Grundwerkstoff ist mit den Chargen GW 206 und GW 430 beispielhaft die unterschiedliche Zeitabhängigkeit der Bruchdehnung innerhalb des gesamten Spektrums angegeben. Außerhalb dieses Spektrums und bei geringeren Werten erstreckt sich das Streuband der geschweißten Proben aus verschiedenen Versuchsprogrammen.

### Danksagung

Die Autoren danken den Herren A.Falkenstein, J.Sanchez und J.Ruz für die zuverlässige Durchführung und Betreuung der Zeitstandversuche; den Herren P.Graf, H.Meinzer, H.Zimmermann für die Durchführung der metallografischen Untersuchungen und Härtemessungen; Frau E.Ordoñez und den Herren J.L.Mozo und A. del Rio für die elektronenmikroskopischen Arbeiten.

### 6. Literatur

- /1/ H.J.Laue, D.Nentwich  
"Deutsch-Spanische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie"  
KfK-Nachrichten 9-1/1977, S. 14-15
- M.Schirra, R.R.Solano  
"Zeitstandversuche an austenitischen Stählen im Rahmen der deutsch-spanischen Zusammenarbeit"  
KfK-Nachrichten 9 - 1/1977, S. 15-19

- /2/ M.Schirra, B.Ritter, R.R.Solano, M. de las Rivas, S.Barroso  
"Untersuchungen zum Einfluß des Stickstoff- und Niobgehaltes auf die  
Zugfestigkeitseigenschaften und das Zeitstandverhalten des Stahles  
X2CrNiMo 1814" (Abschlußbericht)  
KfK-Bericht.4121, Juli 1986
- /3/ M.Schirra, B.Seith, K.Ehrlich, R.Groß, R.R.Solano, M. de las Rivas, S.Barroso  
"Zeitstandfestigkeits- und Kriechversuche am SNR-Strukturwerkstoff  
X6CrNi 1811 (1.4948) im Rahmen des Extrapolationsprogrammes  
(Abschlußbericht)  
KfK-Bericht 3397, Mai 1985
- /4/ H.Gerlach  
"Warmfeste austenitische Stähle , Werkstoffkunde der gebräuchlichen  
Stähle"  
Verlag Stahleisen-Düsseldorf 1977  
Band 2, S. 106-120
- /5/ I.Class, H.R.Kautz, H.Gerlach  
"Austenitische Cr-Ni-Stähle für Temperaturen über 400 °C"  
VGB-Werkstofftagung 1969 - Sonderdruck S. 42-54, Essen
- /6/ E.Grosser, E. te Heesen, H. Lorenz  
"Properties of Type 1811 CrNi-ss and Parent-Like Weld-Joints with Regards  
to Elevated Temperature Application"  
AED Conf. -74-538-008
- /7/ M.Schirra, R.R.Solano  
"Das Zeitstandfestigkeitsverhalten von zwei verschiedenen  
Schweißverbindungen des SNR-Strukturwerkstoffes X6CrNi 1811 (1.4948)"  
Jahrestagung Kerntechnik, München 1985, Beitrag 6014, S. 511-514
- /8/ B.v.d.Schaaf, M.Schirra  
"Long term creep properties, including irradiation effects, of DIN 1.4948  
steel from SNR-300 primary components"  
Int. Symp. on Fast Breeder Reactors, Lyon 22-26.7.85  
IAEA-SM-284/86

- /9/ E.Krägeloh, M.Trunk, K.H.Herter  
"Vergleich der amerikanischen und deutschen Festigkeitsberechnung bei  
kerntechnischen Anlagen"  
BMI-1984-058, S. 1-53, Nov. 1984

Tabelle 1

Chemische Zusammensetzung  
X6CrNi 1811 (1.4948)

	Chg. GW430		SNR-Spezifikation
	IMF	Werk	
C	0,057	0,051	0,04-0,07
Si	0,47	0,50	≤ 0,75
Mn	1,82	1,73	≤ 2,0
P	0,021	0,024	≤ 0,03
S	0,008	0,009	≤ 0,02
Cr	18,4	18,3	17-19
Ni	10,6	10,7	10-12
Mo	0,084	0,09	≤ 0,50
Ti	< 0,05	{ < 0,03 }	{ ≤ 0,10 }
Ta	< 0,01		
Nb	< 0,01		
Al	-		
N	0,06	0,052	
O	0,015		
Cu	-		
V	-		
Co			
B	6ppm		



Zeitstandversuche

AUSOL-Programm

Grundwerkstoff

Tabelle 3

Legierung Charge-Nr. Zustand	Pr. Ø	Vers. Nr.	$\vartheta$ °C	$\sigma_0$ MPa	$t_m$ h	$\epsilon_0$ %	$\epsilon_{fo,1}$ h	$\epsilon_{fo,2}$ h	$\epsilon_{fo,5}$ h	$\epsilon_{f1\%}$ h	$\epsilon_{f2\%}$ h	$\epsilon_{f5\%}$ h	$\epsilon_{f10\%}$ h	$A_u$ %	$Z_u$ %	$\dot{\epsilon}_{pmin(abs)}$ $\times 10^{-6}/h$
X6CrNi 1811	Ø8	2625	500	420	Bel	-	-	-						40,2	69,8	-
GW430	Ø5	2631		400	1 min	38	-	-	-					39,6	72,8	
1sg 1065 °C/W	Ø5	1651		400	516	16,8	1	40	95	165	300	-		29,6	36,0	74,3
	Ø5	1640		390	605	-	-	70	112	305	500	-	-	24,4	22,5	46,5
	Ø5	2632		380	570	13,0	12	63	135	250	450			32,0	31,7	19
	Ø8	JEN		360	1167	18,9	45	70	120	220	550	1100	1150	22,0	23,8	27
	Ø8	2623		350	1530	13,0	60	82	145	285	685	1485	-	21,4	22,0	11,5
	Ø8	JEN		330	2390	10,9	40	75	140	350	1400			18,0	19,0	8
	Ø5	2657		310	5560	10,0	67	120	255	605	2350			16,8	22,0	3,7
	Ø5	2686		290	10707	8,74	123	204	500	2160	7670			17,6	22,0	1,5
	Ø5	2709		270		3,54	180	500	1650	5250	18050					0,8
	Ø8	2711		240		5,84	440	950	5300							
	Ø5	1622	550	330	92	11,0	1,5	3,5	6,5	11	22	51	-	28,8	36,3	901
	Ø8	2626		310	317	-	-	-	18,5	34	75	257	-	21,0	20,0	164
	Ø5	1625		290	476	5,4	1,75	3	7	19	57	293	-	22,8	29,5	113
	Ø8	JEN		270	1610	6,8	1	3	10	30	130	1050	1600	18,0	25,6	28
	Ø5	2640		250	5079	7,5	8	24	133	576	2120	4703		16,4	14,5	6,1
	Ø8	2695		240	9290	5,6	9	16	55	250	1467	7505		14,6	19,6	3,9
	Ø5	2702		210		4,1	9	22	115	730	4700					0,83
	Ø8	2710		185		2,3	37	93	980	3600	18500					

10

Legierung Charge-Nr. Zustand	Pr. Ø	Vers. Nr.	$\vartheta$ °C	$\sigma_0$ MPa	$t_m$ h	$\epsilon_0$ %	$\epsilon_{fo,1}$ h	$\epsilon_{fo,2}$ h	$\epsilon_{fo,5}$ h	$\epsilon_{f1\%}$ h	$\epsilon_{f2\%}$ h	$\epsilon_{f5\%}$ h	$\epsilon_{f10\%}$ h	$A_u$ %	$Z_u$ %	$\dot{\epsilon}_{pmin}(abs.)$ $\times 10^{-6}/h$
X6CrNi 1811	Ø5	2755	600	360	0,2	23,4	-	-	-	-	-	-	-	46,4	78,7	-
GW 430	Ø5	1638	600	280	23	-	-	-	-	-	-	-	-	38,0	51,0	-
lsg 1065 <sup>o</sup> /w	Ø5	1636		280	20	-	-	-	-	-	-	3	9,5	44,8	79,1	7040
	Ø5	1631		280	39	8,0	-	-	-	0,75	1,75	6,5	17	37,2	45,0	4120
	Ø5	2649		280	42	11,4	-	0,5	1,3	2,6	5,4	14,3	-	38,8	42,1	3080
	Ø5	2644		280	26	10,0	-	0,25	0,75	1,25	2,75	6	18	40,4	48,0	6360
	Ø5	1634		260	121	4,3	0,25	0,5	1	2,25	5,75	26	62	35,6	36,1	1120
	Ø8	2627		240	388	-	-	1,2	3	7	20	119	266	26,2	38,7	254
	Ø5	1629		220	594	4,2	0,3	0,6	1,7	5,75	25	201	490	28,4	45,3	125
	Ø8	JEN		200	2140	3,0	-	1	5	20	130	820	1570	28,0	34,0	41
	Ø5	2658		190	2581	3,7	1	2	10	45	217	1027	1923	32,4	32,5	34
	Ø8	JEN		170	6450	2,0	1	4	25	140	800	3010		22,4	31,9	13
	Ø5	2712		150	17752	1,56	7	38	333	1410	5140	13687		18,8	22,0	2,3
	Ø8	2713		130		0,92	4	22	435	3000						
	Ø5	2646	650	210	20,4	5,5	-	-	0,25	0,75	1,5	46	10	47,2	56,3	8080
	Ø5	2645		190	59	4,3	0,2	0,4	0,8	1,8	3,8	11	26	56,0	47,6	2820
	Ø8	2628		170	254	1,9	-	0,25	1	3,25	10,5	47	117	45,4	52,0	670
	Ø5	2639		150	556	2,4	1	2,5	9	23	59	181	345	43,2	47,4	238
	Ø8	JEN		140	875	1,2	0,5	1,5	8	30	85	280	500	57,2	51,0	140
	Ø5	1641		130	1324	0,6	0,25	1,25	8	33	114	425	740	51,6	51	88,5
	Ø8	JEN		110	4235	0,14	9	30	120	340	900	1700	2620	35,2	41,9	9
	Ø5	1727		95	9138	0,08	26	107	493	1330	2569	4400	6570	32,0	39,1	4,6
	Ø8	2763		85	11977	0,04	50	148	830	3610	5960	9013		15,6	34,3	1,4
	Ø5	1728		75		0,06	39	226	3200	7150	11400					0,59



Zeitstandversuche

-----AUSOL-Programm-----

-----Grundwerkstoff-----

Tabelle 5

Legierung Charge-Nr. Zustand	Pr. ø	Vers. Nr.	$\vartheta$ °C	$\sigma_0$ MPa	$t_m$ h	$\epsilon_0$ %	$\epsilon_{fo,1}$ h	$\epsilon_{fo,2}$ h	$\epsilon_{fo,5}$ h	$\epsilon_{f1\%}$ h	$\epsilon_{f2\%}$ h	$\epsilon_{f5\%}$ h	$\epsilon_{f10\%}$ h	$A_u$ %	$Z_u$ %	$\dot{\epsilon}_{pmin}(abs.)$ $\times 10^{-6}/h$
x6CrNi 1811	ø5	1637	700	140	40	-	-	-	0,3	0,8	2,25	7,5	15	53,6	51,2	5940
GW 430	ø8	2629		120	149	0,5	0,1	0,25	1	3,25	9	28,5	101	56,4	53,0	1400
lsg 1065°/W	ø5	1632		100	356	0,2	0,2	0,7	3,3	9	24	75	153	50,8	56,4	543
	ø8	1725		90	1866	0,38	10	30	90	198	335	603		52,6	61,0	47
	ø5	1770		90	852	0,08	2,25	4,75	14,5	35	78	194		66,4	61,7	150
	ø5	1649		80	838	-	-	23	32	52	99	310	562	61,6	61,5	311
	ø5	1771		80	1419	0,10	3	9	37	112	255	411	646	58,0	56,7	53,3
	ø8	1726		70	6870	0,03	50	135	575	970	1490	2551	3855	53,2	53,2	5,8
	ø5	1643		60	10190	-	11	90	511	811	1227	2650	4975	50,8	47,9	16,2
	ø5															
	ø8	2726		40		0,04	1000	3150	5830	9550	15220					0,32
	ø8	2668	750	100	28	0,56	-	0,14	0,25	0,7	1,6			52,4	57,8	9000
	ø5	1705		90	83	0,14	0,16	0,33	1,1	2,5	5,2	14	28	72,0	61,6	3540
	ø5	2677		80	135	0,06	0,3	0,8	2,5	4,8	9,7	24,5		62,8	58,7	1880
	ø5	1706		70	419	0,06	0,25	2,5	6,5	13	26	68		70,8	57,5	580
	ø5	2679		60	832	0,04	1	4	15	32	62	156	314	50,8	48,0	314
	ø5	1709		50	1655	-	-	13	42	86	165	408		49,6	51,2	134
	ø5	2685		40	8902	0,06	55	115	240	425	820	2340	4940	34,4	42,1	17,4
	ø5	1741		35		0,04	73	361	1704	3020	5320	9952				2,1-3,6

Zeitstandversuche

AUSOL-Programm

Schweißverbindung Probe:  $\varnothing$  8x50 mm

Tabelle 6

Legierung Charge-Nr. Zustand	Vers. Nr.	$\vartheta$ °C	$\sigma_0$ MPa	$t_m$ h	$\epsilon_0$ %	$\epsilon_{fo,1}$ h	$\epsilon_{fo,2}$ h	$\epsilon_{fo,5}$ h	$\epsilon_{f1\%}$ h	$\epsilon_{f2\%}$ h	$\epsilon_{f5\%}$ h	$\epsilon_{f10\%}$ h	$A_u$ %	$Z_u$ %	$\dot{\epsilon}_{pmin}(abs.)$ $\times 10^{-6}/h$
X6CrNi 1811	JEN	500	380	370	8,02	12	23	48	85	160	340	-	17,4	21,2	350
GW 430	"		360	1266	5,6	18	40	90	250	750	1200	-	14,8	23,8	16
1065 <sup>o</sup> /w	"		340	3130	4,6	25	75	190	510	1700	3000	-	10,0	19,0	7,5
	"		300	5877	3,7	62	130	340	1000	4100	-	-	9,4	15,6	2,5
	"		270		1,92	210	500	4500							
	"		240		1,6	150	380	2720	16000						
	"	550	310	120	4,6	0,6	1,5	6,5	14	44	100		14,0	25,6	300
	"		290	168	3,2	0,4	1	4	12	60	160		12,8	23,8	228
	2757		270	523	2,9	5	8	23	71	267	-		10,0	23,5	45
	JEN		240	2500	1,8	3	7	38	200	1200			8,0	9,4	7
	"		210	23450	1,5	3	11	90	800	5000	22450		8,8	19,0	1,2
	"		185		0,4	14	60	1200	16100						
	"	600	260	37	2,6	-	0,4	1,3	3,6	9	22		18,0	38,0	1816
	2724		240	88	2,3	0,4	0,8	2,5	8	25	64		14,0	32,3	530
	2756		220	166	1,3	0,25	0,5	3	12	48	-	-	11,2	14,6	220
	2807		200	425	1,2	0,7	2	8	43	167	374		11,8	30,5	78
	2762		190	1275	0,74	0,5	2	11	62	284	915		13,0	38,7	37
	JEN		170	4580	0,38	3,6	15	100	460	1300	3600		11,0	38,0	4,5
	"		150	10550	0,12	11	70	600	2650	6100	9320		11,8	23,5	1,9
	"		130		0,12	36	260	2250	8600	16600					0,86



Zeitstandversuche

X6CrNi 1811

1.4948 - Grundwerkstoff Probe:  $\emptyset$  5x25

Tabelle 8

Legierung Charge-Nr. Zustand	Vers. Nr.	$\vartheta$ °C	$\sigma_0$ MPa	t h	$\epsilon_0$ %	$\epsilon_{fo,1}$ h	$\epsilon_{fo,2}$ h	$\epsilon_{fo,5}$ h	$\epsilon_{f1\%}$ h	$\epsilon_{f2\%}$ h		$A_u$ %	$Z_u$ %	Härte	
GW 430		Versuche ohne Bruch									Kriechbetrag				HV30
1065°/w											$\epsilon_{Kr\%}$				
	2748	550	380	4	22,2			1,6	2,2		3,4	bis	25,6		250-252
	2749		360	6,4	20,4			3,6	5,6		1,6	"	22,0		235-237
	2750		340	6,5	14,8			4,2	6,5		1,2	"	16,0		223-227
	2751		320	10,5	14,2			9	-		0,8	"	15		214-216
	2752		280	26,6	9,4			26,6			0,6	"	10		198
	2753		240	73	5,6			~ 75			0,4	"	6		184-185
	2755	600	360	13 min	23,4	Bruch					23	"	46,4		252-263
	2754	600	340	38 min	15,4			4,2 min	6,5 min	11,5min	7	"	22,4		232
												"			
												$\epsilon_0 + \epsilon_{Kr}$			
															$\epsilon_{pmin}$
	1897	700	70	1101	0,12	4	19	148	335	550	5,08	"	5,2		$18,2 \cdot 10^{-6}/h$
	1761	"	50	9834	0,04	70	165	1550	/	/	/	"	18,0		/

1-21

X 6 CrNi 1811 (1.4948)

Bild 1

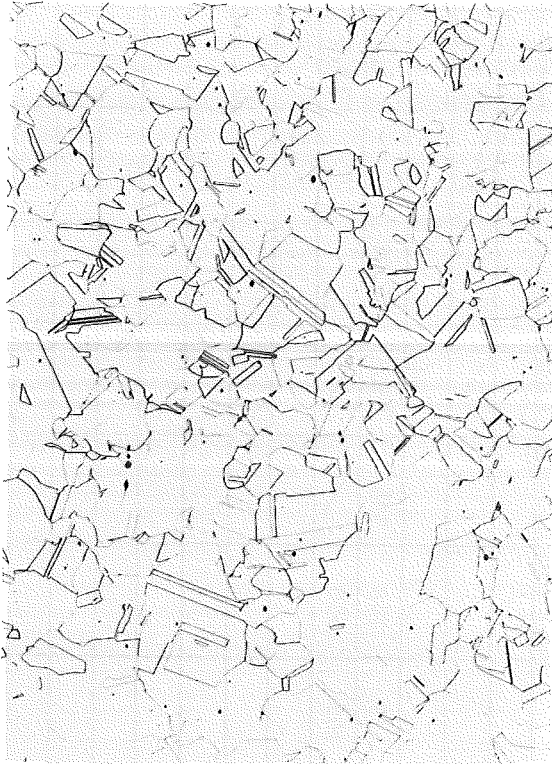
Charge GW 430

Zustand: lösungsgeglüht 1065°/Wasser

längs

zur Walzrichtung

quer



50171

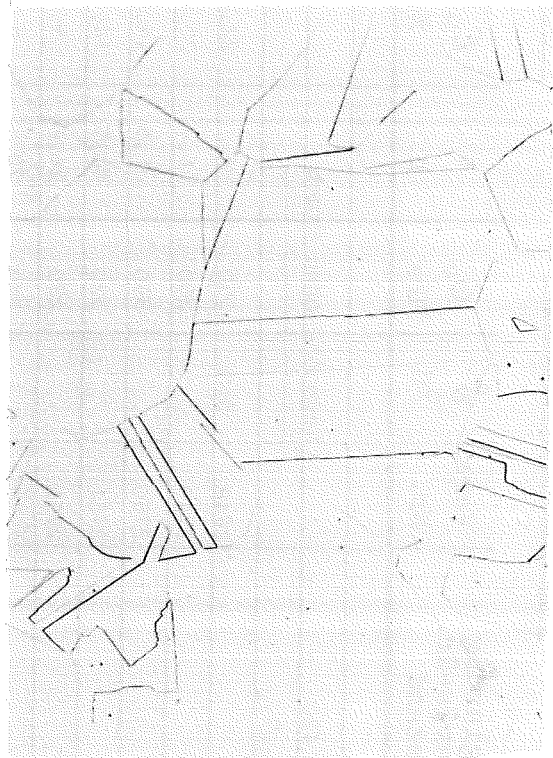
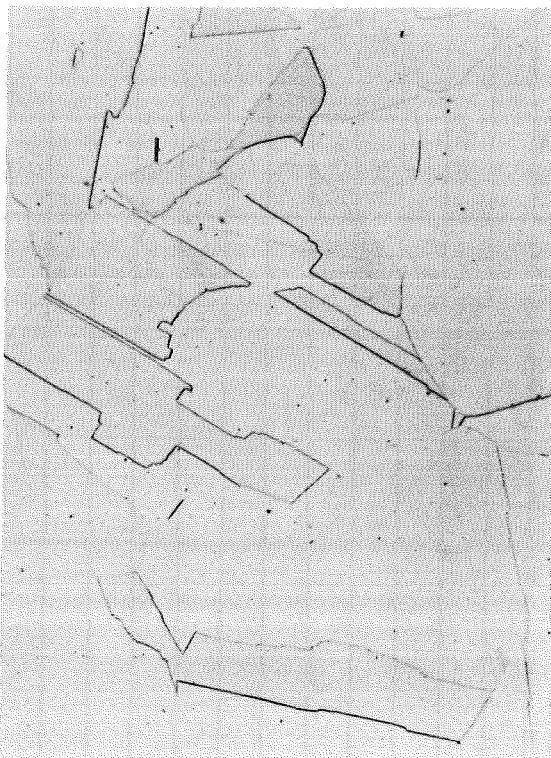
x100

50173

x100

HV<sub>30</sub> = 165-168

HV<sub>30</sub> = 150-158

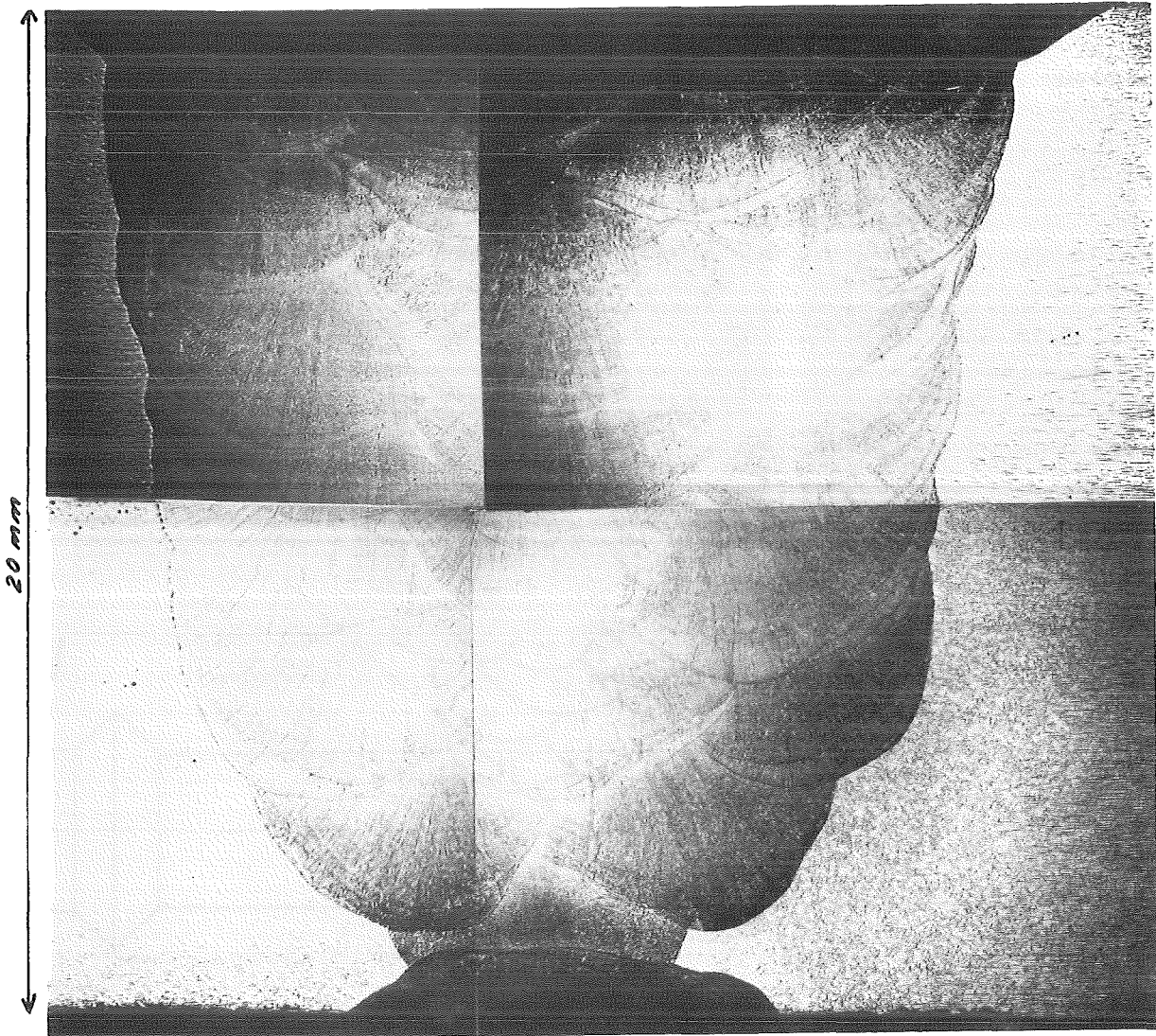


50172

x500

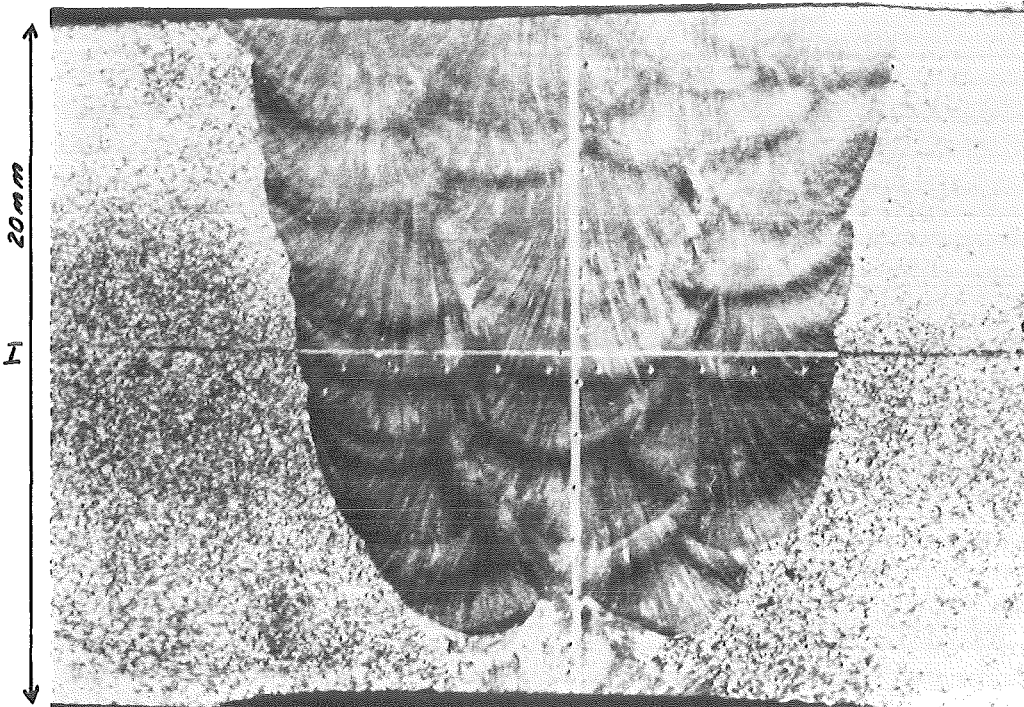
50174

x500



a)

