

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

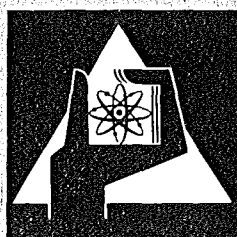
November 1973

KFK 1882

Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

**Das Zeitstandverhalten von Rohren aus austenitischen Stählen
und Nickelbasislegierungen bei Belastung durch Innendruck**

F. Polifka, L. Schäfer, H. Kempe



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK-1882

Institut für Material- und Festkörperforschung

Projekt Schneller Brüter

Das Zeitstandverhalten von Rohren aus austenitischen Stählen
und Nickelbasislegierungen bei Belastung durch Innendruck

von

F. Polifka

L. Schäfer

H. Kempe

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Übersicht

Die Ergebnisse von Zeitstandversuchen an Rohren aus sieben austenitischen Stählen und fünf Nickelbasislegierungen, die z.T. in verschiedenen mechanisch-thermischen Vorbehandlungszuständen vorliegen, werden berichtet. Die Rohre wurden durch Gasinnendruck einem mehrachsigen Spannungszustand unterworfen. Die Prüftemperaturen lagen zwischen 600°C und 750°C. Als Probenmaterial wurden nur sorgfältig auf Fehlerfreiheit geprüfte dünnwandige nahtlose Präzisionsrohre mit einem Außendurchmesser von etwa 6 mm verwendet. Die Ergebnisse werden dargestellt in Zeitbruchlinien, in Hauptkurven nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson und Miller, als Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Standzeit und als Schlibilder vom Bruchgefüge, sowie in verschiedenen Übersichtstabellen. Außerdem werden die Versuchseinrichtung, die Art der Versuchsdurchführung, das Auswertungsverfahren, die Berechnung der in der Probe auftretenden Spannungen und eine Vergleichsmöglichkeit mit Zeitstandversuchen im einachsigen Spannungszustand beschrieben.

The stress-rupture behaviour of tubes made from austenitic stainless steels and Ni-based alloys under internal pressure

Abstract

The results of stress-rupture tests on tubes of seven austenitic stainless steels and five Ni-based alloys which, to some extent had different thermo-mechanical treatments, are reported. The tubes were loaded by internal gas pressure causing a biaxial stress state. The test temperatures were 600°-750°C. The thin walled seamless precision tubes were carefully checked before in order to detect defects and dimensional variations. The outer diameter was about 6 mm. Plots of stress-rupture curves, of master curves according to Larson and Miller, of strain at fracture curves in dependence of rupture-life are presented in addition to metallographic pictures of the fracture area and different survey tables. A short description of the experimental procedures is given. How the stresses in the tube were calculated and how they are compared with stress-rupture tests in uniaxial state of stress is described.

I n h a l t

1. Einleitung
2. Versuchsmaterial
3. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung
4. Probenform und Auswertungsverfahren
5. Berechnung der Spannungen
6. Versuchsergebnisse
7. Bezeichnungen und Anmerkung
8. Literatur
9. Tabellen, graphische Darstellungen
und metallographische Schlifffbilder

1. Einleitung

Seit einigen Jahren werden im Institut für Material- und Festkörperforschung der GfK ausgedehnte Untersuchungen über das Zeitstandverhalten von Rohren aus hochwarmfesten austenitischen Stählen und Nickelbasislegierungen bei Belastung durch Innendruck durchgeführt. Die Materialauswahl erfolgte nach reaktorspezifischen Gesichtspunkten / 1 / bis / 4 / für die Brennstabhüllrohre eines Schnellen Brütters. Die Berichterstattung beschränkt sich auf reine Zeitstandergebnisse, weil Kriechkurven und deren Auswertung nur für einige heute noch für den speziellen Verwendungszweck aktuelle Legierungen vorliegen. Die Ergebnisse werden dargestellt in Zeitbruchlinien, in Hauptkurven nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson und Miller, als Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Standzeit und als Schlifffbilder vom Bruchgefüge, sowie in verschiedenen Übersichtstabellen. Außerdem werden die Versuchseinrichtung, die Art der Versuchsdurchführung, das Auswertungsverfahren, die Berechnung der in der Probe auftretenden Spannungen und eine Vergleichsmöglichkeit mit Zeitstandversuchen im einachsigen Spannungszustand beschrieben.

Die Untersuchungen wurden an sieben austenitischen Stählen und fünf Nickelbasislegierungen durchgeführt, die z.T. in verschiedenen Vorbehandlungszuständen vorliegen. Das Probenmaterial sind nahtlose dünnwandige Präzisionsrohre mit einem Außendurchmesser von etwa 6 mm. Die Rohre wurden sowohl vom Hersteller als auch vom Abnehmer nach modernen Methoden sorgfältig auf Maßhaltigkeit und Fehlerfreiheit geprüft. Da auch die Versuchseinrichtung ständig kontrolliert und nachgeelcht wurde, ist die Streubreite der ermittelten Zeitstandwerte meist sehr klein.

2. Versuchsmaterial

Der Verwendungszweck der Rohre als Hüllmaterial für die Brennstäbe eines Schnellen Brutreaktors bedingt die Auswahl der Legierungen nach reaktorspezifischen Gesichtspunkten. Neben einer hohen Zeitstandfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit sind vor allem ein geringer Neutronenwirkungsquerschnitt der Legierungselemente von Bedeutung. Untersucht wurden 7 austenitische Stähle und 5 Nickelbasislegierungen, die z.T. einer unterschiedlichen mechanisch-thermischen Vorbehandlung unterzogen wurden. Das Ziel der Behandlungen war es im allgemeinen, die Warmstreckgrenze der austenitischen Stähle durch Kaltverformung zu erhöhen und dann durch eine Auslagerung feindisperse Ausschei-

dungen zu erzeugen, die die Kriechgeschwindigkeit vermindern.

Die chemische Zusammensetzung der Legierungen ist in Tabelle 1 aufgeführt und der Behandlungszustand ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Das Versuchsmaterial besteht aus dünnwandigen nahtlosen Präzisionsrohren mit einem Außendurchmesser von etwa 6 mm. Die Qualität der Rohre wurde vom Hersteller nach den allgemeinen Lieferbedingungen geprüft und in Werkszeugnissen ausgewiesen und vom Abnehmer mit modernsten Mitteln bezüglich der chemischen Zusammensetzung, der Maßhaltigkeit und Fehlerfreiheit kontrolliert.

3. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung

Die Zeitstandanlage für Rohrinneindruckversuche besteht aus einer Druckversorgungsanlage und den temperaturgeregelten Öfen. In der Druckversorgungsanlage wird das Druckübertragungsmedium Argon aus Stahlflaschen abgezapft, in einem Kompressor verdichtet und in zwei Autoklaven gespeichert. Von dort wird jede Probe einzeln über eine Druckleitung versorgt und von je einem Manometer mit Druckskala und elektrischem Widerstandsferngeber kontrolliert. Die Widerstandsferngeber sind an einem Druckschreiber angeschlossen. Der Druck wird auf ± 1 atü gemessen und geregelt. Die Zeitstandöfen sind vertikal hängende Rohröfen mit je 3 Heizwicklungen, die einzeln über Regeltransformator manuell eingestellt werden. Die Netzspannung wird mit Spannungsreglern stabilisiert, und der Laborraum ist durch eine Klimaanlage temperiert, so daß die Proben temperatur auf $\pm 2^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten werden kann. Sie wird mit 3 Thermoelementen entlang der Probenlänge täglich 3mal kontrolliert. Die Prüftemperaturen betragen 600°C , 650°C , 700°C (u. 750°C). Die Versuche werden ohne Schutzgas an Luft gefahren, was bei der gewählten Prüftemperatur und den untersuchten Materialien noch zulässig ist. Wenn die Zeitstandproben in den vorgeheizten Ofen eingebaut sind, werden sie nach Erreichen der Solltemperatur mit dem Prüfdruck belastet.

4. Probenform und Auswertungsverfahren

Die Probenform einschließlich der Abschlußstopfen und der Druckzuführung ist in Abb. 1 dargestellt. Die Rohrlänge war durch Vergleichsuntersuchungen zu einem umfangreichen Bestrahlungsexperiment (MoI 2) mit 45 mm vorgegeben. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei Probenlängen ab 25 mm die gemessenen Standzeiten und Bruchdehnungen von der Probenlänge unabhängig

sind. Die Standzeit der Probe ist der Zeitraum zwischen der Belastung mit Druck und dem Beginn des Druckabfalles, der bei Gefügauflockerung langsam und beim Aufplatzen des Rohres plötzlich eintritt. Die Bruchdehnung wird an der ausgebauten und abgekühlten Probe mit einer Mikrometerschraube gemessen. Die Differenz des gemessenen Außendurchmessers und des Ausgangsdurchmessers bezogen auf den Ausgangsdurchmesser gibt die Dehnung an. Sie ist identisch mit der Differenz der Umfänge bezogen auf den Ausgangsumfang und wird als Tangentialbruchdehnung δ_{\perp} bezeichnet.

$$\delta_{\perp} = \frac{\Delta U}{U_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta d_a}{d_{a,o}} \cdot 100\%$$

Eine Dehnung in axialer Richtung findet nicht statt, d.h. die Rohre werden nicht länger. Daher ist die Dehnung in radialer Richtung (Wandstärkenverminderung) bei vorausgesetzter Volumen-Konstanz genauso groß wie in tangentialer Richtung (Umfangs- bzw. Durchmesserzunahme).

Da einige Proben sich über den Umfang nicht gleichmäßig dehnen, sondern einen ovalen Querschnitt annehmen, wird an der Stelle der stärksten Ausbeulung der Außendurchmesser zweimal gemessen und gemittelt, wobei die Probe azimuthal um 90° gedreht wird. Aufgeplatzte Proben werden an beiden Enden des in Längsrichtung liegenden Schadensrisses in der beschriebenen Weise vermessen, wobei die größere der Beiden Bruchdehnungen angegeben wird. Diese ist aber immer etwas kleiner als die auf der Höhe der Rißmitte vorliegende Materialdehnung. Solche Werte sind in den Tabellen durch Symbole gekennzeichnet. Zur Feststellung der Bruchart wird in der Höhe der Rißmitte oder an der Stelle der größten Ausbauchung ein Querschliff der Probe metallographisch untersucht.

5. Berechnung der Spannungen

In einem Rohr, das unter Innendruckbelastung steht, werden Spannungen erzeugt, die in den drei Hauptspannungsrichtungen zusammengefaßt werden können. Die drei Hauptspannungen liegen entsprechend der Rohrgeometrie in tangentialer, axialer und radialer Richtung. Sie können aus dem Innendruck und den Rohrabmessungen berechnet werden. Bei den hier vorliegenden relativ dünnwandigen Rohren genügt es im allgemeinen, den Spannungszustand der Wandmitte zu berechnen und die Ortsabhängigkeit der Spannungen zu vernachlässigen.

Genauere Analysen sind in der Literatur / 6 /, / 7 / insbesondere bei S. Schwalgerer / 5 / zu finden. Bei relativ dünnwandigen Rohren werden die mittleren Hauptspannungen wie folgt berechnet:

a) Tangentialspannung

$$P = \frac{F}{d_i \cdot l} \quad ; \quad \sigma_t = \frac{F}{(d_a - d_i) \cdot l}$$
$$\sigma_t = P \cdot \frac{d_i}{d_a - d_i}$$

b) Achsialspannung

$$P = \frac{F}{\pi/4 \cdot d_i^2} \quad ; \quad \sigma_{ax} = \frac{F}{\pi/4 (d_a^2 - d_i^2)}$$
$$\sigma_{ax} = P \cdot \frac{d_i^2}{d_a^2 - d_i^2}$$

c) Radialspannung

$$\sigma_r = -\frac{P}{2}$$

Als Näherungslösung gilt:

$$\sigma_{ax} = \frac{1}{2} \sigma_t \quad \text{und} \quad \sigma_r = 0$$

Für einen Vergleich der Zeitstandergebnisse aus Versuchen im mehrachsigen Spannungszustand mit solchen aus Versuchen im einachsigen Spannungszustand ist es notwendig, aus den drei berechenbaren Hauptspannungen eine Vergleichsspannung σ_v zu berechnen, die der Zugspannung gleichgesetzt werden kann. Dazu wird eine Festigkeitshypothese ausgewählt, die dem Material insbesondere seinem Bruchverhalten am besten entspricht / 8 /. In den meisten hier vorliegenden Fällen ergibt die Gestaltsänderungsenergiehypothese eine gute Übereinstimmung / 9 /. Sie lautet in der Anwendung auf ein Rohr:

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_t - \sigma_{ax})^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_{ax} - \sigma_r)^2 \right]^{1/2}$$

oder als Näherungslösung: $\sigma_v = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sigma_t$

Für die Dehnung gilt: $\epsilon_v = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \epsilon_t$

In der Literatur / 10 /, / 11 / werden die verschiedenen Festigkeitshypothesen und ihre Anwendbarkeit ausführlich beschrieben. Bei den hier vorliegenden Ergebnissen werden die Spannungen nicht als Vergleichsspannungen angegeben, sondern als nominelle, d.h. auf den Ursprungsquerschnitt bezogene, Tangentialspannungen der mittleren Wandfaser.

6. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 4 bis 10 einzeln aufgeführt und in den Abbildungen 2 bis 44 grafisch dargestellt. Zur besseren Übersicht sind in Tabelle 3 die Werkstoffe und Werkstoffzustände mit den entsprechenden Abblidungsnummern zusammengefaßt.

In der Regel werden die Meßwerte eines jeden Werkstoffes bzw. Werkstoffzustandes in drei Abbildungen auf je zwei gegenüberliegenden Seiten dargestellt. Zwei Abbildungen zeigen im doppellogarithmischen Maßstab die Zeitstandfestigkeit und die Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Standzeit während auf der gegenüberliegenden Seite eine Darstellung nach Larson und Miller gegeben ist, die im folgenden erläutert wird. Zeitstandversuche werden naturgemäß nur bei einigen Spannungen und bestimmten festgelegten Temperaturen durchgeführt. Um für alle Spannungen und Temperaturen die Zeitstandfestigkeit interpolieren und in begrenztem Maße auch extrapolieren zu können, wurde aus der Vielzahl von vorgeschlagenen Extrapolationsverfahren das ausgewählt, welches nach einer Untersuchung von Bungardt und Schmidt / 42 / die geringste Streubreite aufweist. Es handelt sich um die Darstellung der Meßwerte als Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson und Miller / 43 / in der Form $P = T_K (C + \log t_B) \cdot 10^{-3}$.

Darin ist der Wert C nach Hoznek / 44 / eine Funktion der Spannung und der Temperatur, was aber in dieser Arbeit vernachlässigt wird. Es genügt, die Konstante C individuell für jeden Werkstoff und Werkstoffzustand zu bestimmen. Weitere Extrapolationsverfahren sind in einer Literaturübersicht von Bungardt und Schmidt / 42 /, bei Granacher / 45 / und / 46 /, sowie in Einzelbeiträgen von Siegfried / 47 /, Pich / 48 /, Krisch und Wepner / 49 / und Krisch / 50 / beschrieben.

Extrapolationen der Versuchstemperatur können meist nicht über mehr als 50°C und Extrapolationen der Standzeit um nicht mehr als eine Dekade gegenüber den gemessenen Werten vorgenommen werden.

Auf eine Interpretation der Meßergebnisse und einen Vergleich der Werkstoffe und Werkstoffzustände wird im Rahmen dieser Datensammlung verzichtet, zumal andere Veröffentlichungen sich teilweise damit befaßt haben / 9 /, / 12 /, / 13 / und noch befassen werden. Stattdessen sei auf die Literatur verwiesen, in der neben allgemeinen Überblicken über das Zeitstandverhalten ähnlicher Legierungen / 14 / bis / 20 / auch die Einflüsse der Legierungselemente / 21 / bis / 30 /, der Ausscheidungen / 31 /, / 32 /, des Stabilisierungszustandes / 30 /, / 32 /, / 33 /, der Kaltverformung / 23 /, / 30 /, / 34 /, / 35 /, der mechanisch-thermischen Vorbehandlung / 23 /, / 36 /, / 37 / und der Korngröße / 38 / bis / 41 / eingehend behandelt werden. - Die gegebene Übersicht kann nicht vollständig sein, sie ermöglicht aber gegebenenfalls eine Erklärung für viele der hier berichteten Zeitstandergebnisse.

In den Abbildungen 45 bis 69 sind die Schlifffbilder der Bruchgefüge von Zeitstandproben mit langer Standzeit in 200-facher Vergrößerung wiedergegeben. Mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit und abnehmender Temperatur tendiert die Bruchart vom interkristallinen über den gemischten zum transkristallinen Bruch. Dementsprechend findet man meistens mehrere interkristalline Anrisse, die zu einer allgemeinen Gefügeauflockerung mit langsamem Druckabfall in der Probe führen, oder es bildet sich ein dominierender interkristalliner Schadensriß, der sich je nach Temperatur und Prüfdruck im letzten Teil der noch intakten Rohrwand sehr schnell transkristallin mit starker Kornverformung fortsetzt.

Anmerkung

Außer den Autoren haben an der Inbetriebnahme der Zeitstandanlage, der Vorbereitung und Durchführung der Versuche und der Herstellung der metallographischen Schlifffbilder in dankenswerter Weise die Angehörigen des Institutes für Material- und Festkörperforschung insbesondere Frau Schlenker, Herr Bürkle, Herr Dr. Kaupa und Herr H. Schneider mitgearbeitet.

7. Bezeichnungen

a	=	Außenrand der Rohrwand
d_a	=	Außendurchmesser des Rohres (mm)
d_i	=	Innendurchmesser des Rohres (mm)
F	=	Kraft (N)
i	=	Innenrand der Rohrwand
k_v	=	Kaltverformung (%)
l	=	Länges des Rohres (mm)
L	=	Luftabkühlung
LG	=	Lösungsglühung
P_i	=	Rohrinnendruck (N/mm ²)
P	=	Zeit-Temperatur-Parameter nach Larson u. Miller
t_B	=	Standzeit (h)
T	=	Prüftemperatur (°C)
T_K	=	Prüftemperatur (°K)
δ_t	=	Tangentiale Bruchdehnung (%)
ϵ_t	=	Tangentialdehnung (%)
ϵ_v	=	Tangentiale Vergleichsdehnung (%)
σ_{ax}	=	Achsialspannung (N/mm ²)
σ_r	=	Radialspannung (N/mm ²)
σ_t	=	Tangentialspannung (N/mm ²)
σ_v	=	Vergleichsspannung (N/mm ²)

9. Literaturübersicht

- 1) H. Böhm; KFK-985 (1969)
- 2) Gasbrüter-Memorandum; KFK-1375 (1971)
- 3) F. Rapatz, "Die Edelstähle", Verlag Springer, 1962, S.695-
- 4) J.O. Edström, L. Egnell, G.Lagerberg; Sandvik 67 1024
- 5) S. Schwaigerer, "Festigkeitsberechnung von Bauelementen des Dampfkessel-Behälter- und Rohrleitungsbaues", Verlag Springer, 1970
- 6) H. Buchter, "Apparate und Armaturen der chemischen Hochdrucktechnik", Verlag Springer
- 7) E. Siebel, S. Schwaigerer, Brennstoff, Wärme, Kraft, Bd. 3,Nr. 5,1951
- 8) Wellinger, H. Dietmann, "Festigkeitsberechnung", Verlag Alfred Kröner, Stuttgart, 1968
- 9) K.D. Closs, L. Schäfer, in "Fast Reactor Fuel and Fuel Elements", Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, S. 675-
- 10) H. Dietmann, "Spannungszustand und Festigkeitsverhalten", 1. Teil, Techn.-wiss. Bericht, MPA Stuttgart, 1968
- 11) Ryuichi Ohtani, "Creep and Creep Fracture of Metallic Materials under Multiaxial Stress at Elevated Temperatures", Ph.D. Thesis, College of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan
- 12) K.D. Closs, L. Schäfer, KFK-1599 (1972)
- 13) K.D. Closs, L. Schäfer, ASTM STP 529
- 14) VDEh, "Ergebnisse deutscher Zeitstandversuche langer Dauer" Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1969
- 15) Escher Wyss, "Zeitstandversuche an Stählen"
- 16) Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, Verlag Stahleisen, Düsseldorf
- 17) Werkstoff-Handbuch Nichteisenmetalle, VDI-Verlag, Düsseldorf
- 18) A. v.d. Steinen, Archiv f. d. Eisenhüttenwesen, 33. Jahrg., Heft 1,1962
- 19) H. Zeuner, Nickel-Berichte 25(1967) Nr. 6/7, S. 149-180
- 20) Smith, ASTM Data Series DS 552
- 21) K.Bungardt, A.v.d.Steinen, DEW Techn.Berichte 1961, H.4, S.138-150
- 22) A.v.d.Steinen, DEW Techn.Berichte 1969, H.2, S.134-146
- 23) A.v.d.Steinen, in KFK-985 (1969), S. 207-221

- 24) M. Lagerquist, R. Lagneborg, Scandinavian Journal of Metallurgy, 1 (1972) S. 81-89
- 25) H. Jesper, W. Wessling, K. Achteilk, Stahl und Eisen 86, Okt. 1966, Nr. 21
- 26) P. Goodell, T. Cullen, J. Freeman, Transactions of the ASME Vol.-D.89, 1967, S. 517-24
- 27) A. Mercier, R. Lévêque, G. Remy, Revue de Métallurgie, Dec.1967, S. 1085-1094
- 28) L. Rohlin, B. Aronsson, Tagung des VDEh v. 3.5.-5.5.72 in Düsseldorf über Eigenschaften warmfester Stähle, Paper IX/4
- 29) H. Gerlach, H.R. Kautz, Stahl und Eisen 88, Nr. 25, 1968, S.1422-23
- 30) K. Bungardt, G. Lennartz, Archiv f.d. Eisenhüttenwesen 34 (1963) Heft 7, S. 531-546
- 31) F. Garzaroli, A. Gerscha, P. Franke, Zeitschr. f. Metallkunde 60 (1969), Heft 8, S. 643-52
- 32) H.Gerlach, E.Schmidtman, Archiv f.d. Eisenhüttenwesen 39 Jahrg. Heft 2, Febr. 1968
- 33) W. Ruttman, H.Gerlach, H.R. Kautz, Archiv f.d.Eisenhüttenwesen 1967, Heft 4, S. 301-307
- 34) F. Garofalo, F.v.Gemningen, W.F. Domis, Trans ASM 54 (1961) S. 431-444
- 35) H. Böhm, M. Schirra, unveröffentlichte Arbeiten, GfK Karlsruhe
- 36) H.Böhm, M.Schirra, R.Solano, R.Garcia, KFK-1512(1971)
- 37) M. Schirra, KFK-1535 (1972)
- 38) K. Skuin, Neue Hütte, Heft 9 (1969), S. 547-552
- 39) J. Myers, G. Willoughby, Metalurgia, Jan.1966, S. 6-7
- 40) H. Scholz, KFK-1855, (1973)
- 41) R.Brownsword, M.R.Hoar, Scripta Metallurgica, Vol.7, No.6, 1973,S.643
- 42) K. Bungardt, W. Schmidt, DEW-Techn.Berichte, 1.Bd.1961, Nr.3
- 43) F. Larson, J.Miller, Trans ASME 74, 1952, S.765-
- 44) J. Hoznek, Neue Hütte, 13. Jahrg., Heft 8, 1968
- 45) J. Granacher, Dissertation, "Zur Extrapolation der Zeitstandfestigkeit warmfester Stähle", 1970

- 46) ASM Publication No. D8-100, Time-Temperature-Parameters for Creep-Rupture Analysis
- 47) W. Siegfried, Archiv f.d. Eisenhüttenwesen, 33. Jahrg., Nr.3, 1962
- 48) R. Pich, Energie, Jahrg. 16, Nr. 16, 1964
- 49) A. Krisch, W. Wepner, Archiv f.d. Eisenhüttenwesen 28 (1957)
- 50) A. Krisch, Stahl und Eisen 83 (1963) Nr. 2

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung (in %)

Nr.	Bezeichnung	Werkst.Nr.	Charge	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	V	W	Ti	Al	Fe	ppm B	Ta/Nb	N ₂
1-5	X8CrNiMoVNb1613	1.4988	25116	0,05	0,63	1,35	16,2	13,7		1,44	0,75				Rest		0,65	0,09
6	"	"	SL 733	0,08	0,35	1,27	16,9	13,6	0,06	1,2	0,6				"	<0,5	0,7	0,07
7,8	"	"	40344	0,05	0,59	1,36	16,7	13,6		1,43	0,78				"		0,7	
9-11	X8CrNiMoNb 1616	1.4981	HV 139	0,07	0,58	0,97	17,0	16,6	0,04	1,64			0,08	0,09	"	4	0,7	0,02
12,13	"	"	70015	0,05	0,37	1,11	16,5	16,5	0,002	1,76		0,03			"		0,79	
14-16	X10NiCrMoTiB1515	1.4970	8-29052	0,10	0,4	1,75	14,9	15,1	0,012	1,2			0,5	<0,01	"	60	<0,05	0,02
17	X8CrNiNb 1613	1.4961	33577	0,07	0,22	1,15	15,9	12,9	0,12	0,31			<0,05	0,12	"	0,7	0,82	<0,01
18	X4CrNiNb 2025	-	SL 1918	0,02	0,65	0,71	20,2	24,8	0,02	-	-	-	0,01	0,01	"	0,5	0,01	0,02
19	X10NiCr 3220	1.4861	972554	0,016	0,6	1,35	20,6	31,9	0,02	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,1	"	1	0,05	
20	"	"	1193-A	0,045	0,4	0,87	20,2	31,6	0,63	0,1			0,41	0,47	"	3,5	0,05	<0,01
21	"	"	S 2106	0,06	0,49	0,65	20,4	30,9	0,05	0,02	-	-	0,4	0,34	"	2	0,05	0,035
22	AISI 316	1.4401	T 4921	0,05	0,48	1,81	16,88	13,3	0,02	2,34			0,01	<0,01	"	20		0,014
23	Inconel 600	2.4640	12667	0,05	0,6	0,95	16,2	74,0	0,004	0,02			<0,05	0,03	7,55	1	0,05	-
24	Inconel 625	-	NX832AV	0,03	0,03	0,07	21,8	Rest	0,045	8,5			0,3	0,13	3,0	1	3,45	0,037
25	Inconel 718	-	7310-E	0,04	0,27	0,1	18,8	"	0,04	2,8			1,0	0,5	18,9	15	5,0	<0,01
26	Inconel X750	-	HT-4362X	0,04	0,3	0,49	14,7	"	0,06	<0,05			2,46	0,5	6,9	6,5	0,75	<0,005
27	Hastelloy X	-	X4-4493	0,09	0,83	0,6	21,2	"	1,6	9,0		0,62	<0,05	0,16	17,9	3,5	0,05	0,085

Tabelle 2 Kurzzeitfestigkeit und Behandlungszustand

Nr.	DIN-Bezeichnung (bzw. AISI-Bezeichnung)	Werkst.-Nr.	Werksbezeichnung.	Hersteller	Charge	Behandlungszustand	Kurzzeitfestigkeit bei RT			HV1
							σ_B (kp/mm ²)	$\sigma_{0,2}$ (kp/mm ²)	δ (%)	
1	X8CrNiMoVnb 1613	1.4988	16/13 (AN 31)	Mannesmann	2516	Ig+ \leq 5% kv	72,4	43,2	51,3	163
2	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+750 ^o 3h/L	-	-	-	-
3	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+750 ^o 20h/L	-	-	-	-
4	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+800 ^o 1h/L	67,2	34,3	50,3	163
5	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+800 ^o 20h/L	-	-	-	-
6	"	"	"	"	SL 733	Ig+ \geq 12%kv	86,3	73,3	33,3	279
7,8	"	"	"	"	40 344	Ig+	66,2	38,0	34,6	177
9	X8CrNiMoNb 1616	1.4981	16/16 (AN 15)	"	HV 139	Ig+ \leq 5% kv	65,0	37,5	46,6	152
10	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+750 ^o 20h/L	-	-	-	-
11	"	"	"	"	"	Ig+ \leq 5%kv+800 ^o 20h/L	-	-	-	-
12	"	"	"	"	70 015	Ig+ \sim 7% kv	59,2	29,0	48,1	141
13	"	"	"	"	"	Ig+ \sim 13% kv	71,6	60,2	26,1	239
14	X10NiCrMoTiB 1515	1.4970	12R72HV	Sandvik	8-29052	Ig+ \sim 16% kv	74,7	61,4	23,0	242
15	"	"	"	"	"	Ig+ \sim 16%kv+800 ^o 2h	71,0	47,0	19,3	239
16	"	"	"	"	"	Ig+ \sim 16%kv+800 ^o 23h	-	-	-	-
17	X8 CrNiNb 1613	1.4961	16/13 (AN 10)	Mannesmann	33 577	Ig+ \leq 12% kv	65,0	29,9	50,0	140
18	X4 CrNiNb 2025	-	20/25 CrNi	"	SL 1918	Ig+ \leq 12% kv	62,6	56,0	35,0	258
19	X10 NiCr 3220	1.4861	Incoloy 800	"	972554	Ig+ \leq 12% kv	55,0	26,5	50,0	129
20	"	"	"	Superior Tube (USA)	1193-A	Ig+ \leq 12% kv				152
21	"	"	"	Wiggin	S 2106	Ig+ \leq 12% kv				153
22	AISI 316	1.4401		Accles a. Pollock	T 4921	Ig+ 10-15% kv	73,8	65,0	39,0	238
23	NiCr 16 Fe 8	2.4640	Inconel 600	Mannesmann	.12667	Ig+ \leq 12% kv	81,8	67,4	30,0	222
24			Inconel 625	Superior Tube Comp.	NX 832 AV	Ig+ \leq 12% kv	87,9	75,5	7,5	452
25			Inconel 718	"	7310-E	Ig+ \leq 12% kv	149,5	130,0	6,5	462
26			Inconel X750	"	HT-4362-X	Ig+ \leq 12% kv	133,0	-	6,0	415
27			Hastelloy X	"	X4-4493	Ig+ \leq 12% kv	80,1	-	32,5	222

Tabelle 3 Verzeichnis der Abbildungen

Nr.	DIN-Bezeichnung (bzw. AISI-Bezeichnung)	Werkst.Nr.	Nummern der Abbildungen für die				
			Weitstandf. . Bruchd.	Larson u. Miller-D.	Bruch- gefüge	Abmessung (mm)	
1	X8CrNiMoVnb 1613	1.4988	1	2	3	45	6 Ø x 0,38
2	"	"		4	5	46	"
3	"	"		6		47	"
4	"	"		7	8	48	"
5	"	"		6		49	"
6	"	"		9	10	50	7 Ø x 0,4
7	"	"		11			6,35Ø x 0,4
8	"	"		11			5,4Ø x 0,25
9	X8CrNiMoNb 1616	1.4981	1	12	13	51	6 Ø x 0,38
10	"	"		14		52	"
11	"	"		14		53	"
12	"	"		15	16	54	"
13	"	"		17	18	55	"
14	X10NiCrMoTiB 1515	1.4970	1	19	20	56	"
15	"	"		21	22	57	"
16	"	"		23	24	58	"
17	X8CrNiNb 1613	1.4961	1	25	26	59	"
18	X4CrNiNb 2025		2	27	28	60	7 Ø x 0,4
19	X10 NiCr 3220	1.4861		29	30	61	"
20	"	"		31	32	62	"
21	"	"		33		63	7,4Ø x 0,5
22	AISI 316	1.4401		34	35	64	6 Ø x 0,38
23	NiCr 16 Fe 8	2.4640		36		65	7 Ø x 0,4
24				37	38	66	7,1Ø x 0,4
25				39	40	67	"
26				41	42	68	"
27				43	44	69	"

Tabelle 4

Zeitstandergebnisse

Austenitfischer Stahl

X8 CrNiMoVNb 16 13 (Werkst.-Nr. 1.4988)

Charge: 25 116

Zustand	600°C				650°C				700°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
lg+ \leq 5% kv	338	500	34	5,8	270	400	30	3,3	203	300	23	5,3
	304	450	75	4,3	236	350	66	2,7	169	250	115	6,0
	270	400	224	5,8	203	300	228	6,5	148	220	152	4,0
	243	360	660	4,5	182	270	760	4,3	142	210	272	4,5
	216	320	1566	7,7	162	240	1158	1,0	122	180	830	5,0
	-	-	-	-	-	-	-	-	101	150	2407	6,0
lg+ \leq 5% kv +750°C 3h	352	520	43	12,0	270	400	34	4,7	169	250	54	4,8
	338	500	148	9,2	243	360	130	4,3	148	220	170	8,5
	304	450	477	5,5	223	330	242	3,8	135	200	410	15,2
	284	420	600	5,2	203	300	410	6,0	114	170	810	16,2
	270	400	750	3,0	189	280	600	3,8	101	150	2277	6,8
	250	370	1710	4,7	155	230	2485	5,0	-	-	-	-
lg+ \leq 5% kv +800°C 1h	311	460	38	8,2	243	360	51	5,2	189	280	10	8,3
	298	440	110	4,8	230	340	85	5,5	182	270	44	8,2
	270	400	548	4,2	203	300	386	4,3	175	260	68	7,5
	250	370	1090	3,2	169	250	950	7,0	148	220	190	8,3
	230	340	2867	5,5	155	230	2132	5,4	114	170	580	3,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	101	150	928	7,8
-	-	-	-	-	-	-	-	81	130	1474	13,8	
lg+ \leq 5% kv +750°C 20h	-	-	-	-	-	-	-	-	169	250	34	12,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	135	200	276	10,9
	-	-	-	-	-	-	-	-	118	175	495	9,9
	-	-	-	-	-	-	-	-	108	160	769	12,8
lg+ \leq 5% kv +800°C 20h	-	-	-	-	-	-	-	-	169	250	22	8,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	135	200	147	13,6
	-	-	-	-	-	-	-	-	114	170	710	9,5
	-	-	-	-	-	-	-	-	94	140	1455	13,3