A



X6CrNi1811  
(1.4948)

Chg. GW430

Schweißnaht  
GW+18-6-M

AUSOL-  
Programm

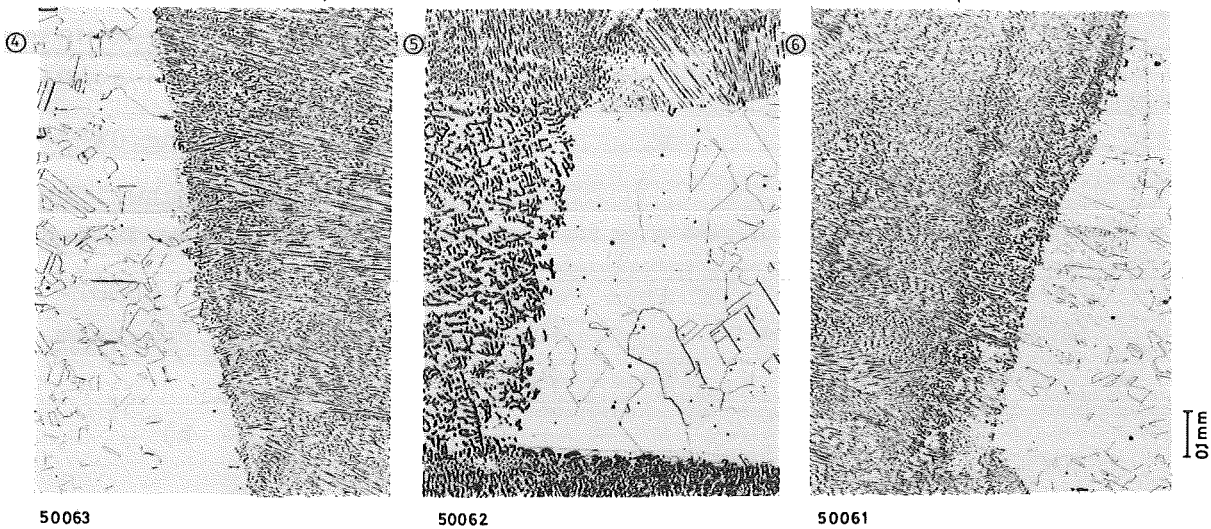
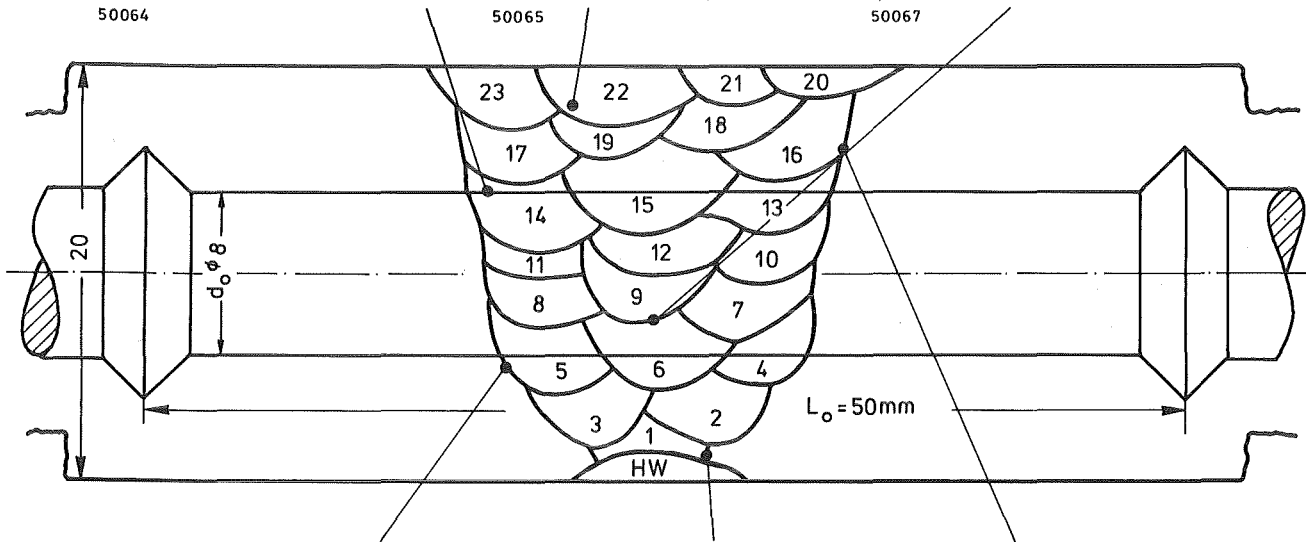
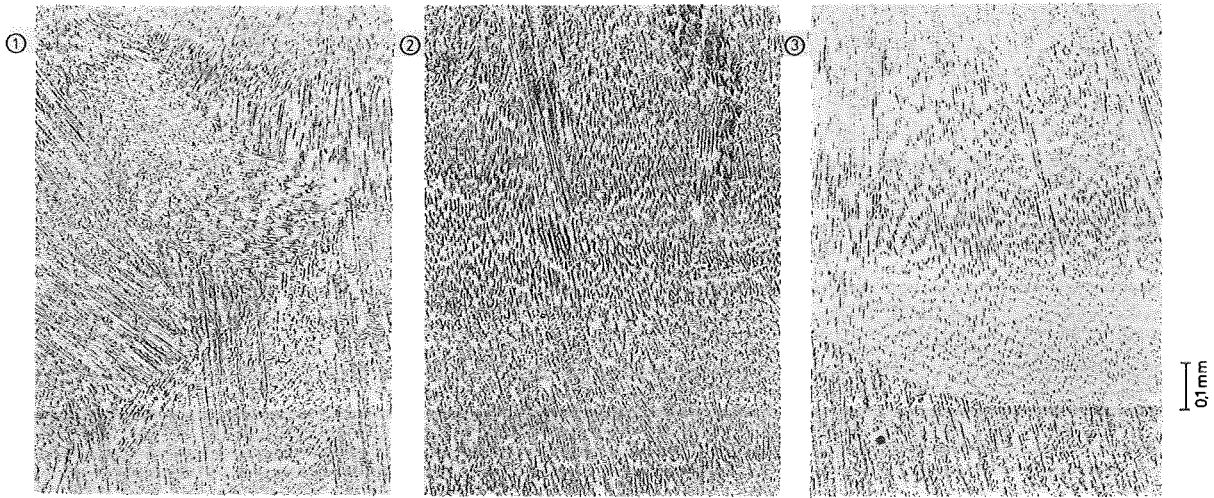
b)

Bild 2

B

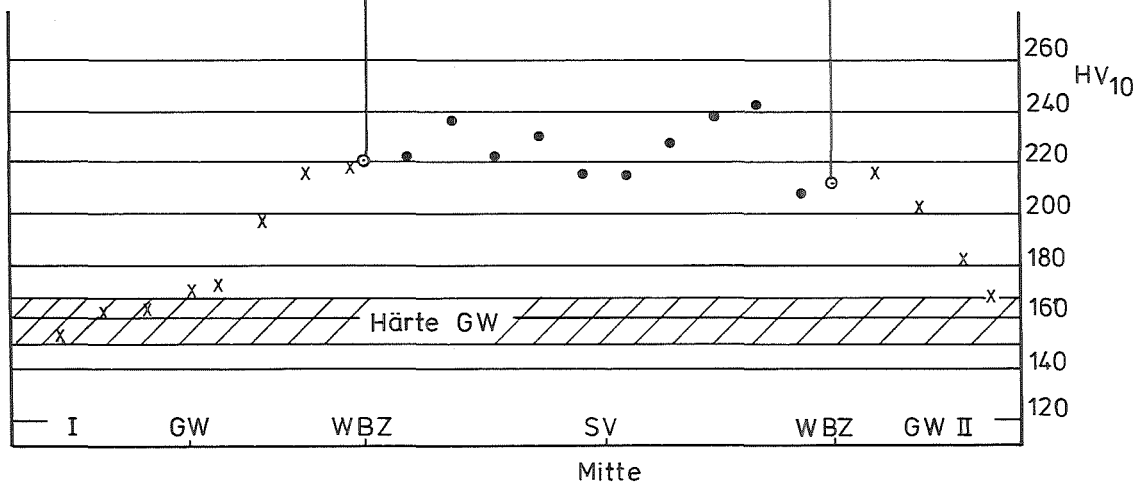
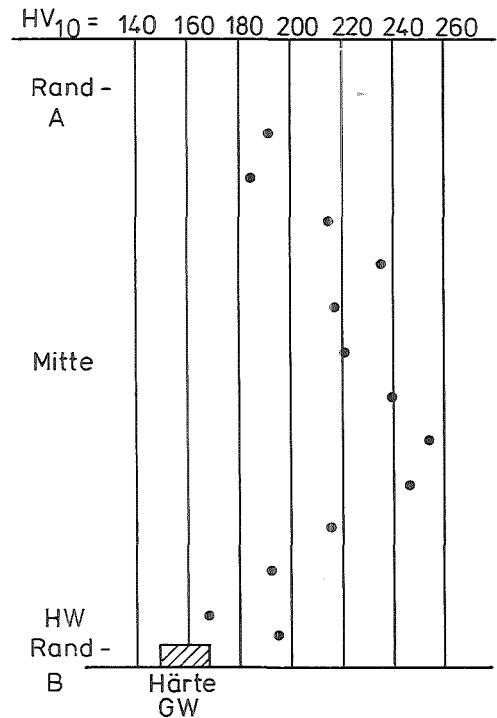
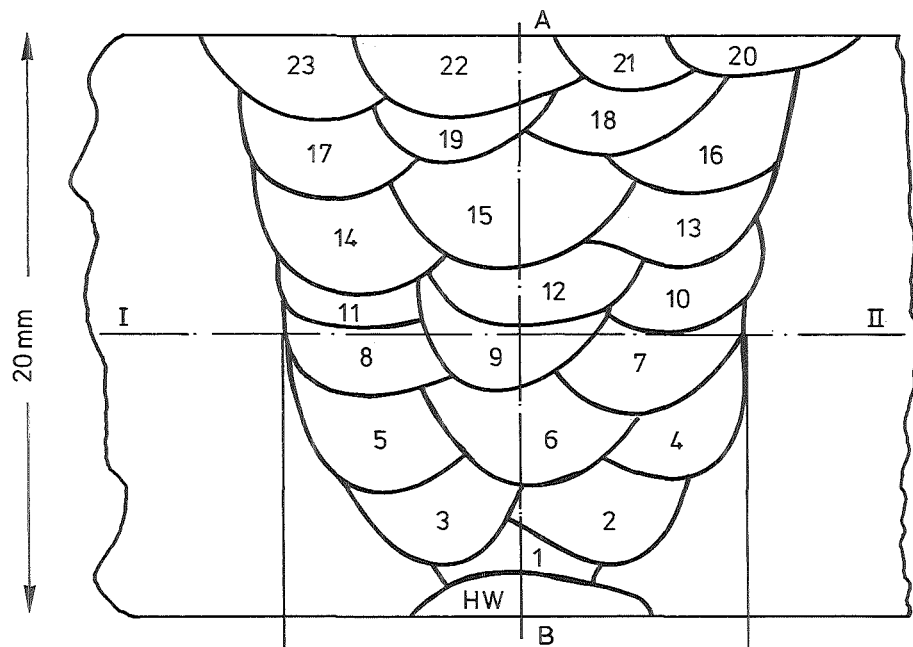
Naht Nr. 1: GW +16-8-M

Schweißse      Randlage      Decklage      Mittellage



Übergang Grundwerkstoff - Schweißse

Bild 3: X6CrNi 1811 (1.4948) Chg.: GW 430 Schweißverbindung



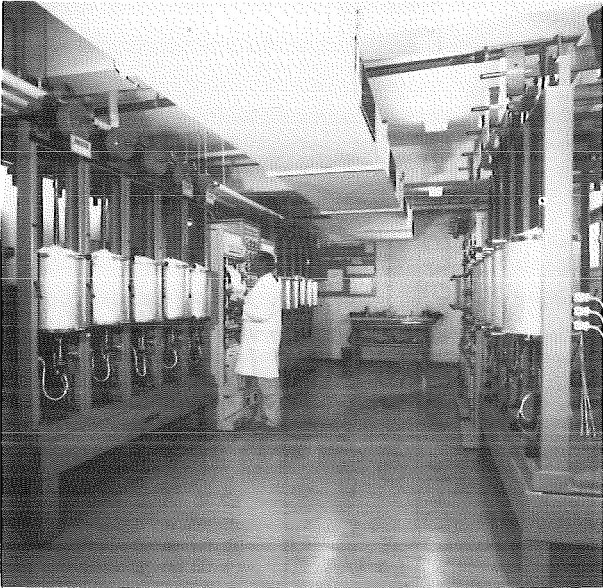
X6CrNi 1811 (1.4948)  
 Chg.: GW 430  
 Schweißverbindung  
Härteverlauf

GW = Grundwerkstoff      x  
 WBZ = Wärmebeeinflusste Zone      o  
 SV = Schweißnaht      ●  
 HW = Heftnaht-Wurzellage

Bild 4:



a)



b)

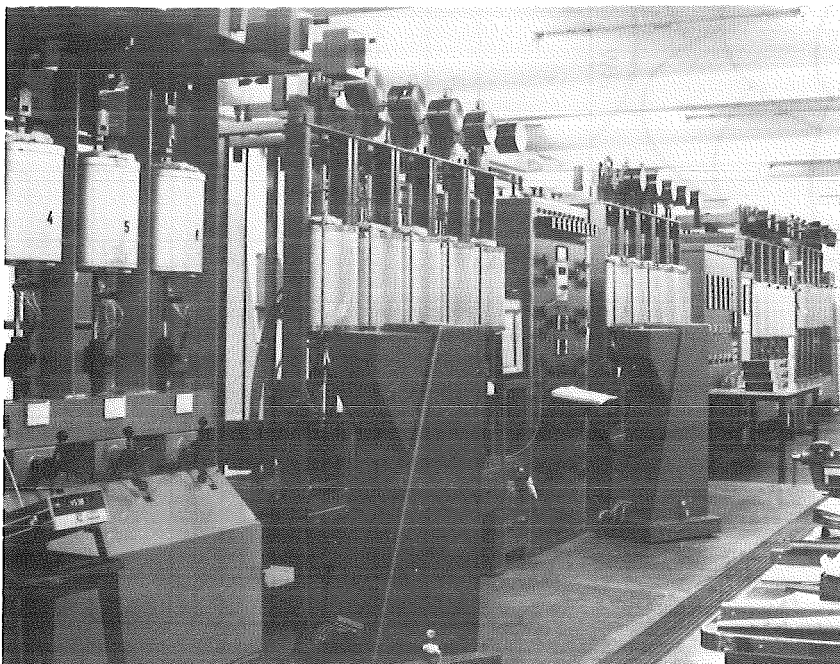


c)

Bild 5

Ansicht der Zeitstandprüflabors

- a) KfK/IMF ZS-Labor I (Normalatmosphäre)
- b) -"- ZS-Labor II -"-
- c) -"- ZSV-Labor (Vakuumanlagen)



d) JEN-Madrid  
(Normalatmosphäre)  
Teilansicht

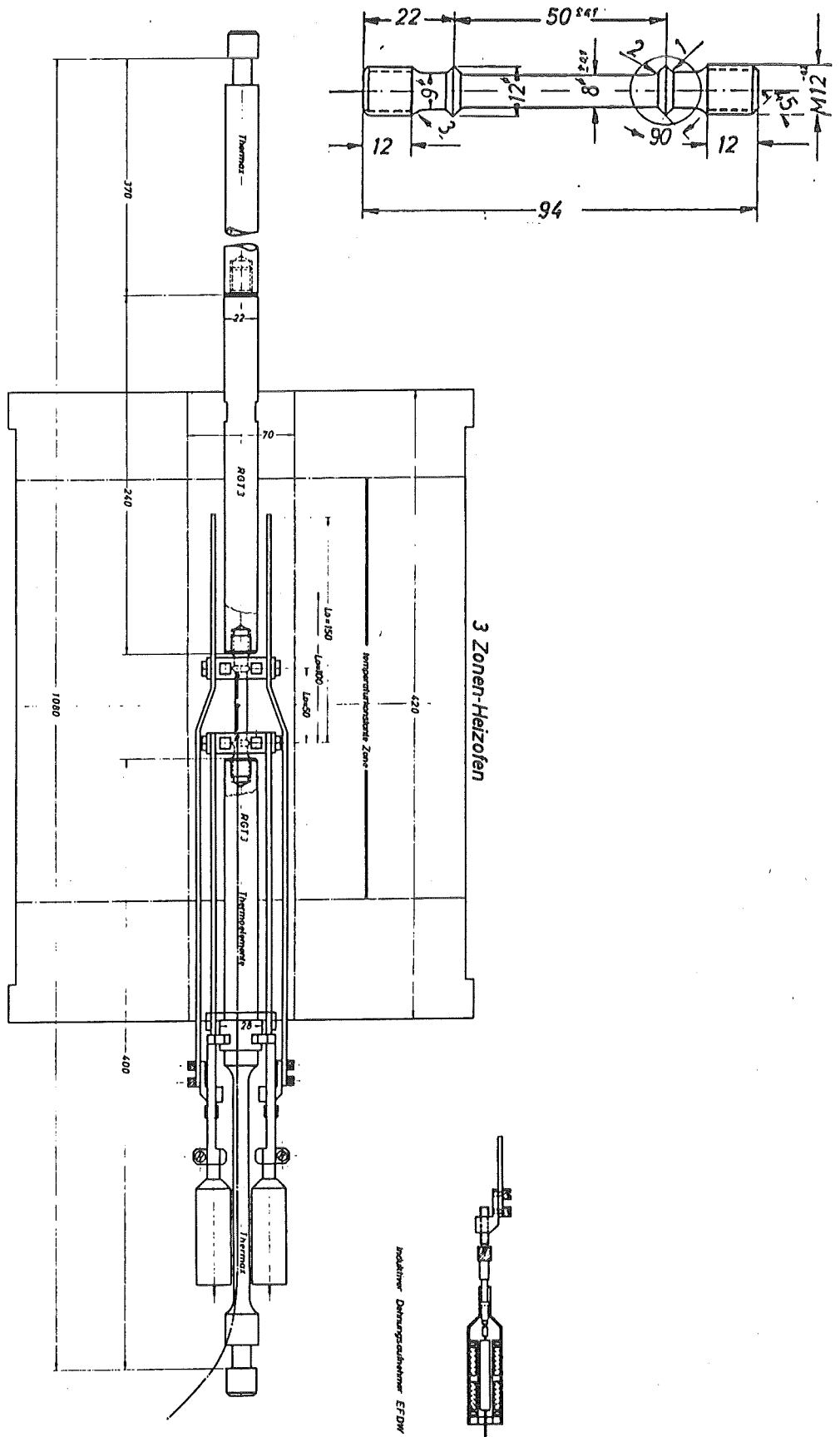


Bild 6

Zeichnung	1:1	Gezeichnet von	Geprüft von
Titel	1:1	Gezeichnet am	Geprüft am
Spannungsgänge für Zeitstandsversuche bei Normalatmosphäre			