Tabelle 5

Zeitstandergebnisse

Austenitischer Stahl

X8 CrNiMoNb 16 16 (Werkst.-Nr. 1.4981)

Werkstoff	600°C				650°C				700°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
Chg.:HV139 lg+ $\leq 5\%$ kv	359	530	26	XX	270	400	48	13,7X	203	300	32	11,7
	338	500	84	13,7	236	350	154	8,3X	169	250	132	12,5
	304	450	310	11,5	203	300	516	6,7X	135	200	296	13,6
	250	370	1475	7,8	169	250	1624	8,0	101	150	1435	22,8
	203	300	6759	6,5	135	200	3205	19,3	67	100	4635	19,0
Chg.:70015 lg+ $\sim 7\%$ kv	325	480	20	13,9	-	-	-	-	203	300	2	15,3
									155	230	16	24,3
	304	450	110	8,5	-	-	-	-	135	200	104	14,4
	284	420	430	8,9	-	-	-	-	122	180	121	24,0
	270	400	500	8,5	-	-	-	-	108	160	245	23,3
	236	350	2084	8,3	-	-	-	-	101	150	454	16,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	81	120	1057	22,5
Chg.:70015 lg+13% kv	474	700	10	3,1	-	-	-	-	189	280	34	2,7
	406	600	84	1,2	-	-	-	-	155	230	120	2,8
	372	550	146	1,3	-	-	-	-	155	230	108	2,3
	325	480	288	1,1	-	-	-	-	148	220	115	1,3
	304	450	479	2,2	-	-	-	-	135	200	189	1,3
	270	400	907	1,5	-	-	-	-	108	160	710	1,0
	243	360	1619	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Chg.:HV139 lg+ $\leq 5\%$ kv +800°C20h	-	-	-	-	-	-	-	-	169	250	36	- X
	-	-	-	-	-	-	-	-	135	200	170	15,0 X
	-	-	-	-	-	-	-	-	101	150	715	22,0
Chg.:HV139 lg+ $\leq 5\%$ kv 750°C20h	-	-	-	-	-	-	-	-	169	250	73	14,5
	-	-	-	-	-	-	-	-	135	200	207	22,2
	-	-	-	-	-	-	-	-	101	150	1116	18,2

Tabelle 7

Zeitstandergebnisse

Austenitische Stähle

Werkstoff	600°C				650°C				700°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
X4CrNiNb 20.25 Chg. SL 1918 lg+ $\leq 12\%$ kv	266 228 209 190 171 152 133 114 -	350 300 275 250 225 200 175 150 -	10 38 136 189 442 1182 2859 8919 -	7,6X 8,3X 10,8X 6,7X 4,6 3,6 5,1 2,4 -	190 152 133 114 106 92 - - -	250 200 175 150 140 120 - - -	28 110 362 483 708 2280 - - -	7,7X 5,3X 3,9 2,6 1,9 4,6 - - -	152 137 106 84 76 69 61 54 46	200 180 140 110 100 90 80 70 62	9 18 100 269 531 658 977 1970 2391	stark X 3,9 2,3 1,0 1,6 0,9 0,7 1,1 0,9
X8CrNiNb 1613 W.Nr. 1.4961 Chg. 33577 lg+ $\leq 12\%$ kv	298 270 250 236 203 - -	440 400 370 350 300 - -	30 212 457 704 1587 - -	6,7X 4,7X 4,2X 3,9 5,2 - -	230 203 169 148 108 - -	340 300 250 220 160 - -	50 154 508 778 2105 - -	5,7X 5,0X 4,8X 3,7X 6,8 - -	169 135 118 101 81 67 50	250 200 175 150 120 100 75	40 131 242 377 696 1543 3300	6,7X 6,3X 10,0 9,0 12,2 15,3 16,3
X8CrNiMoVNB 1613 W.Nr. 1.4988 Chg. SL 733 lg+ $\sim 20\%$ kv	380 360 342 319 304 288 266 235 - - -	500 475 450 420 400 380 350 310 - - -	107 181 300 561 758 721 1158 3768 - - -	X X 1,28X X 1,71X 1,14X X 1,42X - - -	304 281 266 258 228 190 152 - - -	400 370 350 340 300 250 200 - - -	59 94 226 470 745 1440 3301 - - -	3,8X 1,42X 1,57X 2,42X 2,56 1,99 1,99 - - -	266 228 209 190 164 150 137 121 102 98 76	350 300 275 250 215 197 180 160 130 125 100	17 35 54 121 276 440 680 852 1657 1494 2969	1,72 1,85 1,99 2,42 2,56 2,85 2,84 2,00 3,84 4,27 3,65
X8CrNiMoVNB 1613 W.Nr. 40344 5,4 ϕ x0,25 und 6,3 ϕ x0,38	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	- - - - - - - - -	216 178 140 125 106 215 179 143 132 115	225 185 145 130 110 300 250 200 185 160	32 88 400 519 1103 27 88 243 338 742	3,5 4,1 7,2 4,4 5,0 7,3 6,5 9,1 9,2 9,5
AISI 316 W.Nr. 1.4401 Chg. T4921 lg+10-15%kv	304 270 256 243 230	450 400 380 360 340	42 192 247 627 1103	3,0 5,0 6,5 5,7 4,5	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	169 155 135 122 -	250 230 200 180 -	94 120 427 685 -	5,3 1,8 5,8 4,0 -

Tabelle 8

Zeitstandergebnisse

Austenitischer Stahl

X10NiCr 3220 (Werkstoff-Nr. 1.4861)

Werksbez.: Incoloy 800

Zustand	600°C				650°C				700°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
Chg. 972554 lg+ \leq 12% kv	213	280	22	16,0	152	200	37	19,3	137	180	13	22,0X
	190	250	61	14,5	133	175	100	19,0	114	150	21	17,0
	175	230	142	19,8	114	150	177	21,0	103	135	45	21,2
	152	200	250	23,6	99	130	472	17,3	92	120	99	17,6
	137	180	717	14,6	84	110	861	12,0	69	90	331	18,3
	122	160	1334	19,0	-	-	-	-	54	70	1266	9,6
	106	140	3636	19,3	-	-	-	-	46	60	4450	8,1
									39	50	7790	6,3
Chg. 1193-A lg+ \leq 12% kv	304	400	39	8,6	213	280	48	14,3	152	200	35	15,0
	296	390	198	12,4	190	250	72	12,6	133	175	124	17,9
	281	370	665	5,6	171	225	484	16,3	114	150	353	6,7
	266	350	1053	4,9	152	200	335	12,3	95	125	2472	8,3
	258	340	951	9,2	137	180	2433	15,0	-	-	-	-
	250	330	1966	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Chg. S 2106 lg+ \leq 12% kv	-	-	-	-	-	-	-	-	157	250	14	5,7
	-	-	-	-	-	-	-	-	138	220	46	4,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	113	180	190	2,4
	-	-	-	-	-	-	-	-	94	150	1590	1,1
	-	-	-	-	-	-	-	-	75	120	6943	

Tabelle 9

Zeitstandergebnisse

Nickelbasislegierungen

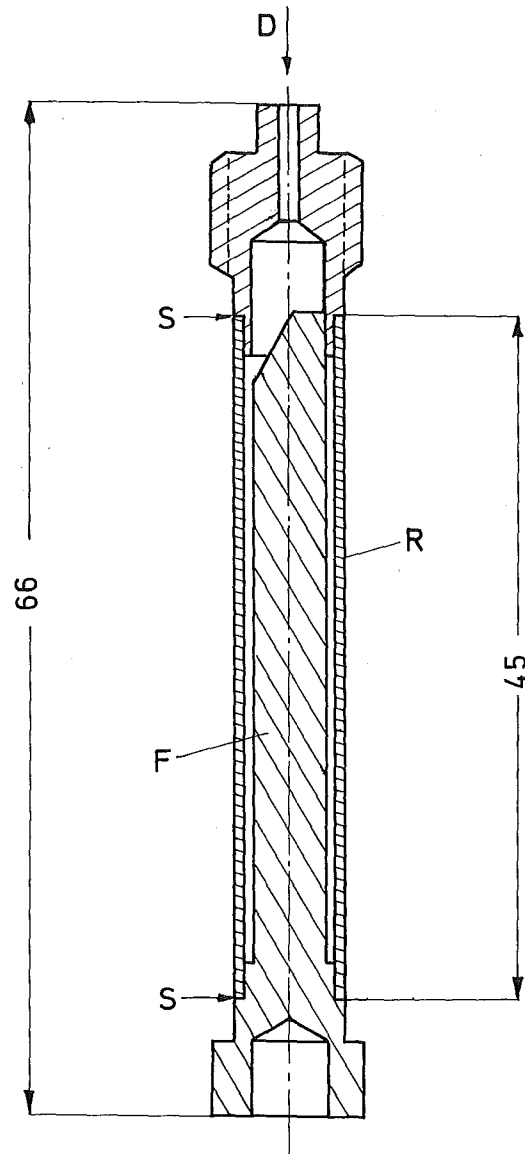
Werkstoff	650°C				700°C				750°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
Inconel 625 Chg. NX832AV lg+ \leq 12% kv	387	500	156	-X	372	480	38	-X	263	340	15	7,3
	364	470	184	1,1	290	375	49	-X	213	275	55	5,8
	348	450	259	2,1	271	350	85	6,0	194	250	33	5,8
	310	400	358	2,0	232	300	188	4,3	156	200	109	5,7
	286	370	409	1,6	213	275	244	4,0	117	150	263	9,0
	271	350	593	1,4	194	250	347	6,0	94	120	484	9,6
	248	320	789	1,7	175	225	442	5,6	83	110	595	5,7
	232	300	1366	2,3	156	200	655	4,0	64	80	1106	16,1
	221	285	1555	2,8	132	170	1465	5,6	48	60	1944	16,5
	186	240	1780	2,4	124	160	1287	3,7	-	-	-	-
	156	200	3094	3,5	109	140	2340	4,4	-	-	-	-
Inconel 718 Chg. 7310-E lg+ \leq 12% kv	372	480	223	5,0	348	450	43	6,1	194	250	39	11,2
	368	475	206	5,0	310	400	70	10,9	156	200	72	20,1
	348	450	258	-X	271	350	105	9,6	117	150	164	14,0
	326	420	347	-X	232	300	164	11,3	94	120	312	27,3
	294	380	480	5,0	194	250	275	8,9	78	100	443	23,1
	279	360	442	4,4	156	200	538	13,5	58	75	913	33,1
	256	330	740	6,5	132	170	739	11,2	40	50	2091	11,0
	232	300	864	7,4	117	150	1263	18,3	-	-	-	-
	217	280	1218	6,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	156	200	3205	8,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hastelloy X Chg. X4-4493 lg+ \leq 12% kv	310	400	31	7,6X	310	400	5	18,5X	156	200	34
271		350	119	-X	271	350	11	21,5X	136	175	80	10,0X
232		300	333	12,7X	232	300	28	22,6X	117	150	133	7,5X
217		280	292	7,8X	194	250	93	18,6X	102	130	342	9,0
194		250	583	15,2	170	220	158	19,4X	78	100	594	3,5
194		250	573	16,9	156	200	271	12,0X	64	80	2105	4,2
178		230	1748	10,9	136	175	719	7,5X	-	-	-	-
156		200	2789	7,8	117	150	1190	7,9	-	-	-	-
					102	132	2232	4,8	-	-	-	-
					94	120	3728	6,6	-	-	-	-

Tabelle 10

Zeitstandergebnisse

Nickelbasislegierungen

Werkstoff	600°C				650°C				700°C			
	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)	σ_t ($\frac{N}{mm^2}$)	P_i (atü)	t_B (h)	δ_t (%)
Inconel X750	372	480	20	0,04	271	350	66	0,15	348	450	6	0,21
Chg.HT-4362X	329	425	62	0,04	232	300	80	0,14	271	350	19	0,50
Ig+ \leq 12% kv	310	400	158	0,14	213	275	173	0,42	170	220	111	0,64
	263	340	210	0,14	194	250	299	0,28	140	180	153	0,50
	232	300	512	0,14	156	200	489	0,57	117	150	348	0,78
	213	275	1736	0,35	136	175	2698	1,98	78	100	996	4,1
	194	250	5239	1,27					48	60	3834	4,7
Inconel 600	-	-	-	-	-	-	-	-	137	180	13	2,84X
W.Nr.2.4640	-	-	-	-	-	-	-	-	122	160	33	2,14
Chg.12667	-	-	-	-	-	-	-	-	114	150	50	1,99
Ig+ \leq 12% kv	-	-	-	-	-	-	-	-	99	130	72	1,14
	-	-	-	-	-	-	-	-	84	110	116	0,71
	-	-	-	-	-	-	-	-	69	90	222	1,00
	-	-	-	-	-	-	-	-	46	60	943	1,57
	-	-	-	-	-	-	-	-	35	45	2435	2,56



R- Rohrprobe
F- Füllstab
S- Schweißnaht
D- Druckzuleitung

Maßstab : 2 : 1

Abb. 1 Zeitstandprobe

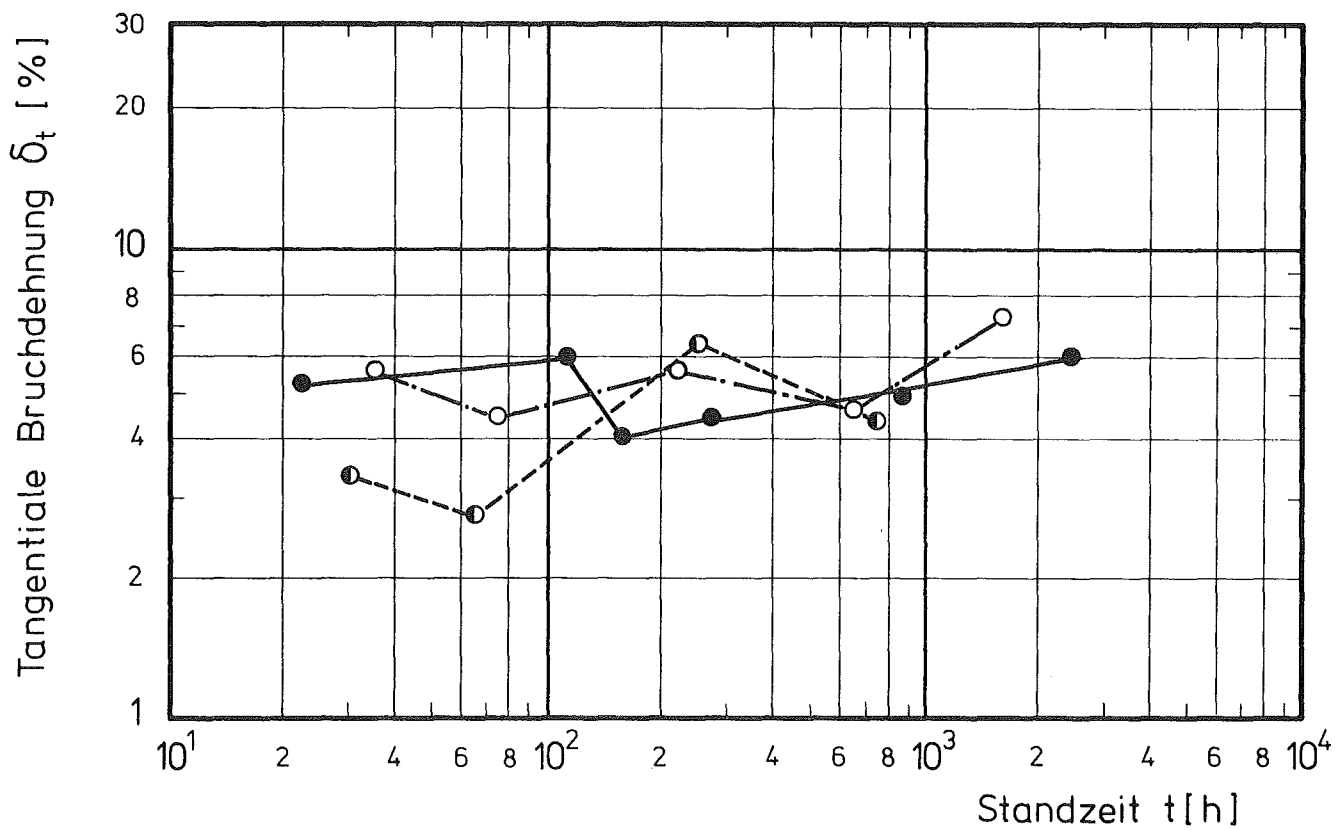
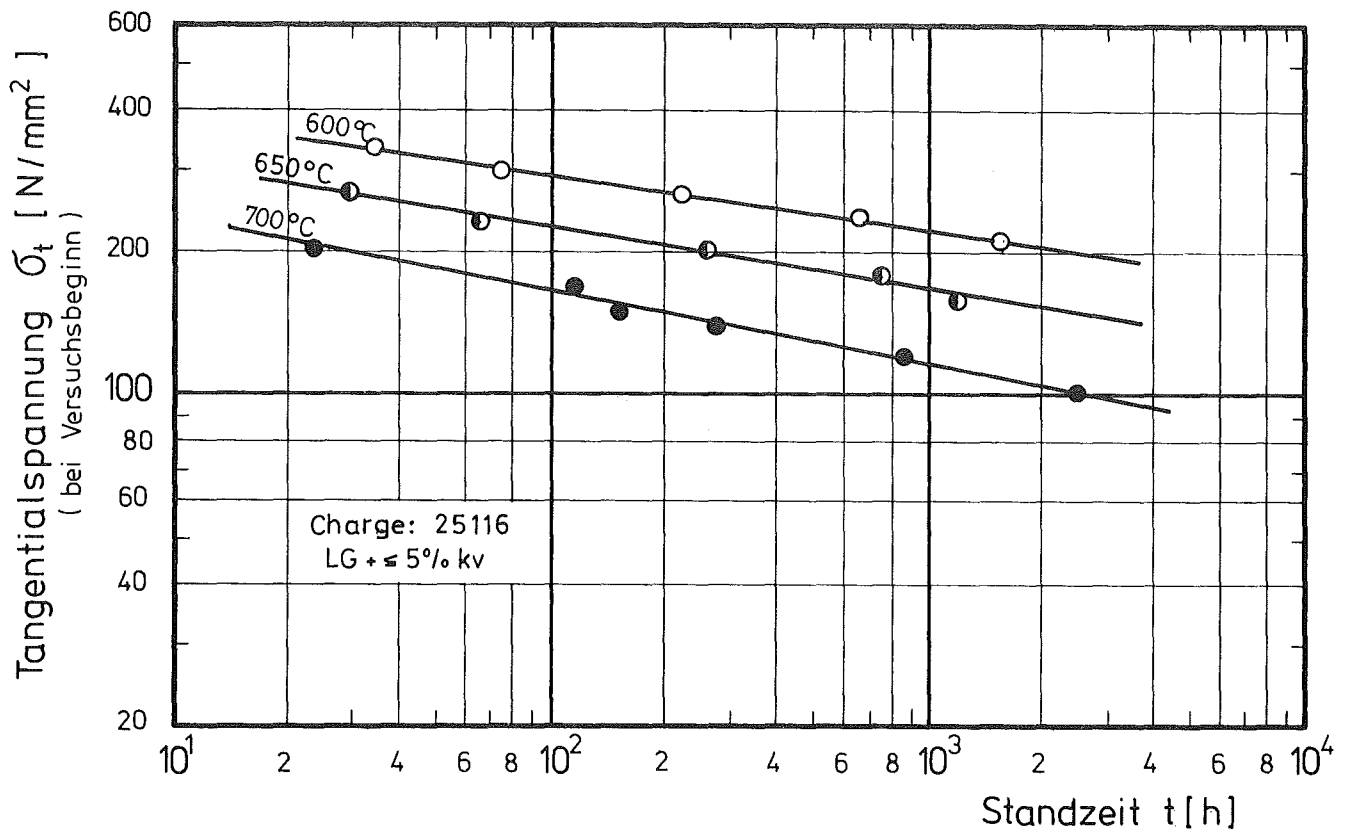
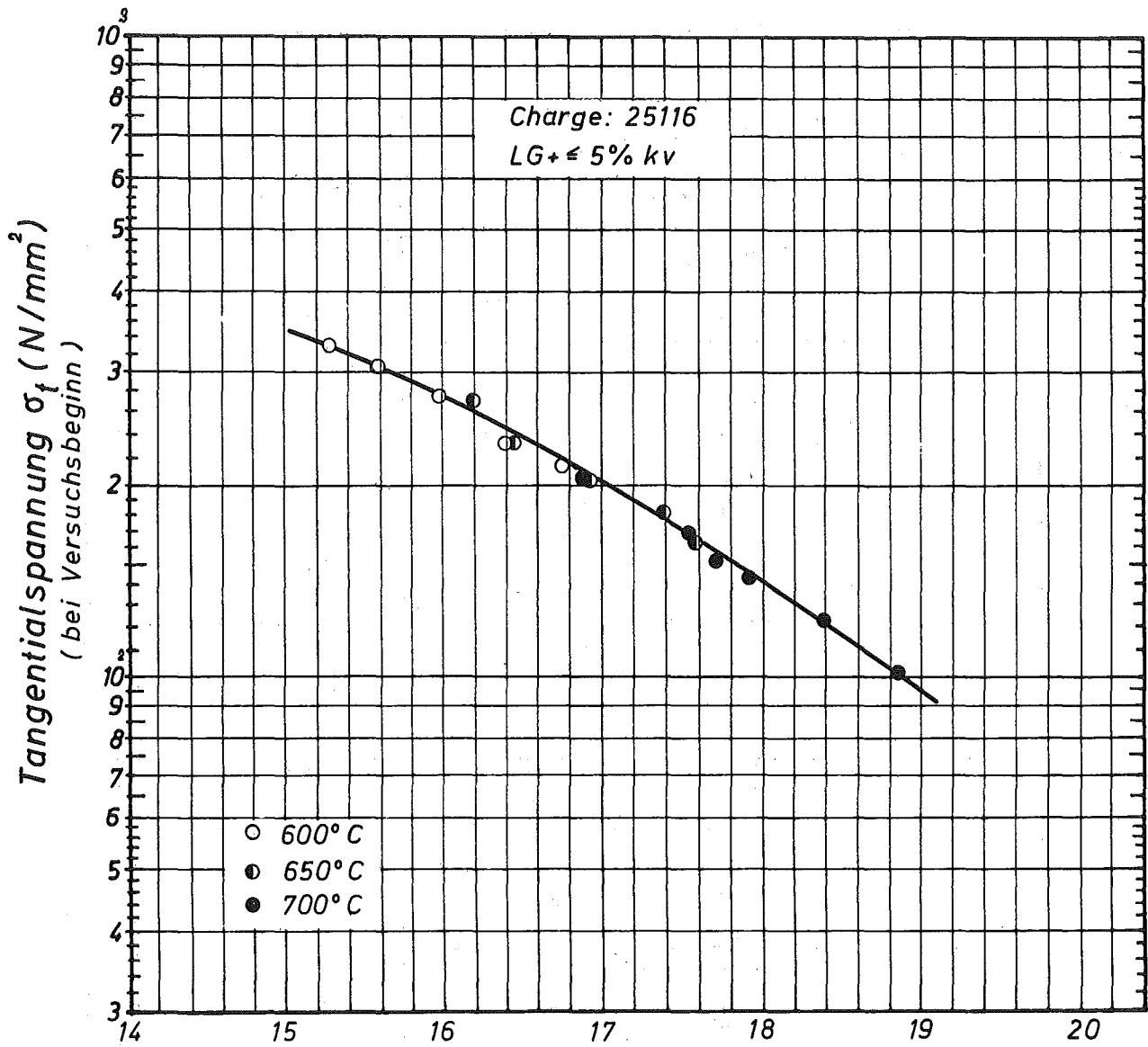


Abb. 2 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

Austenitischer Stahl X 8CrNiMoVNb 16 13
Werkstoff-Nr. 1.4988



$$P = T_k (16 + \log t_B) \cdot 10^{-3}$$

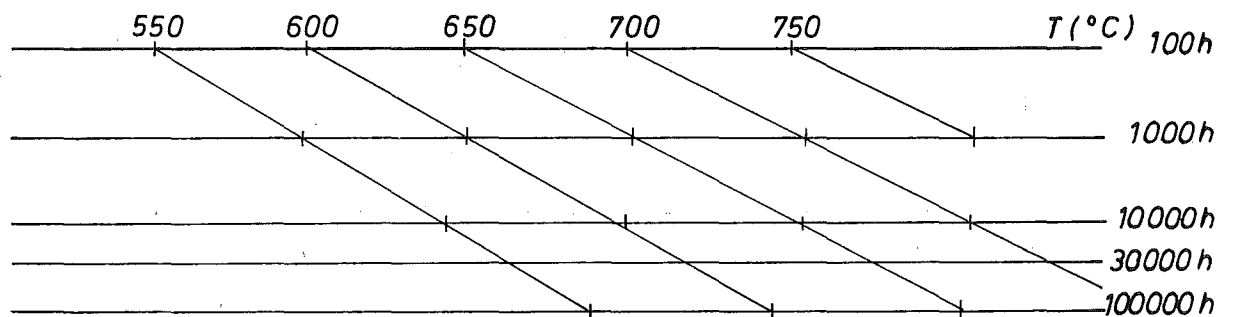


Abb. 3 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Mo V Nb 1613
Werkstoff -Nr. 1.4988

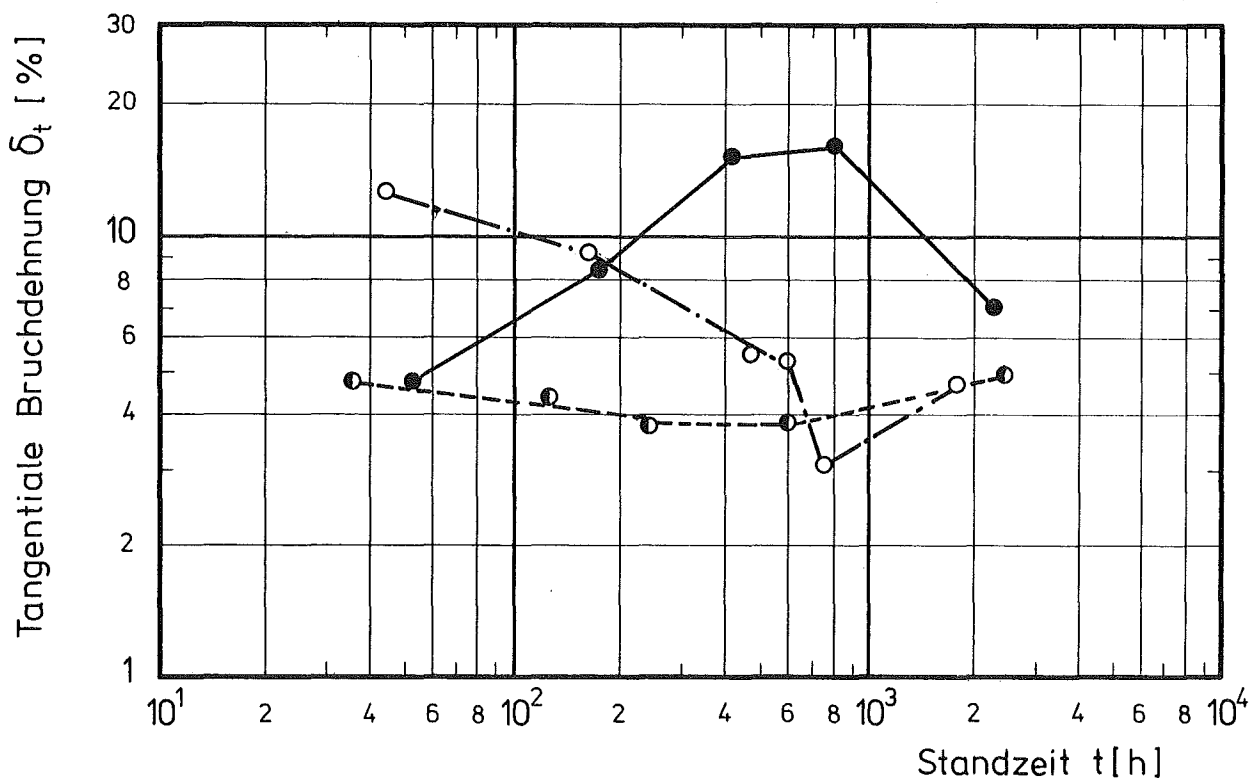
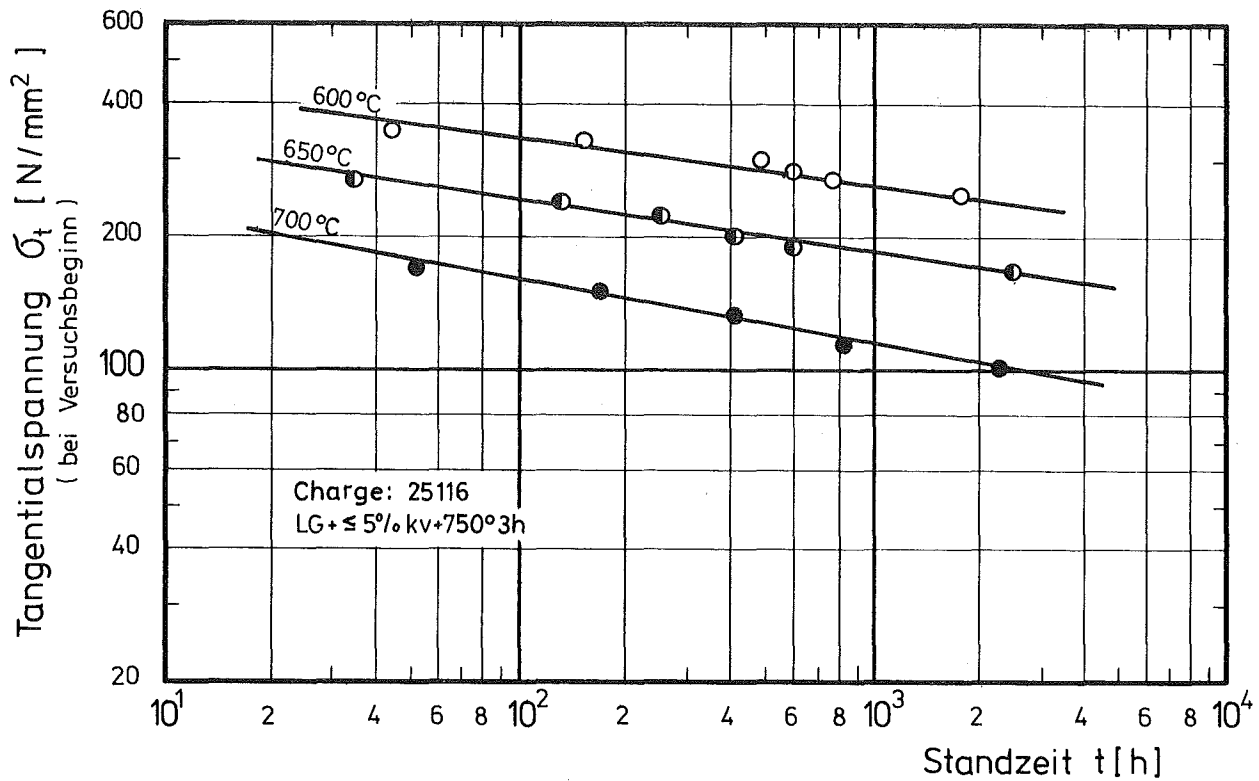
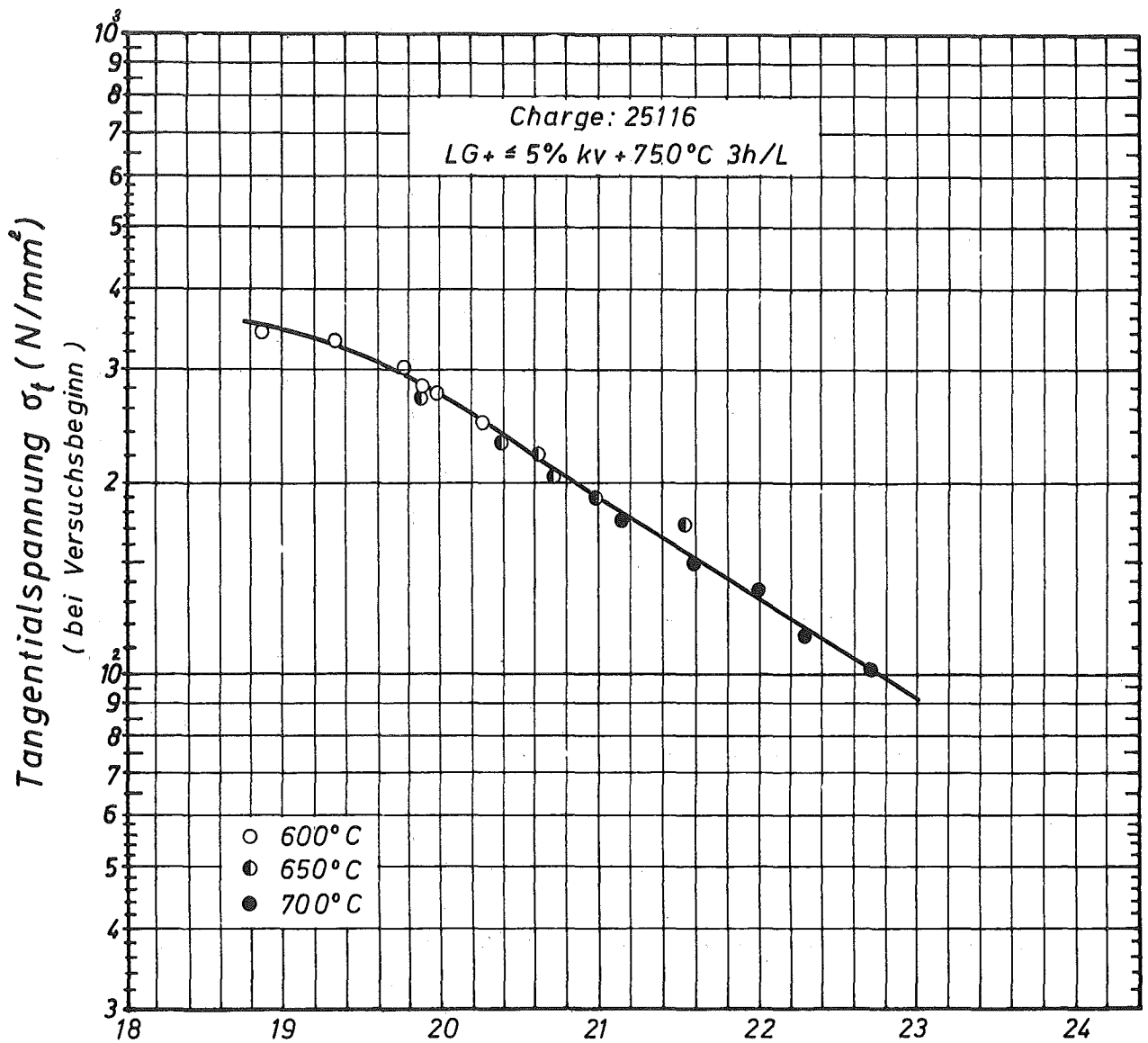