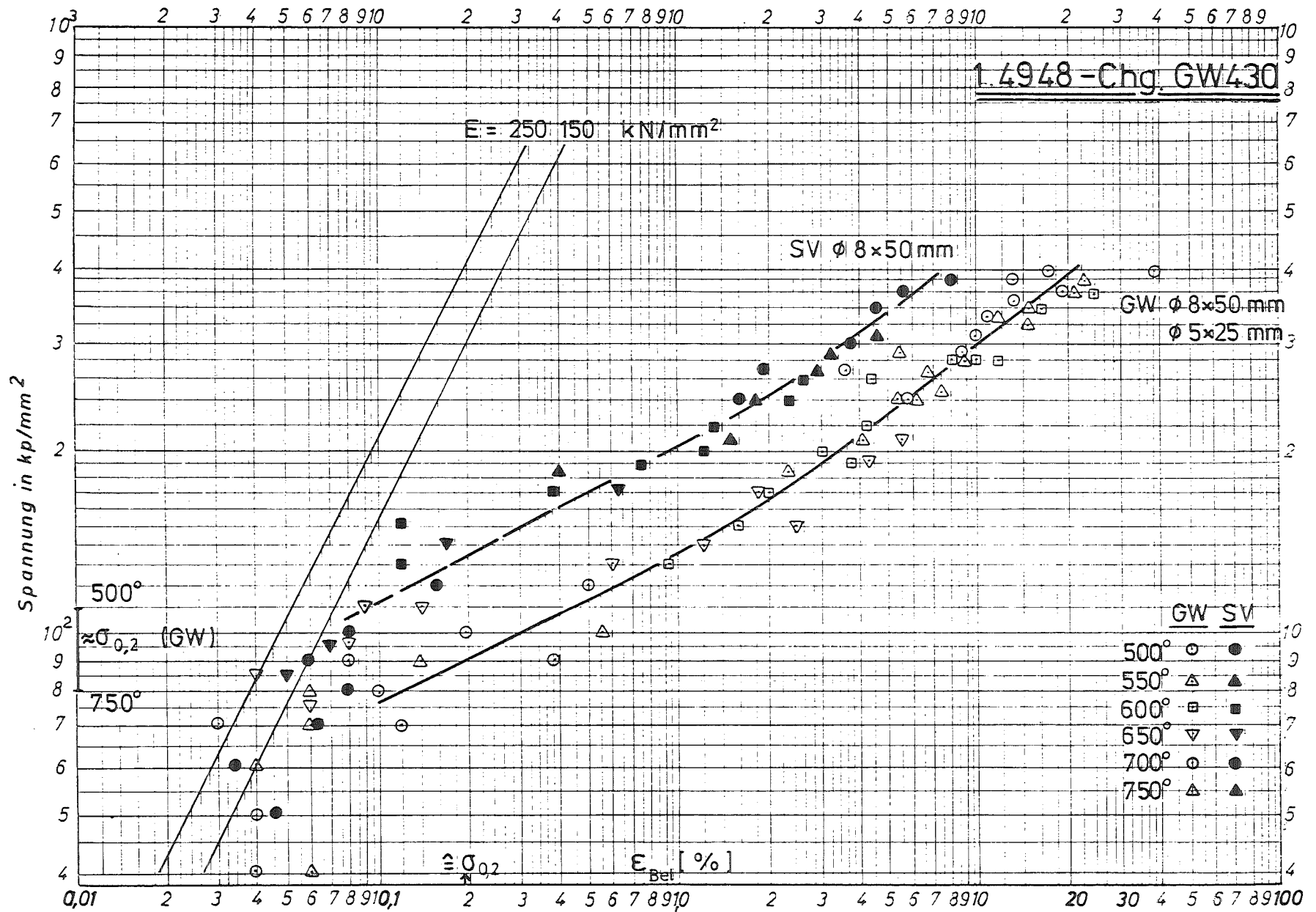


Bild 7: Belastungsdehnung in Abhängigkeit von der Versuchsspannung

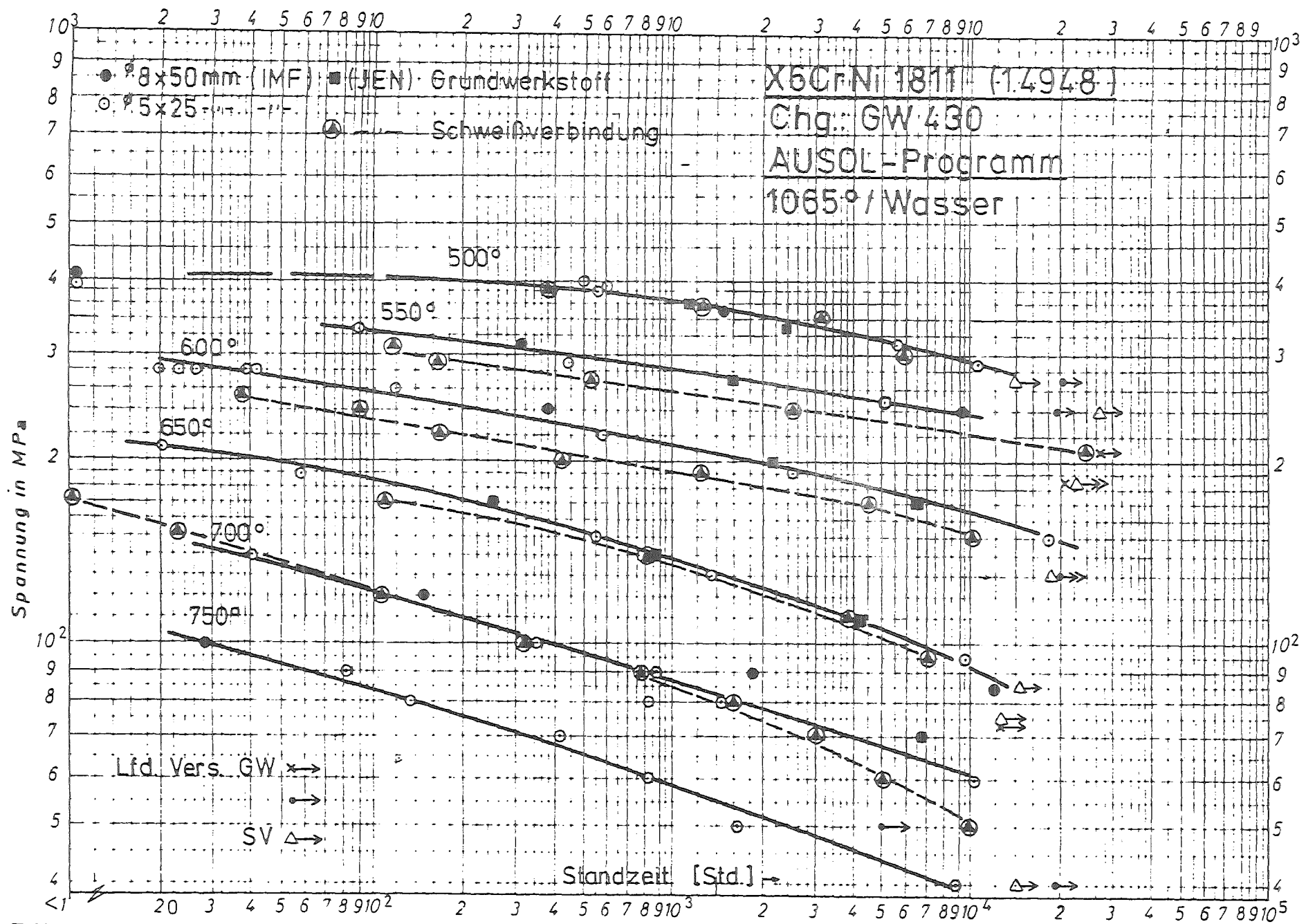


Bild 8: Zeitstandfestigkeitskurven

Stand 9/86

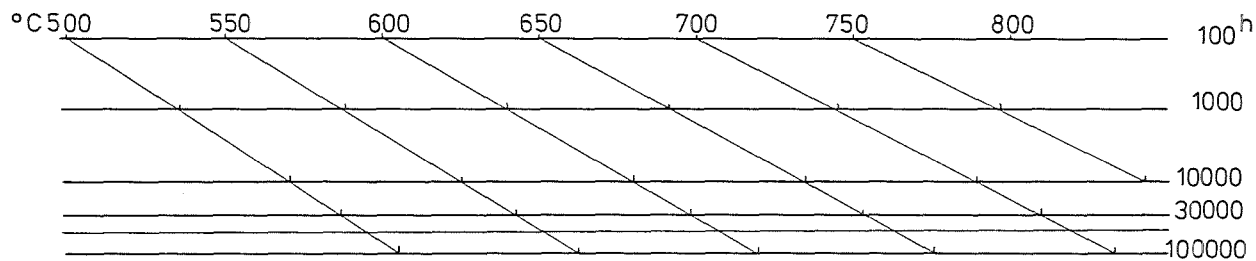
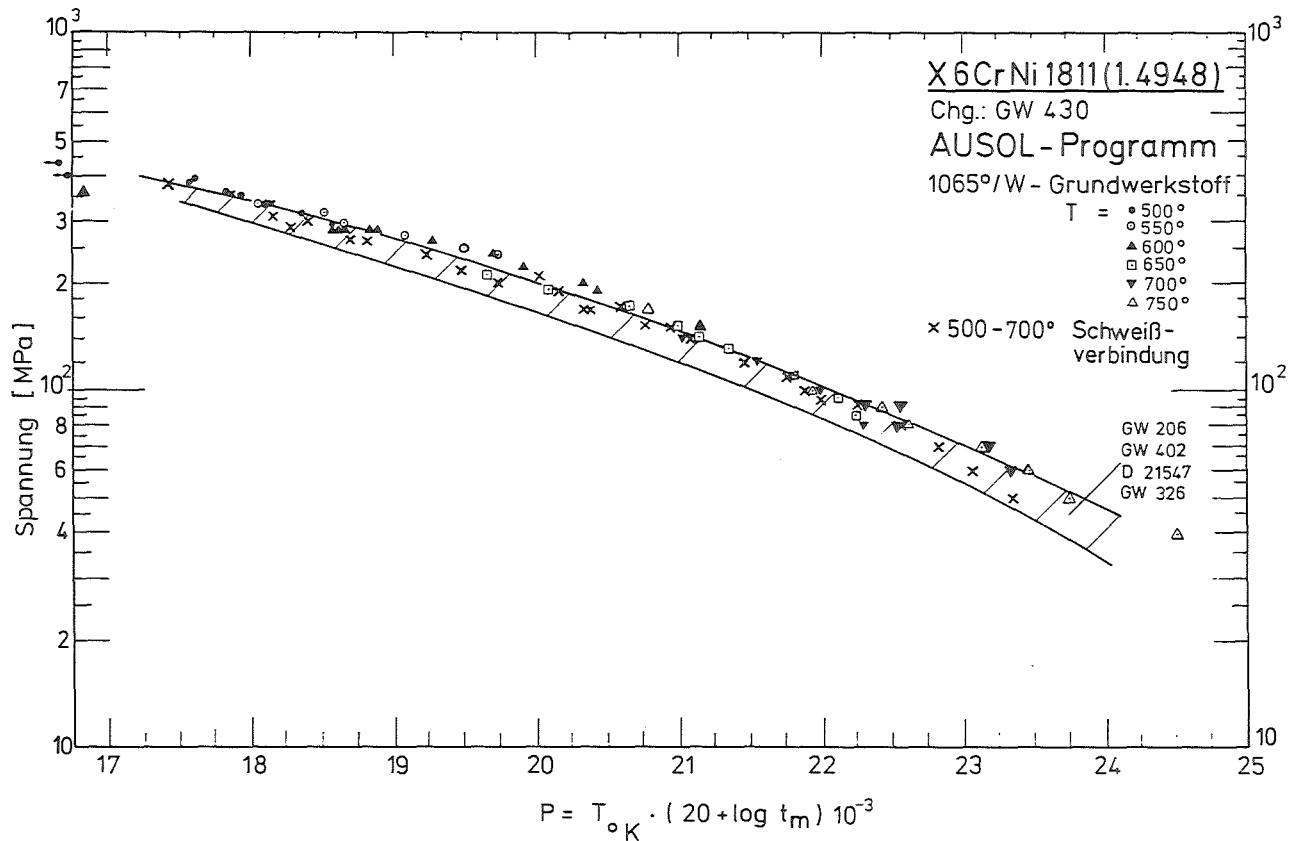


Bild 9 :

Zeitstand - Hauptkurve  
 (Larson - Miller - Parameter)

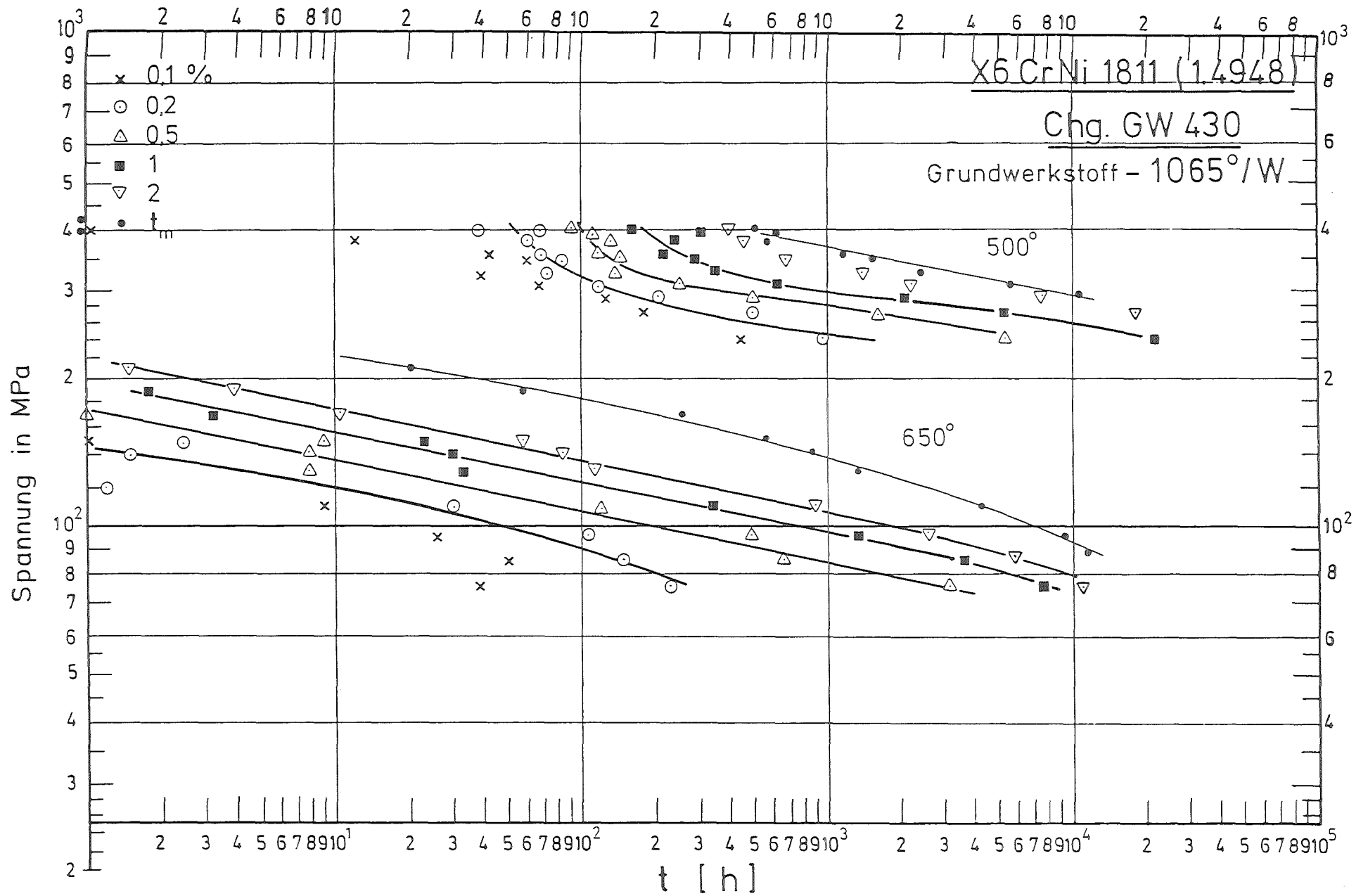


Bild 10: Zeit - Dehngrenzen - Kurven

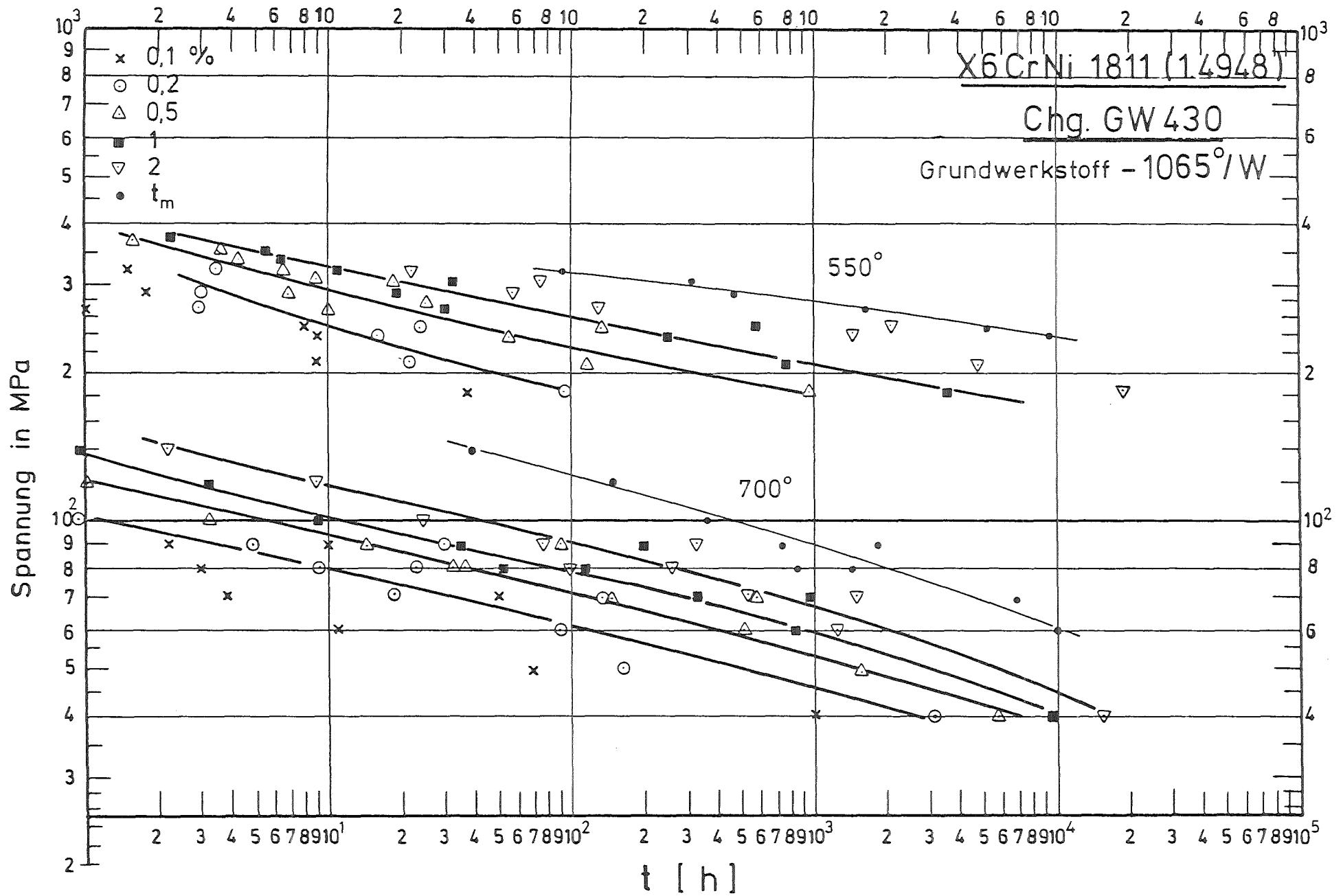


Bild 11: Zeit - Dehngrenzen - Kurven

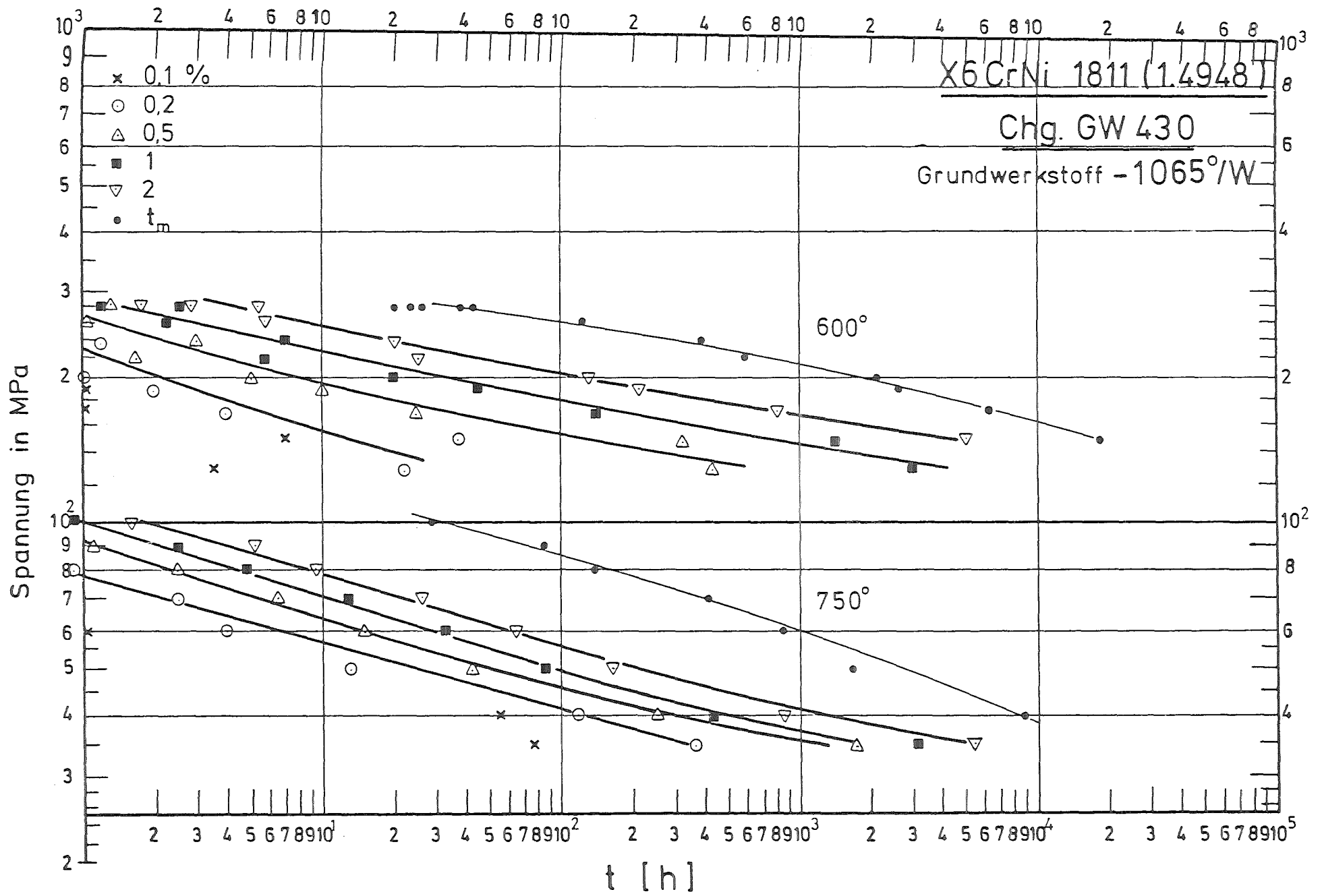


Bild 12 : Zeit - Dehngrenzen - Kurven



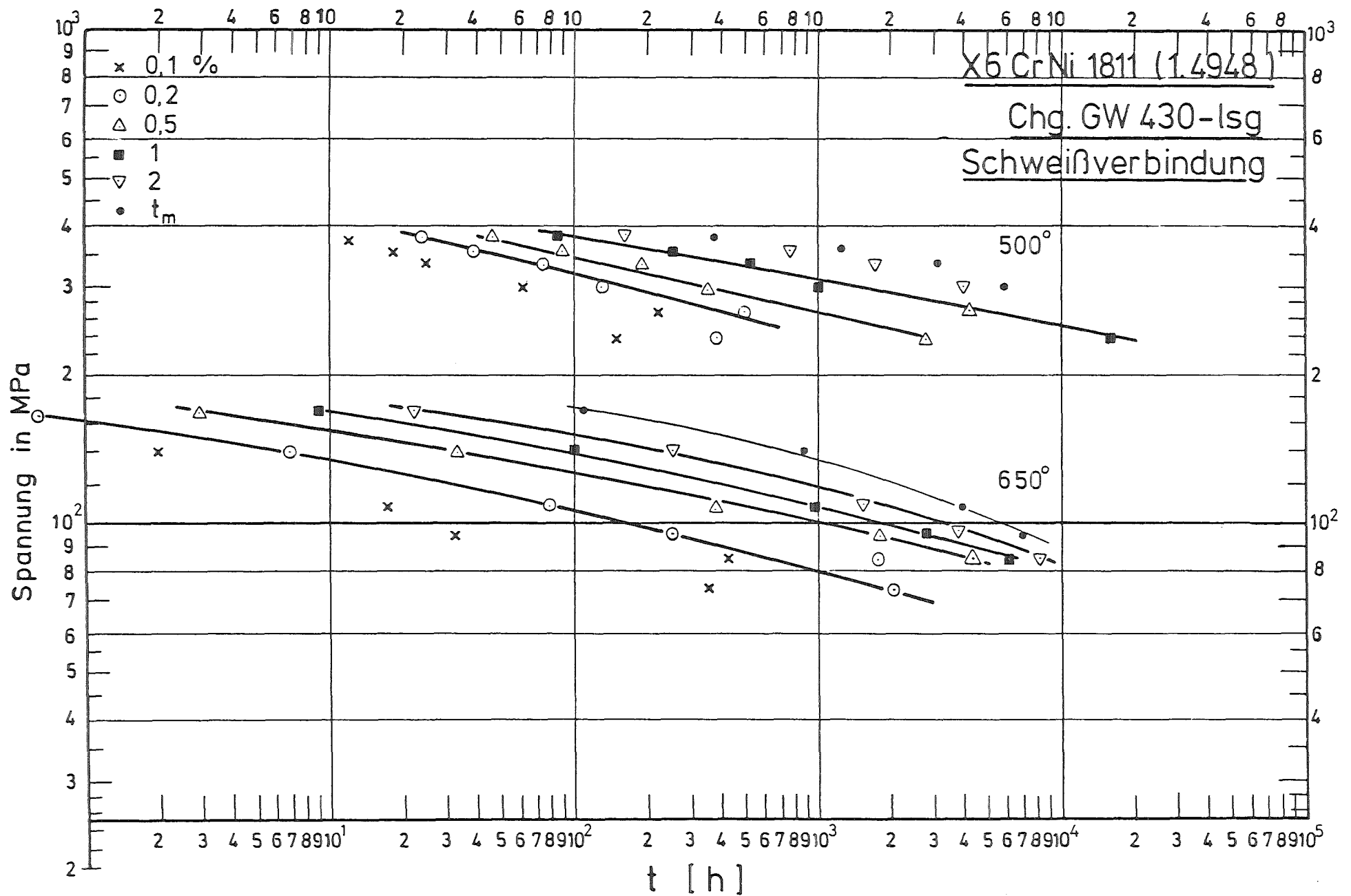


Bild 13: Zeit-Dehngrenzen-Kurven

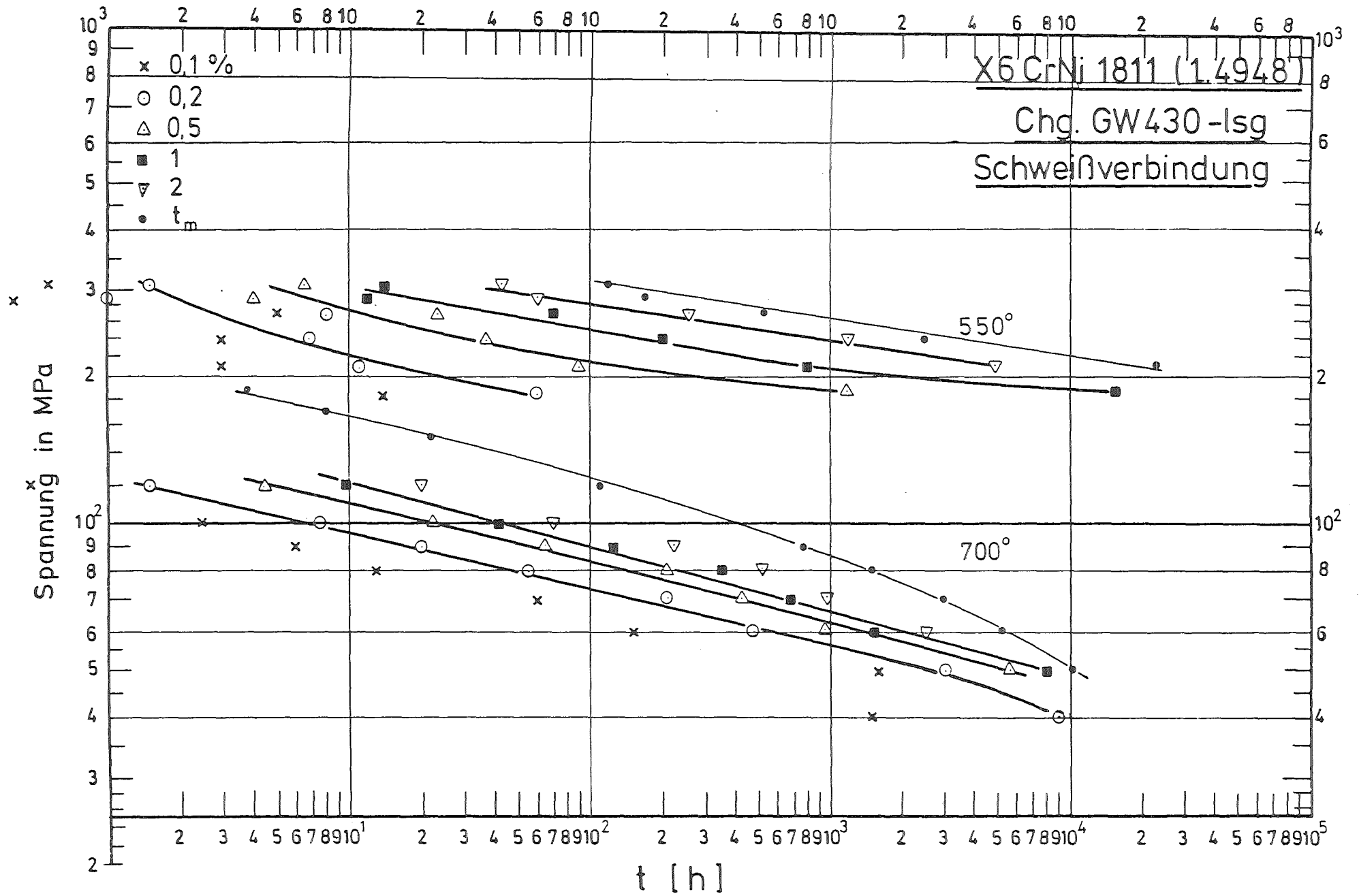


Bild 14: Zeit - Dehngrenzen - Kurven

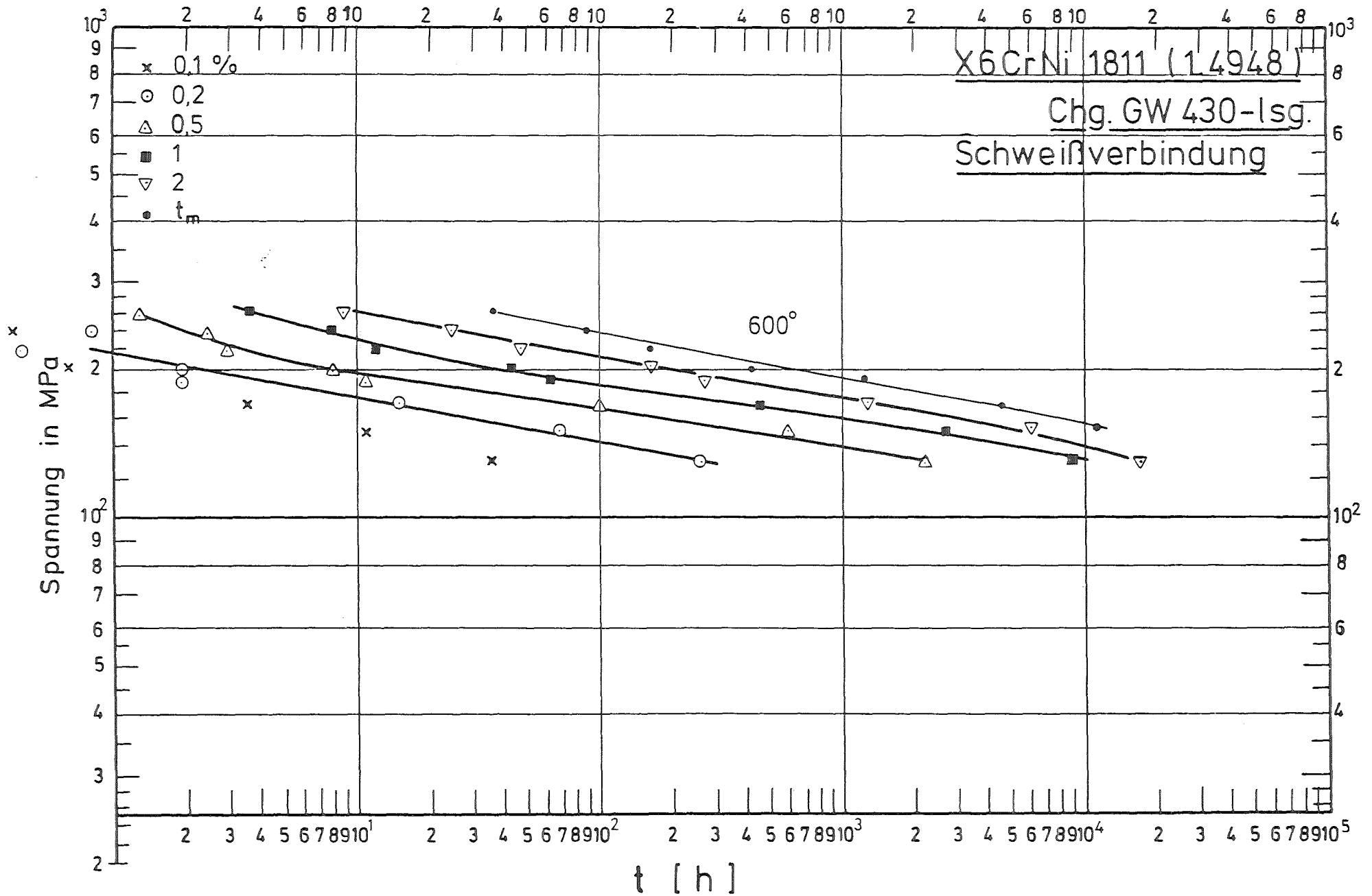


Bild 15 : Zeit - Dehngrenzen - Kurven

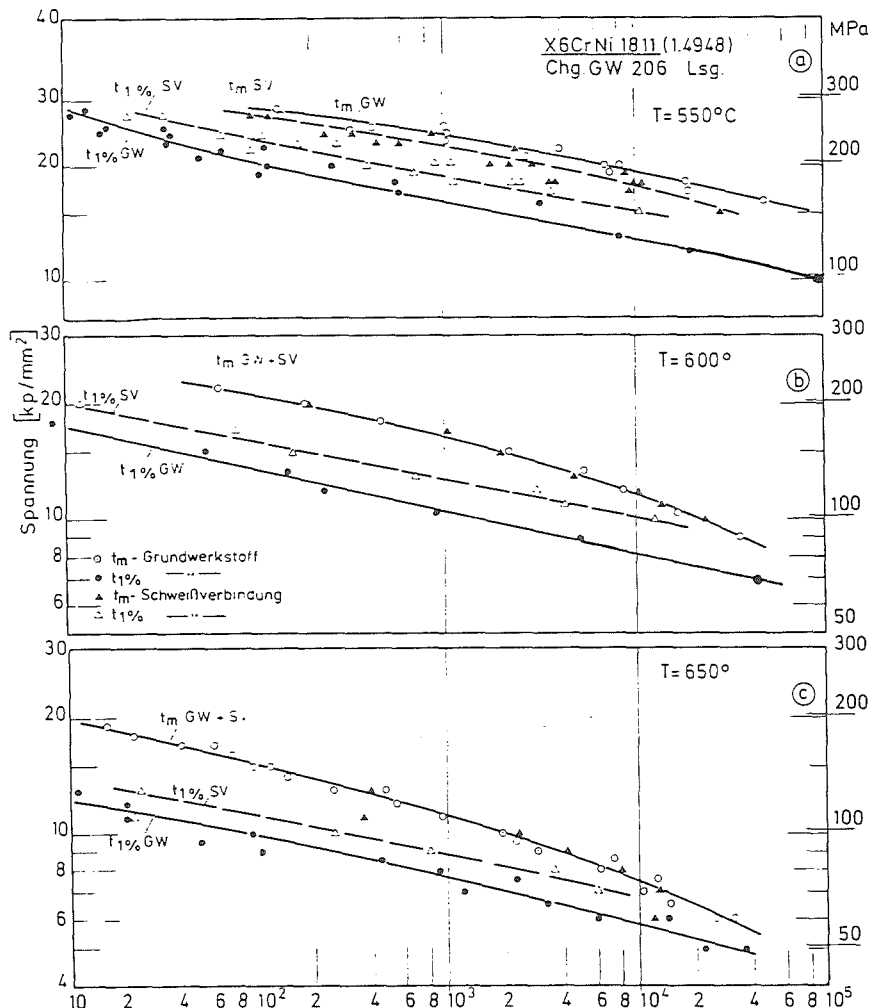


Bild 16a: 1% Zeit - Dehngrenze u. Standzeit  $t_m$  im Vergleich Grundwerkstoff (GW) zu Schweißverbindung (SV)

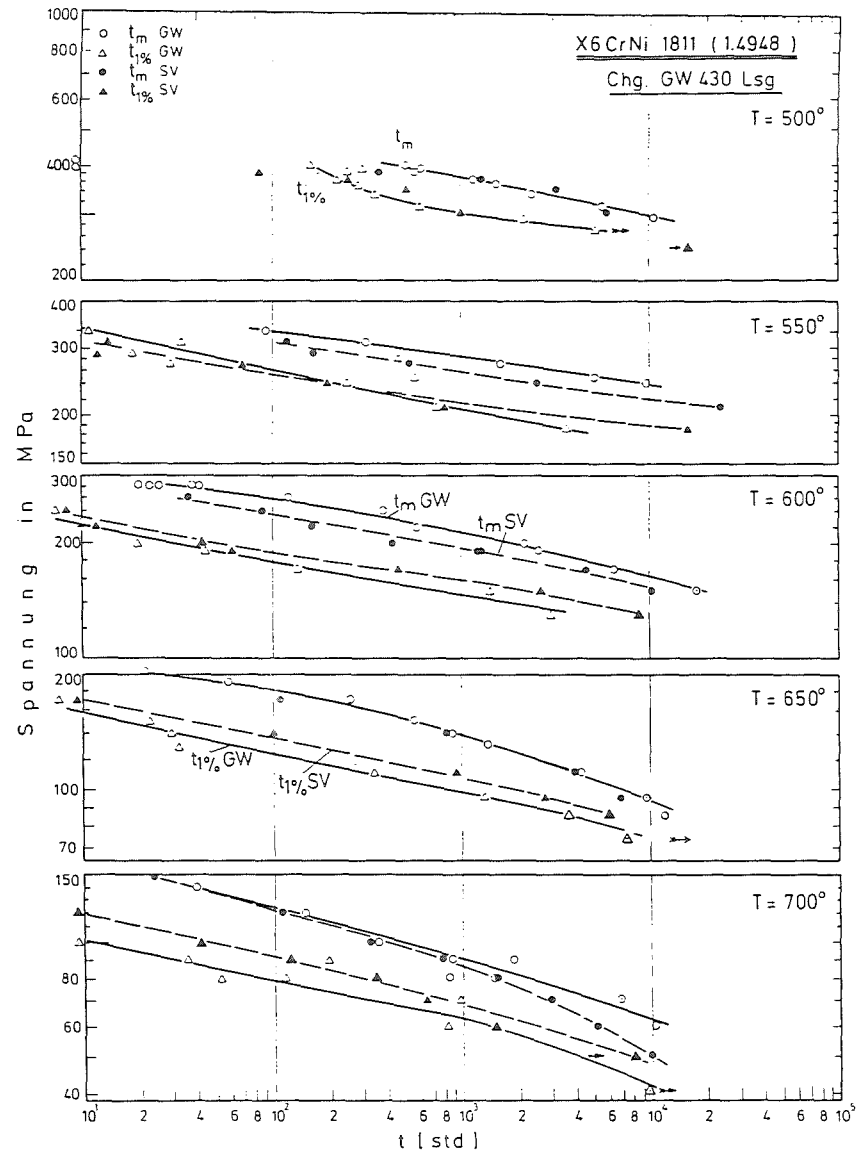


Bild 16b: 1% Zeit - Dehngrenze u. Standzeit  $t_m$  im Vergleich Grundwerkstoff (GW) zu Schweißverbindung (SV)

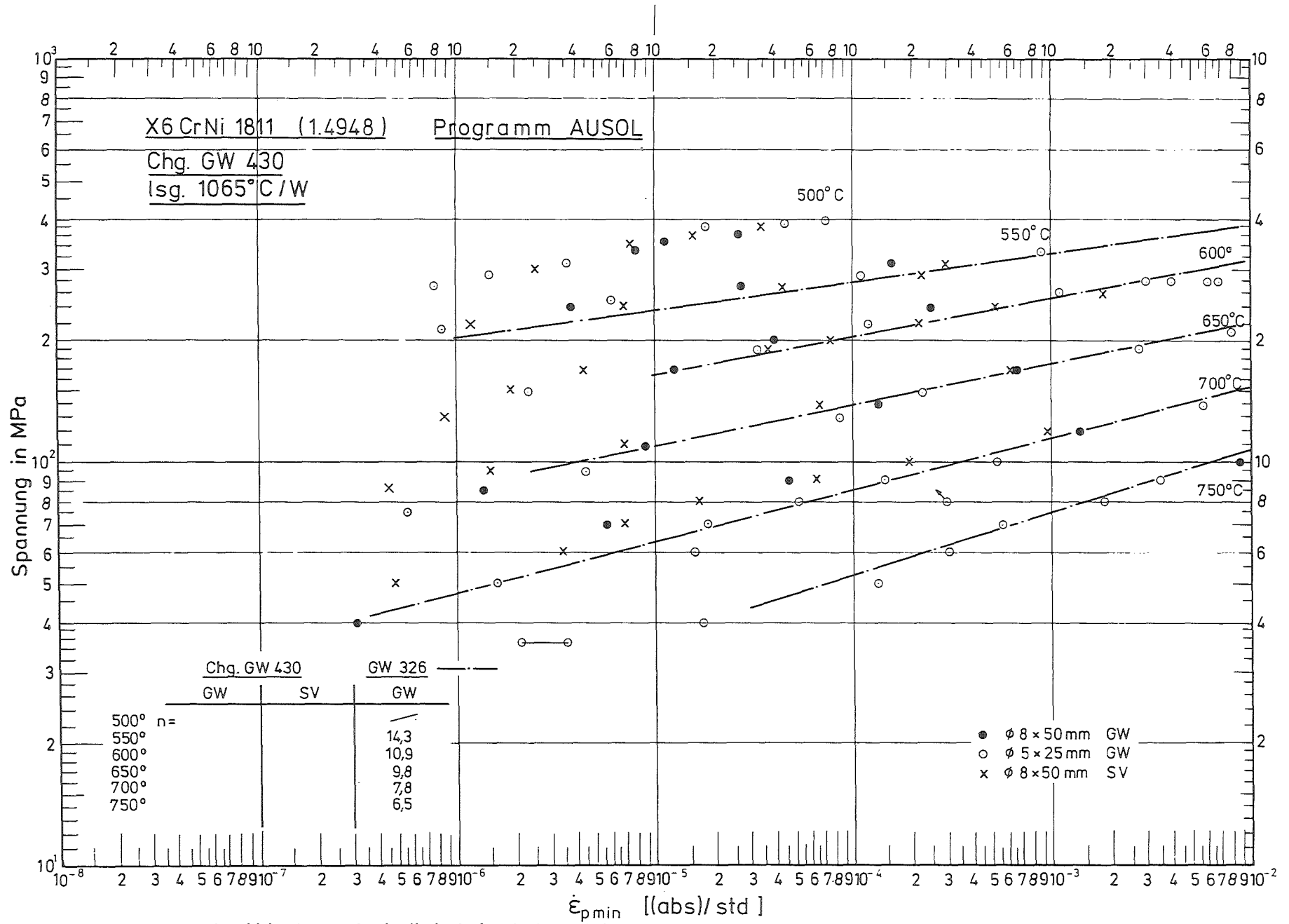


Bild 17: Minimale Kriechgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Versuchsspannung

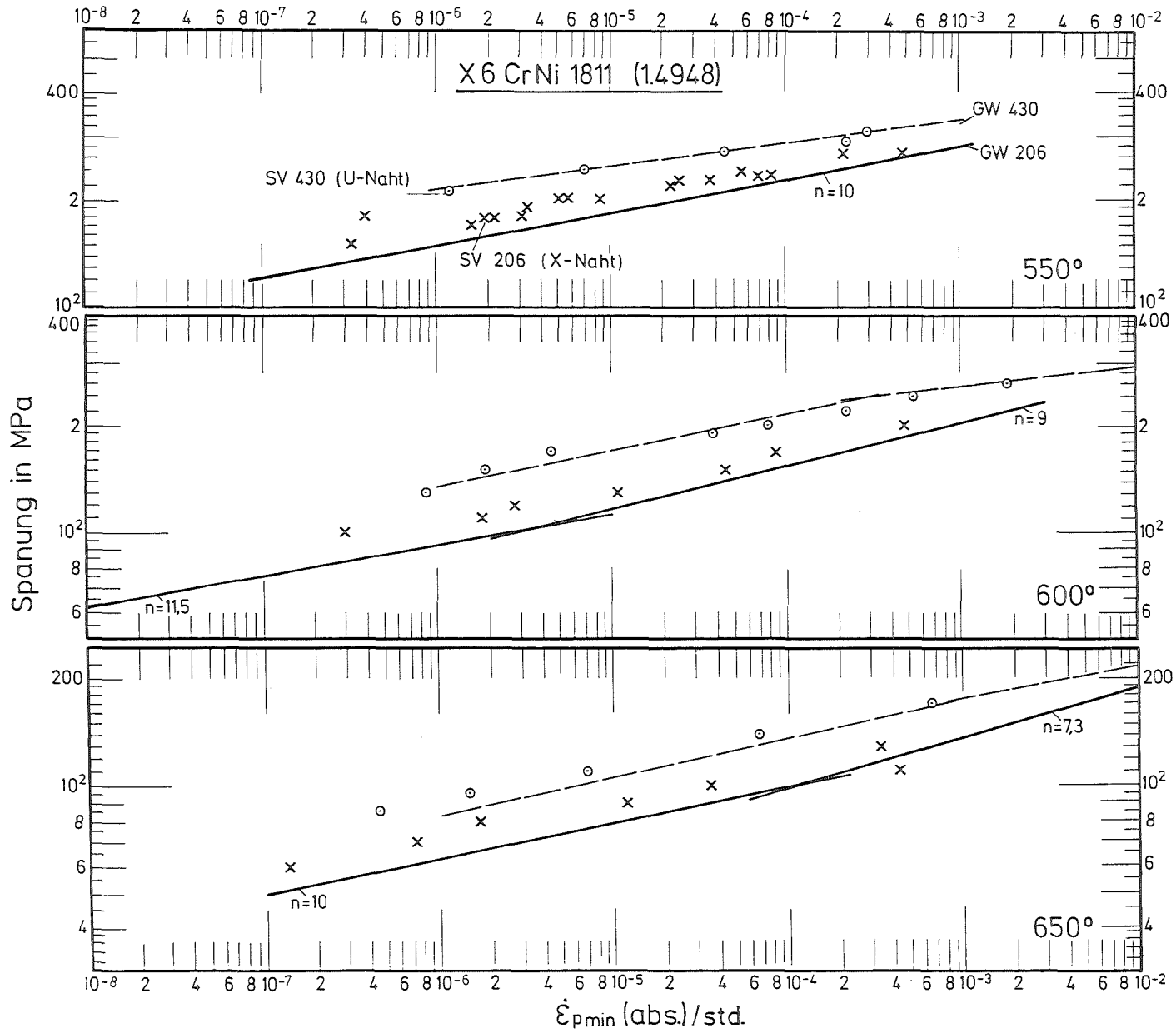
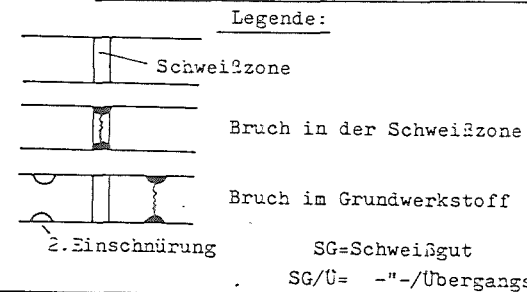


Bild 18: Minimale Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_p$ ; Vergleich GW-SV.