Abb. 4 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 1613
Werkstoff - Nr. 1.4988



$$P = T_k (20 + \log t_B) 10^{-3}$$

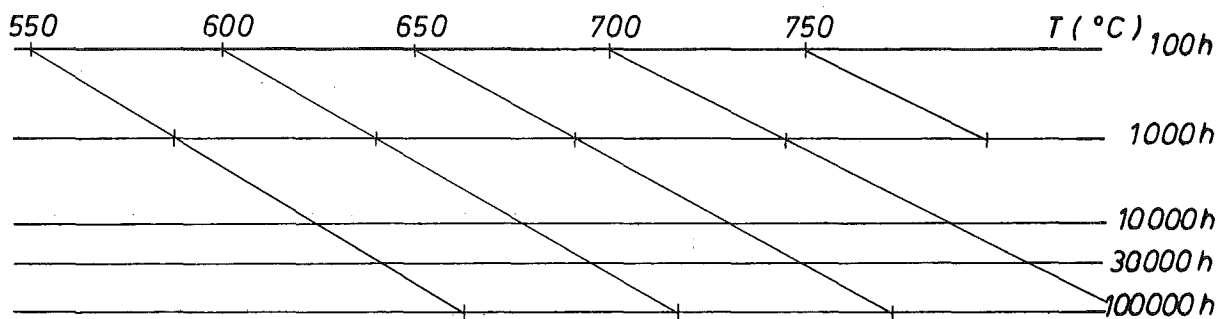


Abb. 5 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Mo V Nb 1613
Werkstoff - Nr. 1.4988

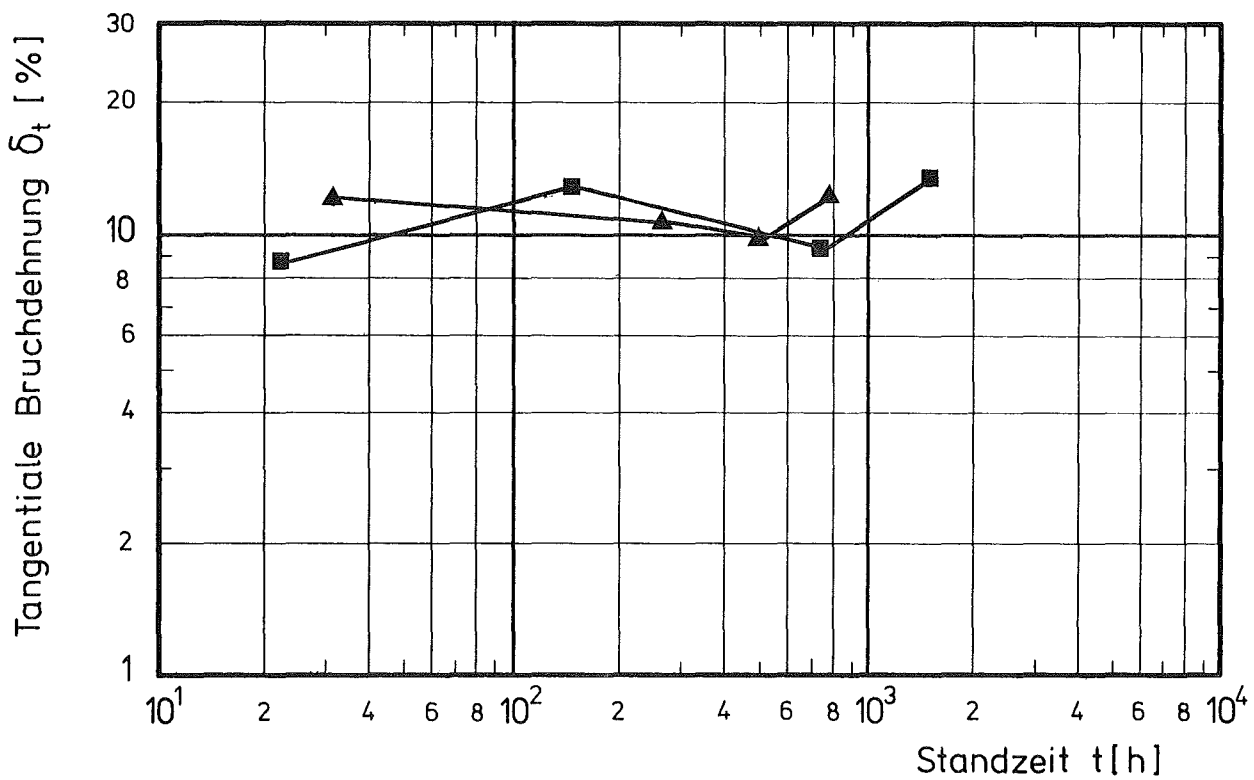
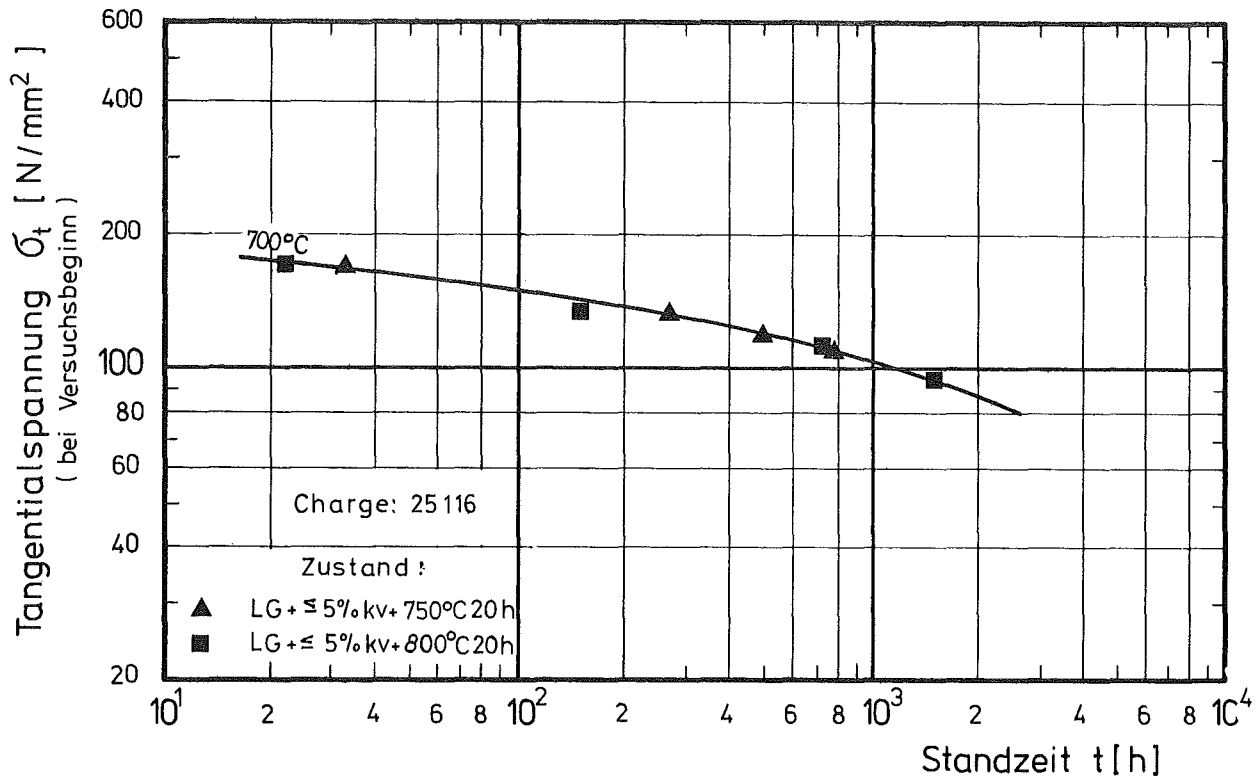


Abb. 6 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 1613
 Werkstoff-Nr. 1.4988

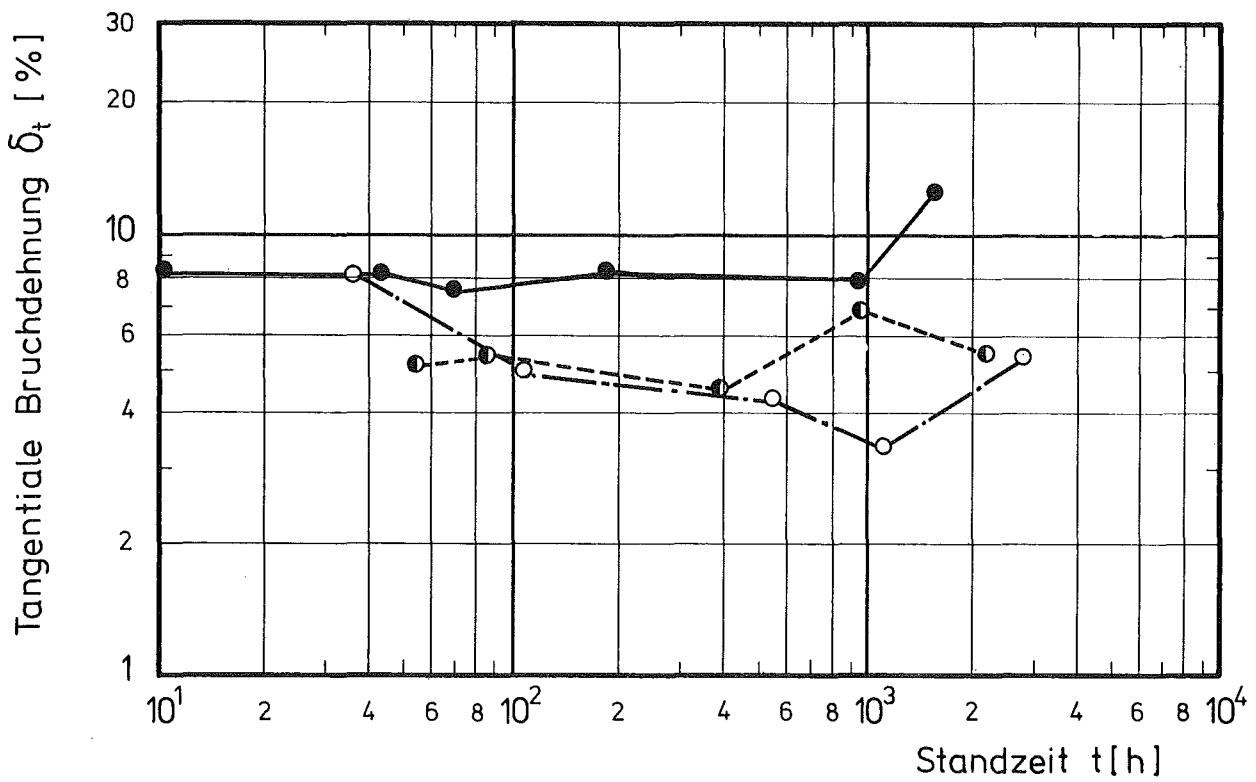
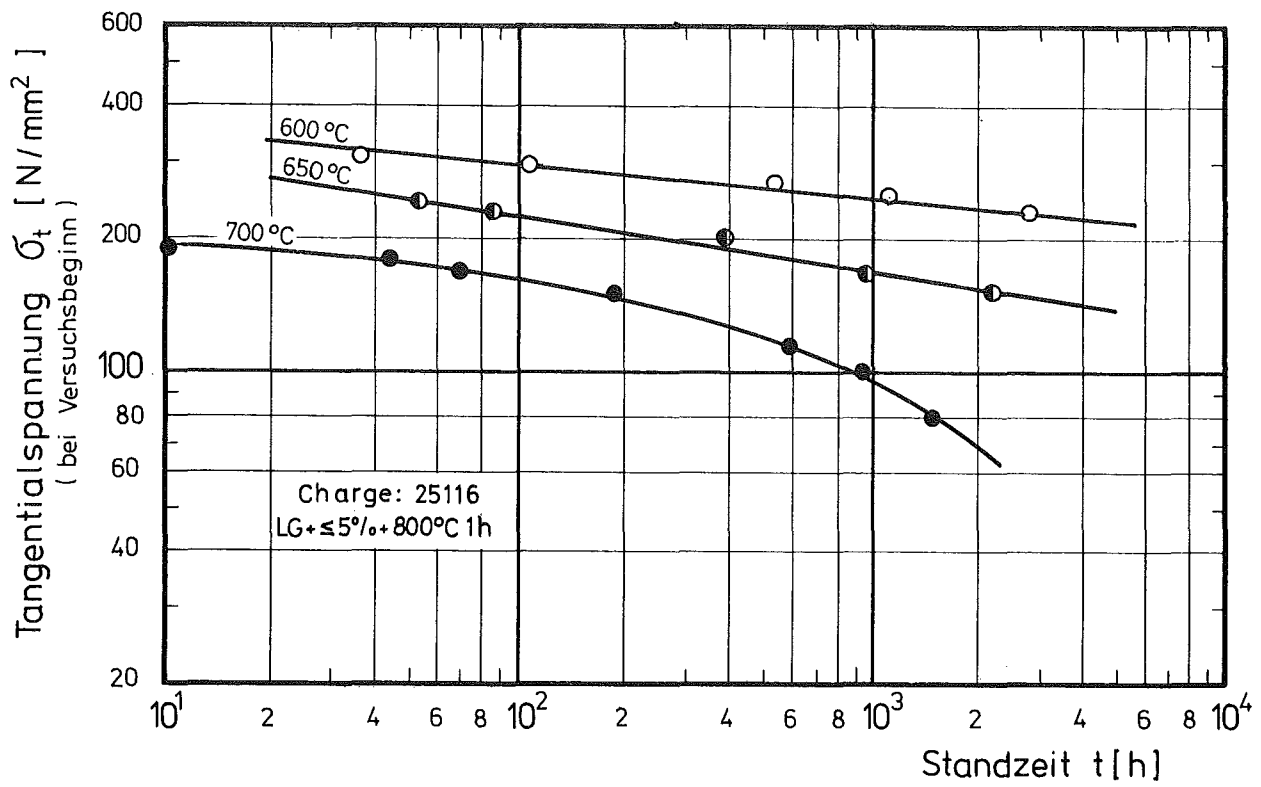
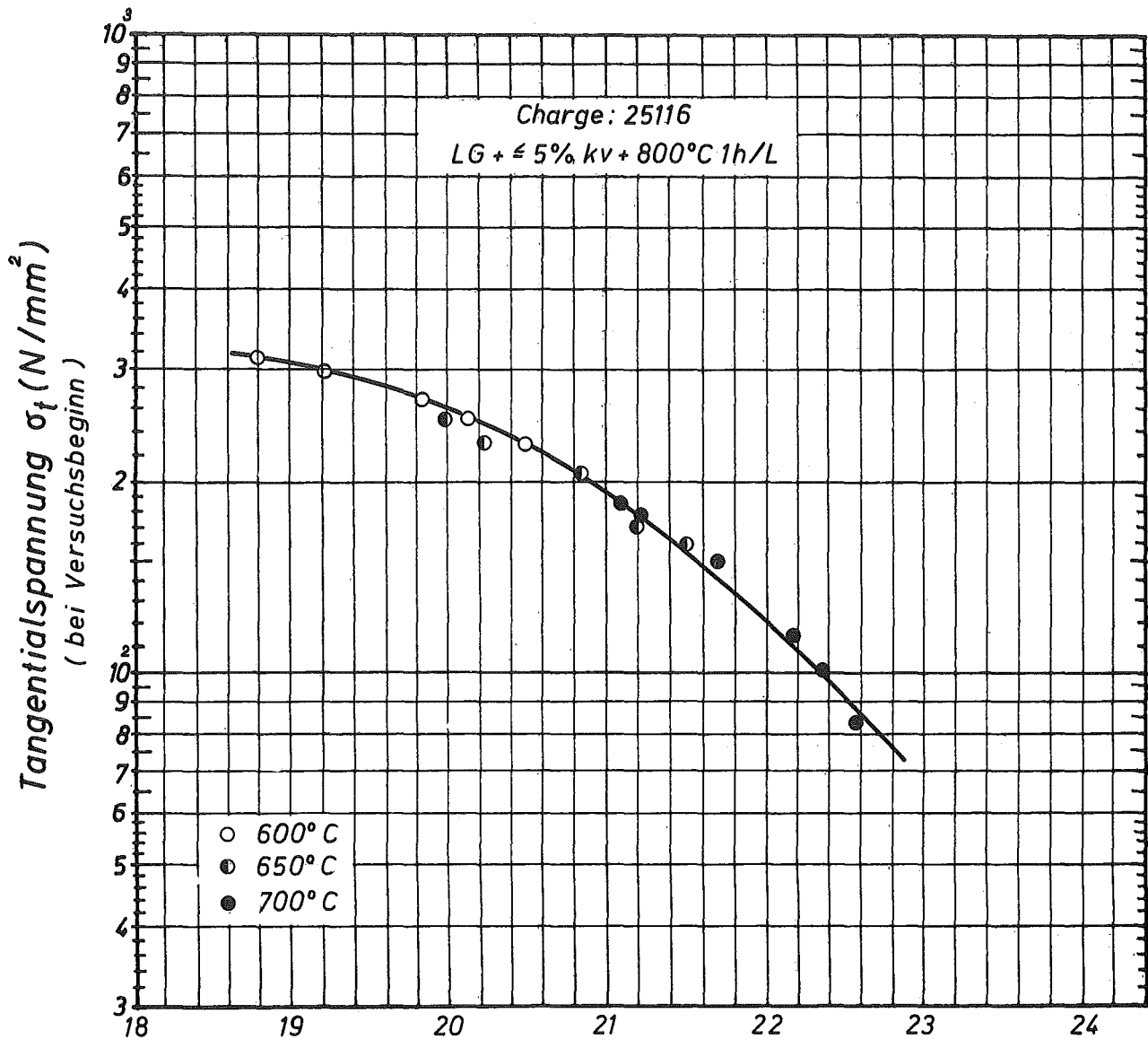


Abb. 7 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X 8CrNiMoVNb 1613
 Werkstoff-Nr. 1.4988



$$P = T_k (20 + \log t_B) 10^{-3}$$

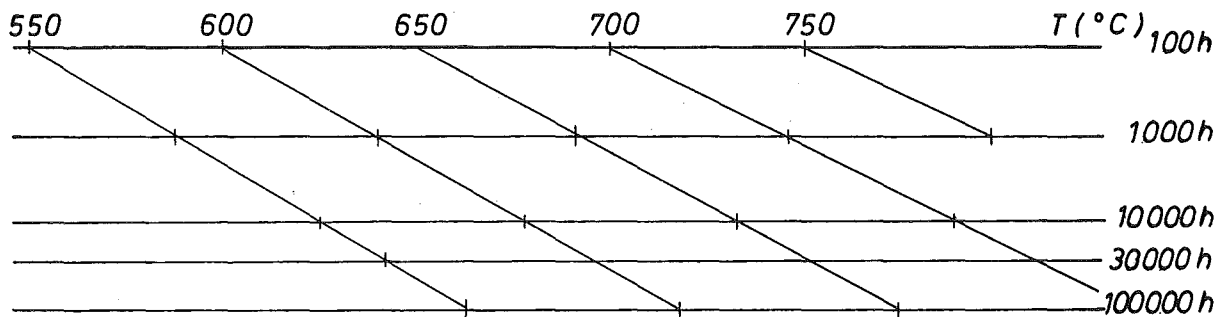


Abb. 8 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Mo V Nb 1613
Werkstoff - Nr. 14988

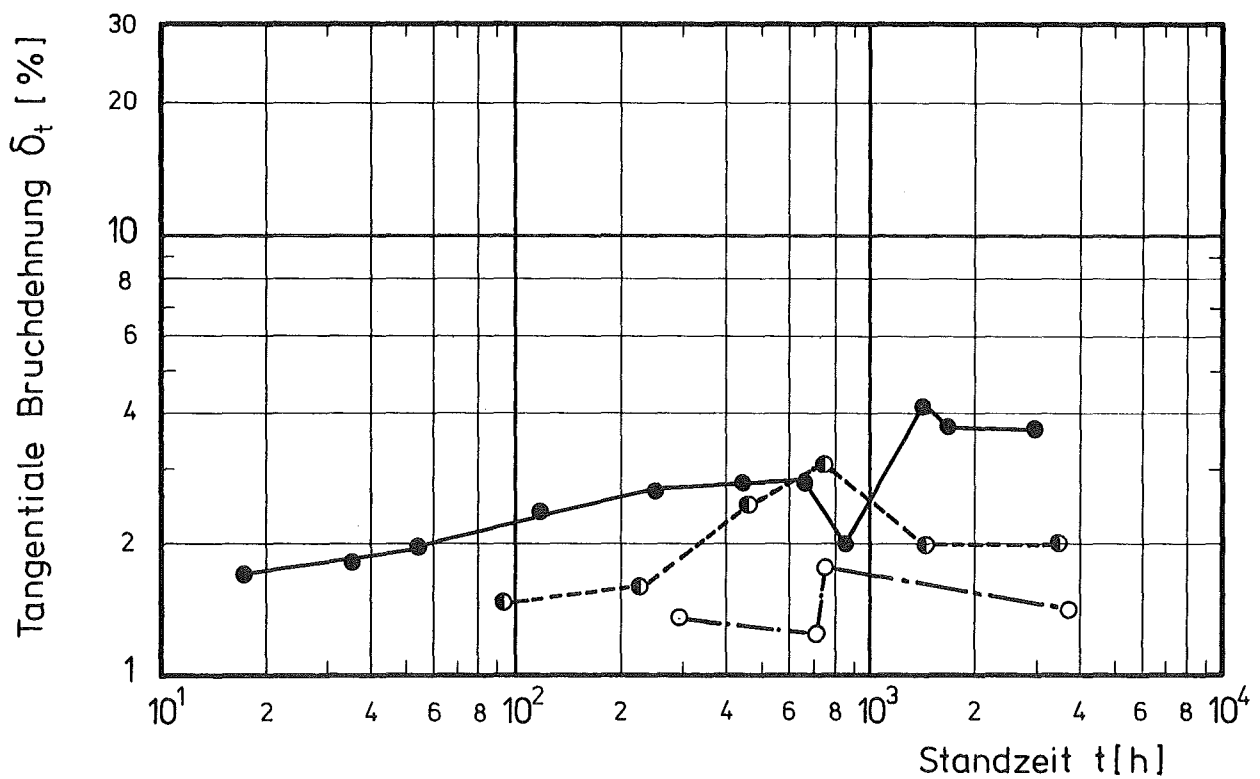
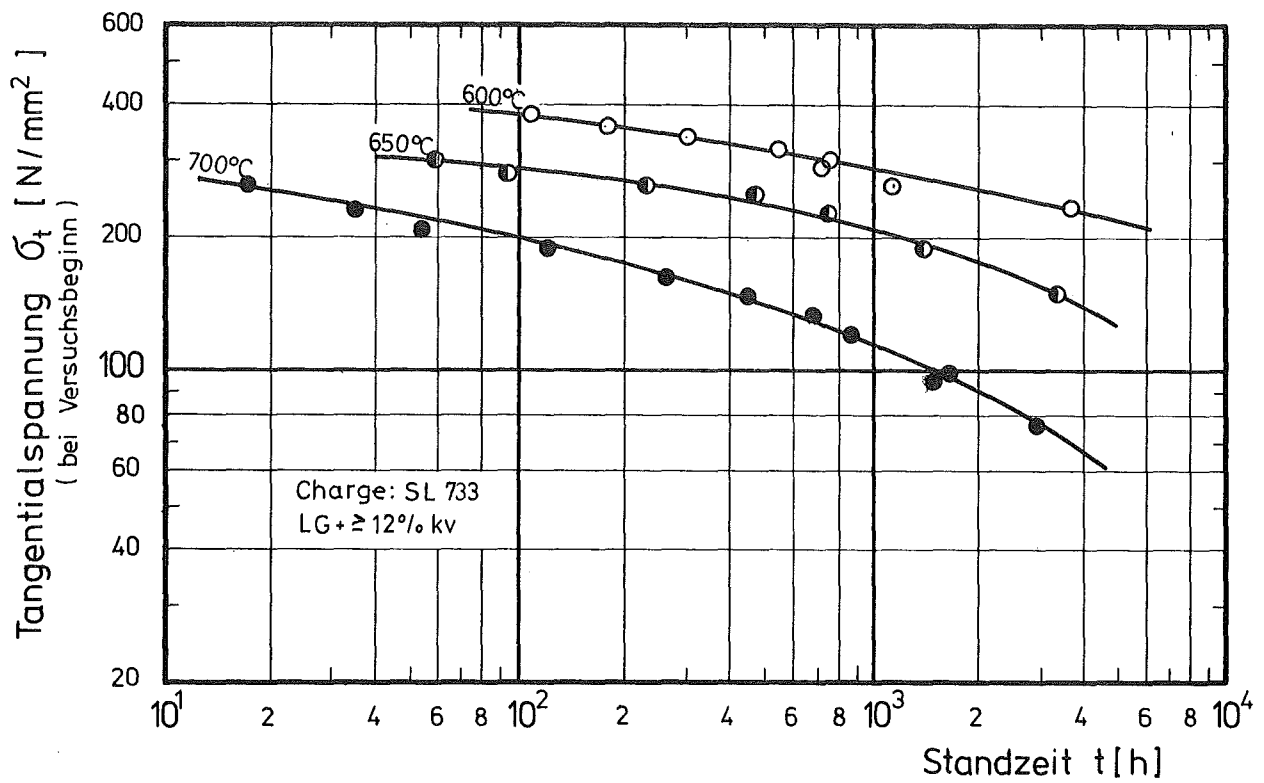
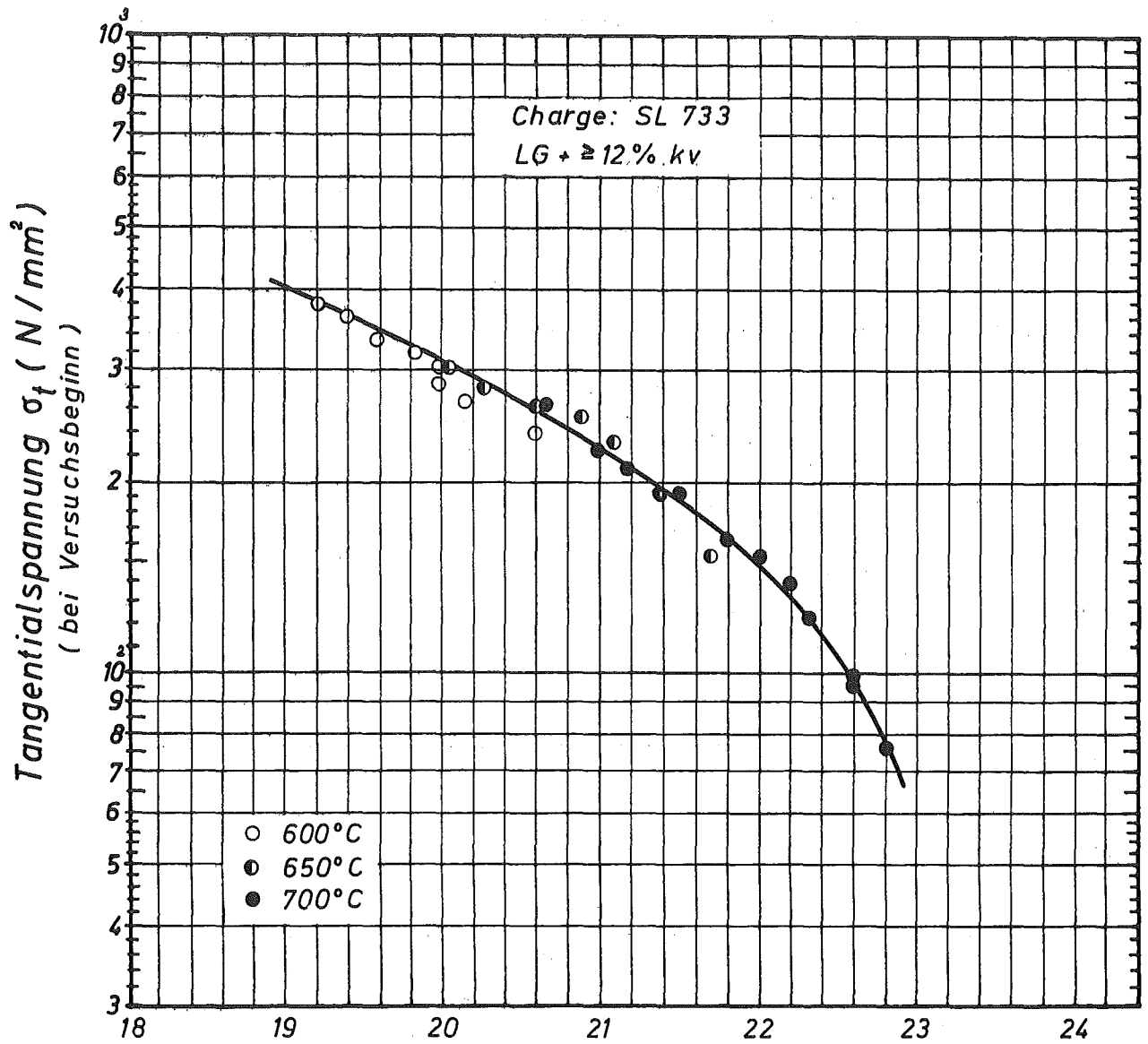


Abb. 9 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X 8 CrNiMoVNb 16 13
 Werkstoff - Nr. 1.4988



$$P = T_k (20 + \log t_B) 10^{-3}$$

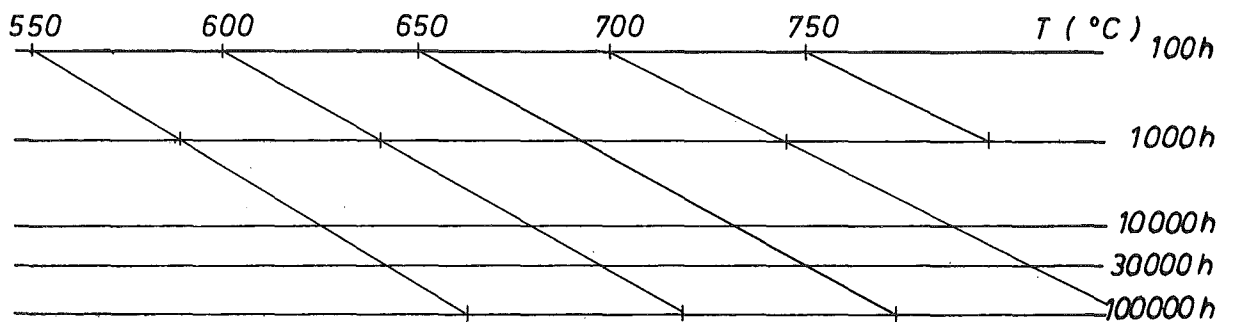


Abb.10 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X8 Cr Ni Mo VNb 1613
Werkstoff - Nr. 1.4988

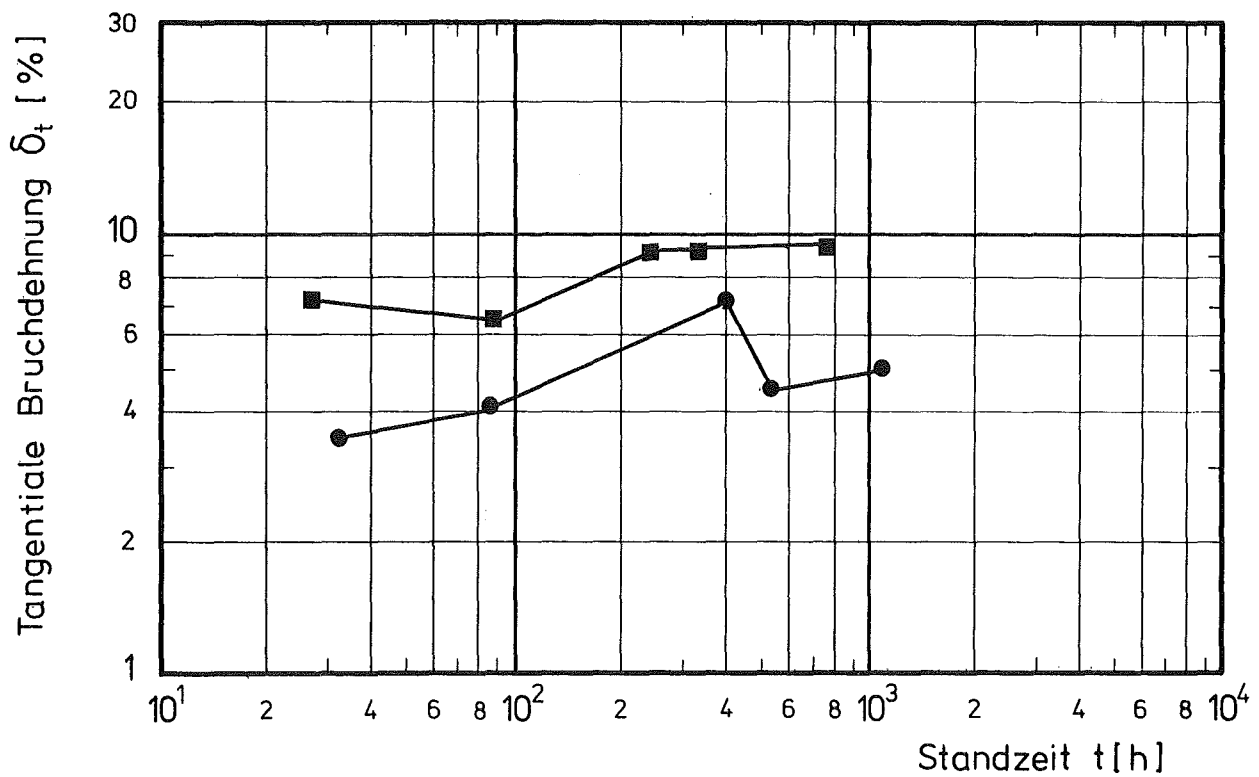
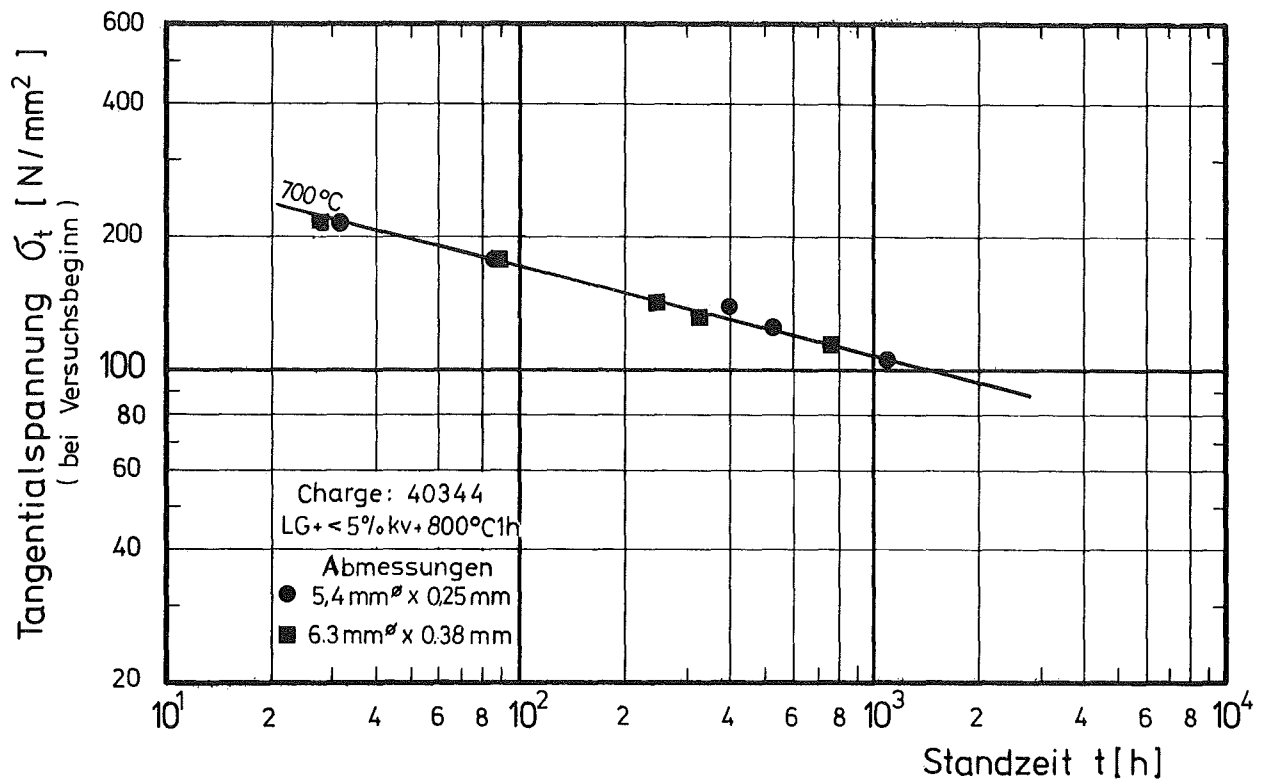


Abb.11 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X8CrNiMoV Nb 1613
 Werkstoff-Nr. 1.4988

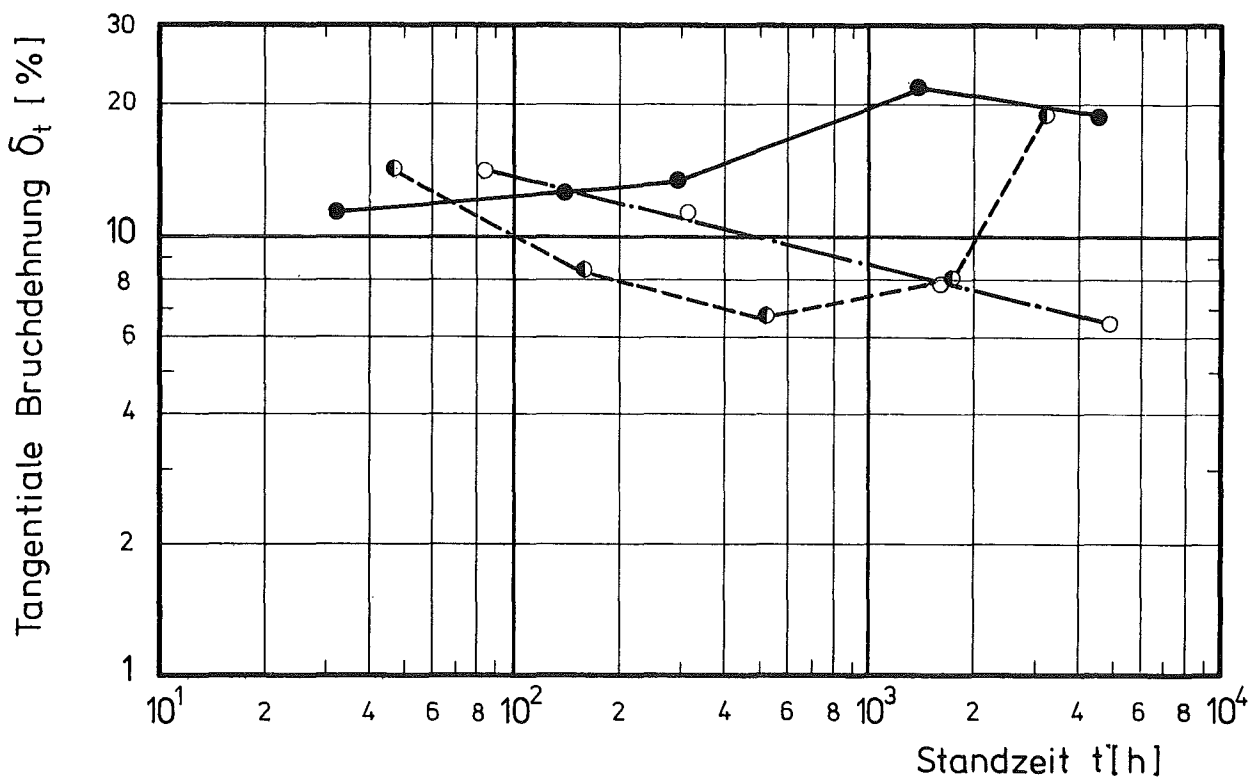
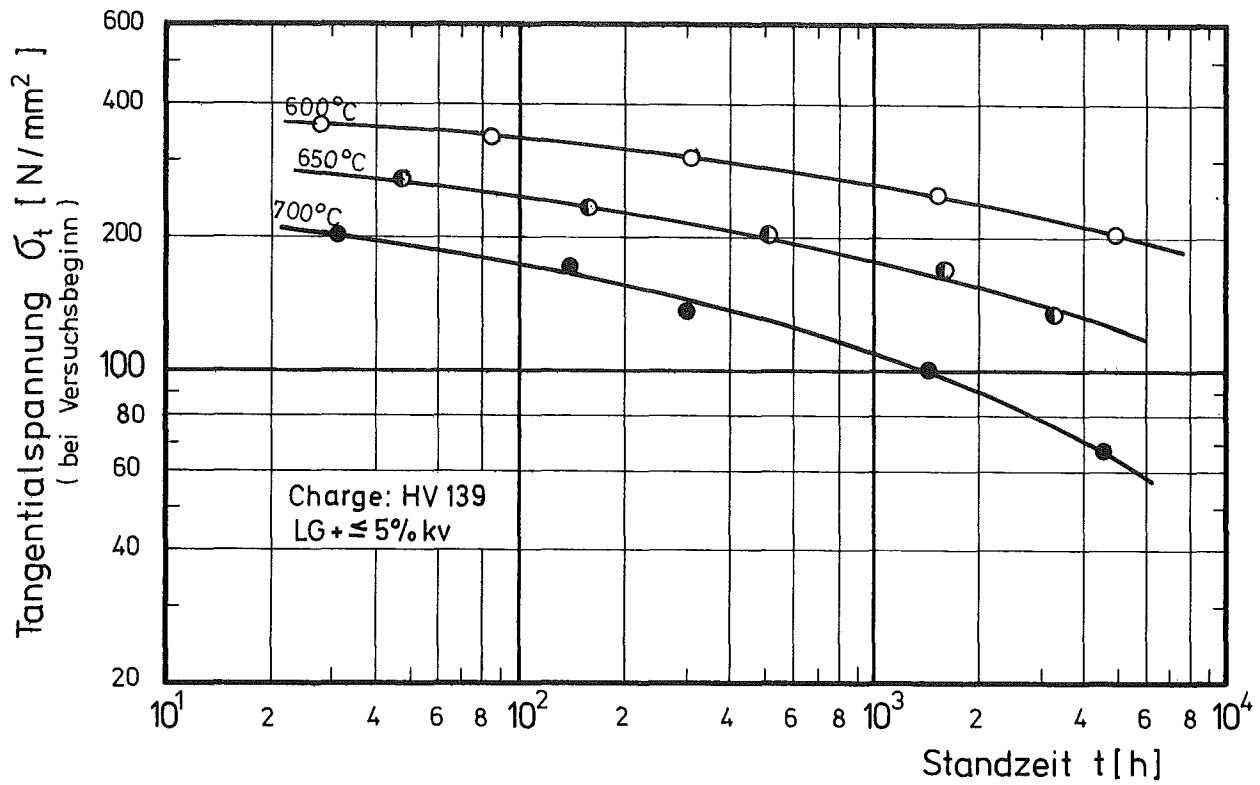


Abb.12 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
Werkstoff-Nr. 1.4981

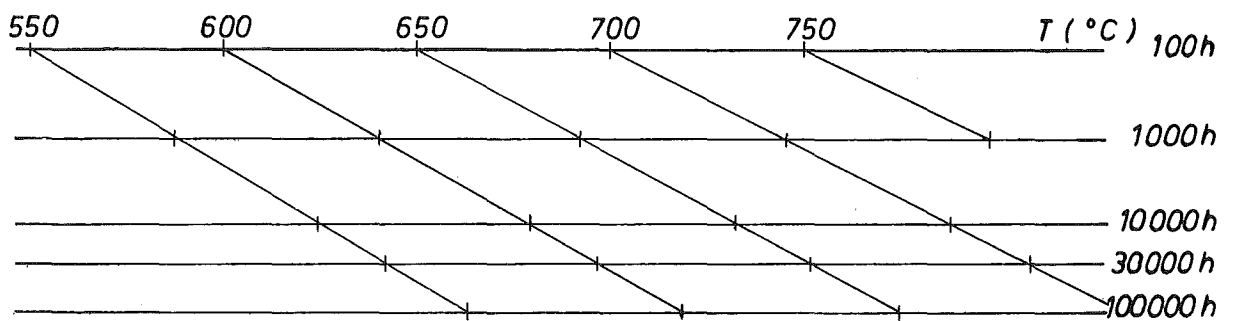
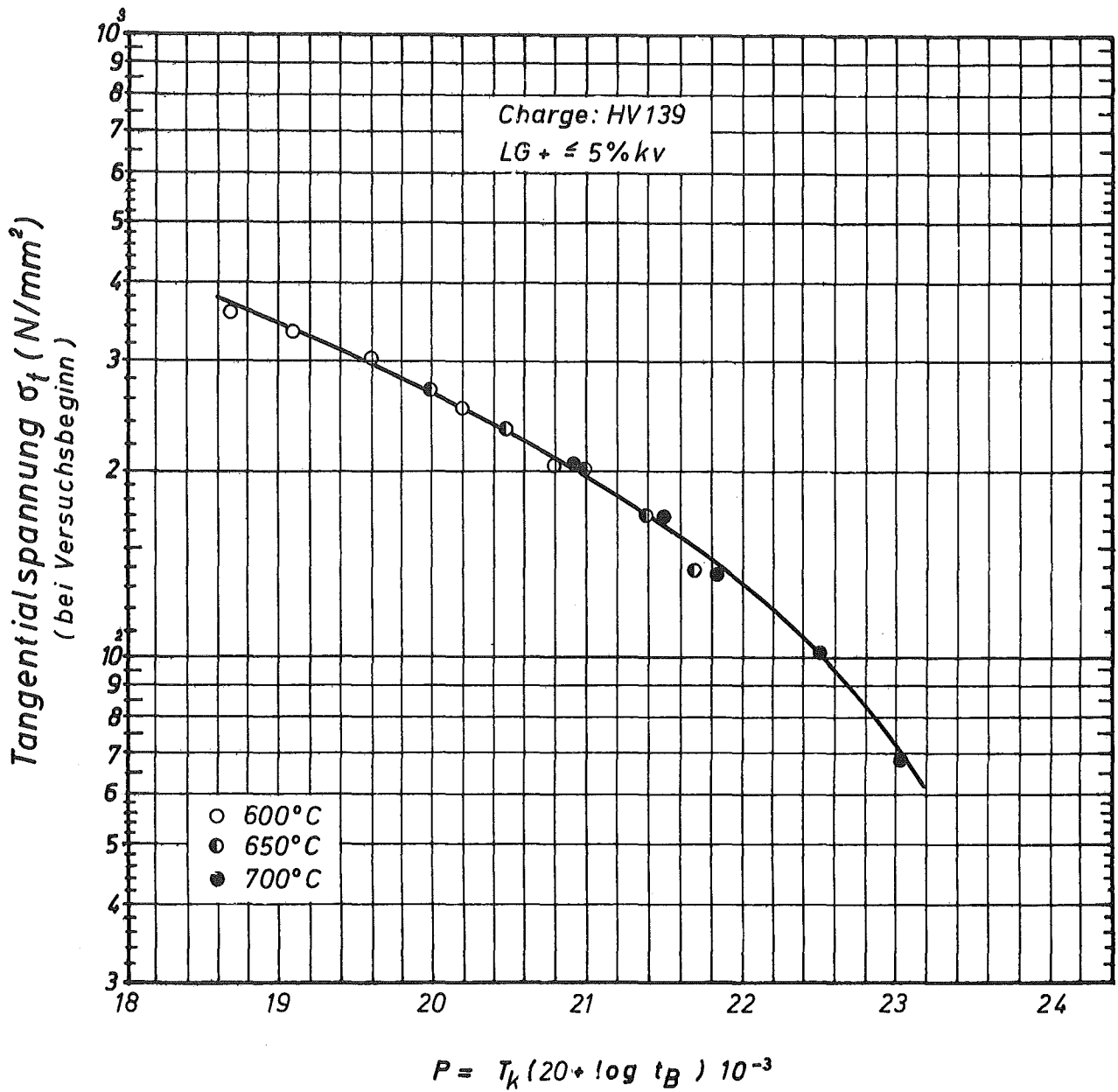


Abb.13 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austentischer Stahl X8 Cr Ni Mo Nb 1616
Werkstoff - Nr. 1.4981

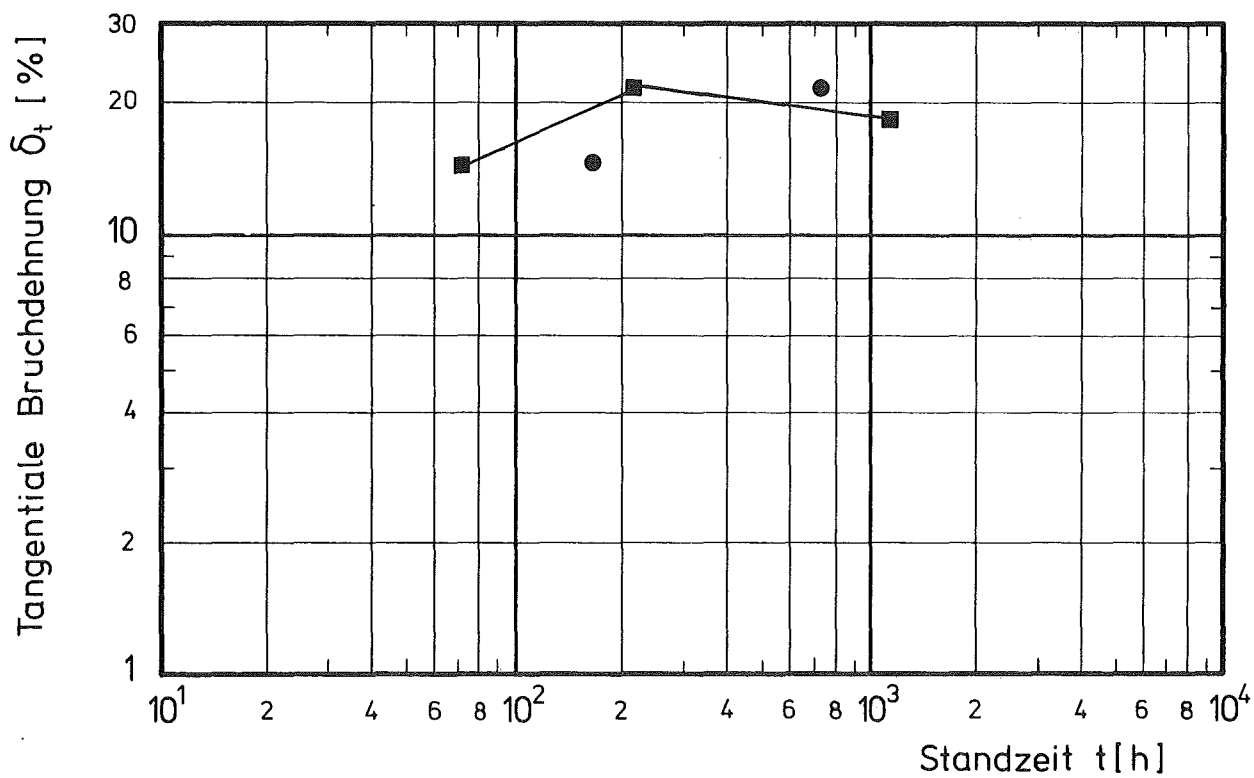
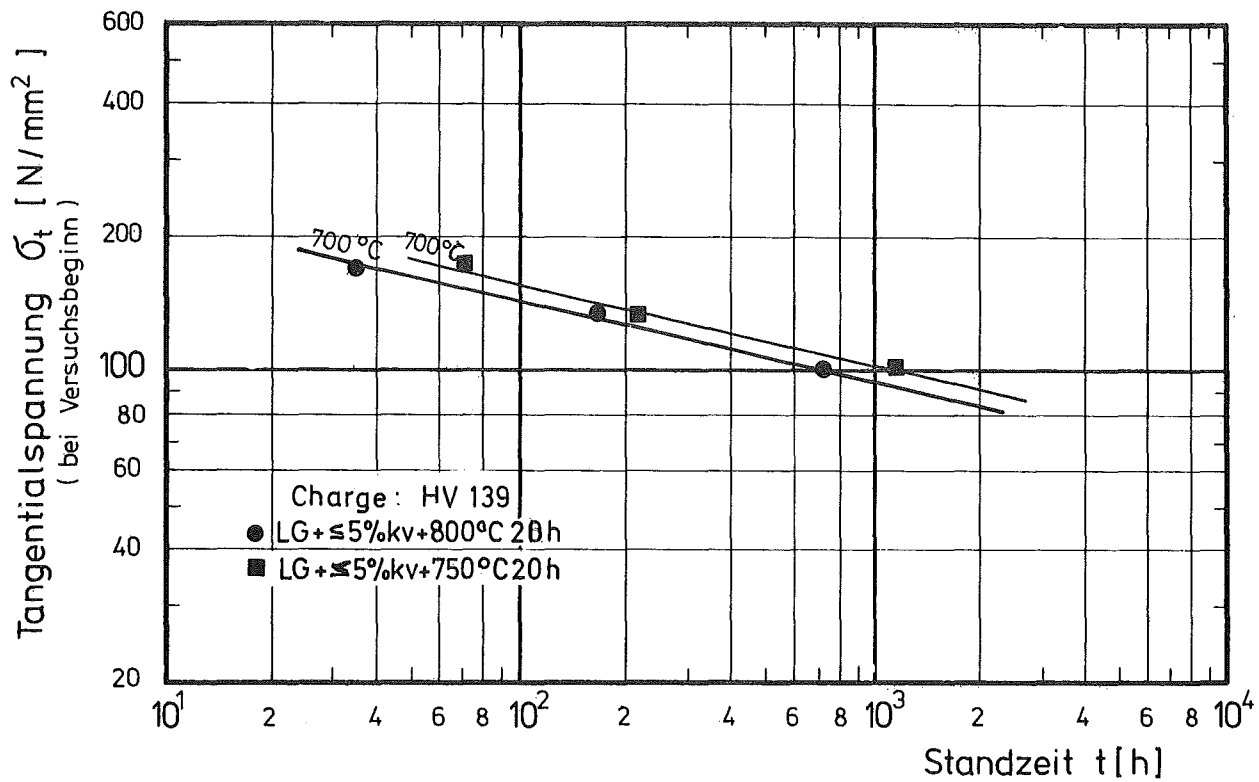


Abb.14 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
 Werkstoff-Nr. 1.4981

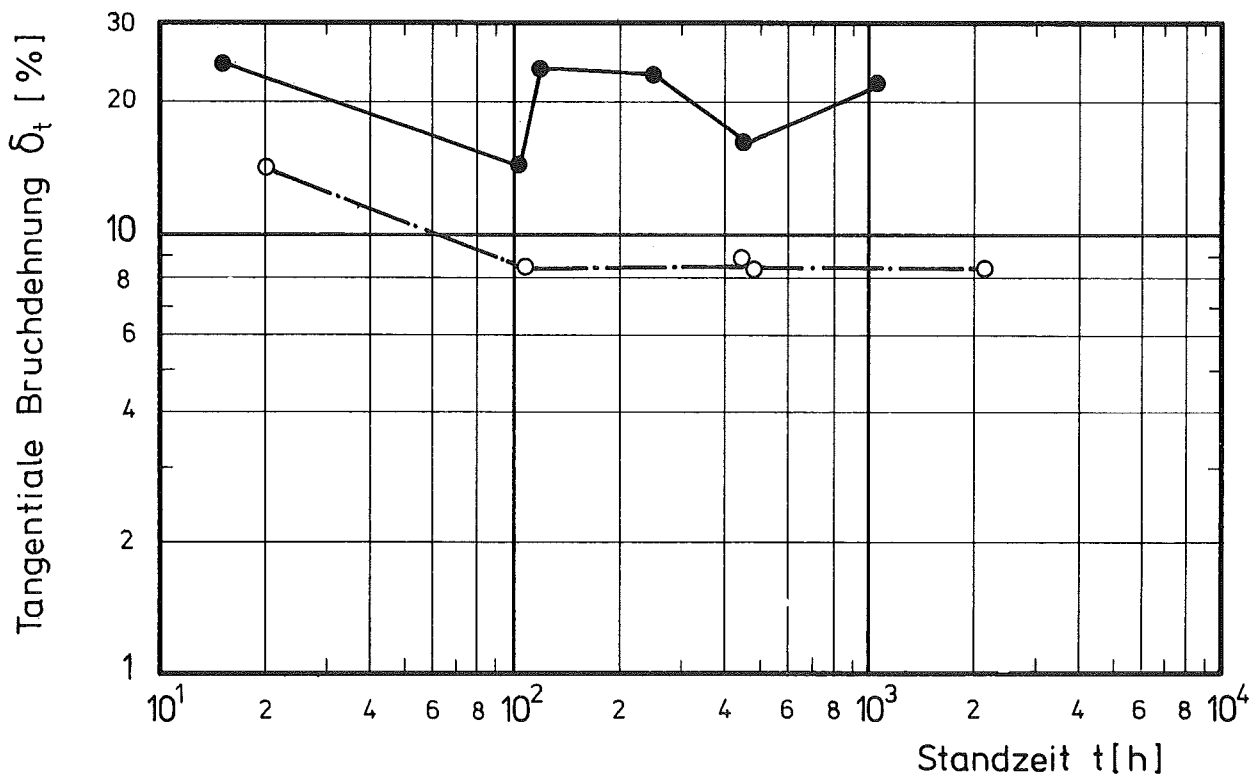
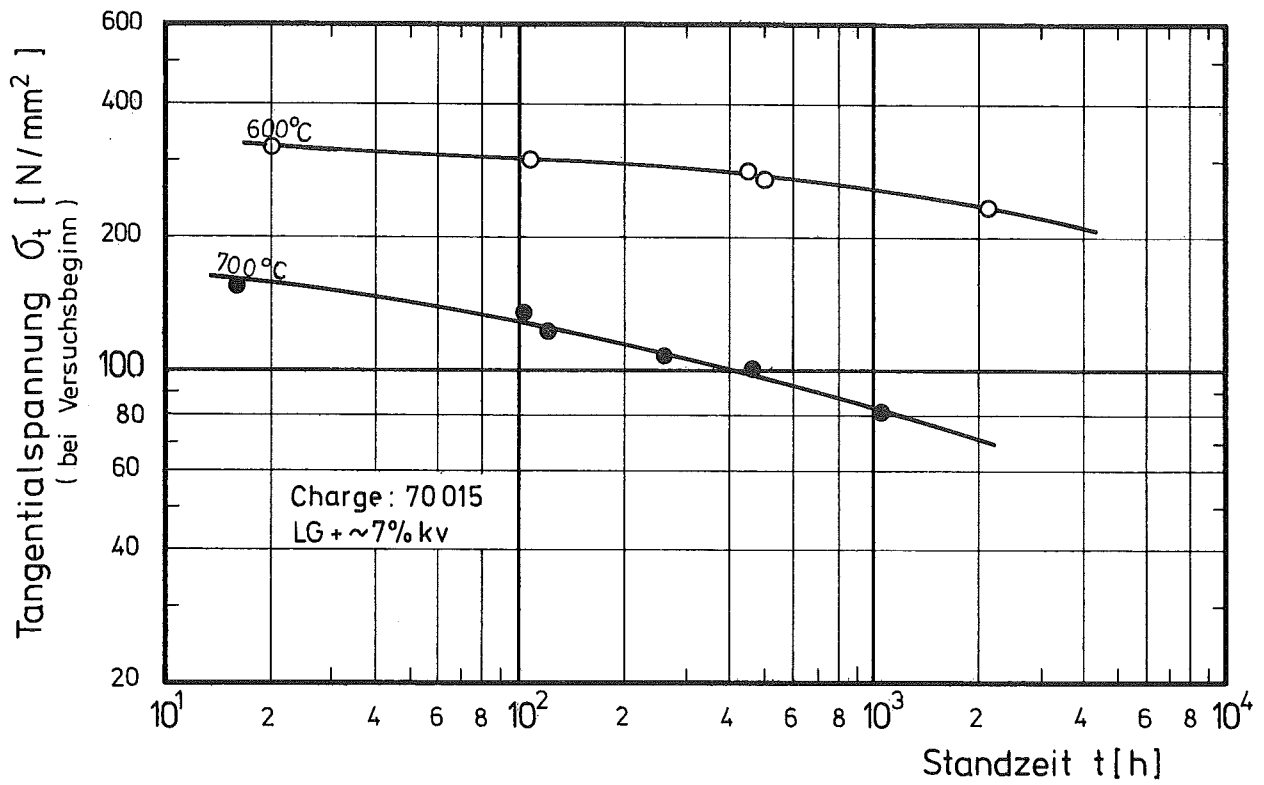
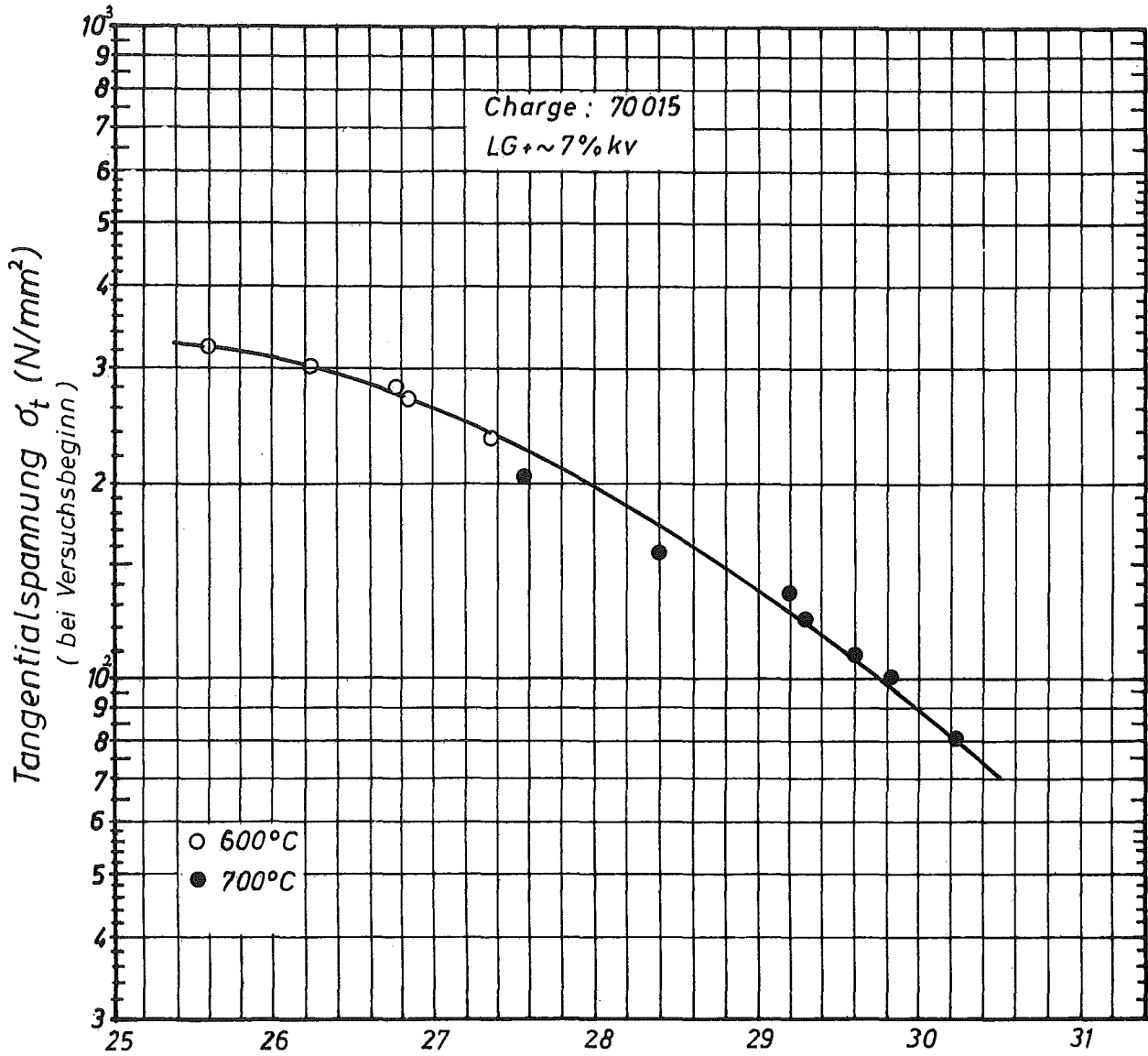


Abb.15 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 16 16
Werkstoff-Nr. 1.4981



$$P = T_K (28 + \log t_B) 10^{-3}$$

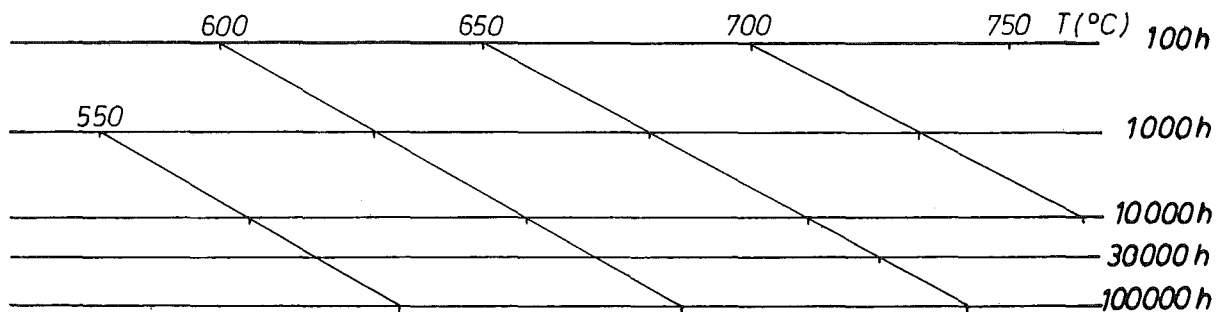


Abb.16 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
Werkstoff-Nr. 1.4981