$\sigma$ (MPa)	$T=500^\circ$	$t_m$ (std)	REM-Befund	$T=600^\circ$
380		370	duktil (+Dimpel)	260
360		1260		240
340		3130	duktil (Kragen)	220
300		5870	duktil	200
270				190
240				170
				150
				130
	$550^\circ$			$650^\circ$
310		120	duktil	170
290		160	duktil	140
270		5230		110
240		2500	duktil	95
210		23450		85
185				75

X 6 CrNi 1811 (W.Nr.1.4948) Charge:GW430  
 AUSOL-Programm (16-8-2-Elektrode,U-Naht)



$\sigma$ (MPa)	$T=700^\circ$	$t_m$ (std)	
190		3,6	
170		8,5	
150		23	
120		110	
100		320	duktil
90		770	Mischbruch
80		1494	
70		2950	Mischbruch
60		5020	
50		9943	
40		13900	



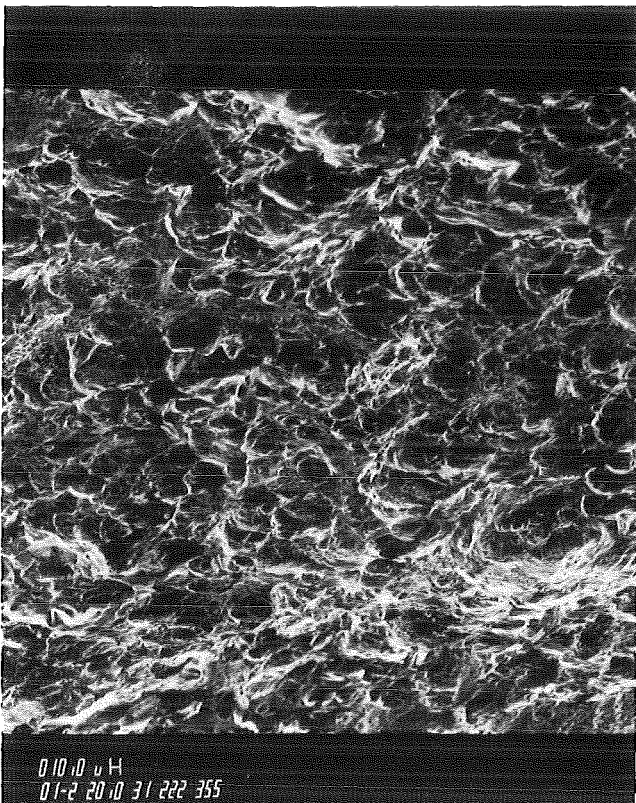
AUSOL 12 x10

1.4948 Chg.GW 430

Schweißverbindung

500° 360 MPa  
1266 std

Bruch im Übergang  
Schweiße/Grundwerkstoff  
(wärmebeeinflusste Zone)



x100



1.4948

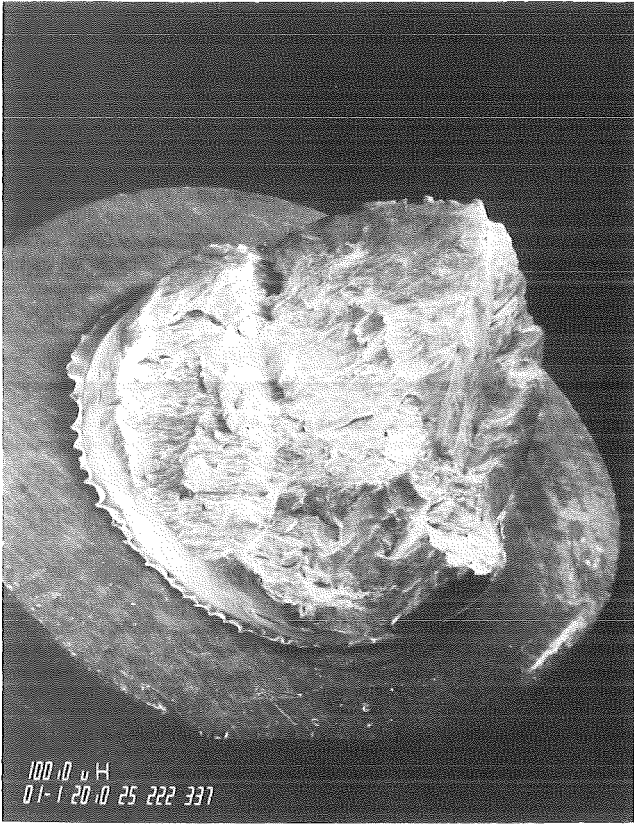
Chg.GW430

Schweißverbindung

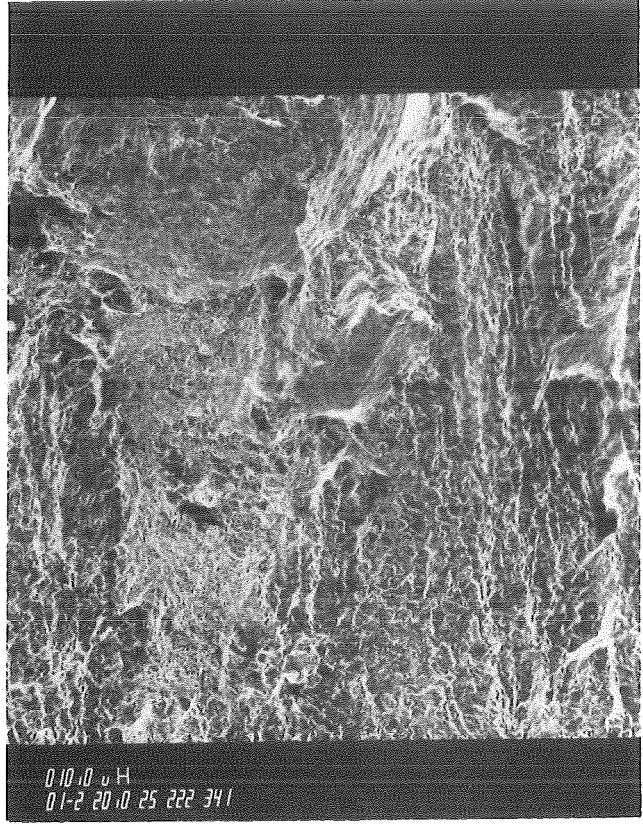
Bild 21

a) 550° 240 MPa 2500 std (Bruch in der Schweiß)

a)

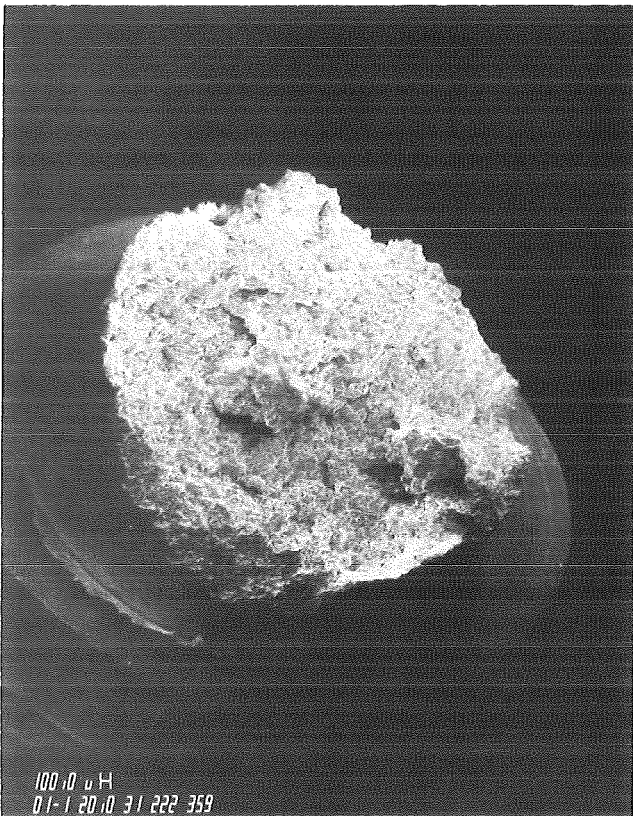


AUSOL 5 x10

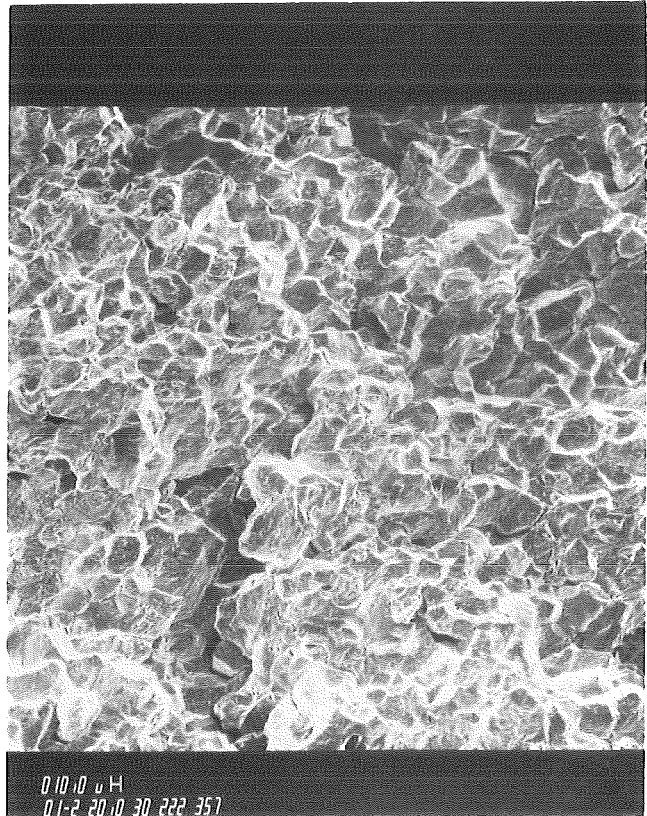


x100

b) 550° 210 MPa 23450 std (Bruch im Grundwerkstoff)

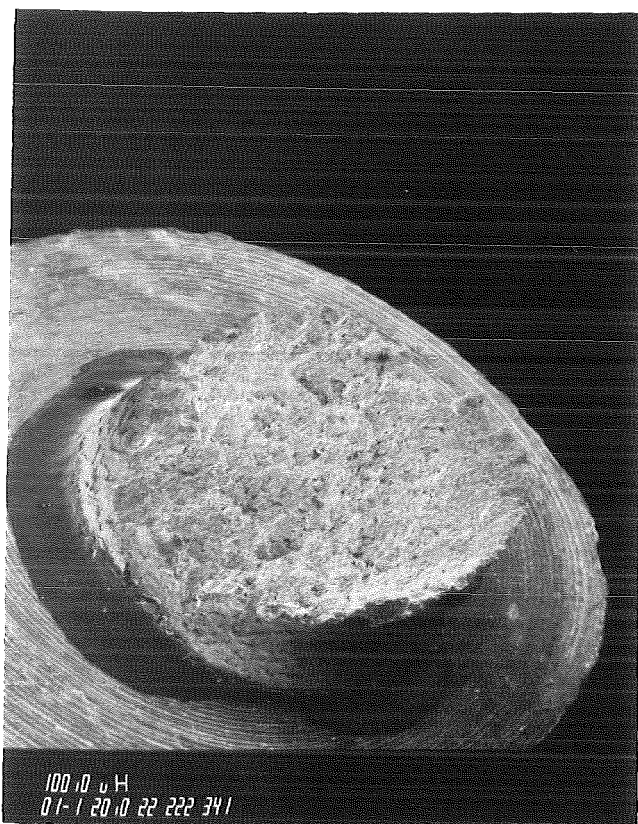


AUSOL 47 x10

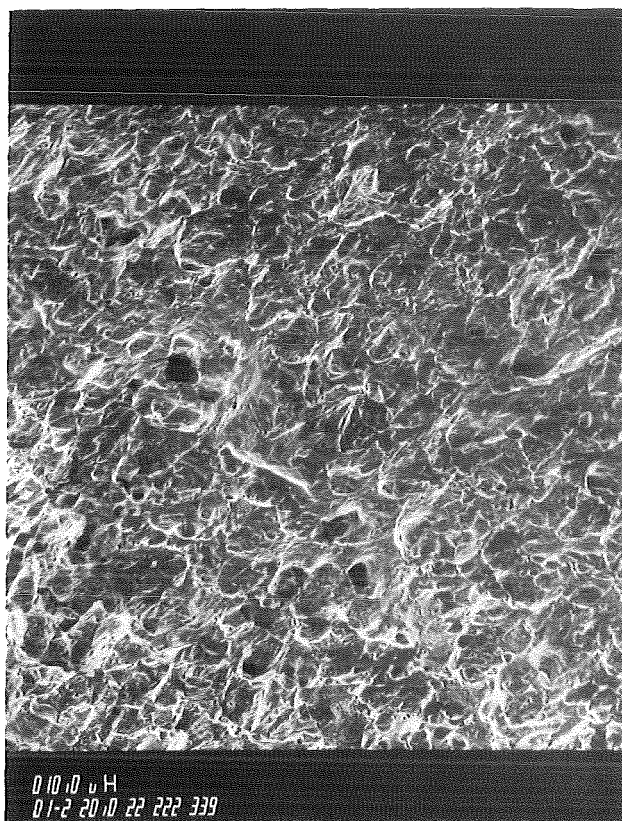


x100

a) 650° 14o MPa 845 std (Bruch im Grundwerkstoff)

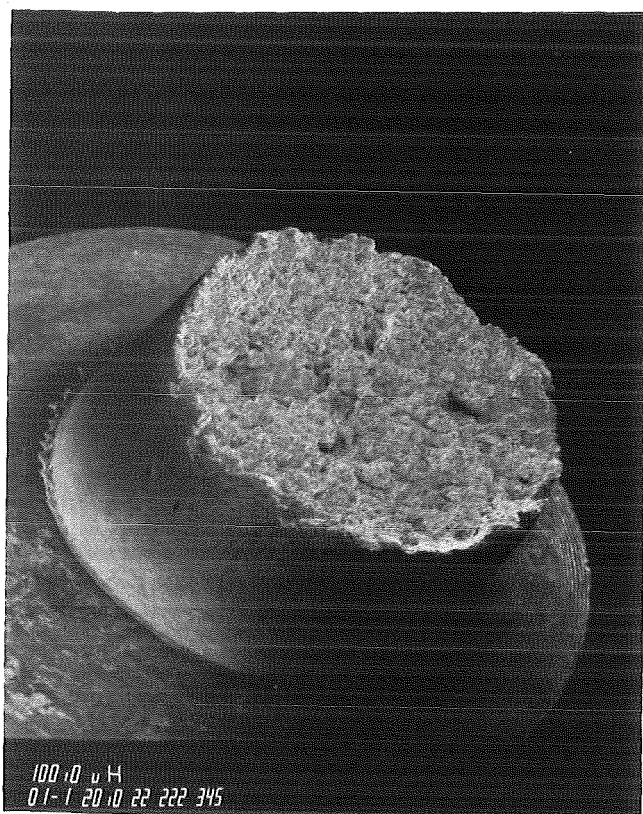


AUSOL 19 x10

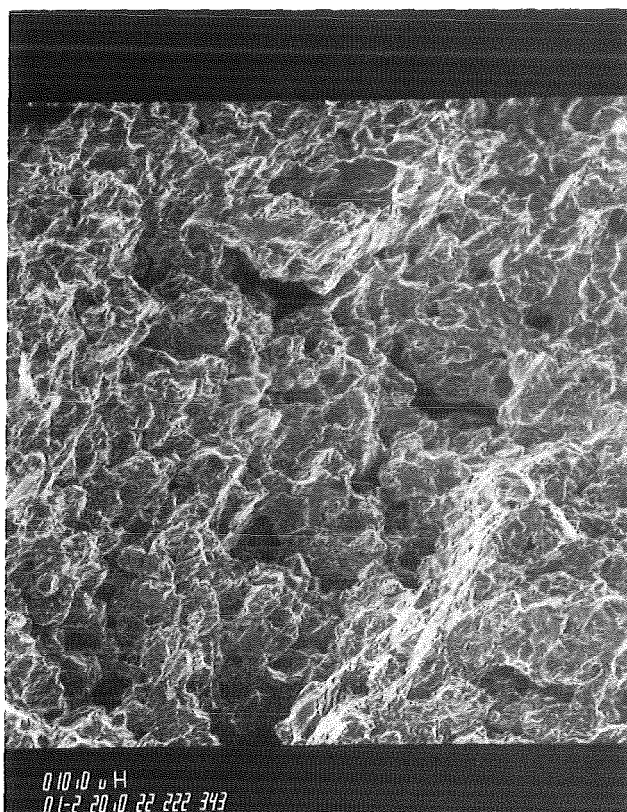


x100

b) 650° 95 MPa 6897 std (Bruch im Grundwerkstoff)



AUSOL 3o x10

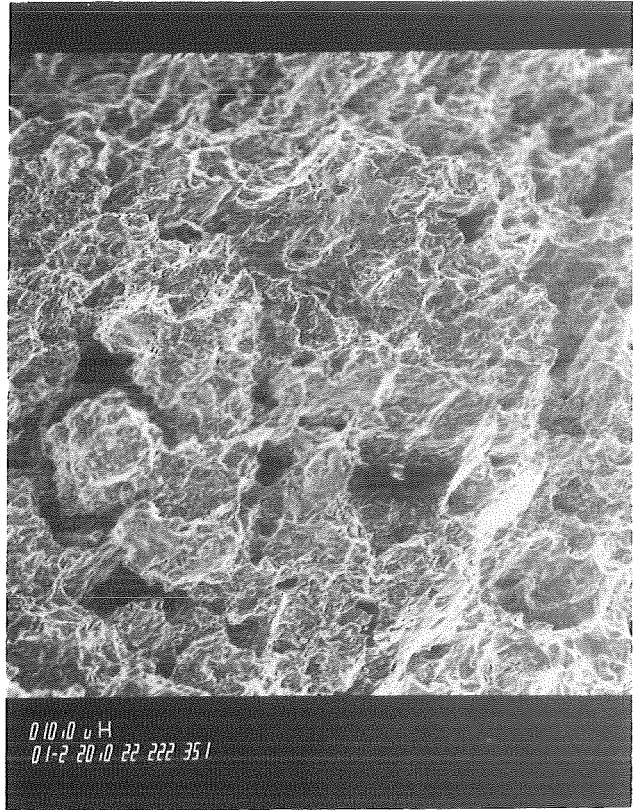


x100

a) 700° 170-70MPa = 8,5-2950 std (Bruch im Grundwerkstoff)