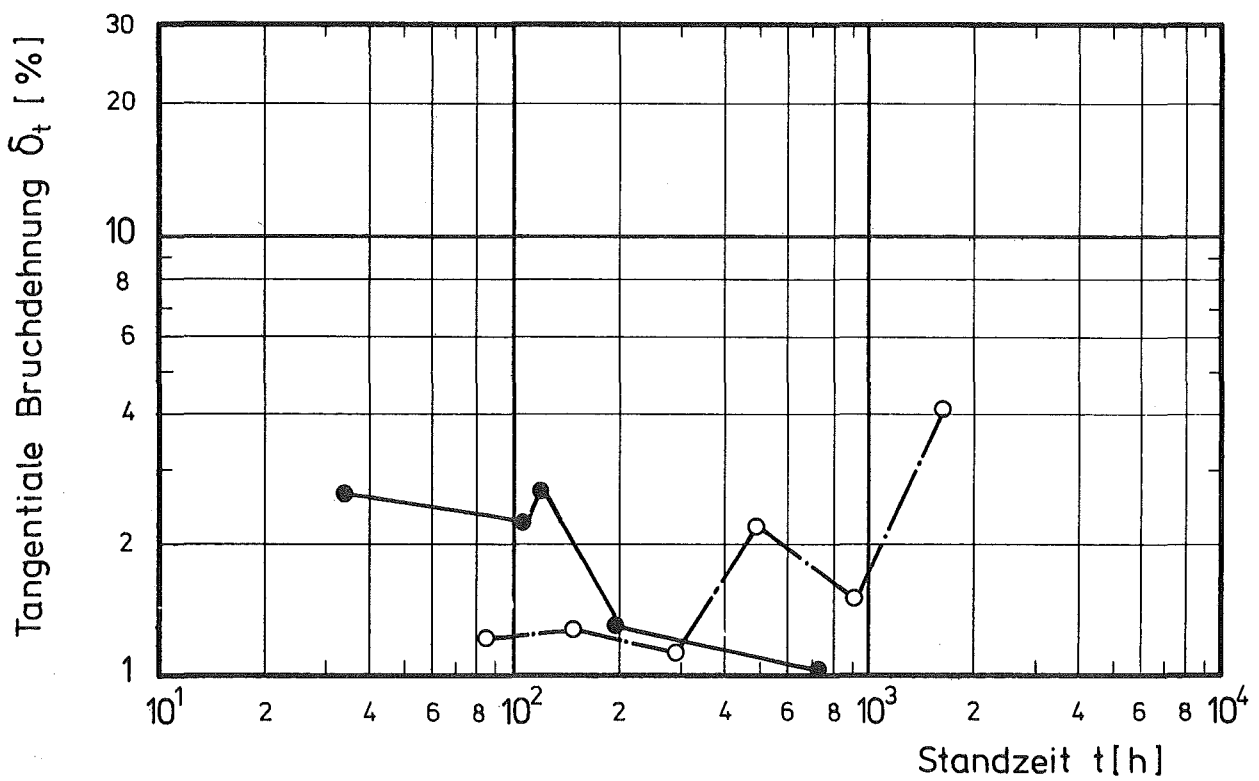
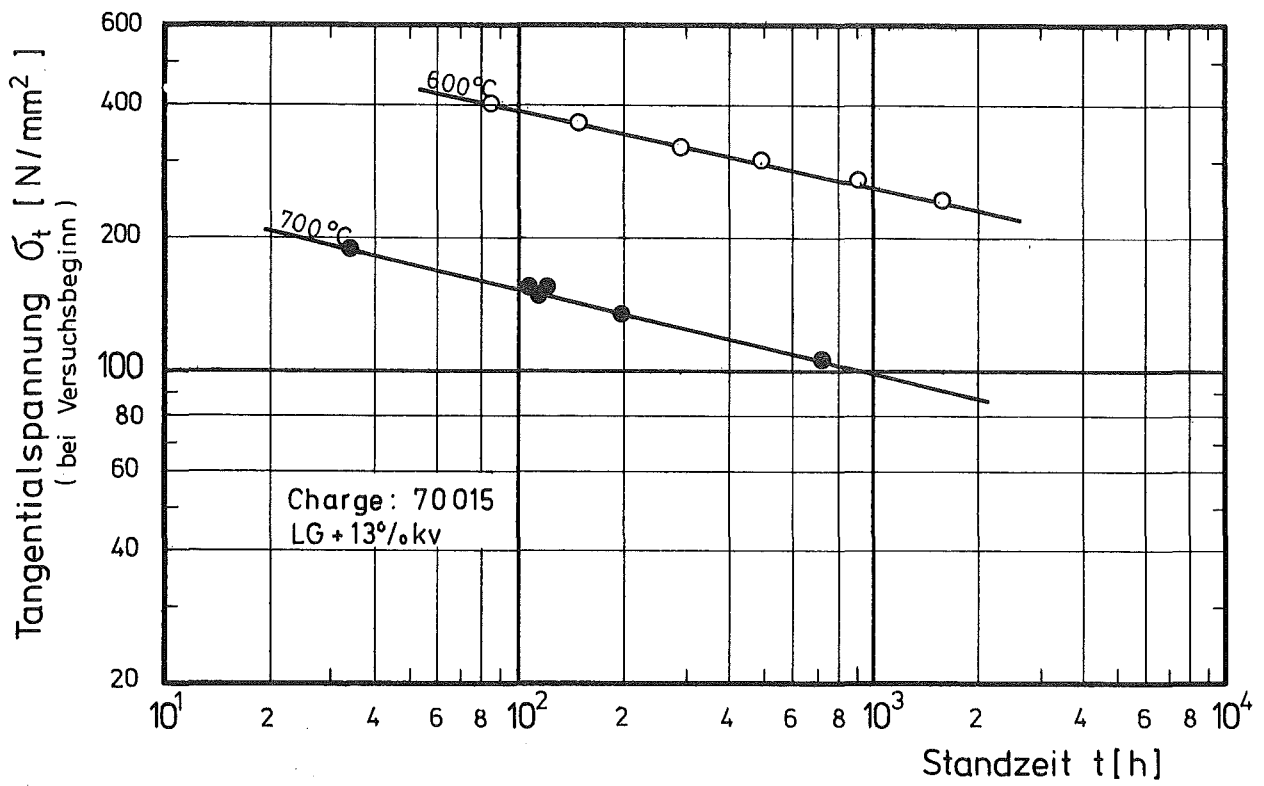


Abb.17 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
 Werkstoff-Nr. 1.4981

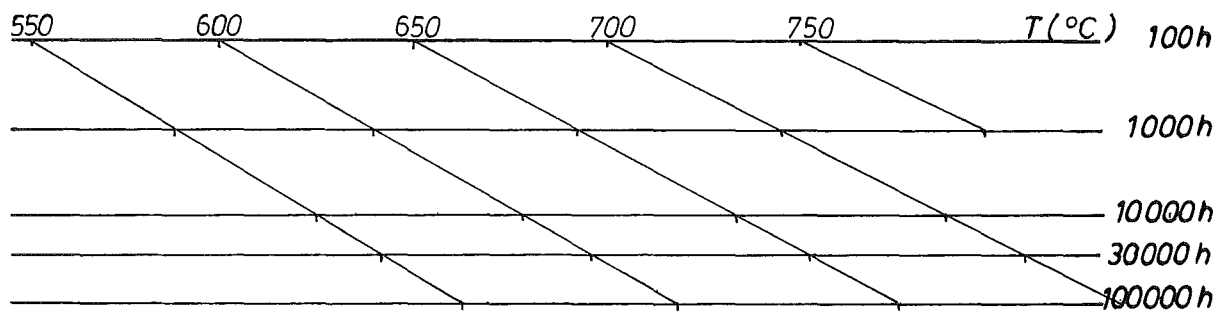
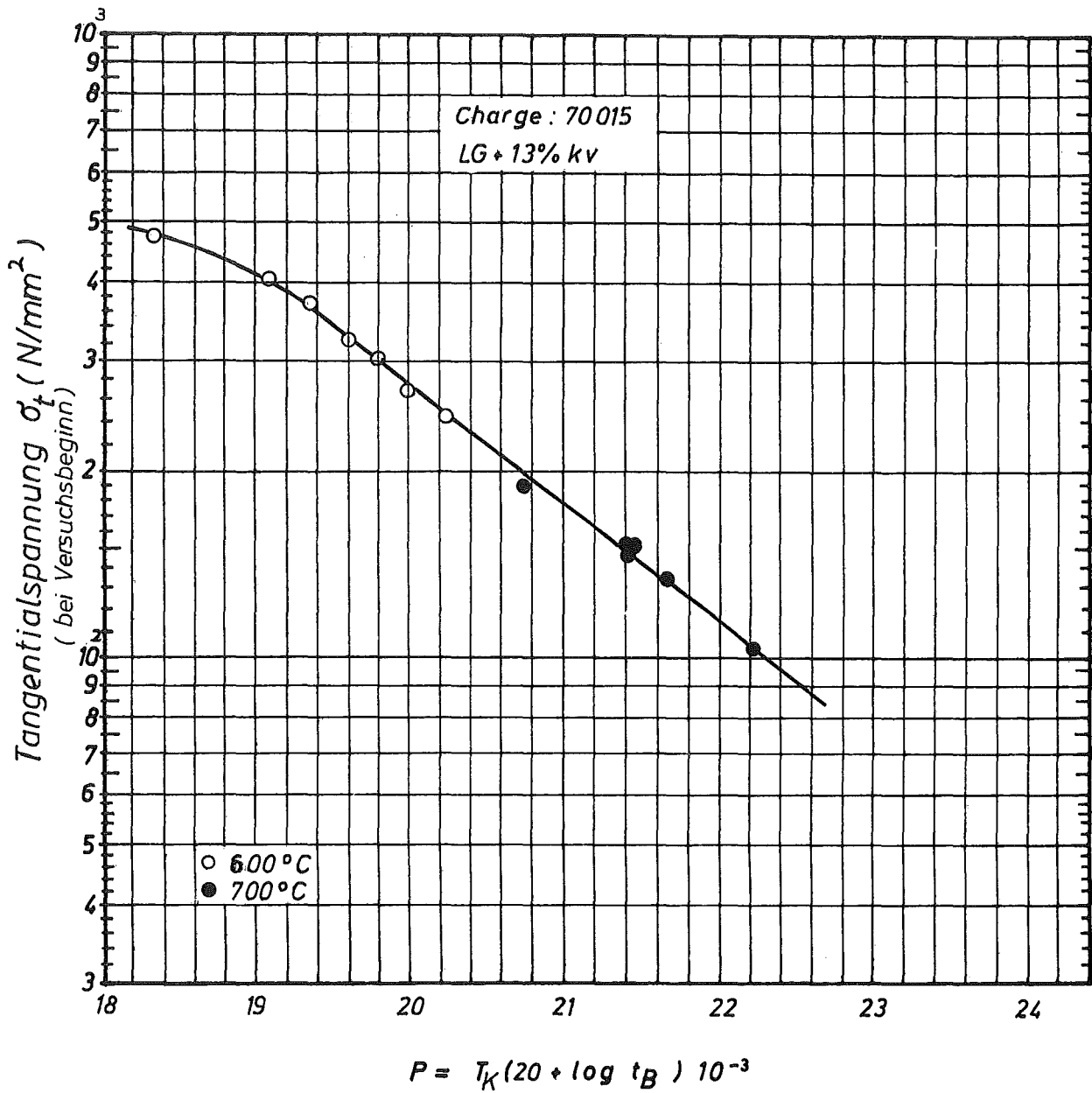


Abb. 18 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
Werkstoff-Nr. 1.4981

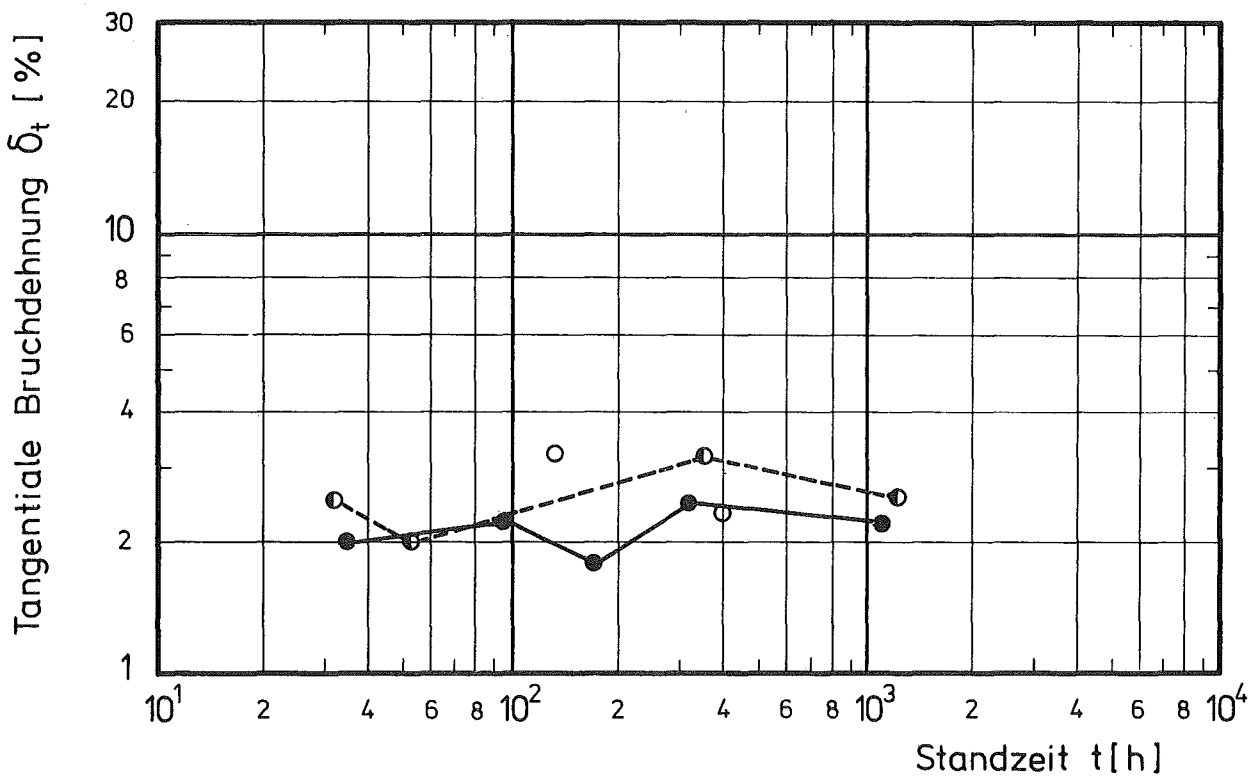
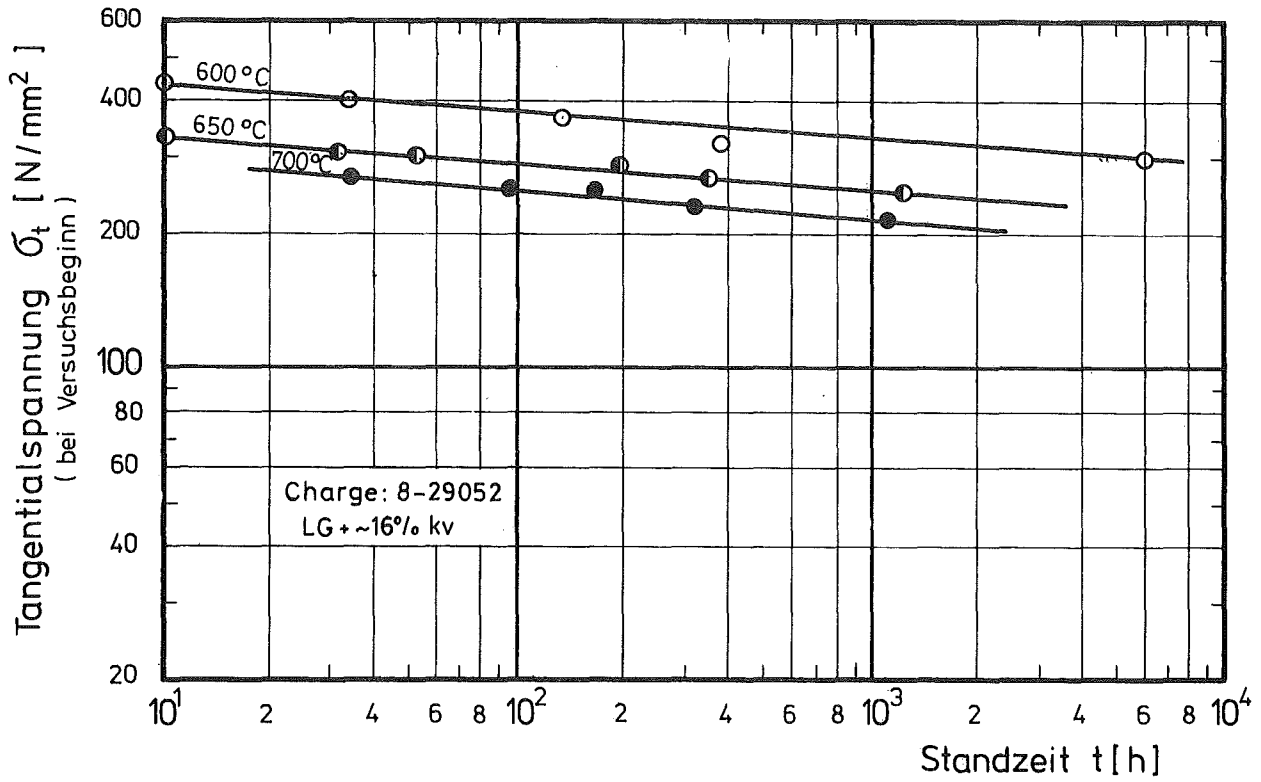
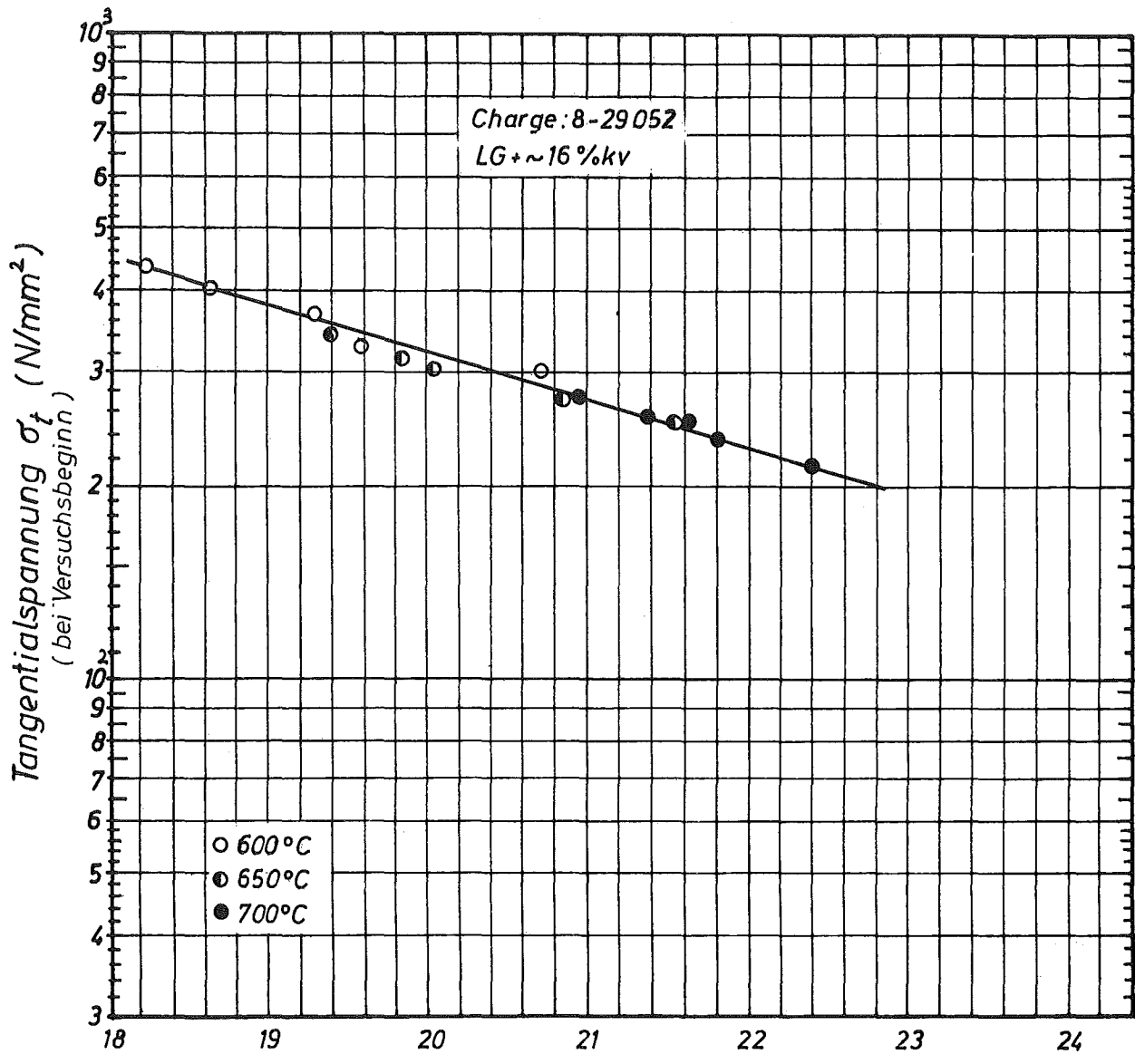


Abb.19 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff - Nr. 1.4970



$$P = T_K(20 + \log t_B) \cdot 10^{-3}$$

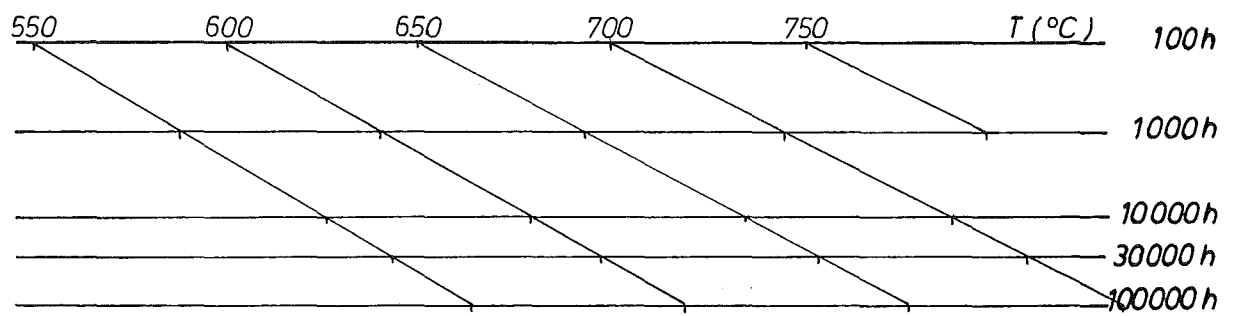


Abb. 20 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

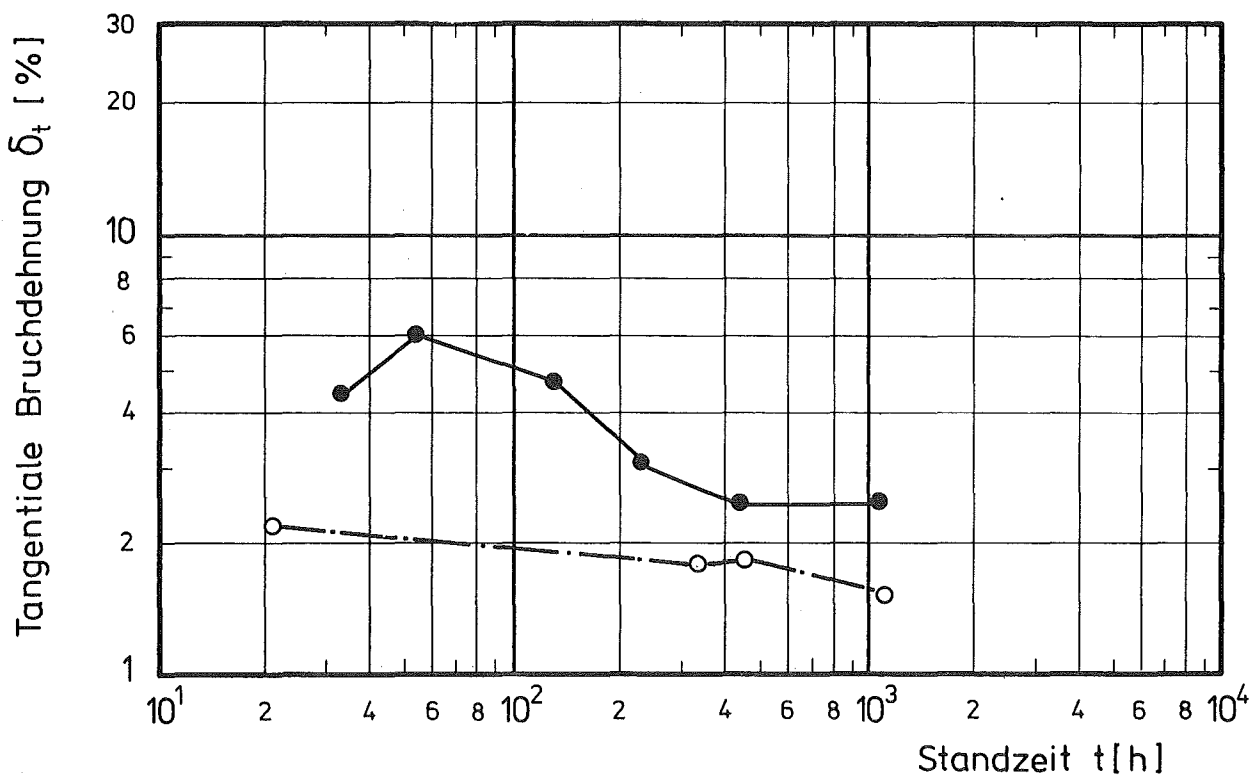
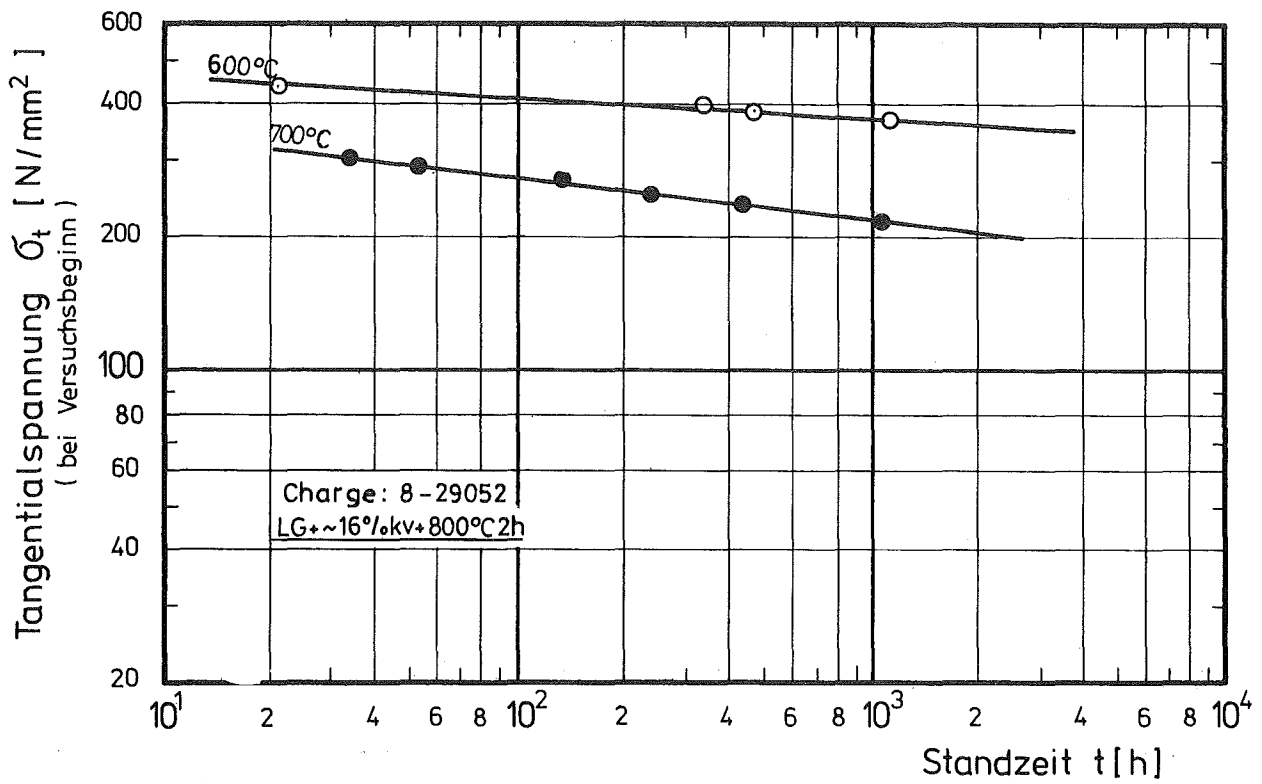
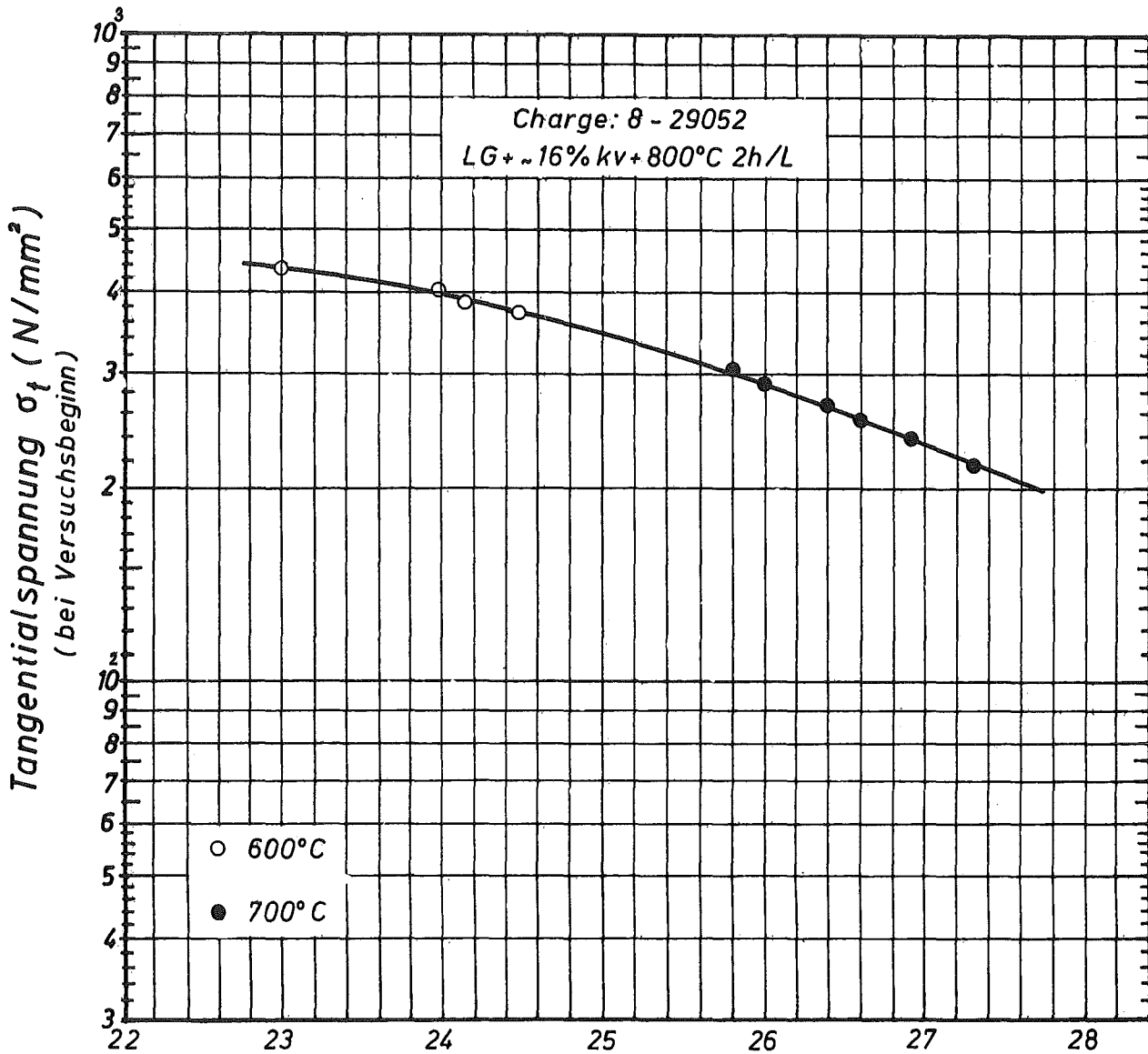


Abb. 21 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl X10 NiCrMoTiB 15 15
 Werkstoff - Nr. 1.4970



$$P = T_k (25 + \log t_B) 10^{-3}$$

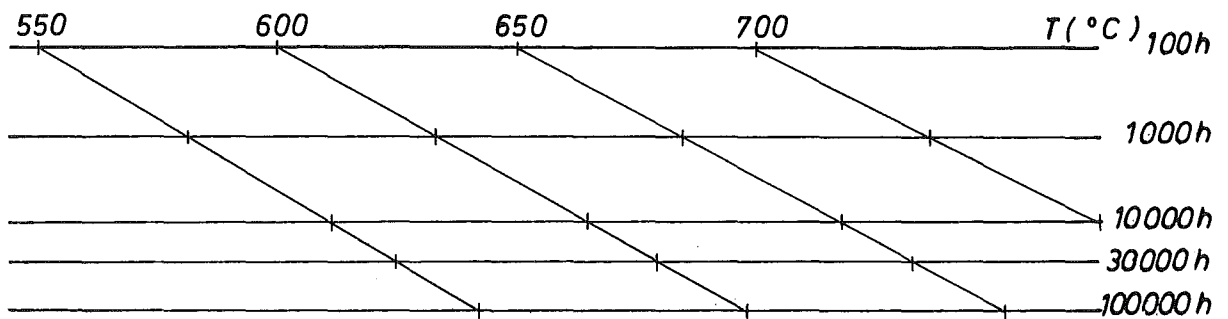


Abb. 22 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X10NiCr MoTi B 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

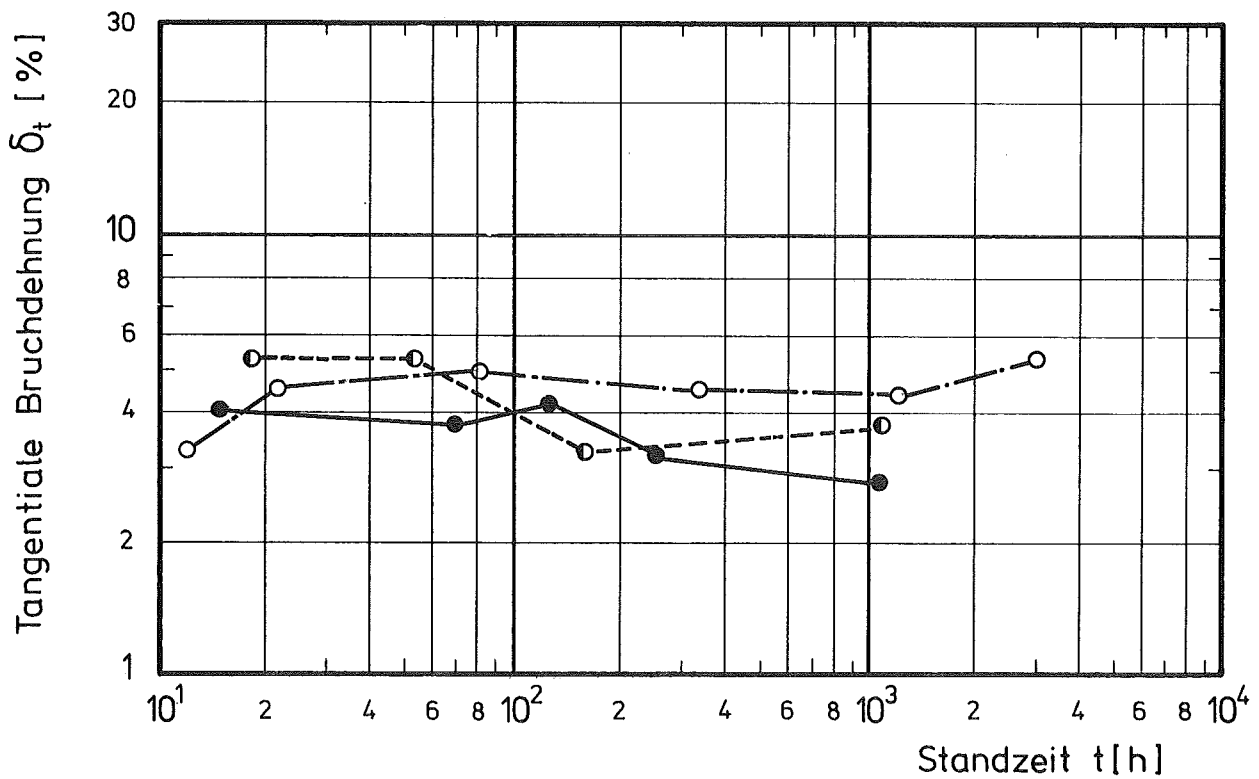
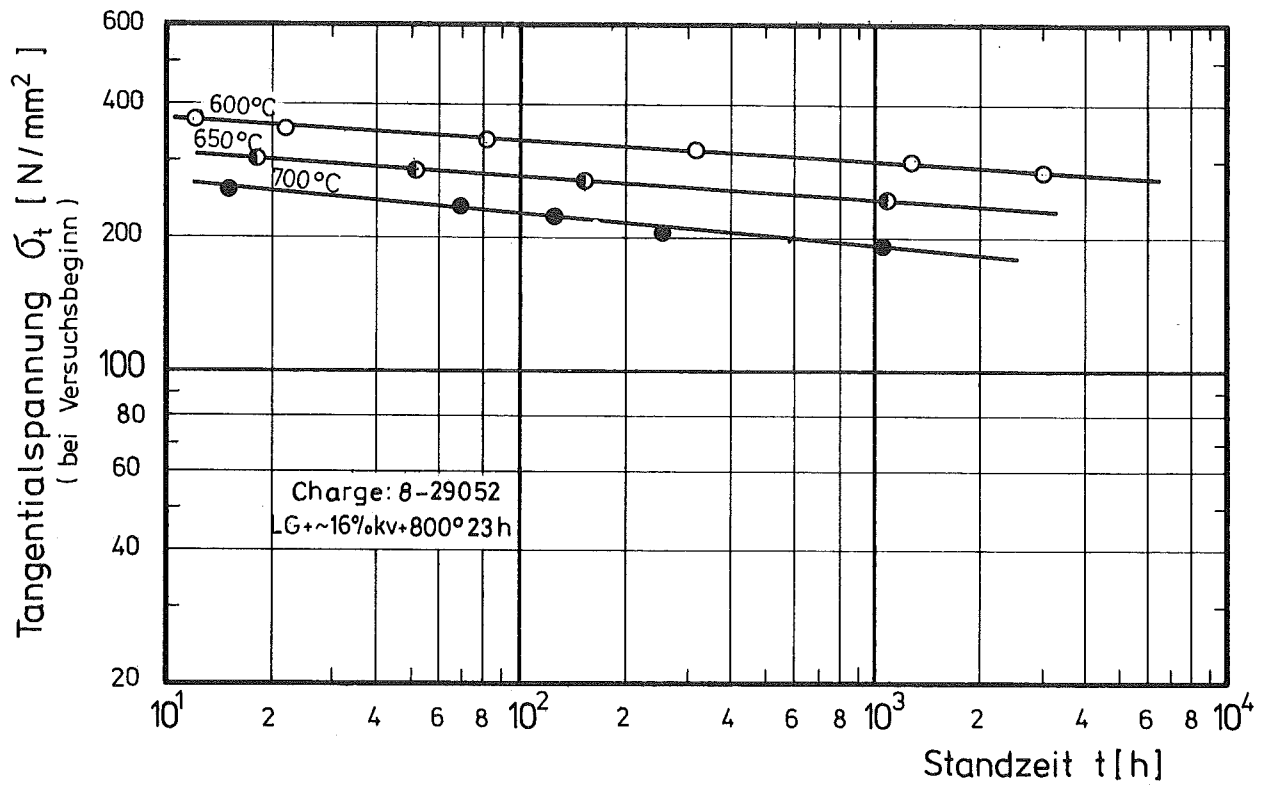
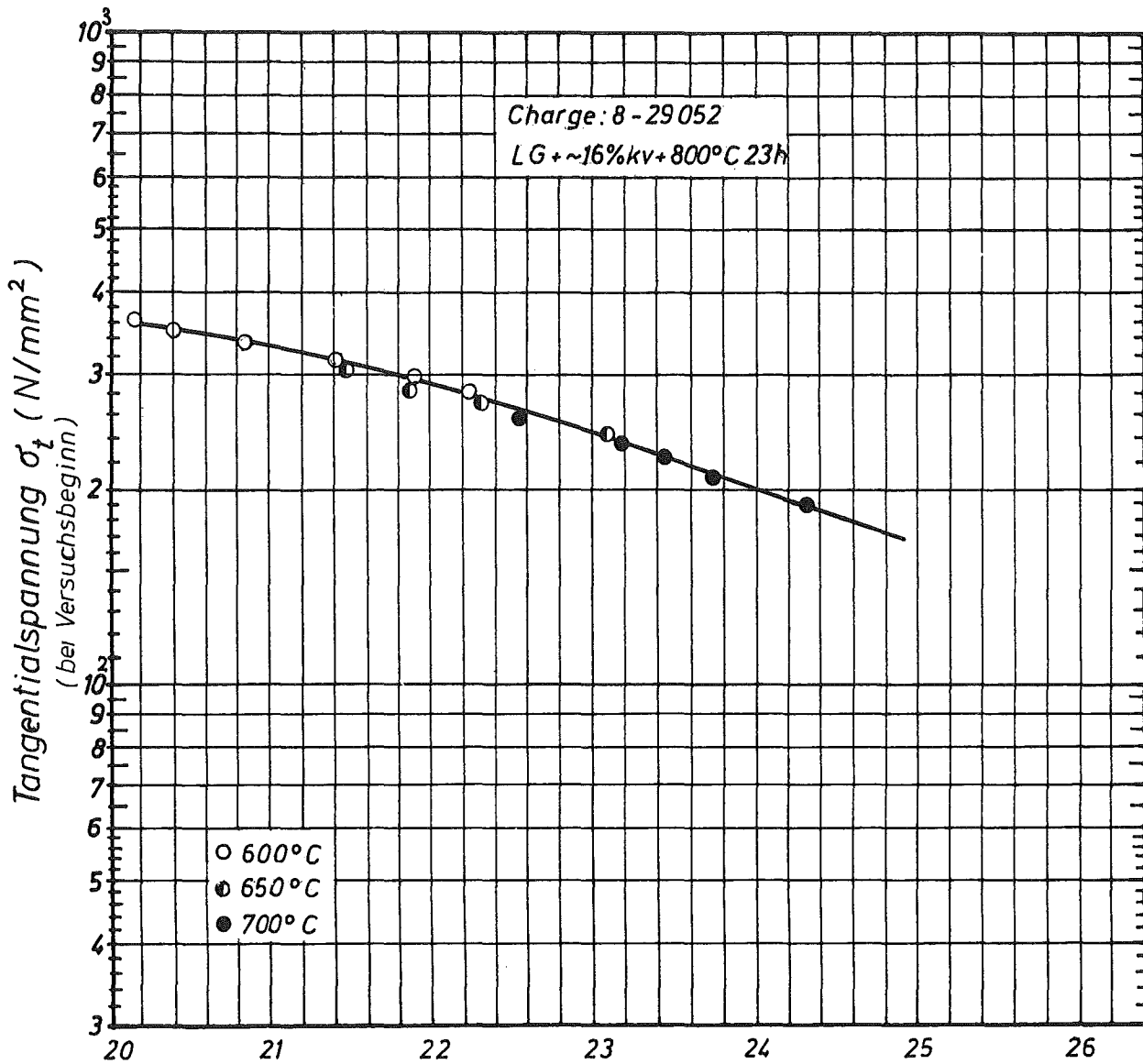


Abb. 23 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970



$$P = T_K (22 + \log t_B) 10^{-3}$$

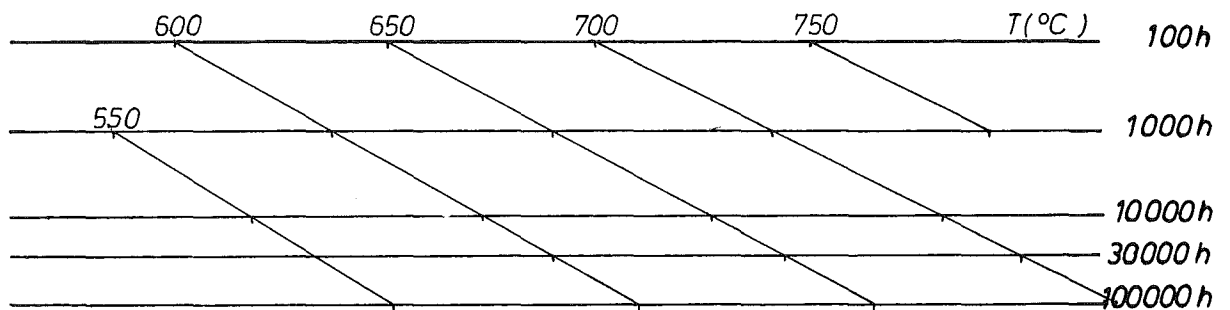


Abb. 24 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

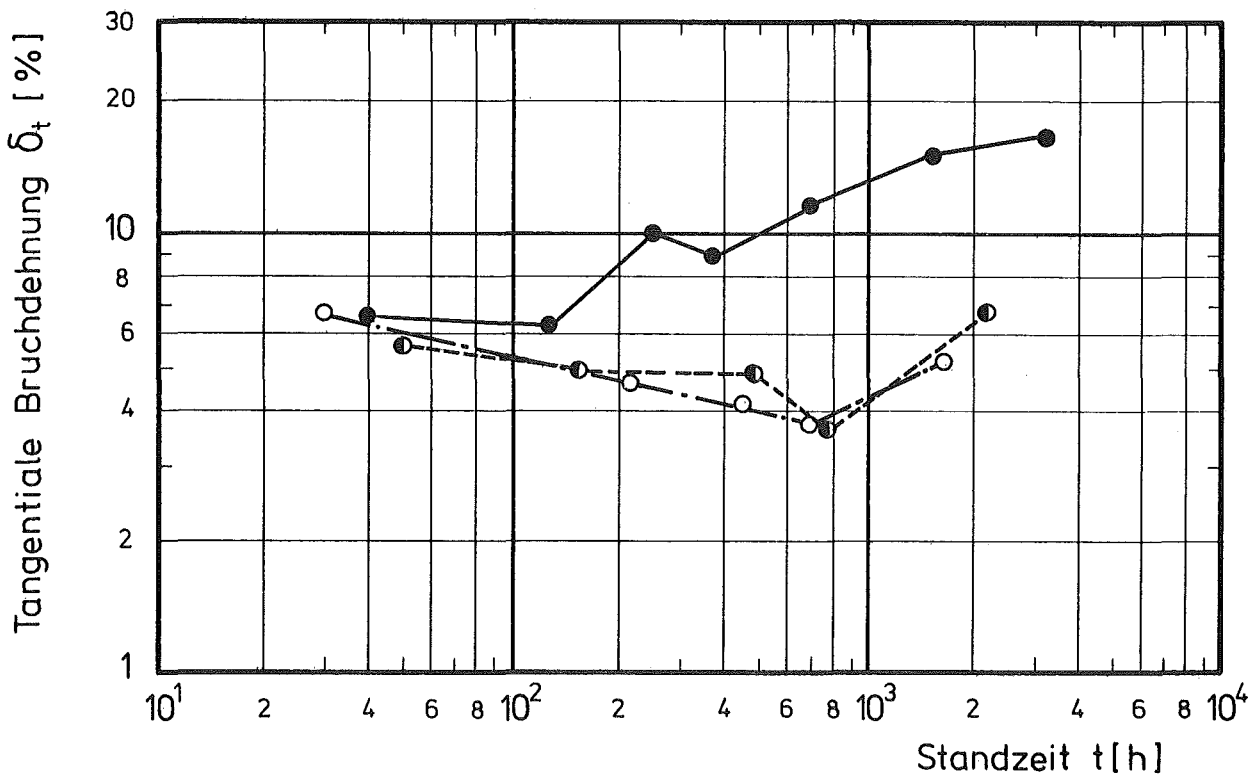
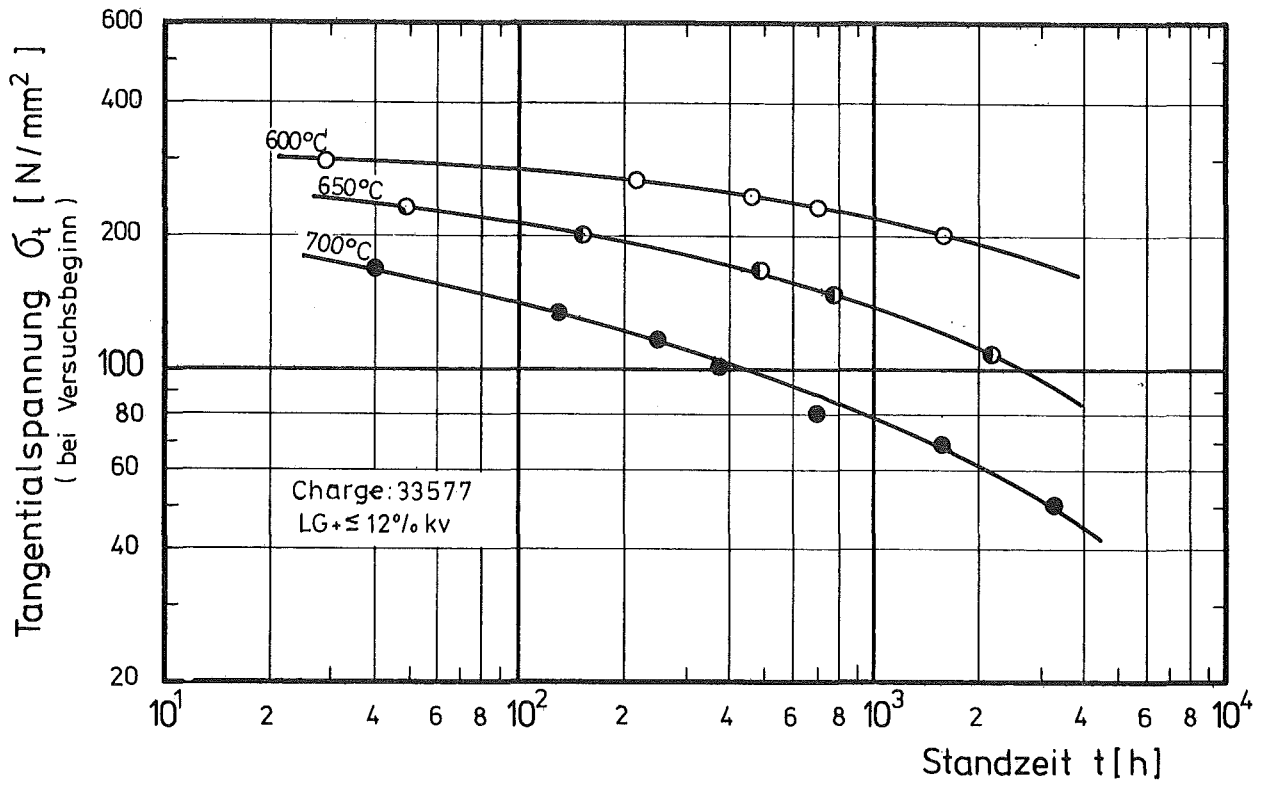
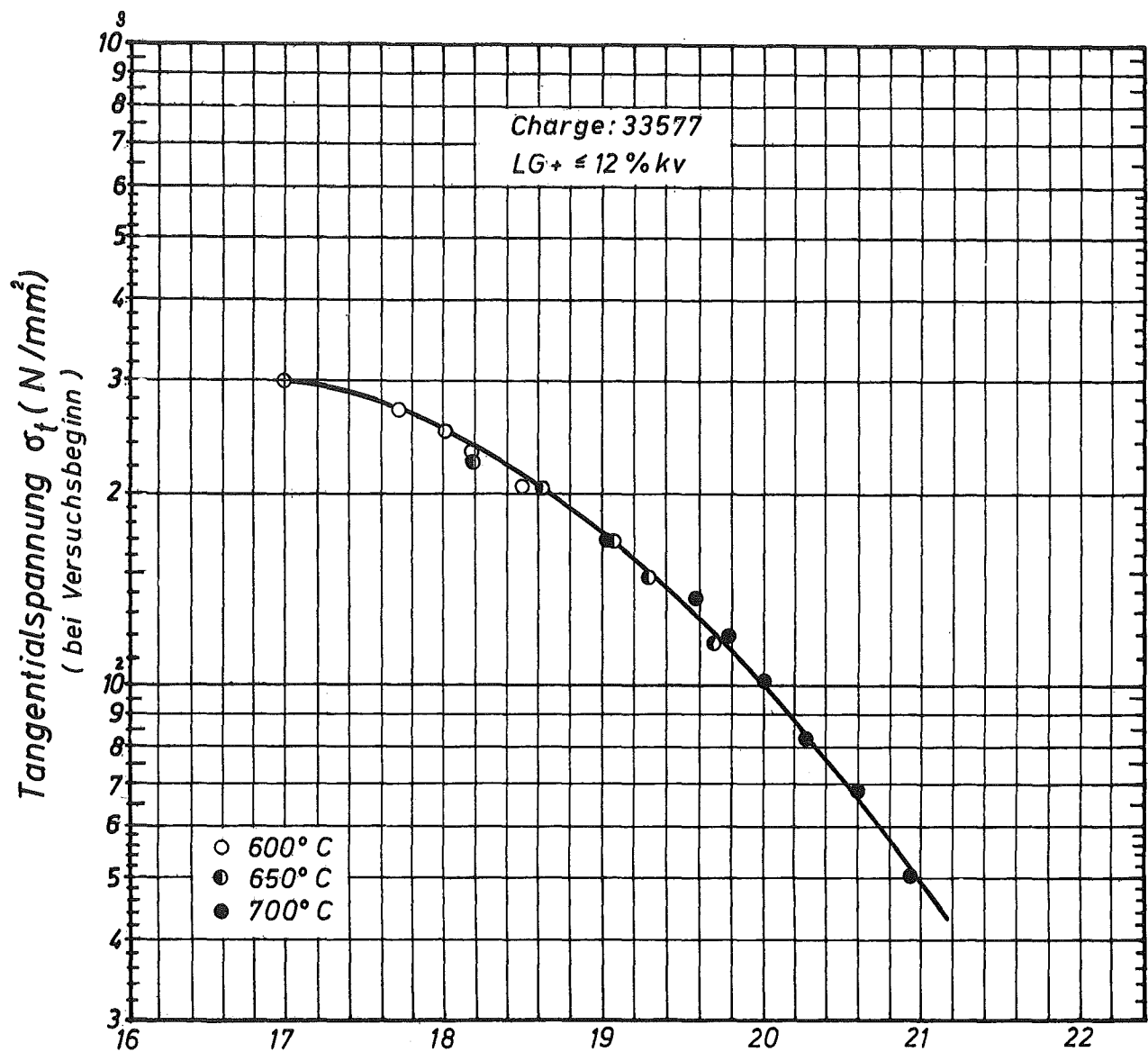


Abb. 25 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X8CrNiNb 1613
Werkstoff-Nr. 1.4961



$$P = T_k (20 + \log t_B) 10^{-3}$$

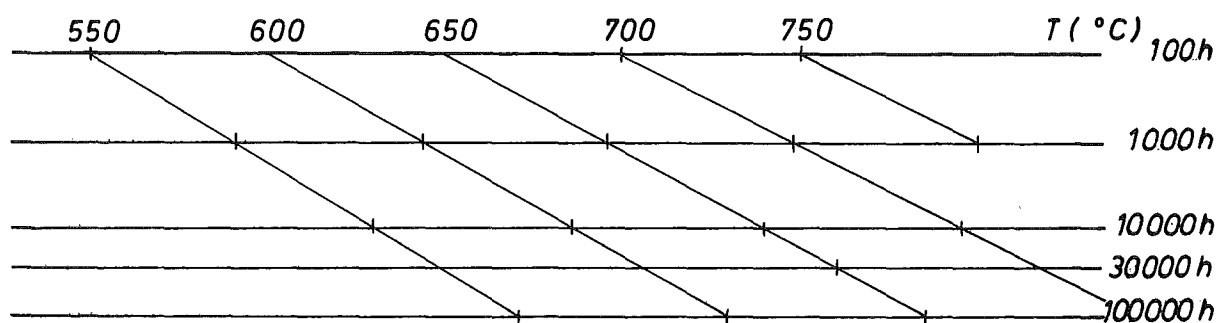


Abb.26 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson-Miller

Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Nb 1613
Werkstoff-Nr. 1.4961

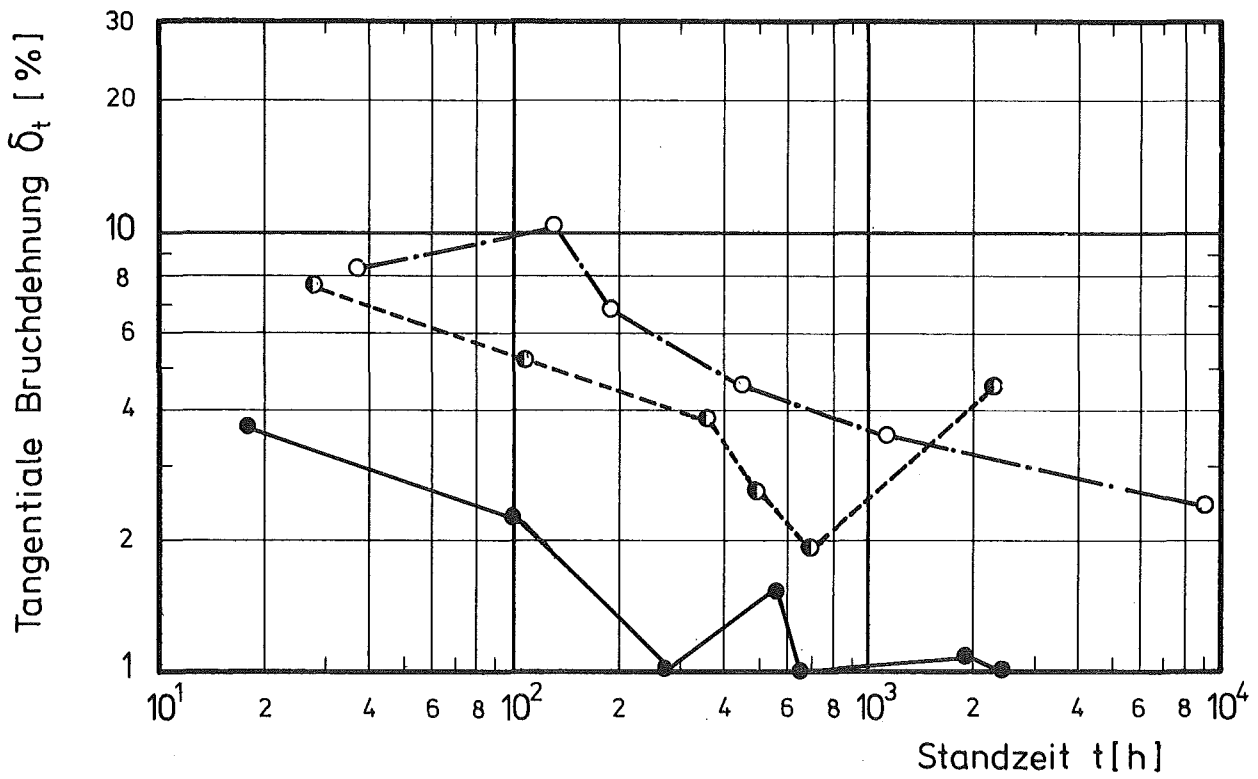
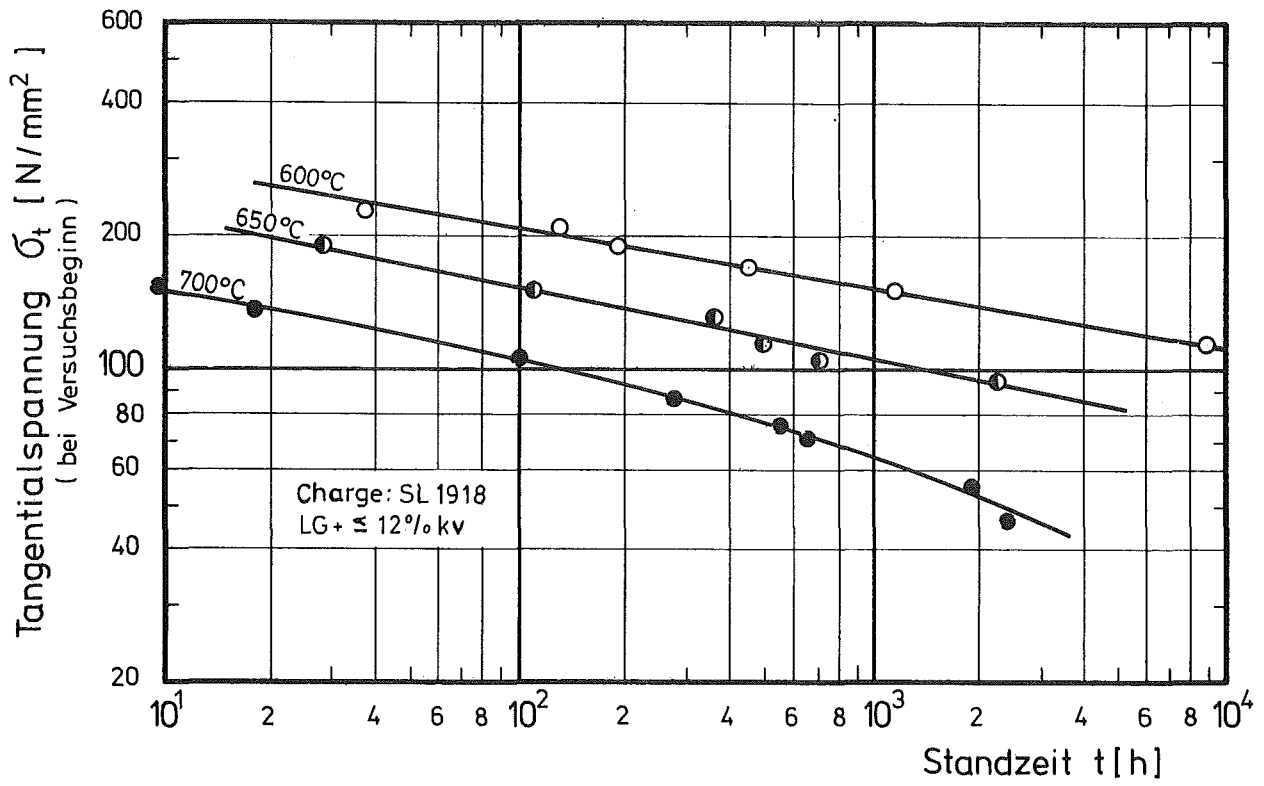
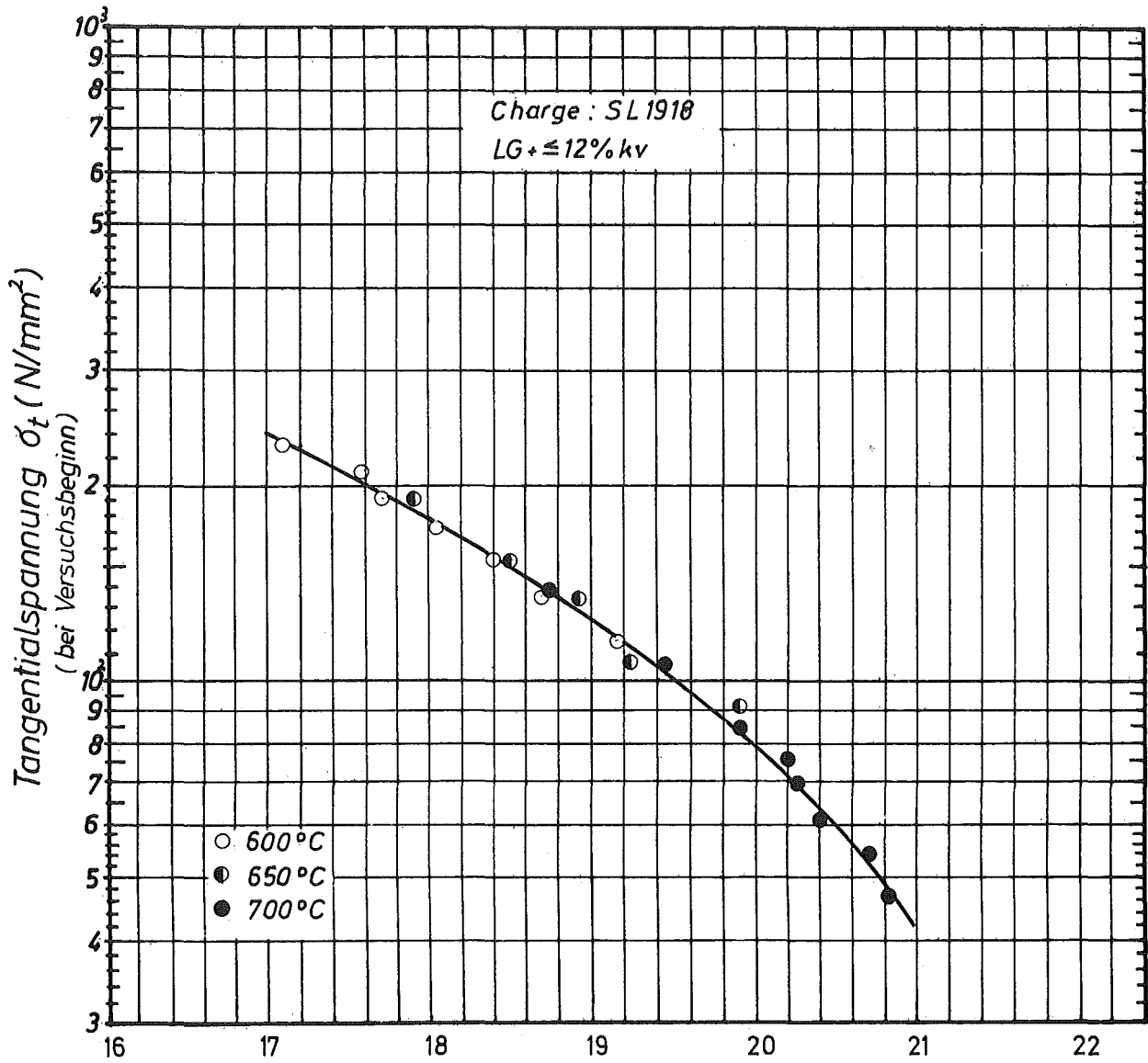


Abb. 27 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X4CrNiNb 20 25
Werksbezeichnung: 20Cr/25Ni



$$P = T_K (18 + \log t_B) 10^{-3}$$

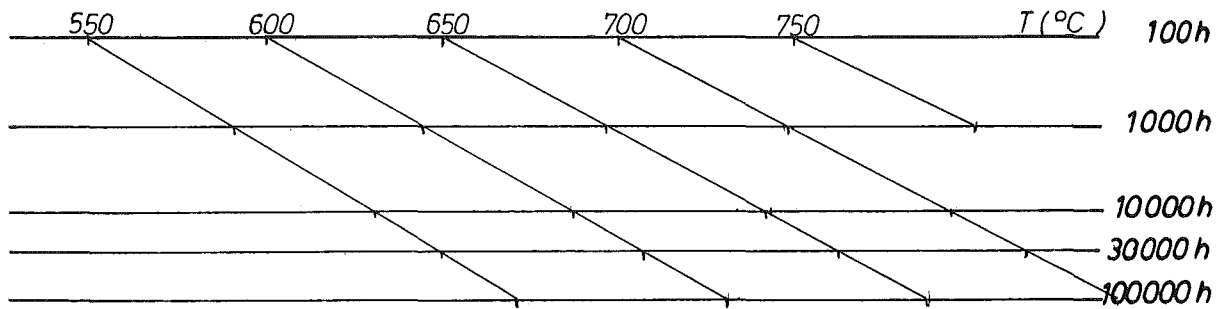


Abb. 28 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller
Austenitischer Stahl X4CrNiNb 20 25