AUSOL 7            x10

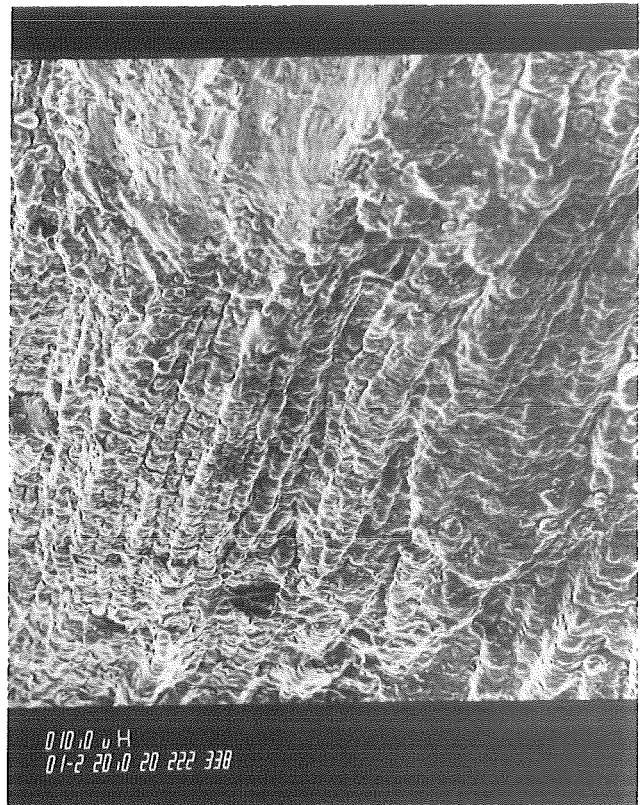


x100

b) 700° 50 MPa 9943 std



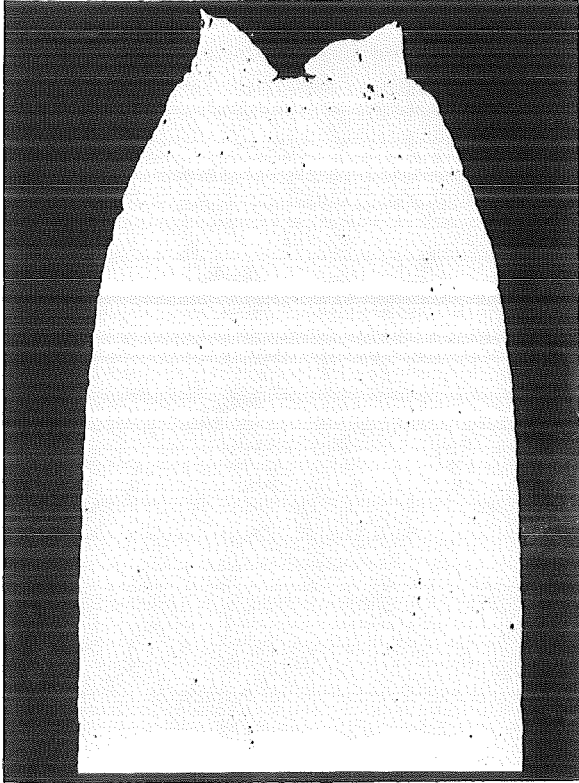
AUSOL 21            x10



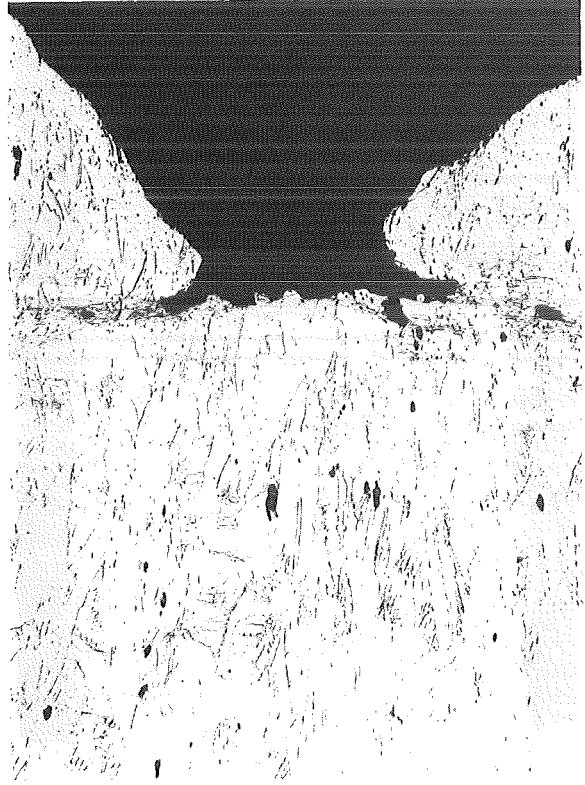
x100

Bruchzone

500° 400 MPa 1min

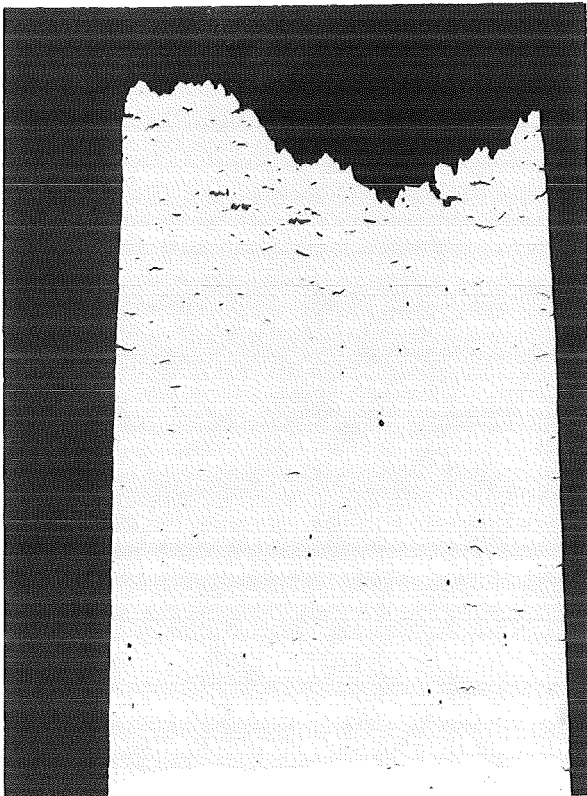


54461



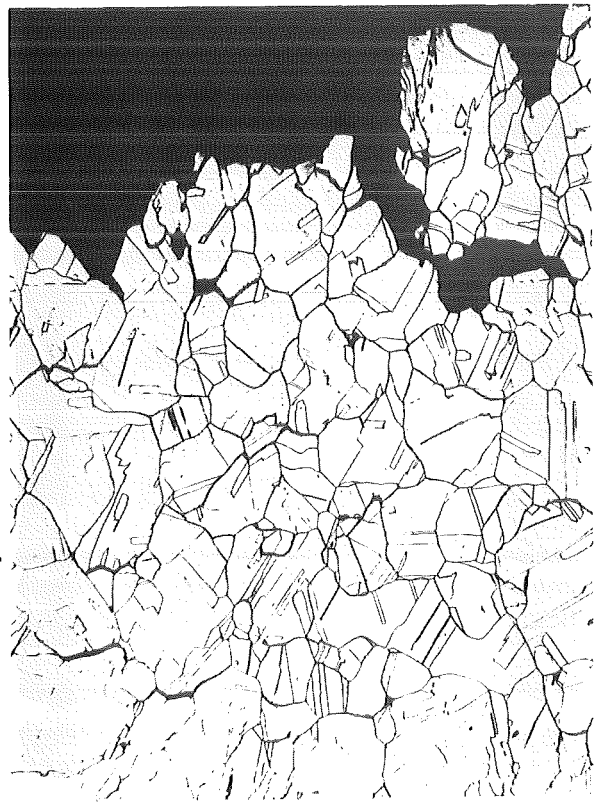
54462

500° 310 MPa 556ostd



54466

x15

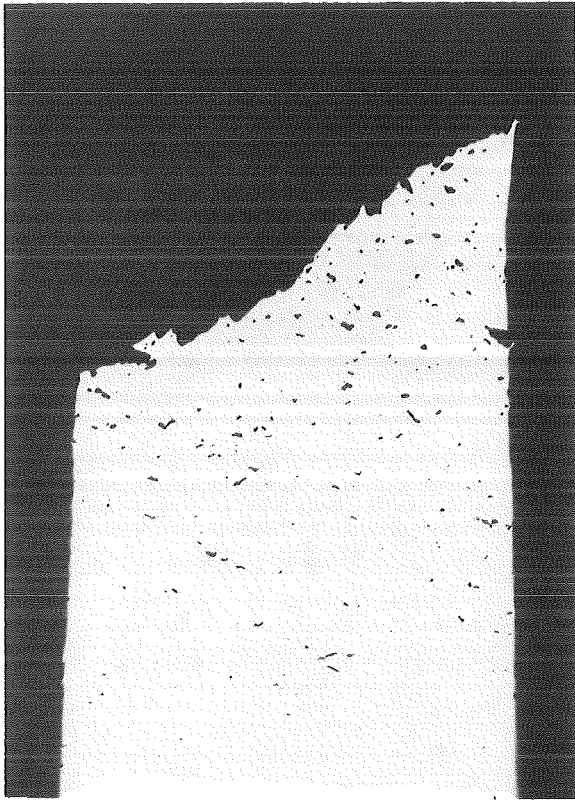


54467

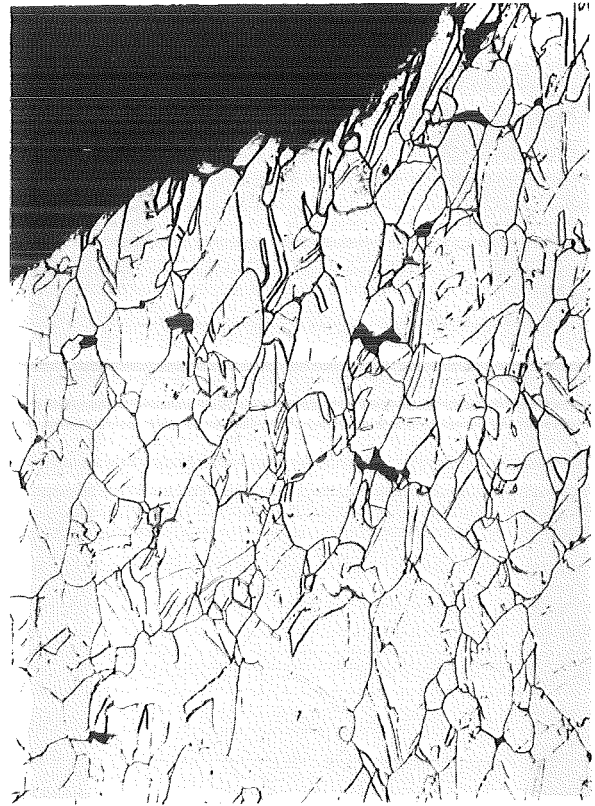
x100

Bruchzone

550° 330 MPa 92std

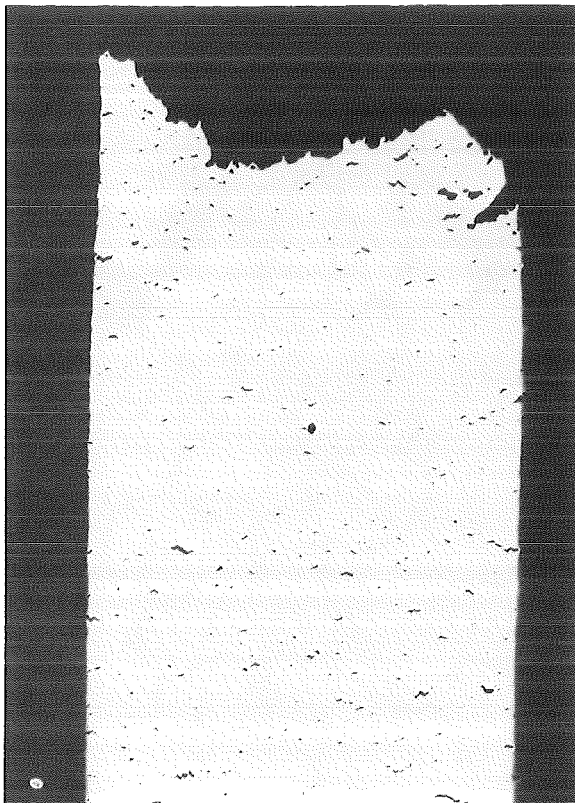


54469



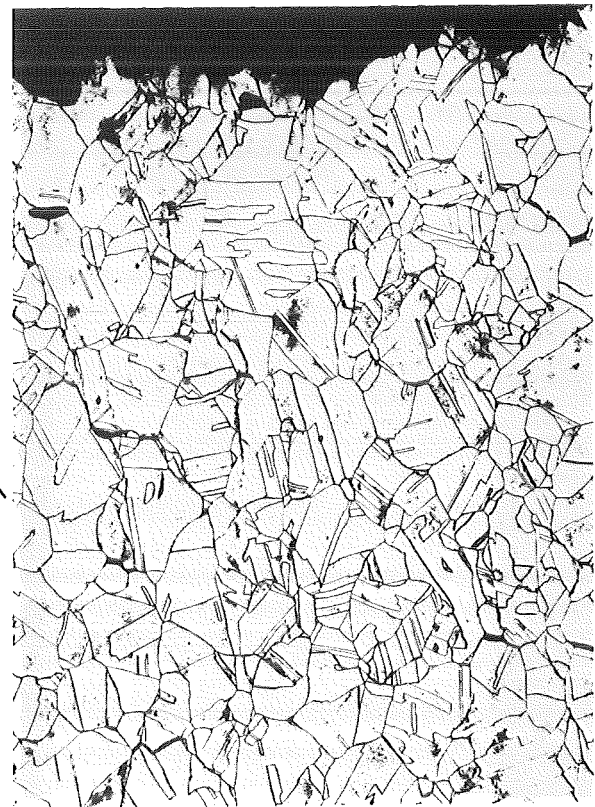
54470

550° 250 MPa 5079std



54472

x15

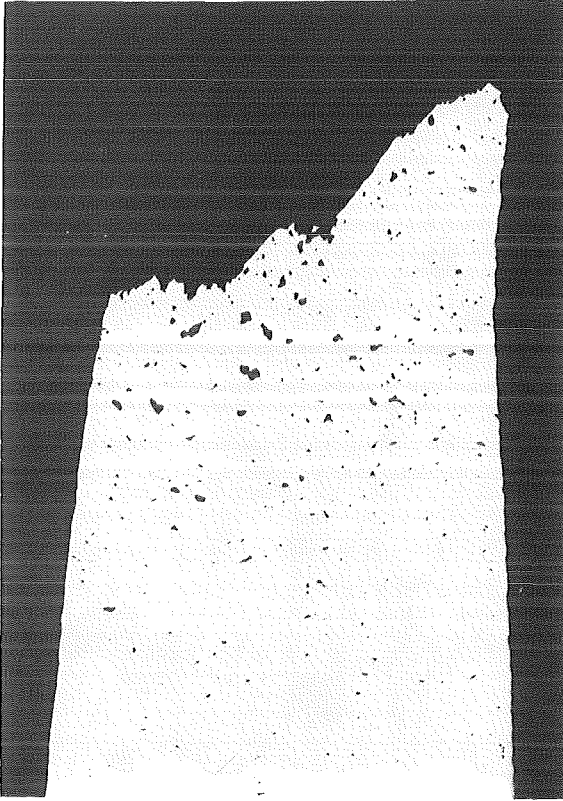


54473

x100

Bruchzone

600° 280MPa 42std

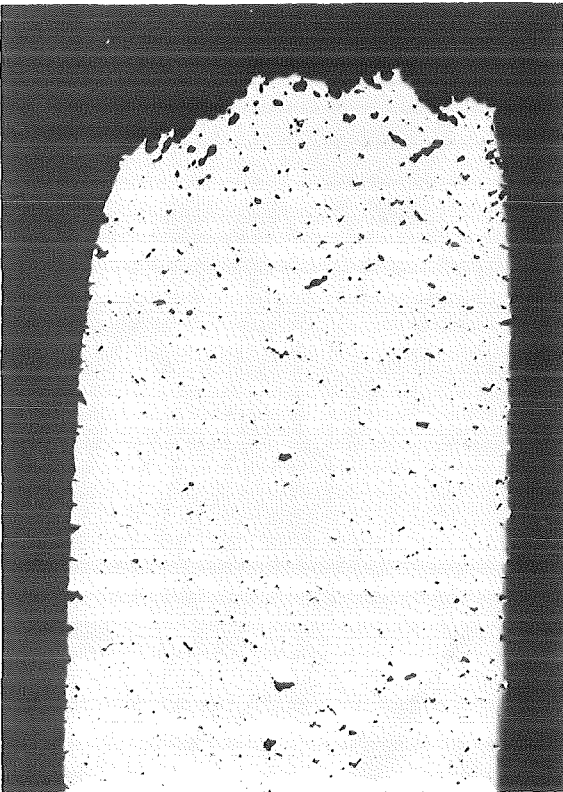


54475



54476

600° 190MPa 2581std



54478

x15



54479

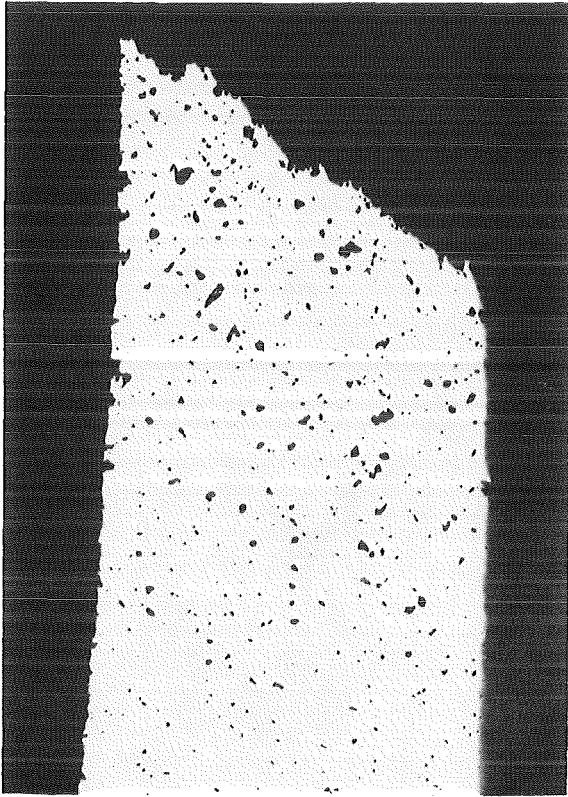
x100

Bruchzone

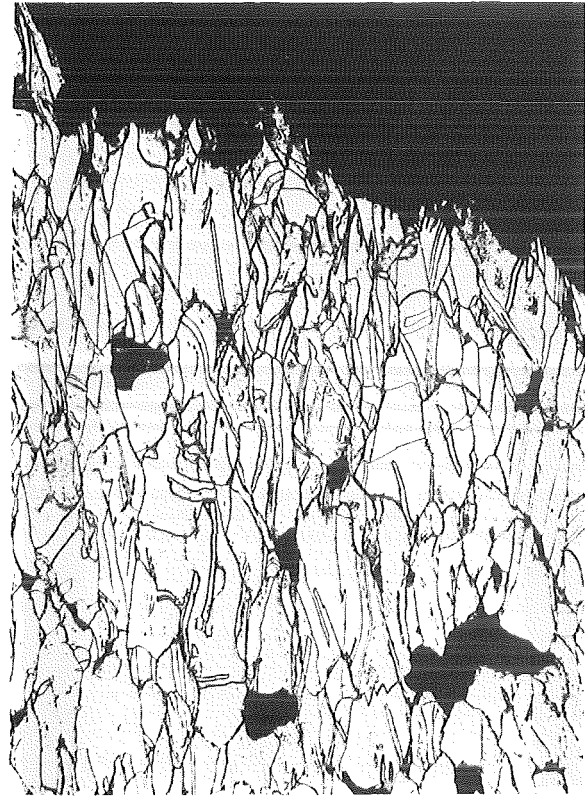
650°

190MPa

59std



54481

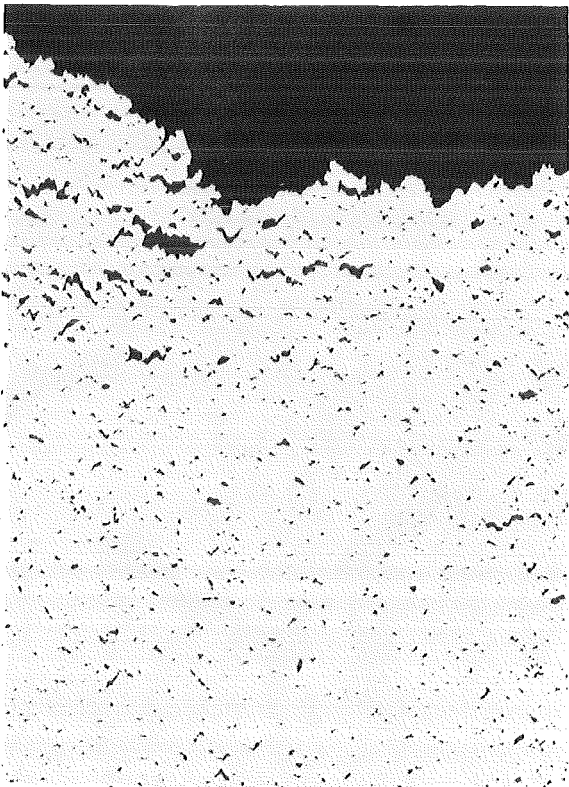


54482

650°

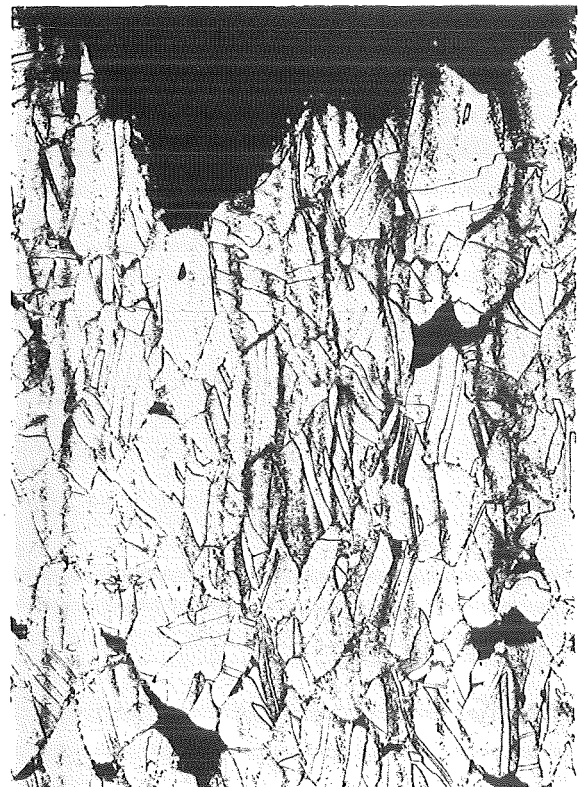
110MPa

4235std



54486

x15

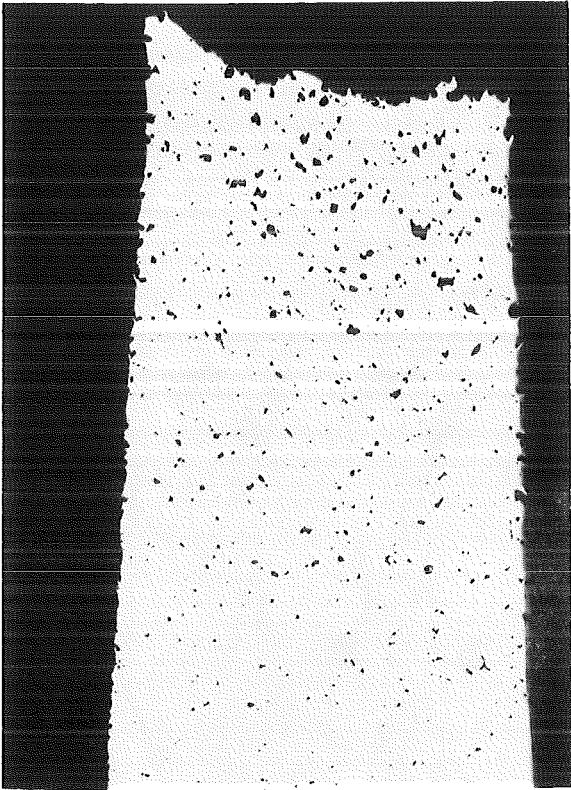


54487

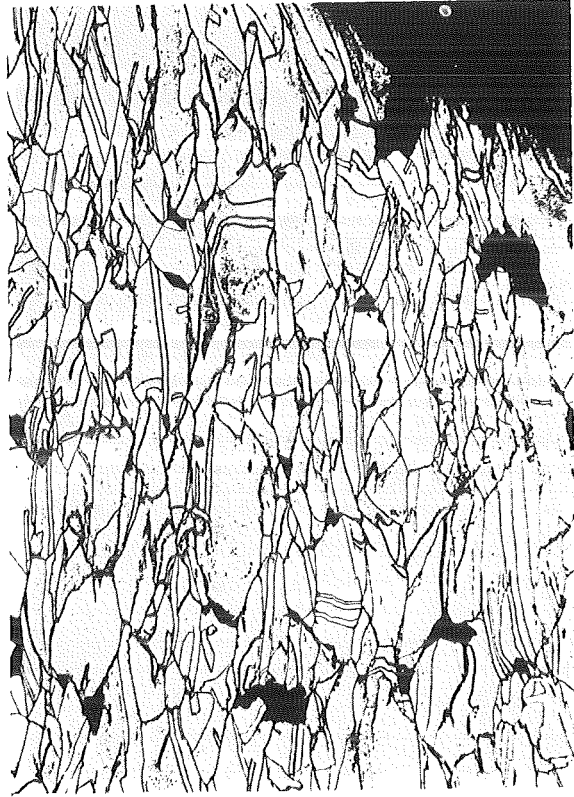
x100

Bruchzone

700° 140MPa 40std

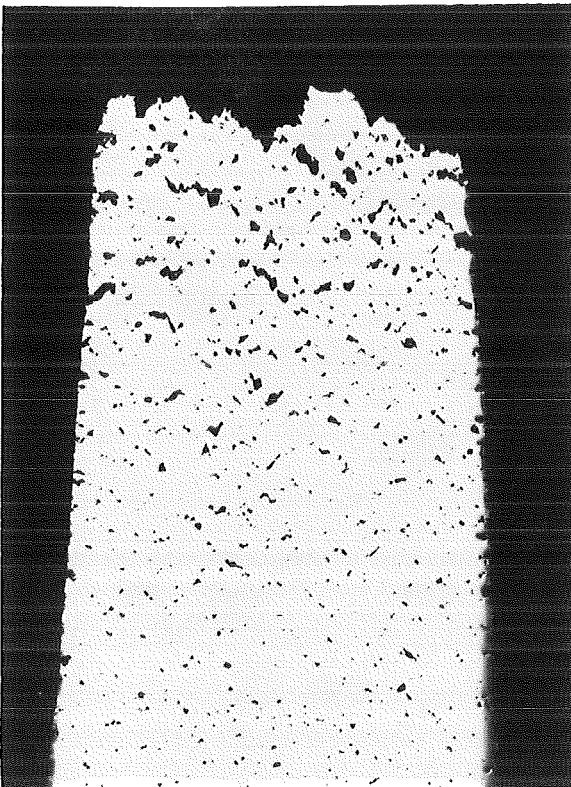


54489



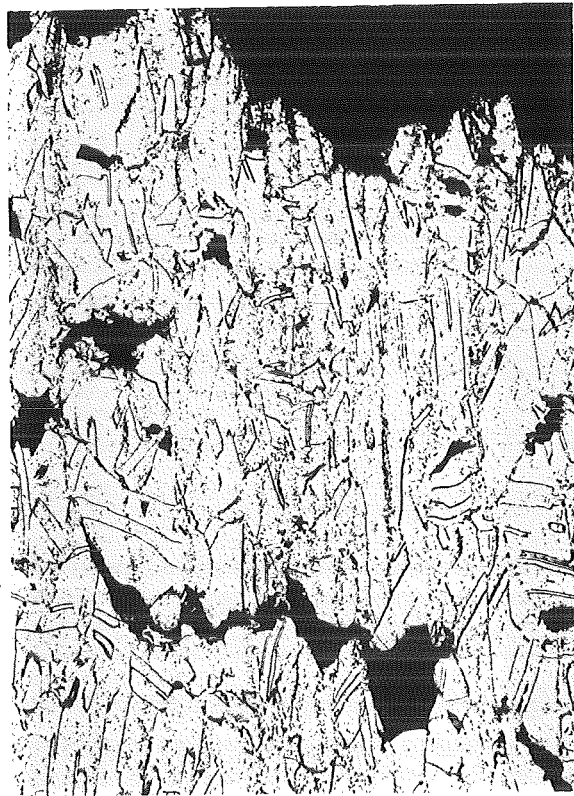
54490

700° 60MPa 10 19std



54495

x15



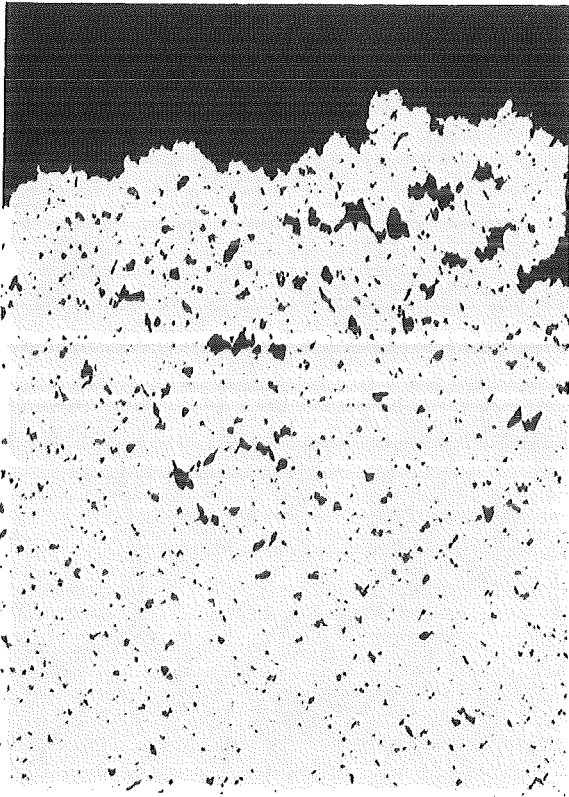
54496

x100



Bruchzone

750° 100MPa 28std

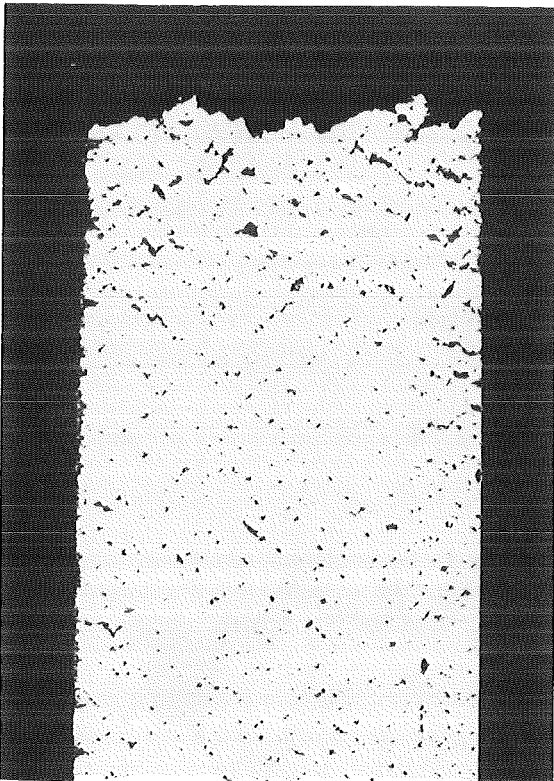


54498



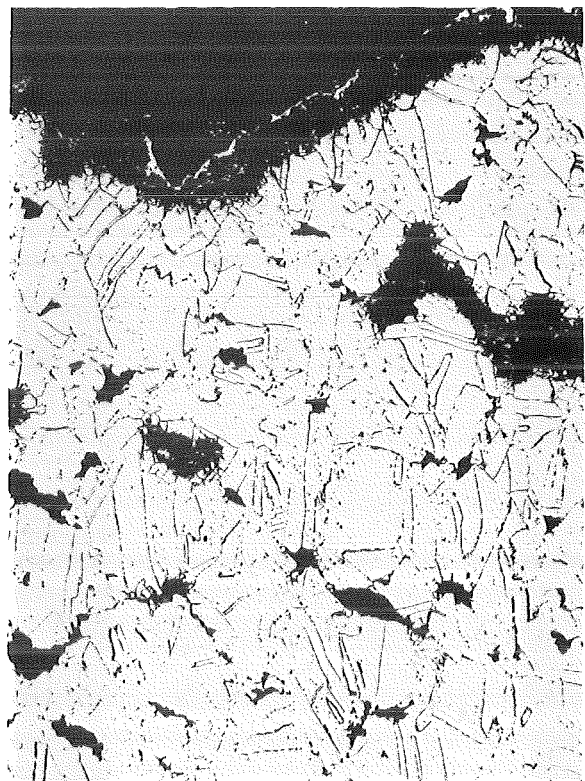
54499

750° 40MPa 8902std



54504

x15

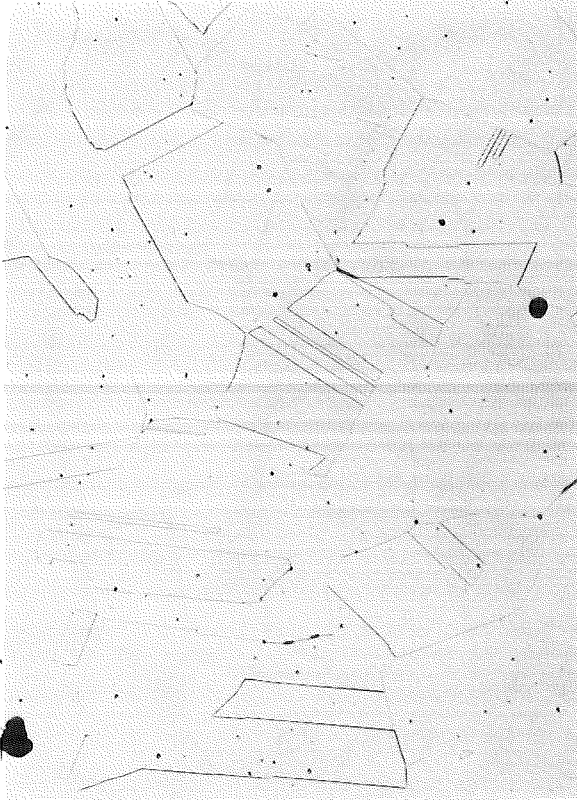


54505

x100

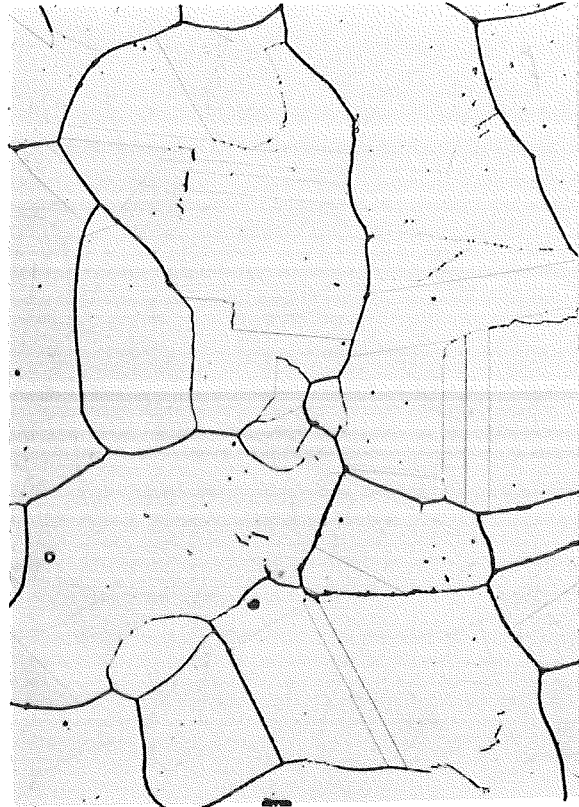
Probekopf

500° 400MPa 1min



54463 HV30=141-145

500° 310MPa 5560std



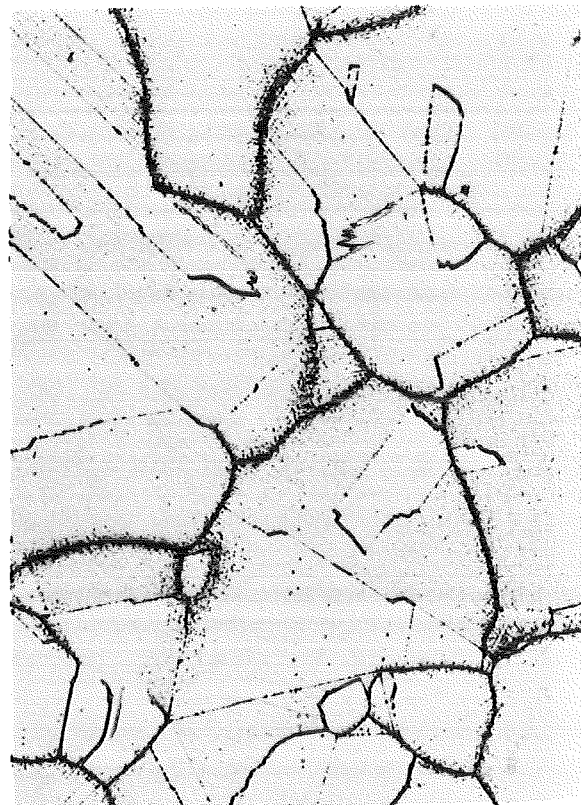
54468 146-151

550° 330MPa 92std



54471 152-167

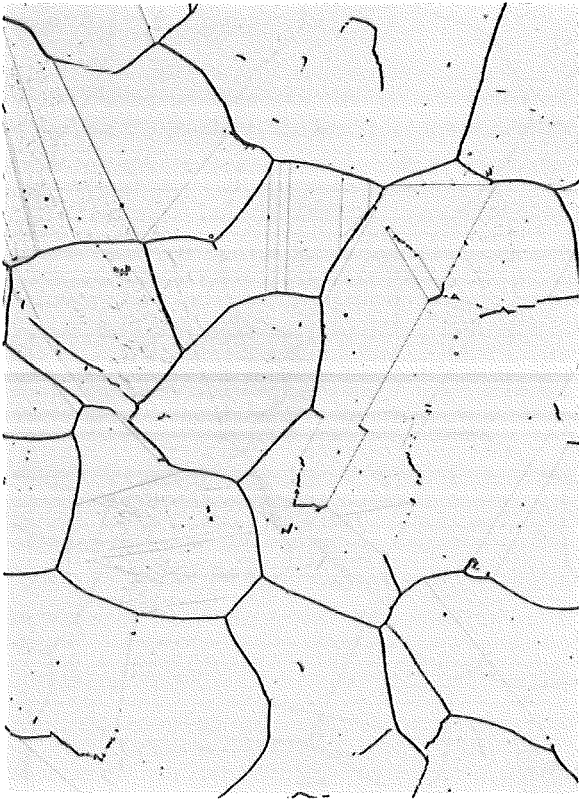
550° 250MPa 5079std



54474 145-171 x500

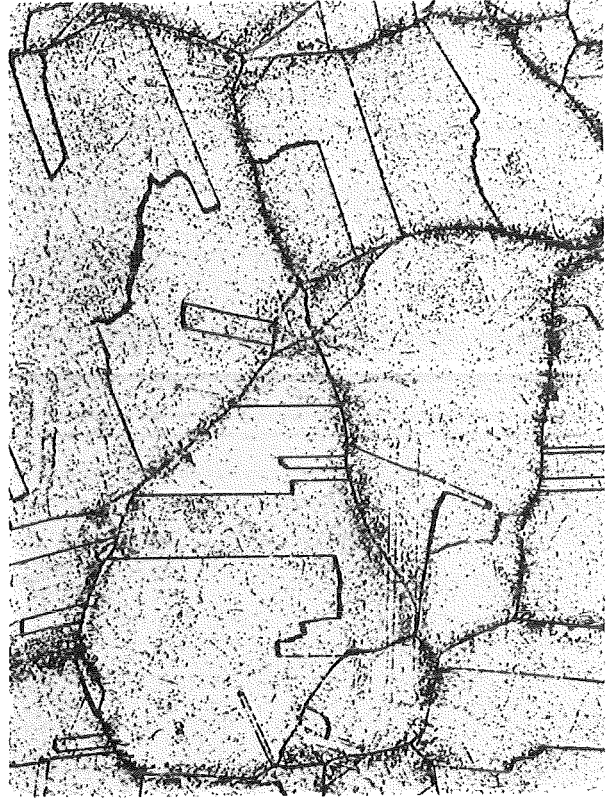
Probenkopf

600° 280MPa 42std



54477 HV30=135-147

600° 190MPa 2581std



54480 145-148

650° 190MPa 59std



54483 152-155

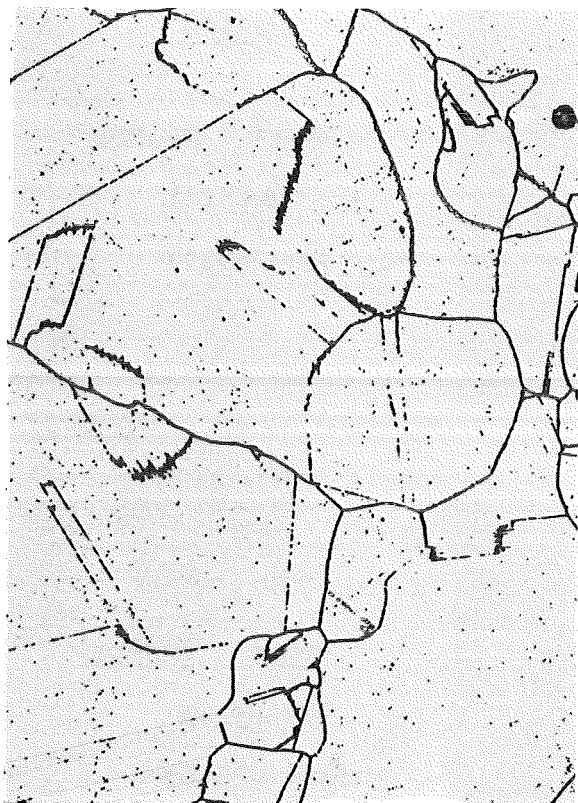
650° 110MPa 4235std



54488 145-153 x500

Probenkopf

700° 140MPa 40std



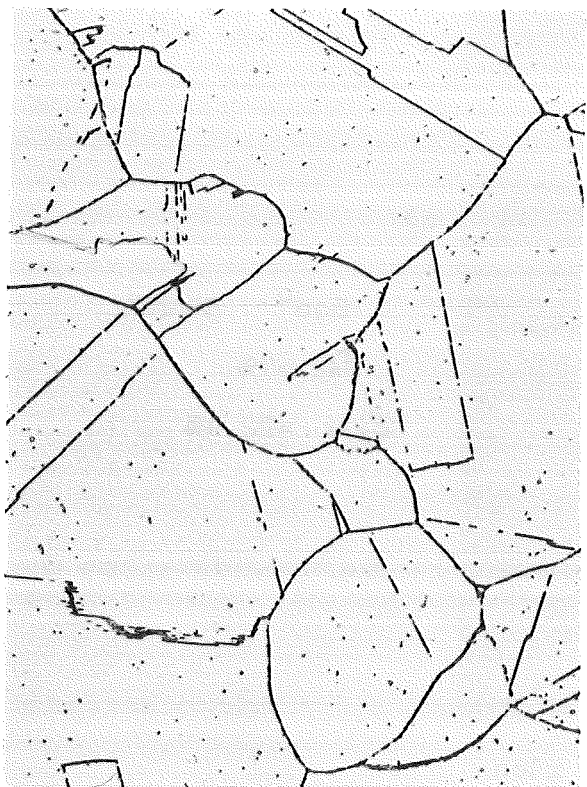
54491 HV30=138-145

700° 60MPa 10 190std



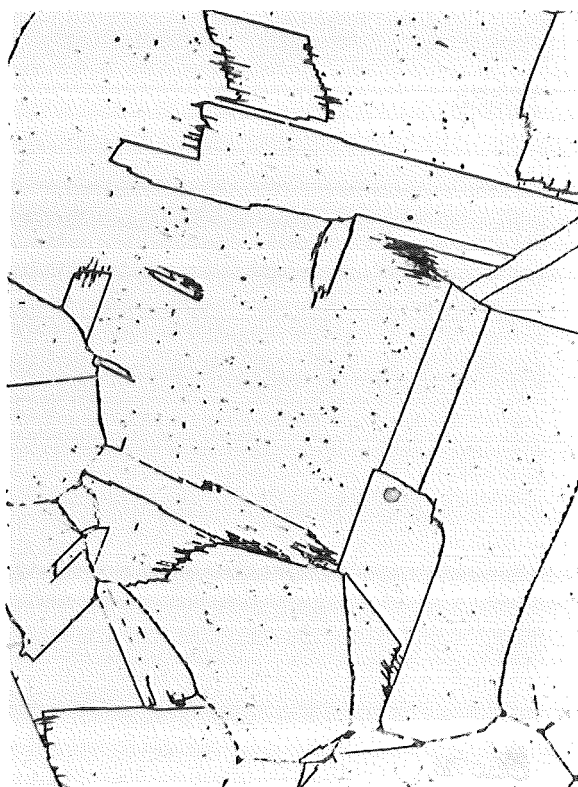
54497 139-144

750° 100MPa 28std

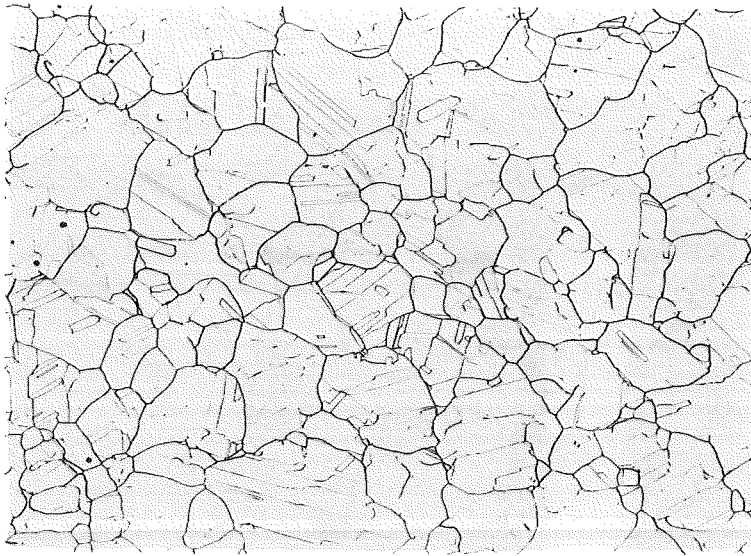


54500 135-155

750° 40MPa 8902std



54506 136-155 x500



a)

$$\frac{1.4948}{\text{Chg. GW430}} \frac{1 \text{sg}}$$

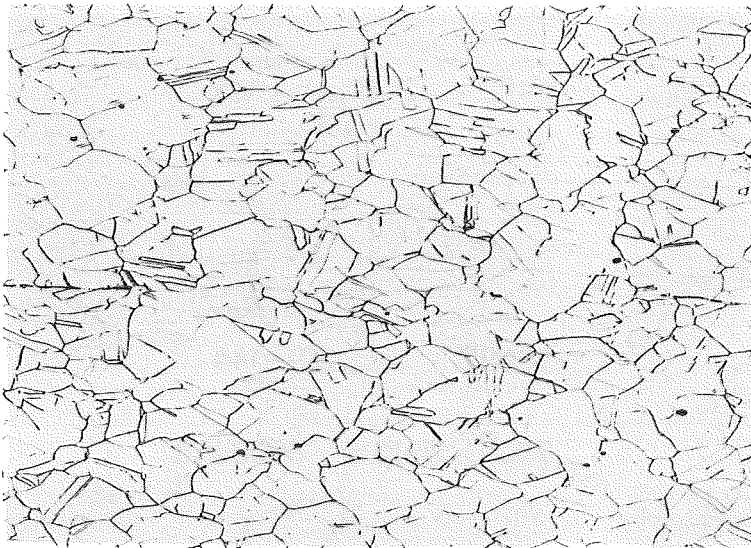
550° 240MPa

$\epsilon_{kr} = 0,4\%$

$\epsilon_{ges} = 6,0\%$

56085

100  
µm



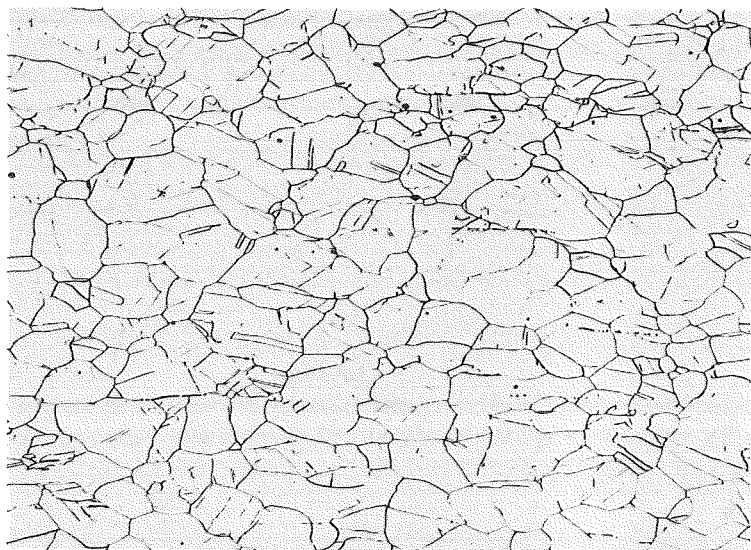
b)

550° 380MPa

$\epsilon_{kr} = 3,4\%$

$\epsilon_{ges} = 25,6\%$

56080



c)