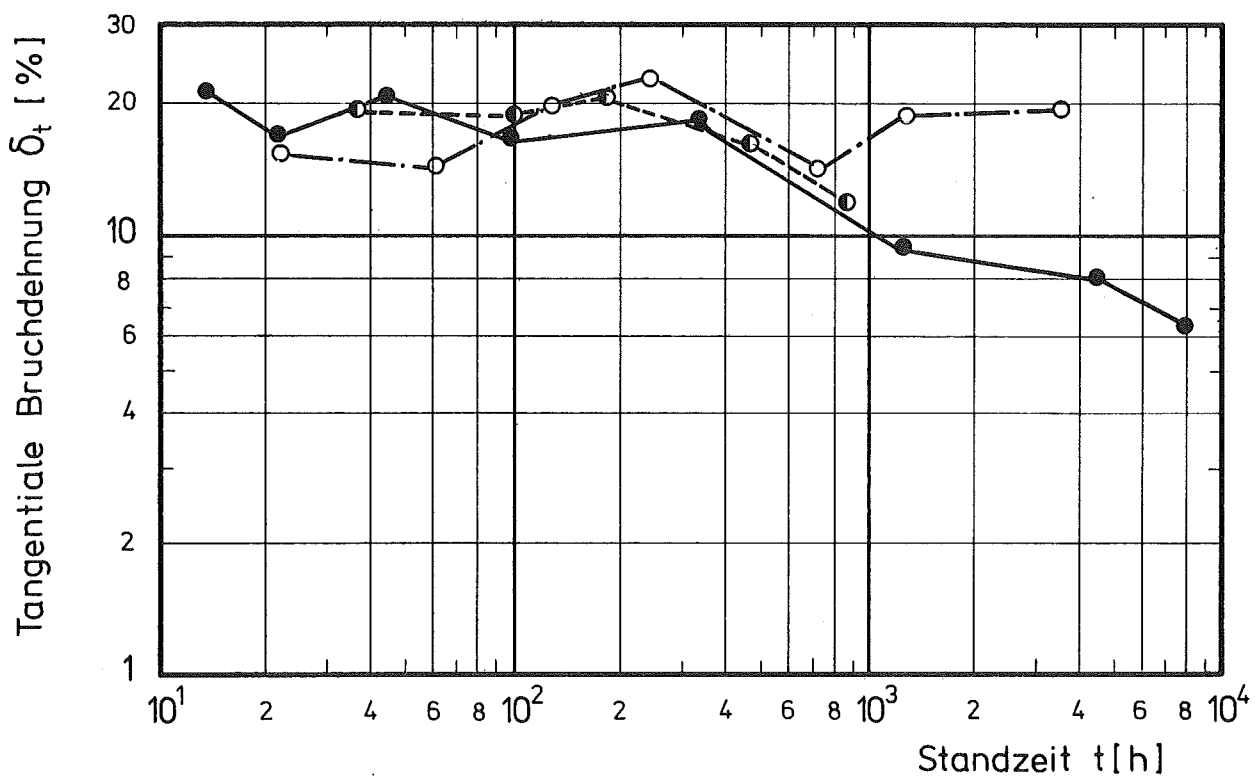
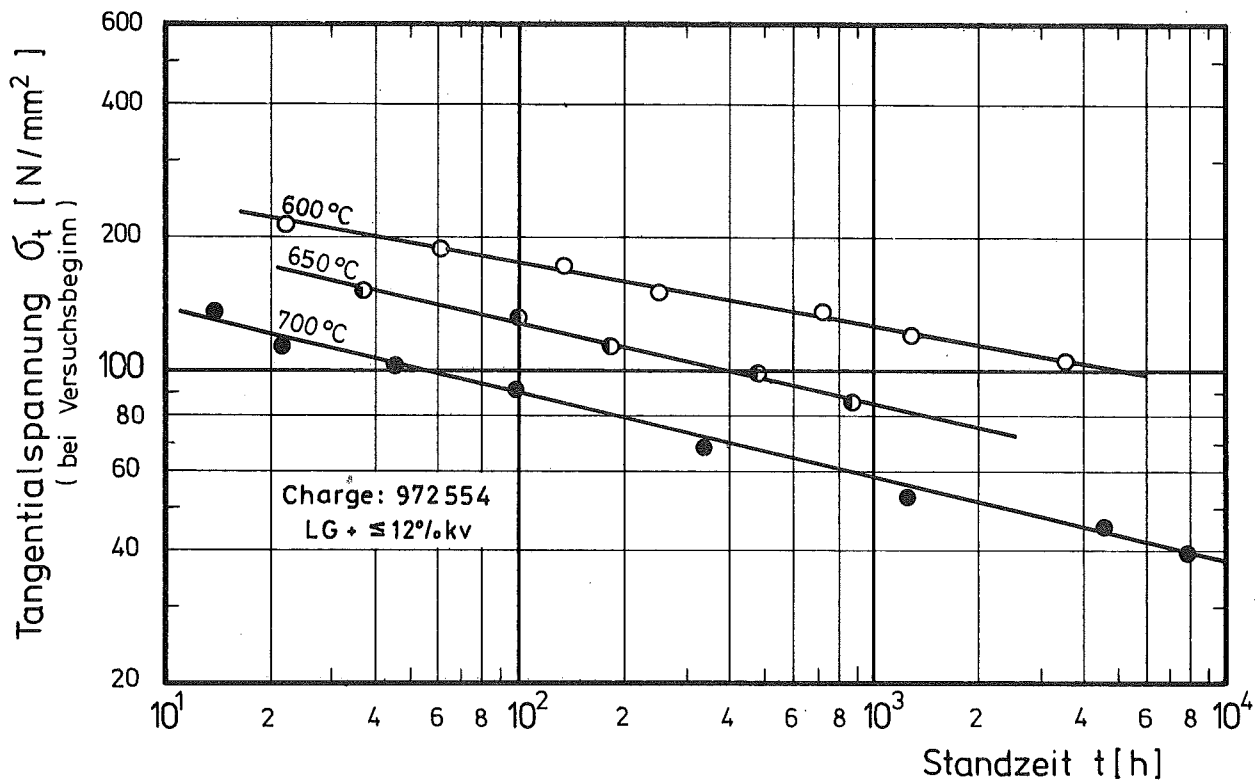
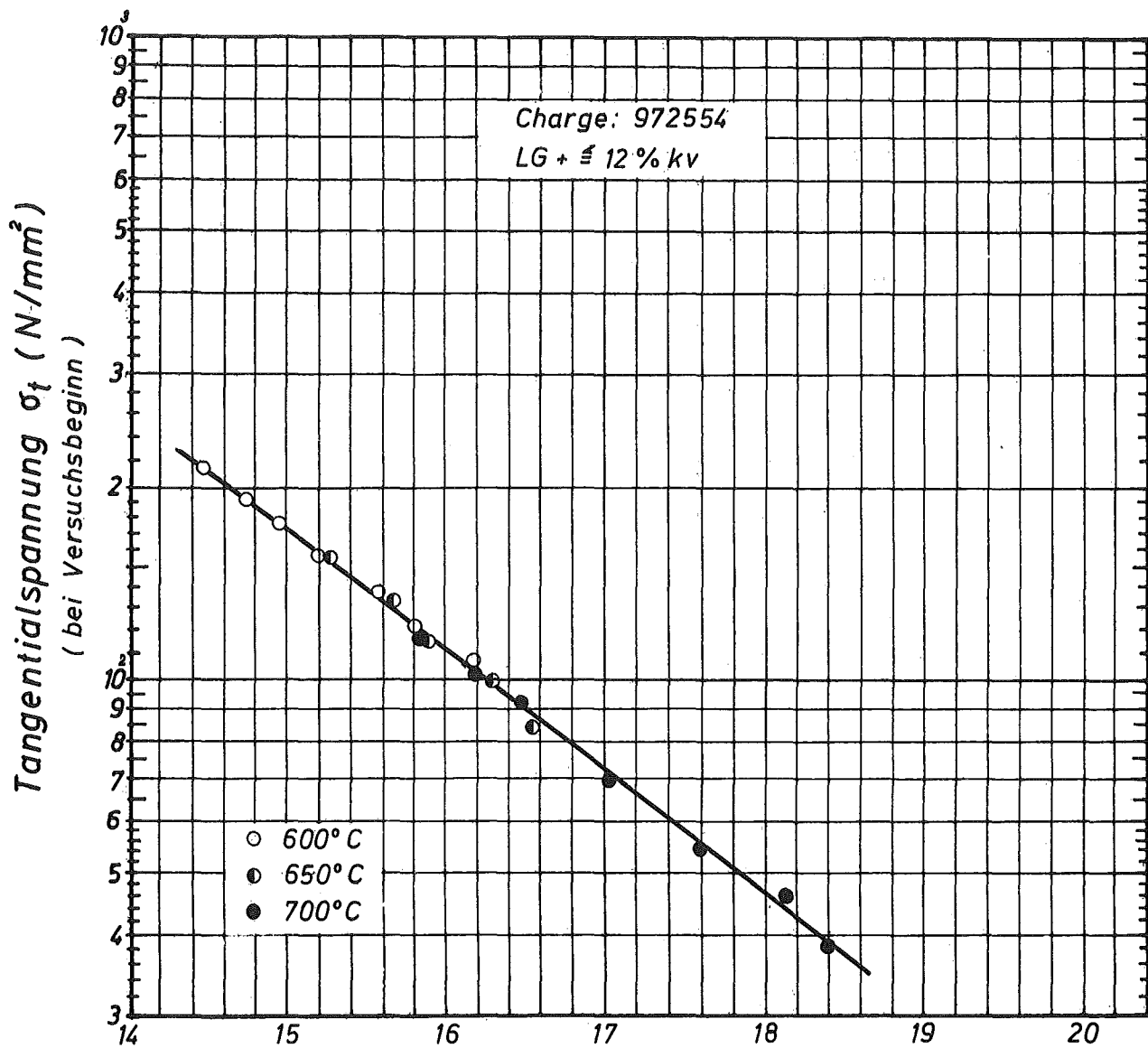


Abb.29 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

Austenitischer Stahl X10NiCr 32 20
Werkstoff -Nr. 1.4861



$$P = T_k (15 + \log t_B) 10^{-3}$$

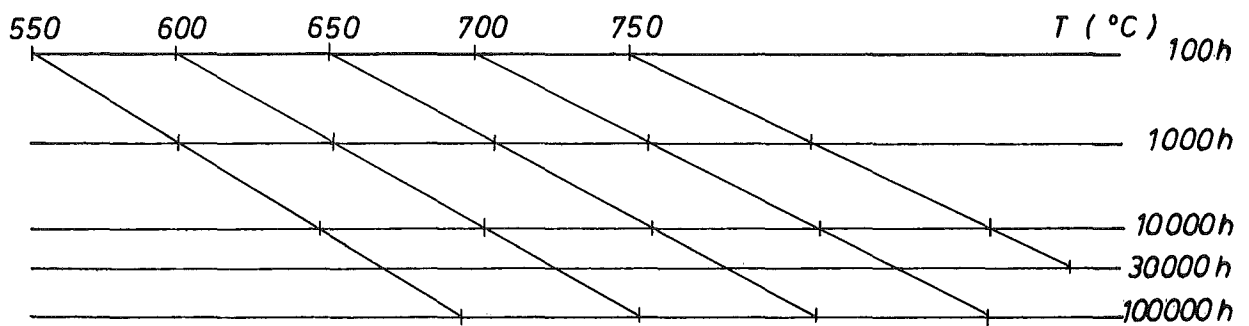


Abb.30 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austentischer Stahl X 10 Cr Ni 3220 (Incoloy 800)
Werkstoff - Nr. 1.4861

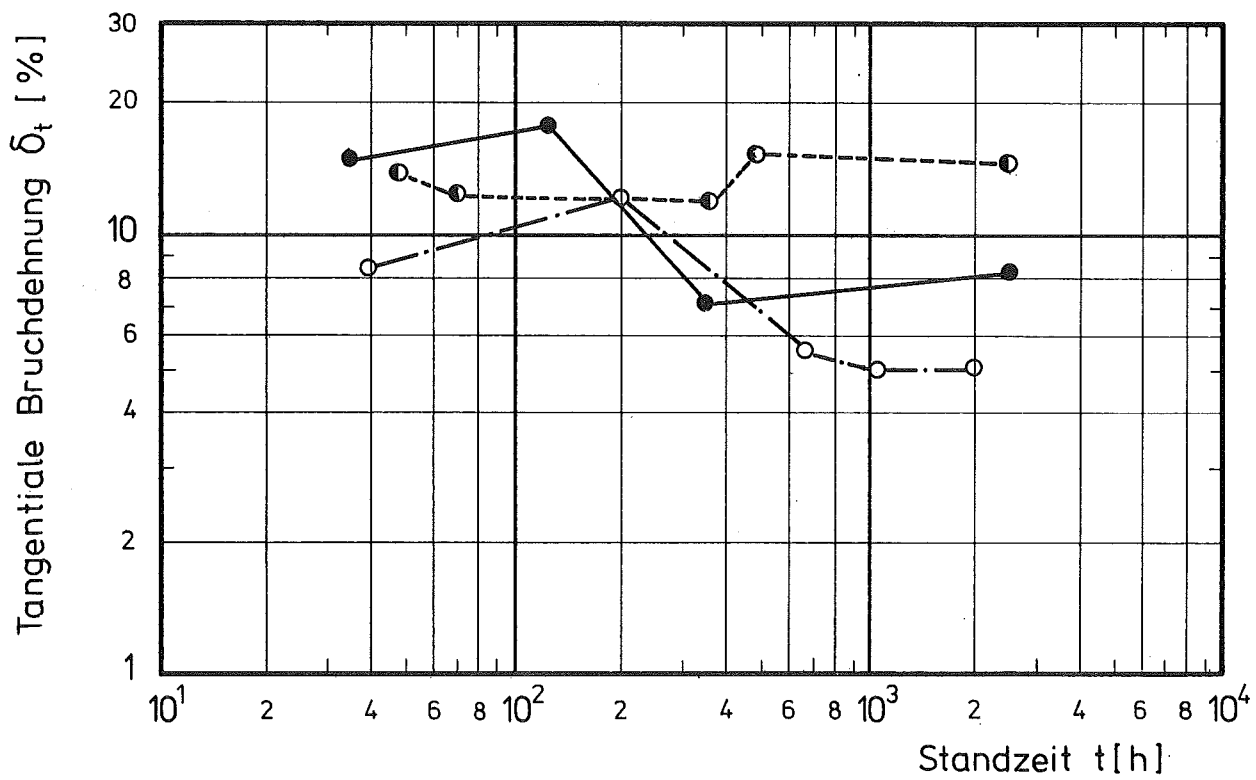
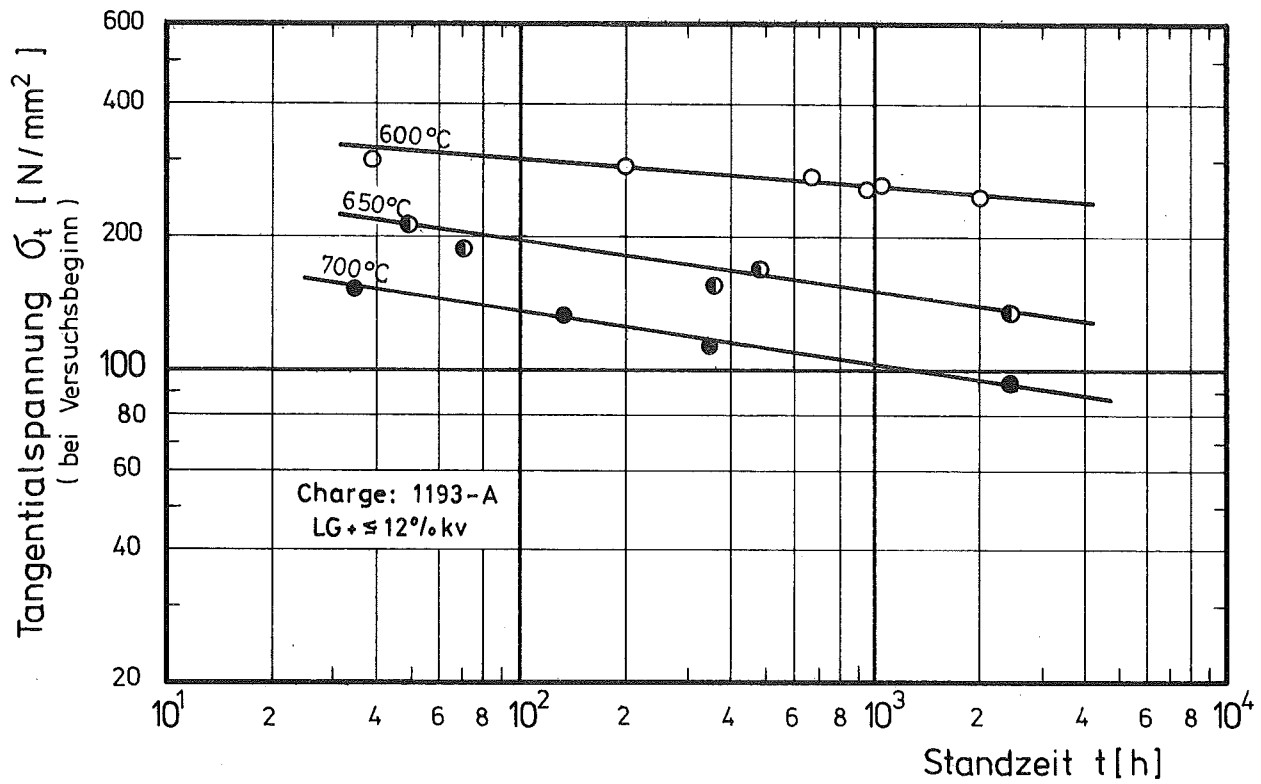


Abb. 31 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

Austenitischer Stahl X10NiCr 32 20
Werkstoff - Nr. 1.4861

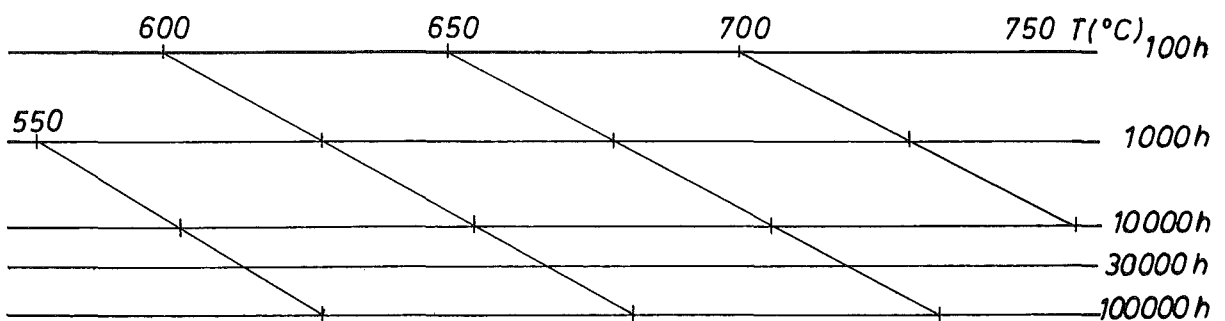
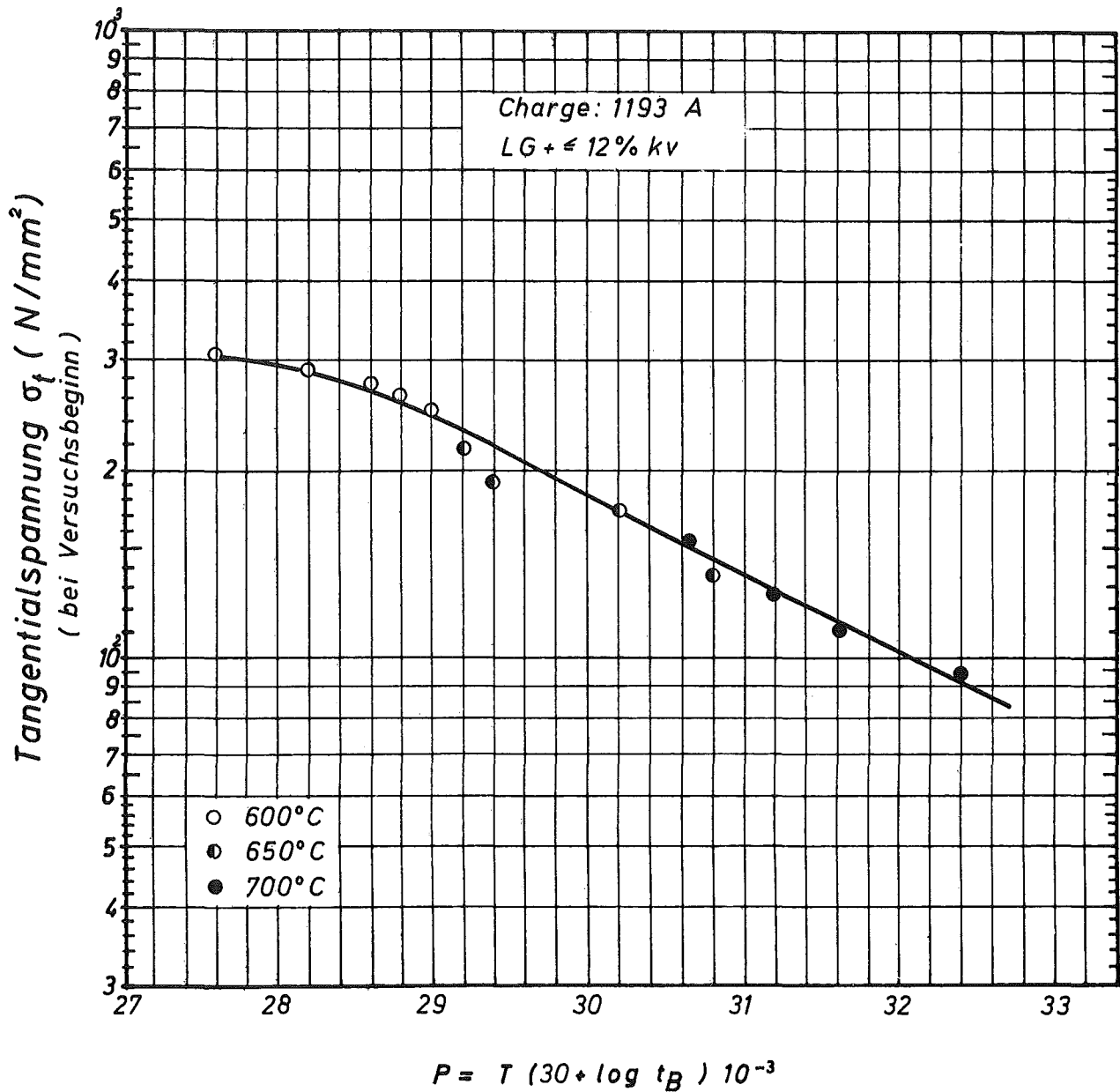


Abb.32 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl X 10 Cr Ni 3220 (Incoloy 800)
Werkstoff - Nr. 1.4861

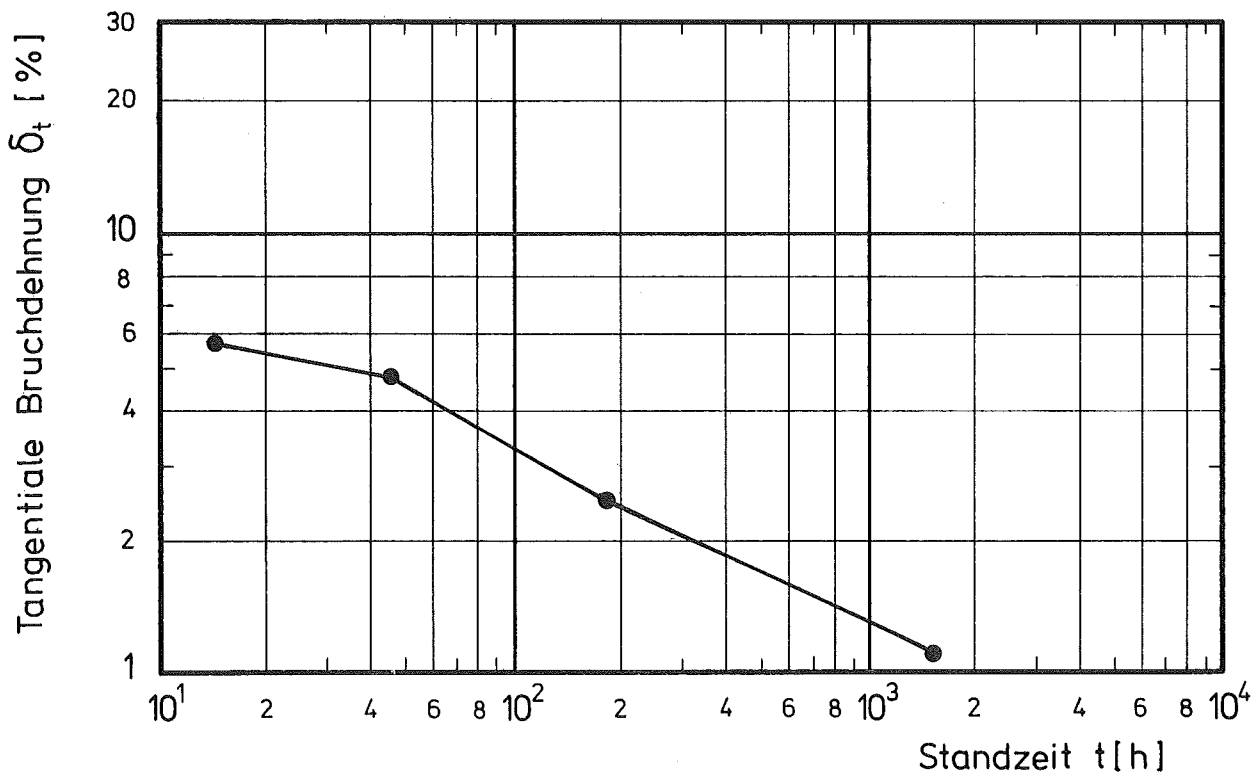
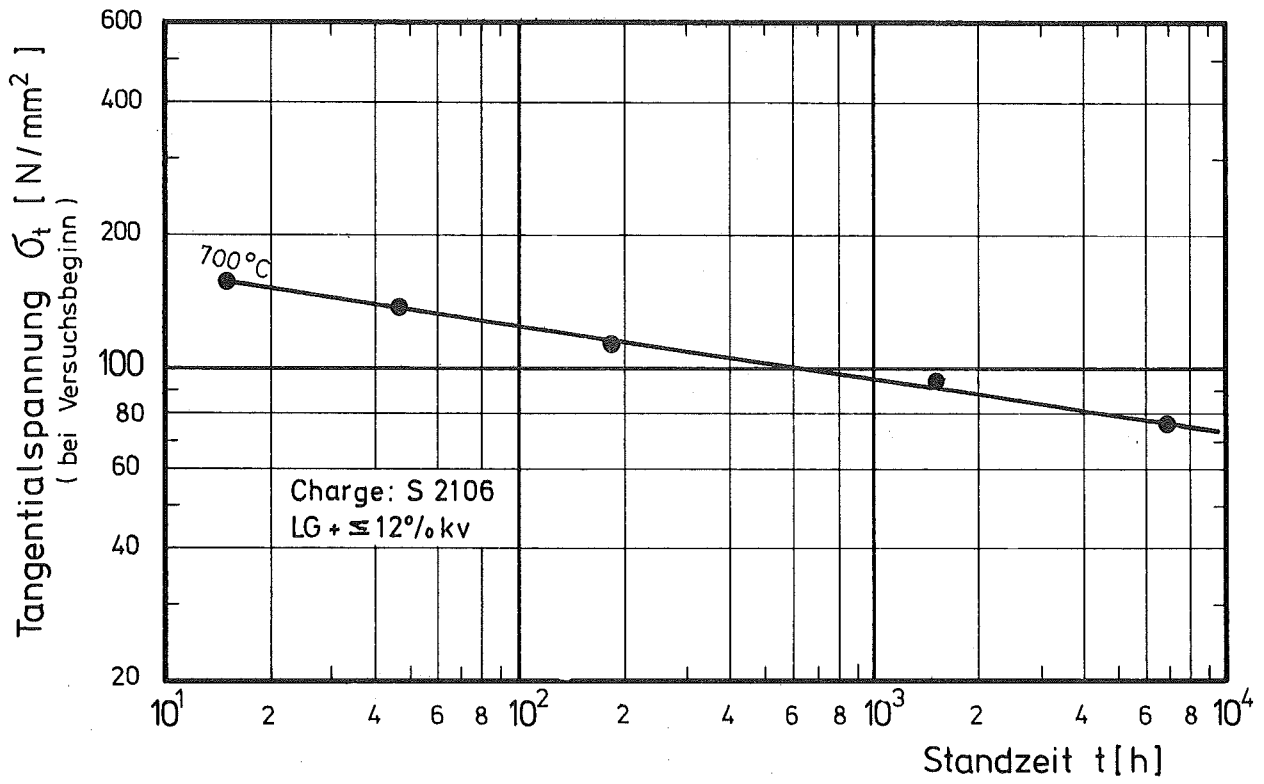


Abb.33 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Austenitischer Stahl X10NiCr 3220
Werkstoff-Nr. 1.4861