600° 340MPa

$\epsilon_{kr} = 7\%$

$\epsilon_{ges} = 22,4\%$

56078

x100

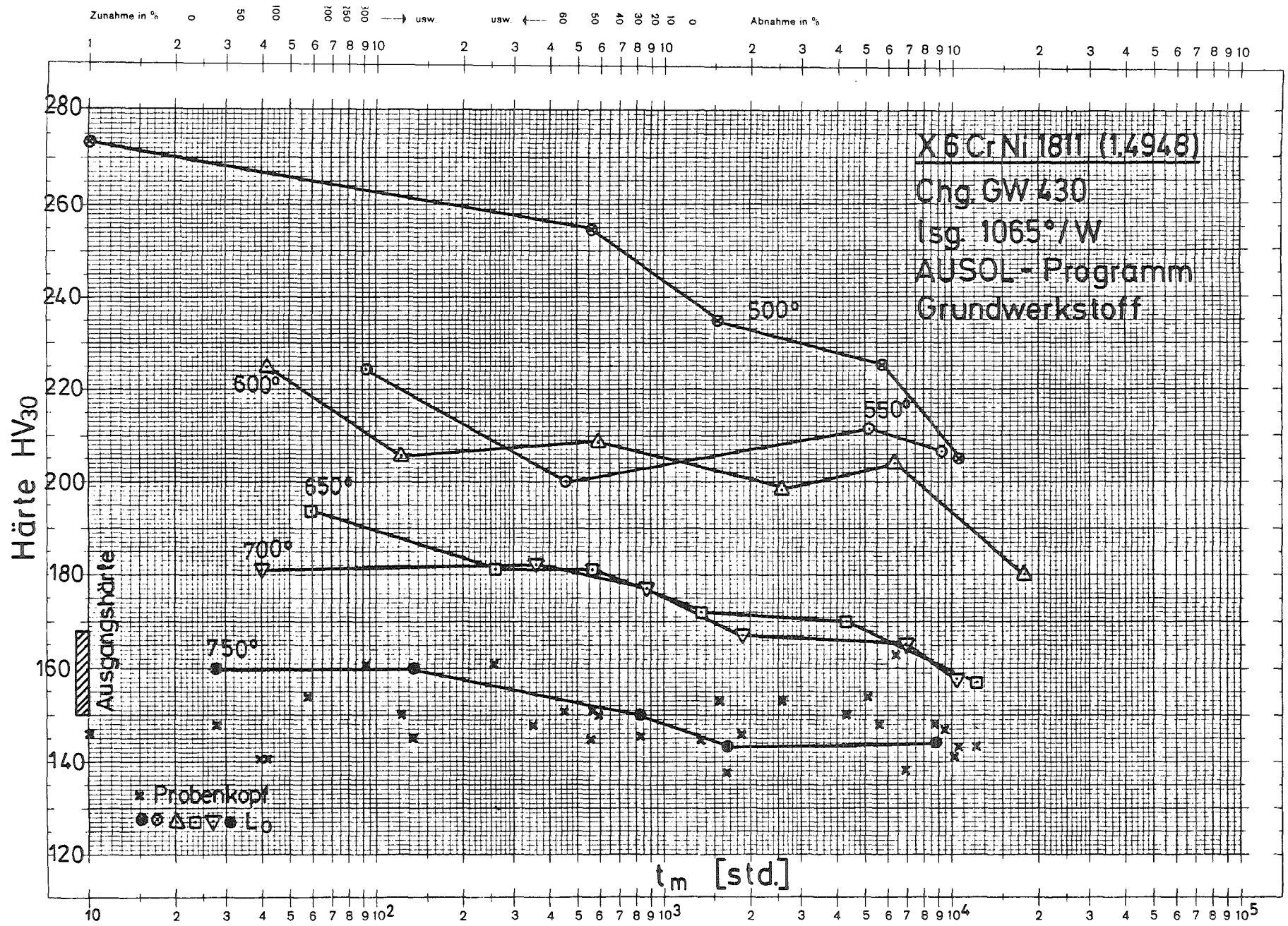


Bild 34: Härte in Abhängigkeit von der Standzeit

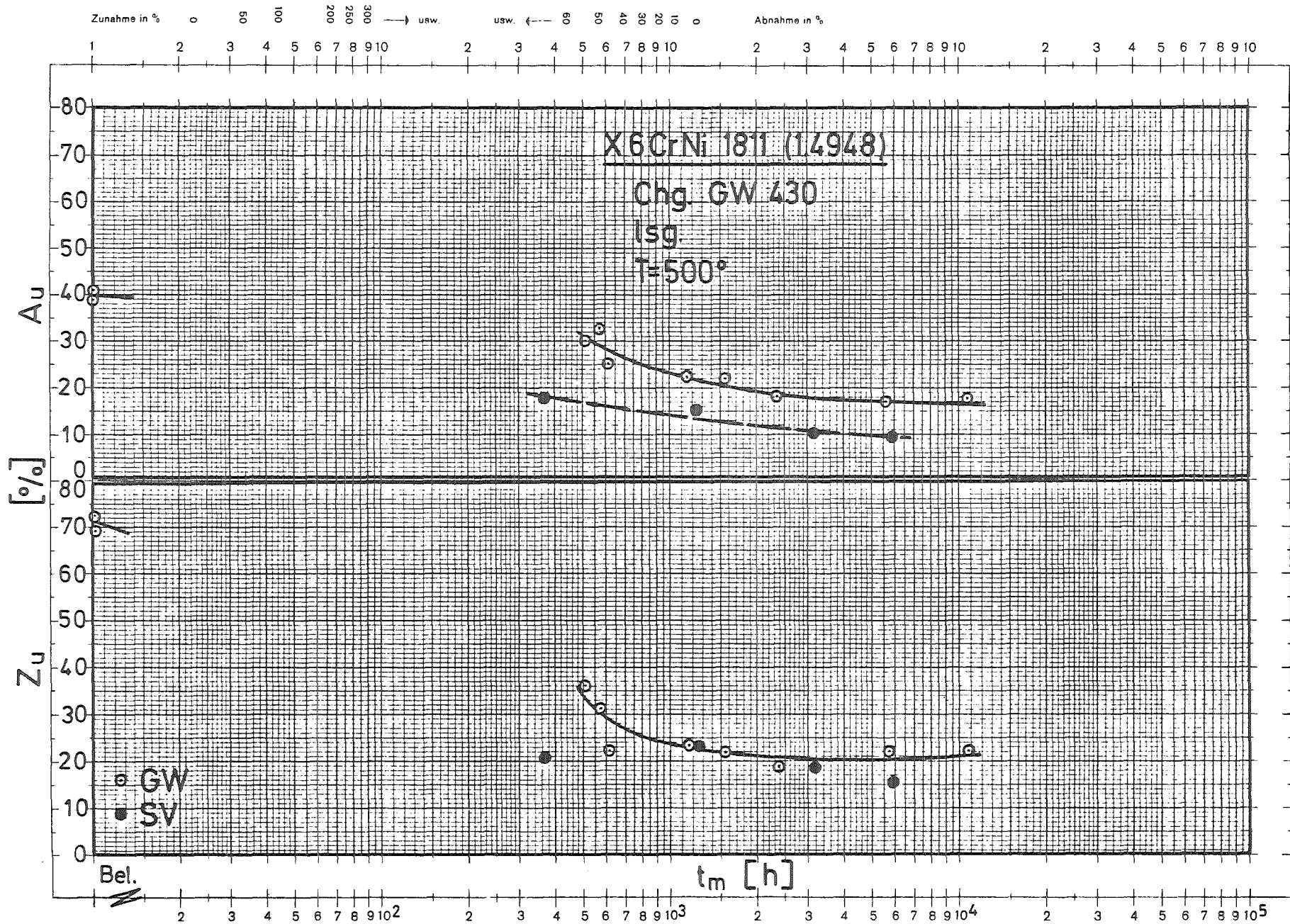


Bild 35: Bruchdehnung und -einschnürung → Standzeit

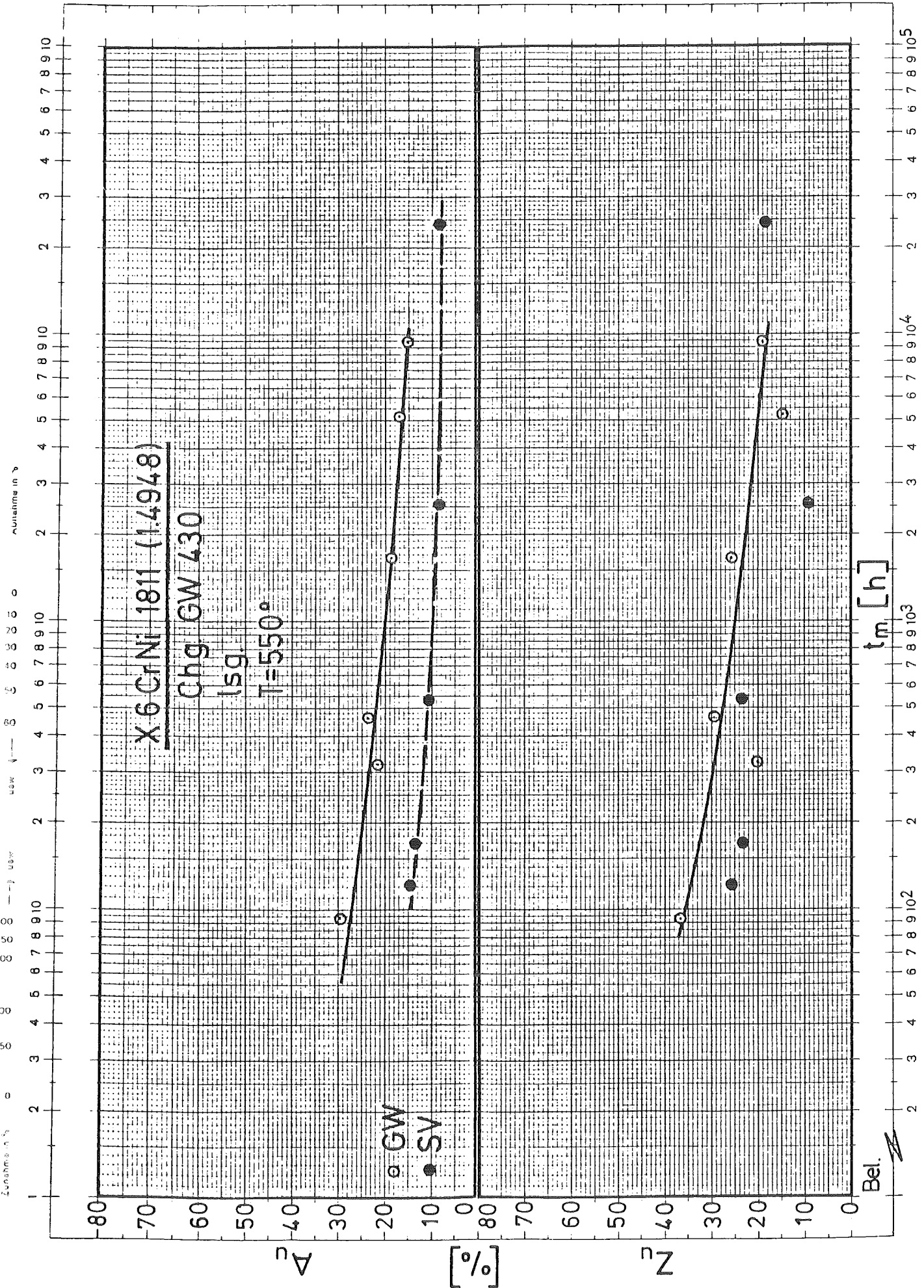


Bild 36: Bruchdehnung und -einschnürung → Standzeit



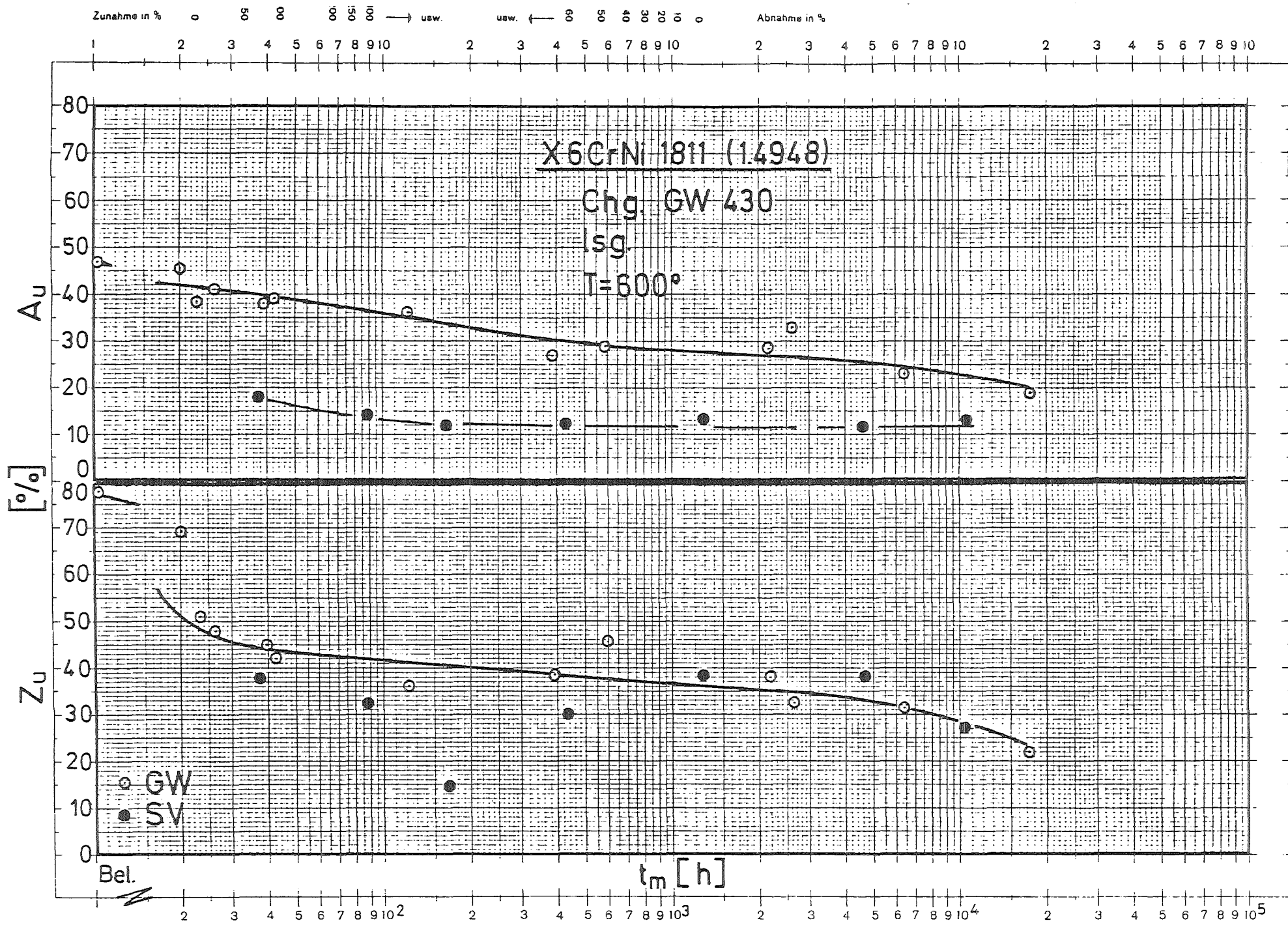


Bild 27. Bruchdehnung und -einschnürung - Standzeit

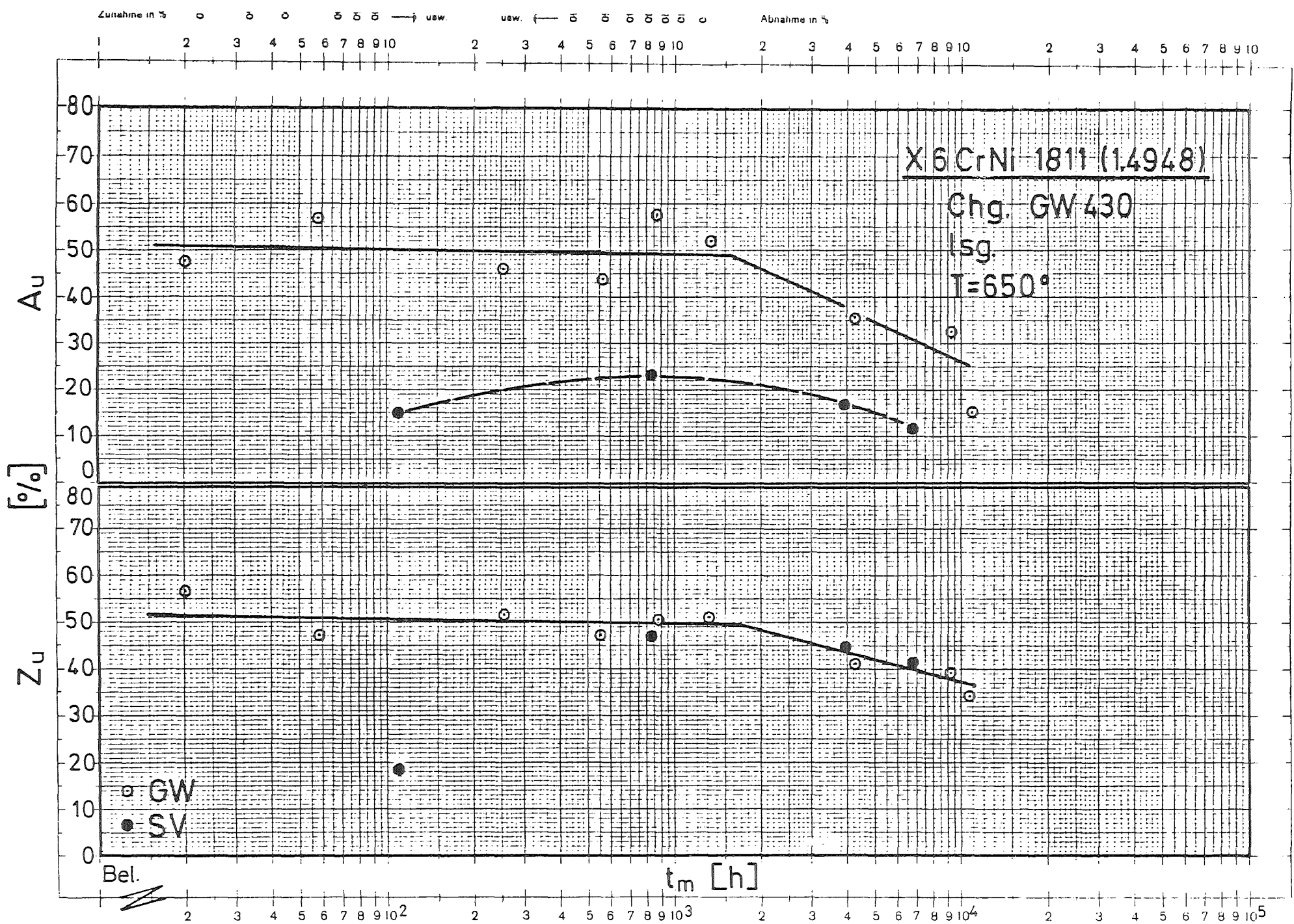


Bild 38: Bruchdehnung und -einschnürung → Standzeit

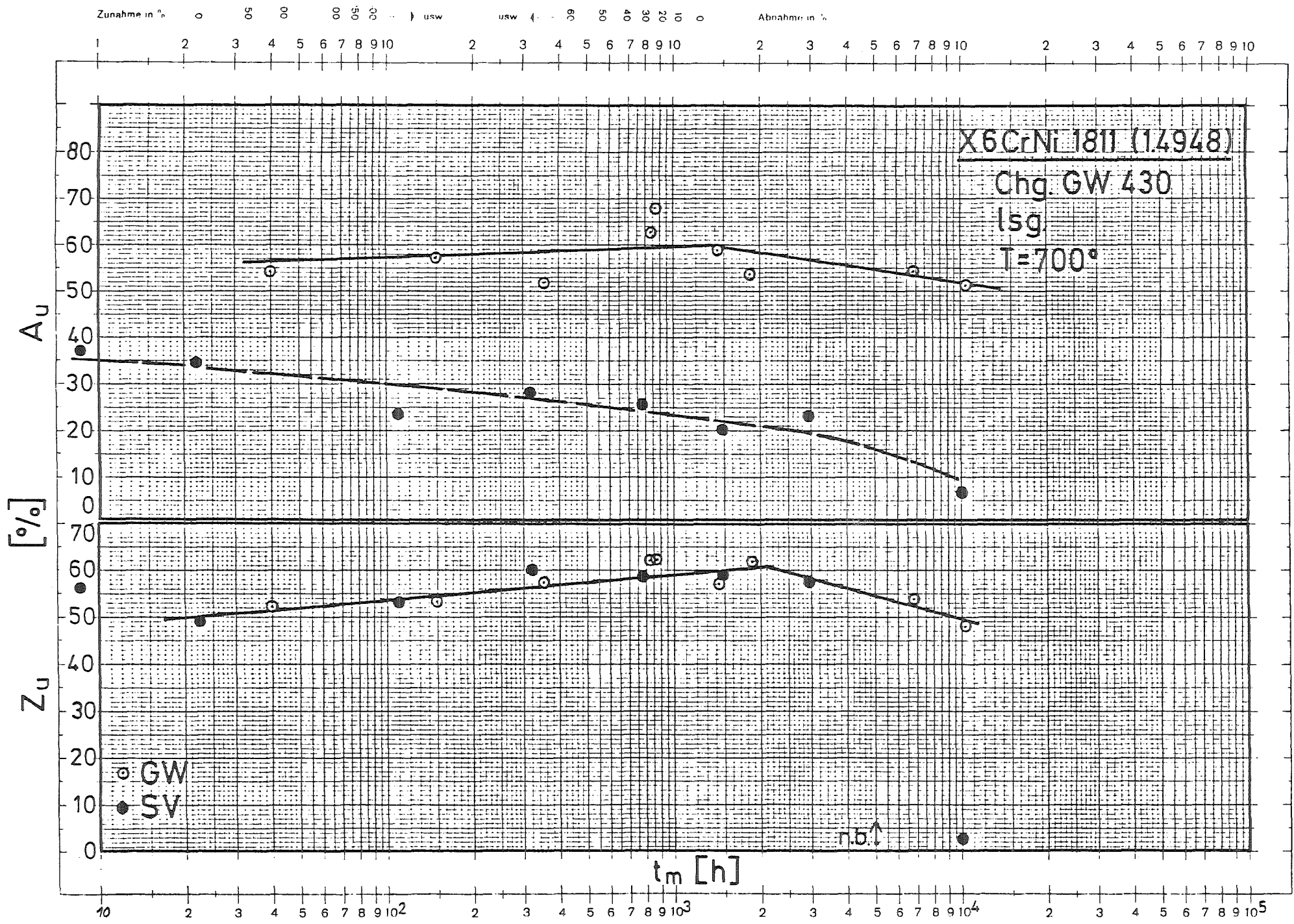


Bild 20. Bruchdehnung und -einschnürung → Standzeit

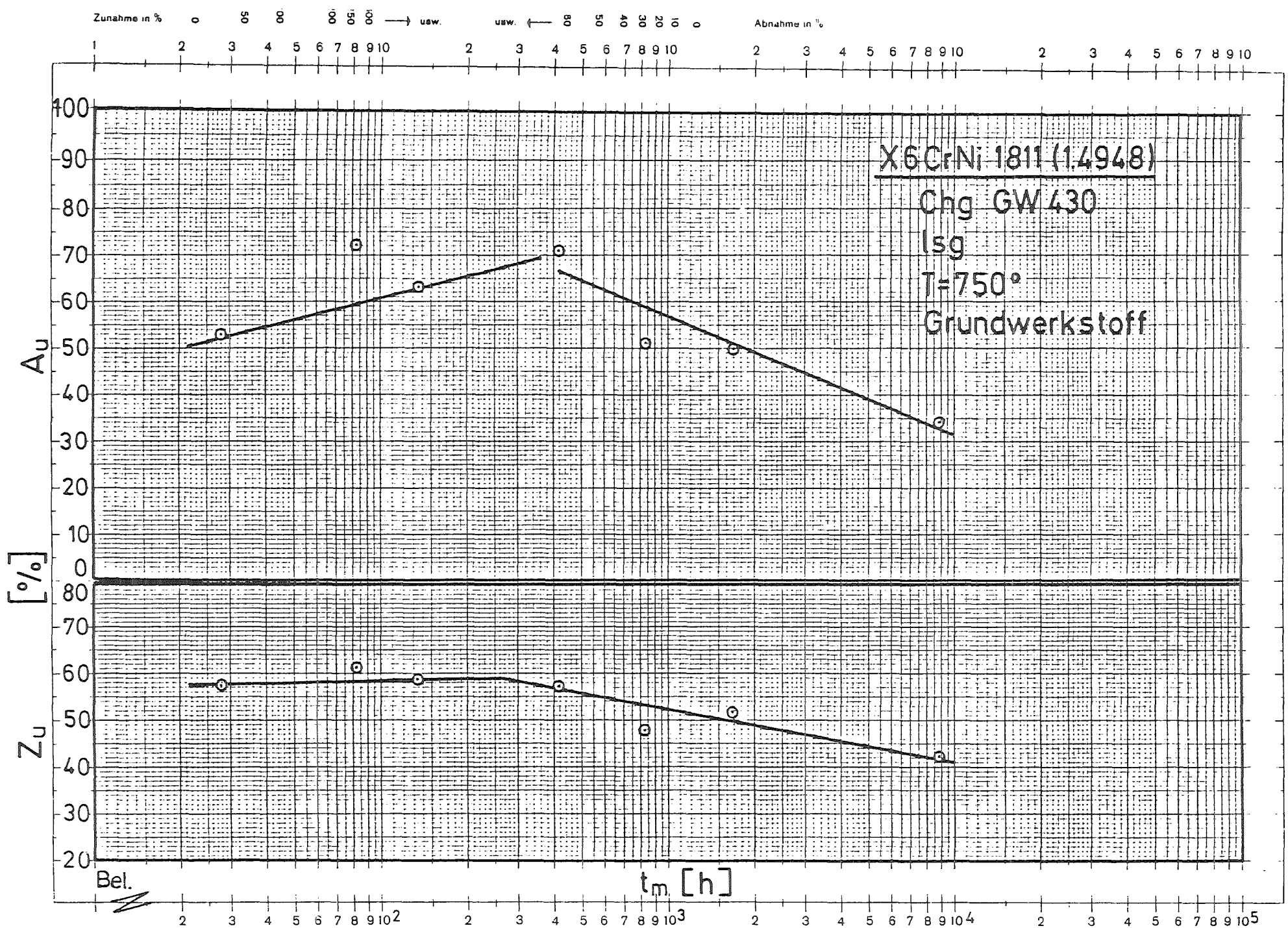


Bild 40: Bruchdehnung und -einschnürung → Standzeit

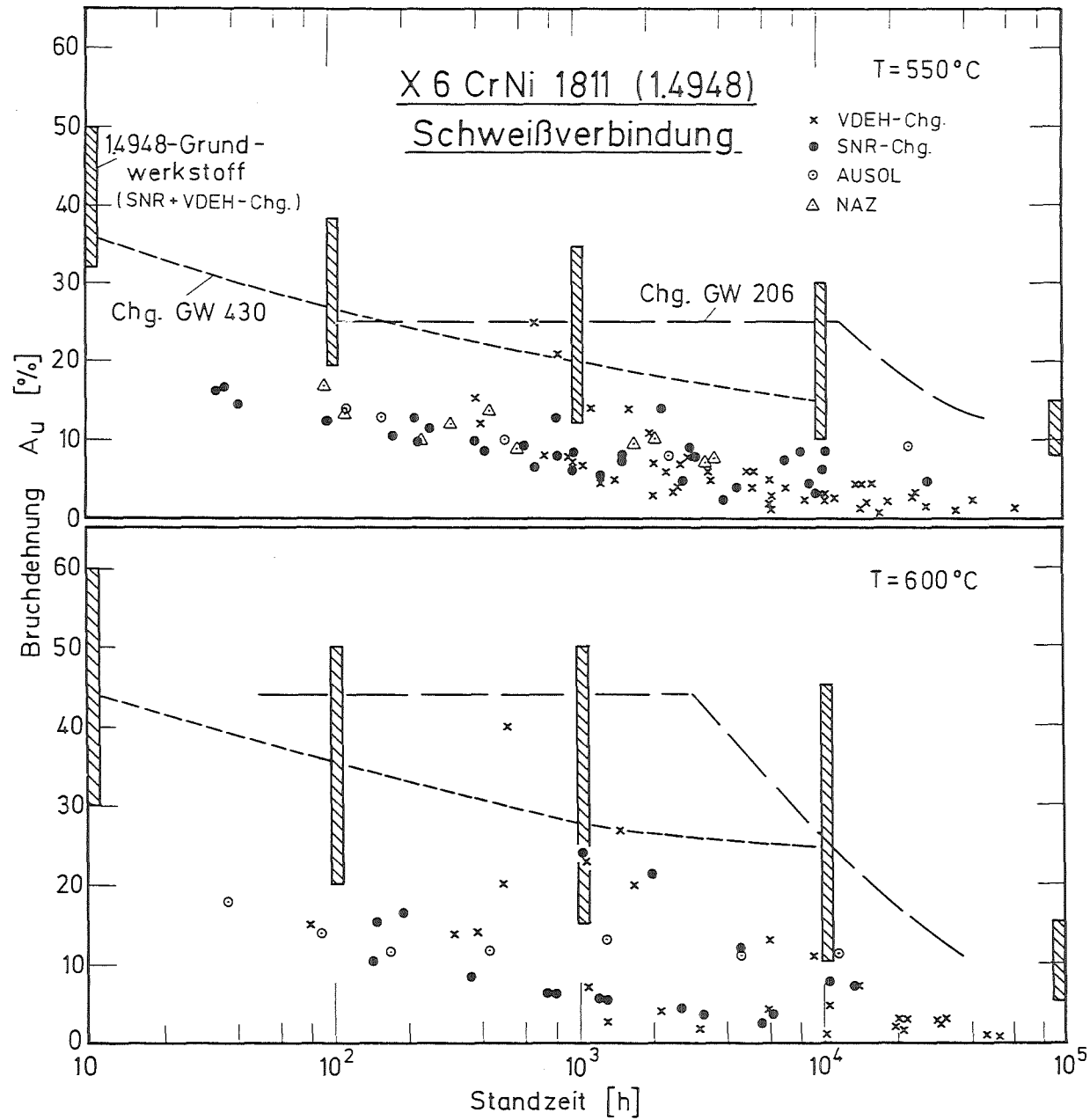


Bild 41: Duktilität - Vergleich GW-SV