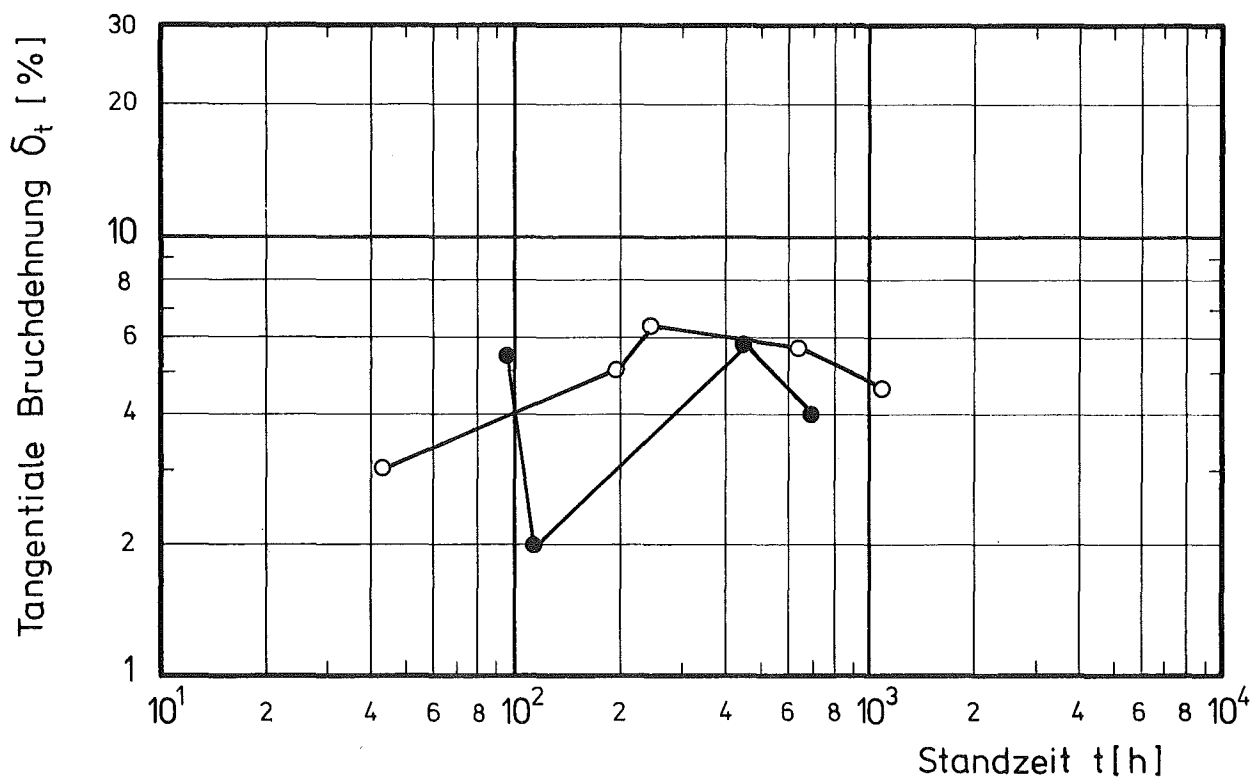
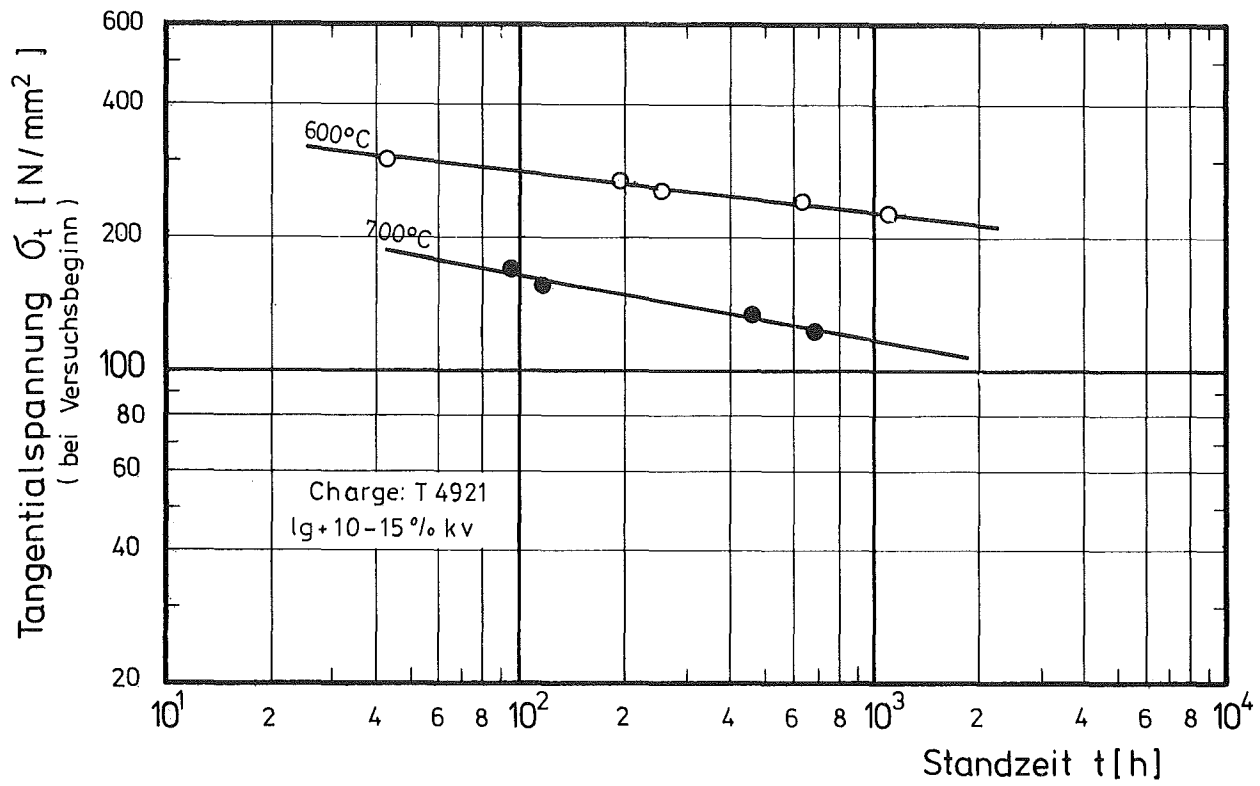
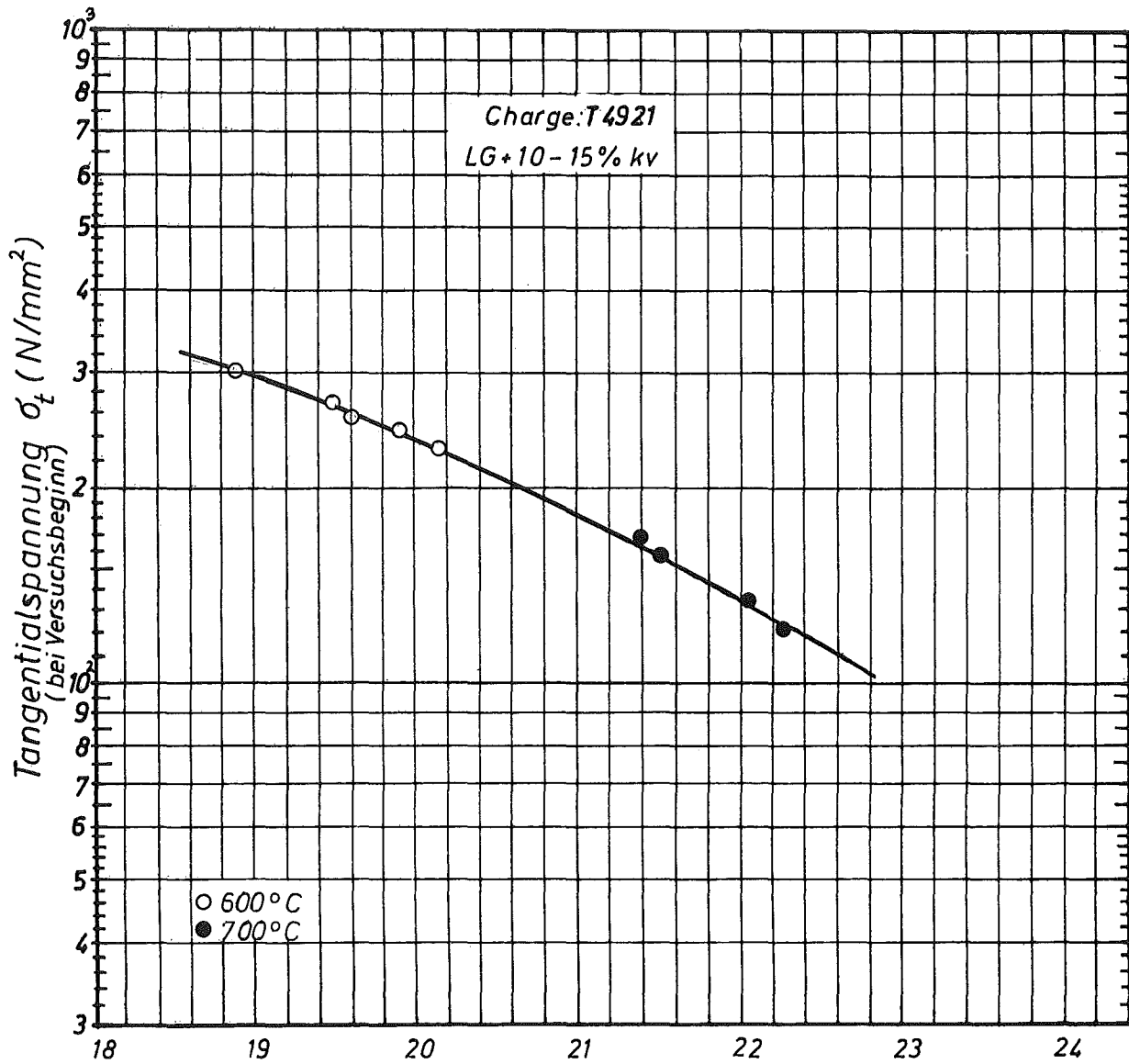


Abb.34 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Austenitischer Stahl AISI 316
 Werkstoff-Nr. 1.4401



$$P = T_K (20 + \log t_B) \cdot 10^{-3}$$

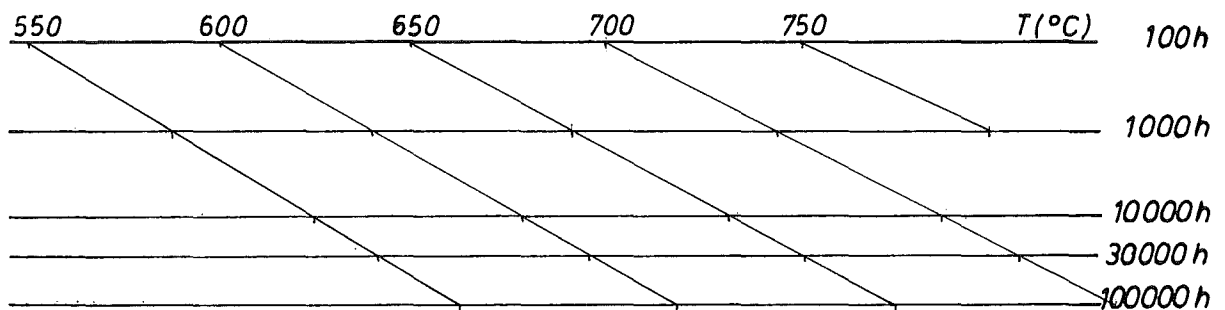


Abb.35 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Austenitischer Stahl AISI 316
Werkstoff - Nr. 1.4401

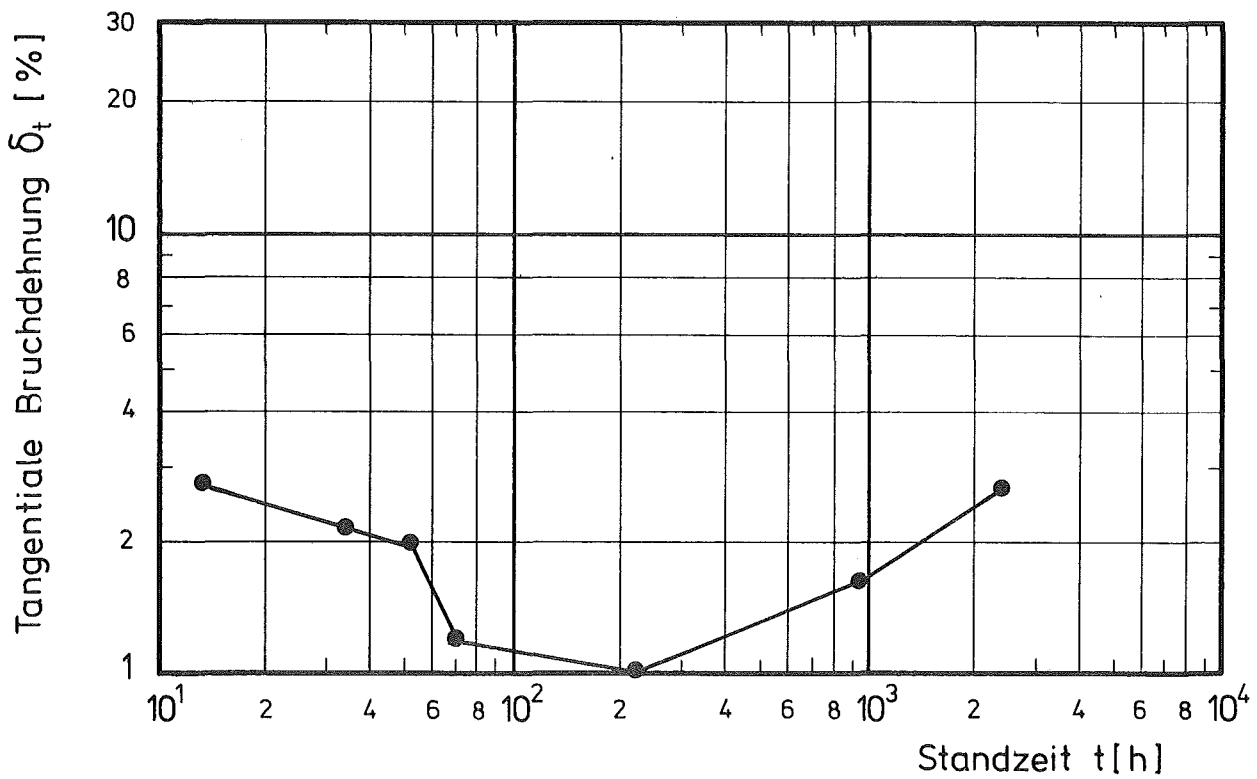
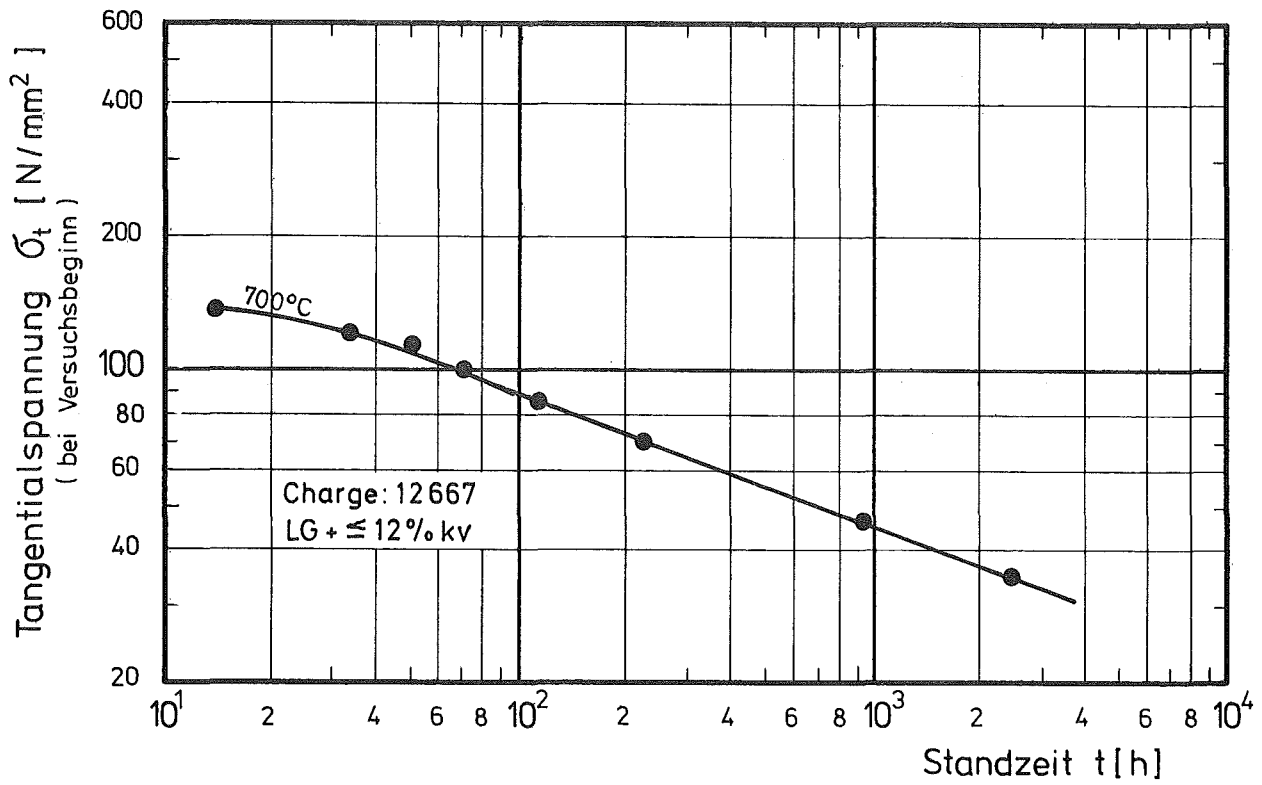


Abb.36 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
 Nickelbasislegierung NiCr 16 Fe 8 (INCONEL 600)
 Werkstoff-Nr. 2.4640

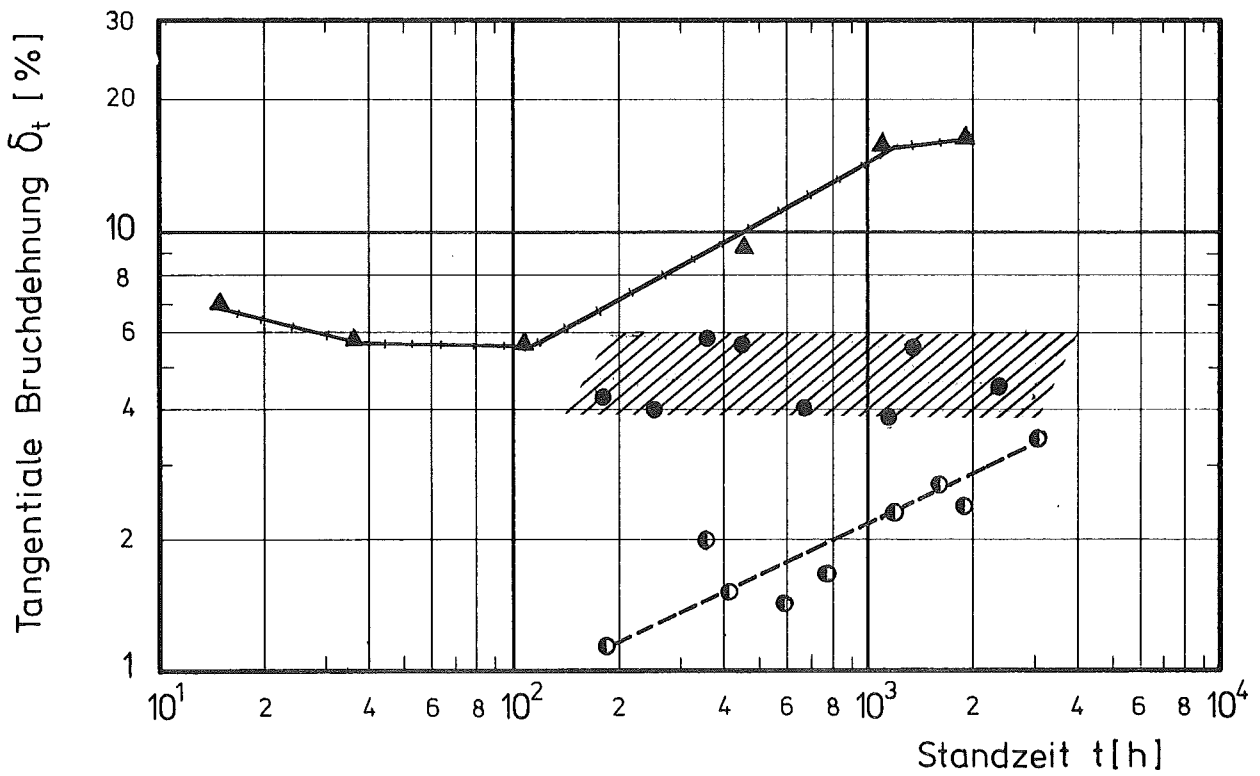
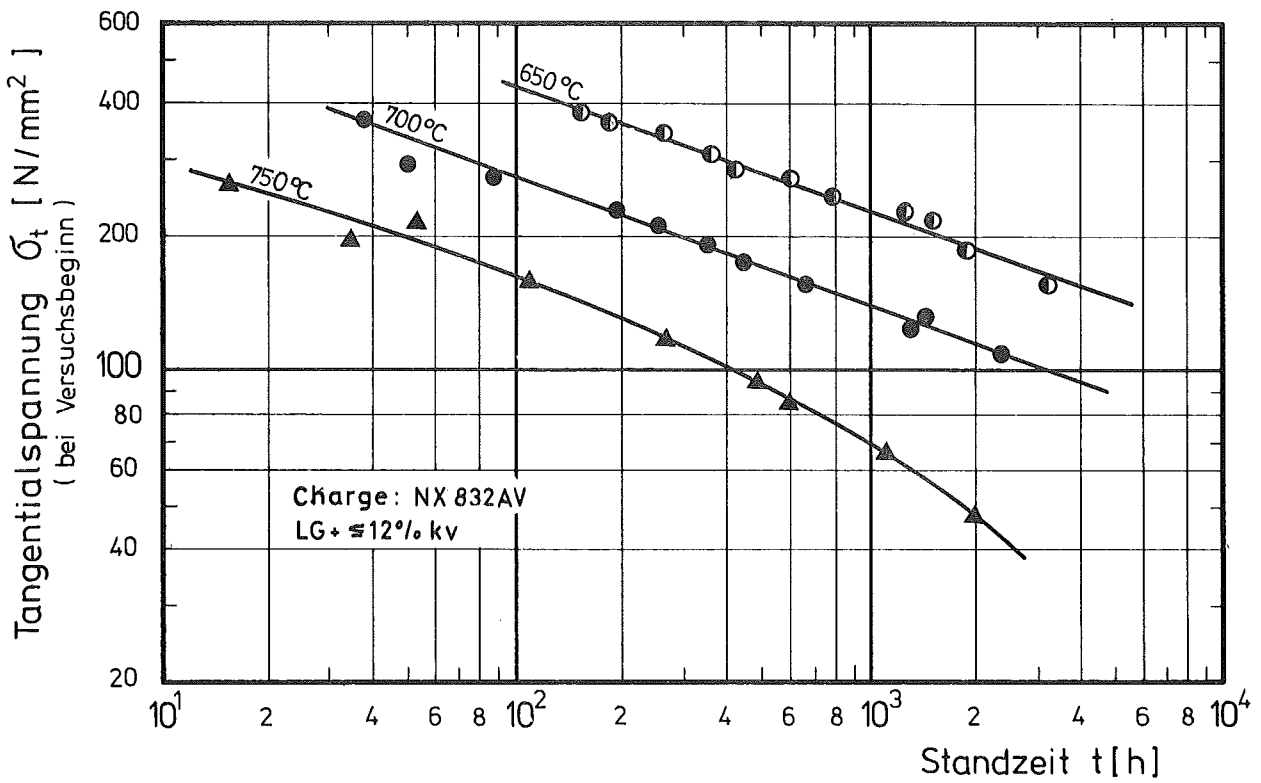


Abb.37 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

Nickelbasislegierung INCONEL 625

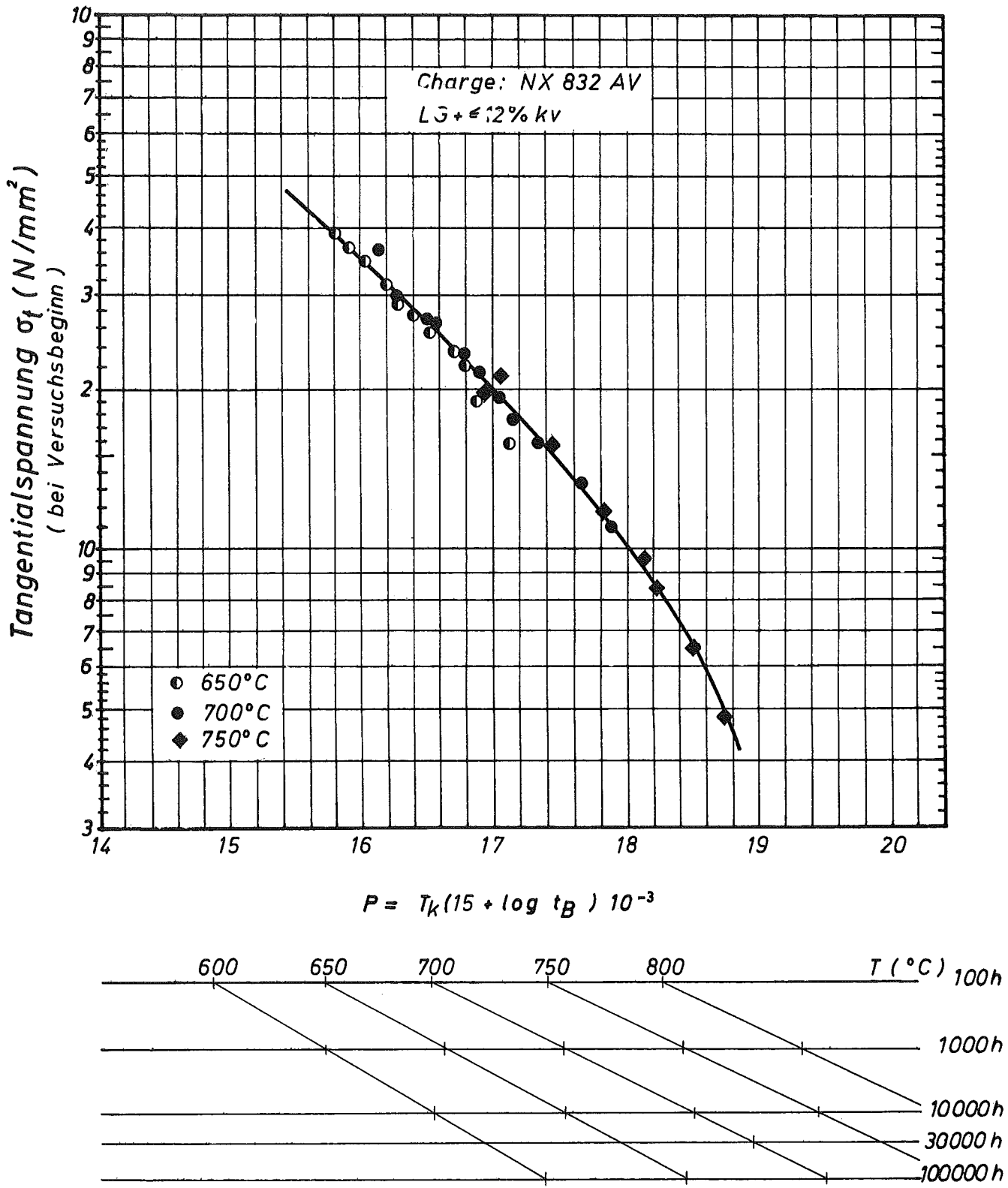


Abb.38 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Nickelbasislegierung Inconel 625

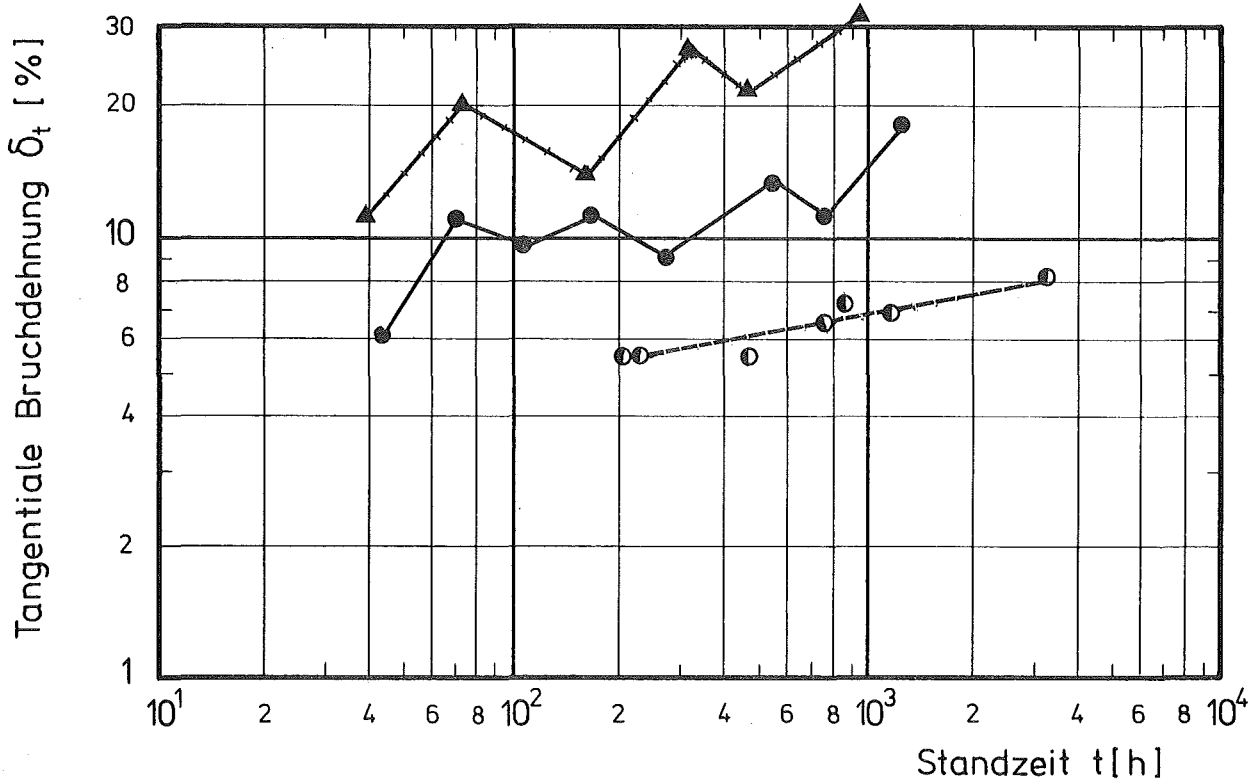
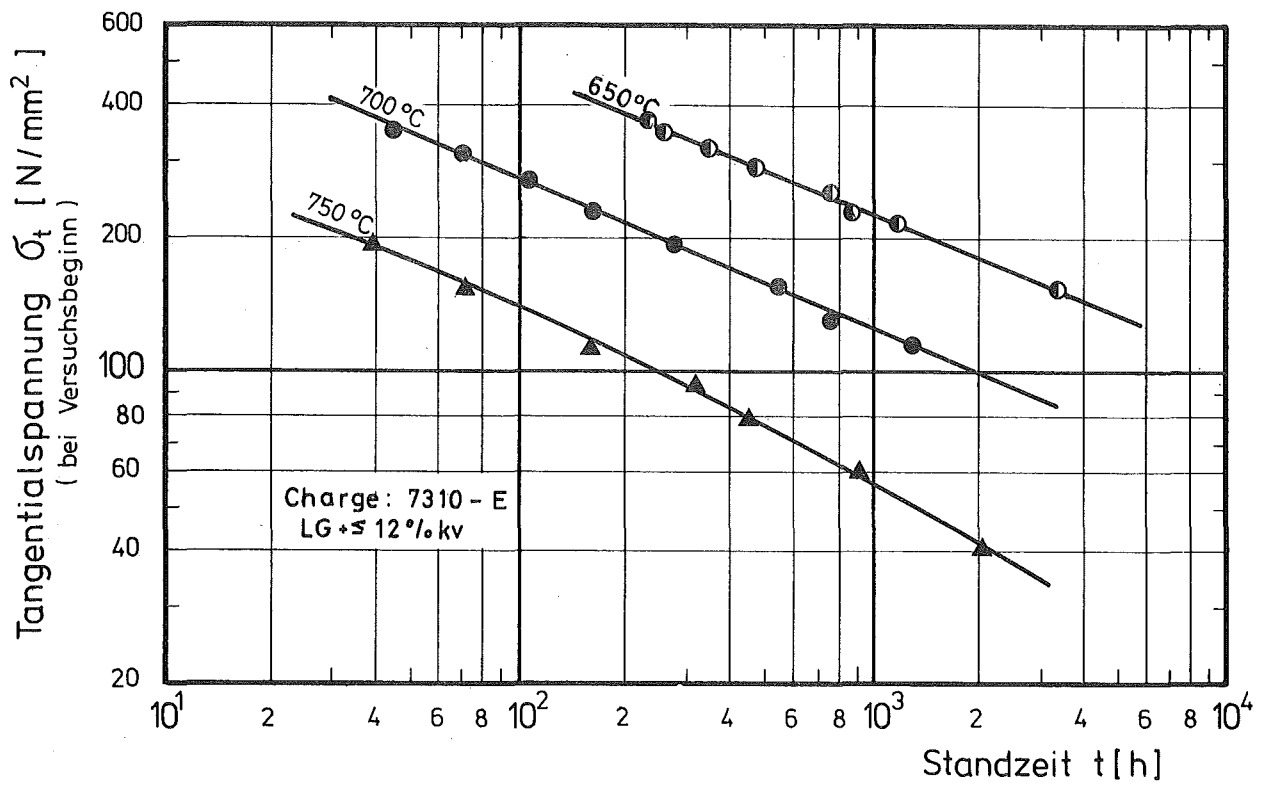
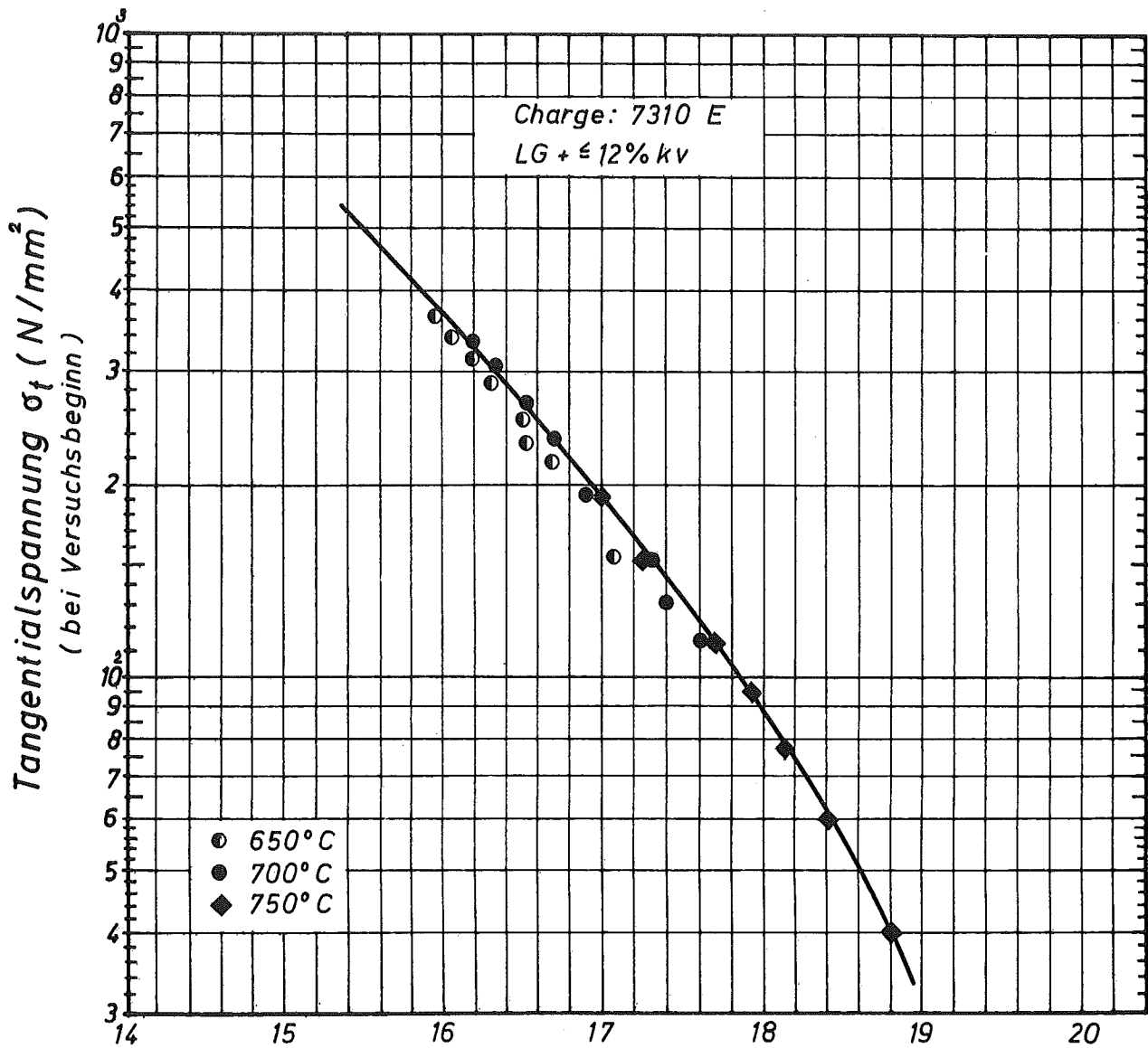


Abb. 39 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Nickelbasislegierung INCONEL 718



$$P = T_k(15 + \log t_B) \cdot 10^{-3}$$

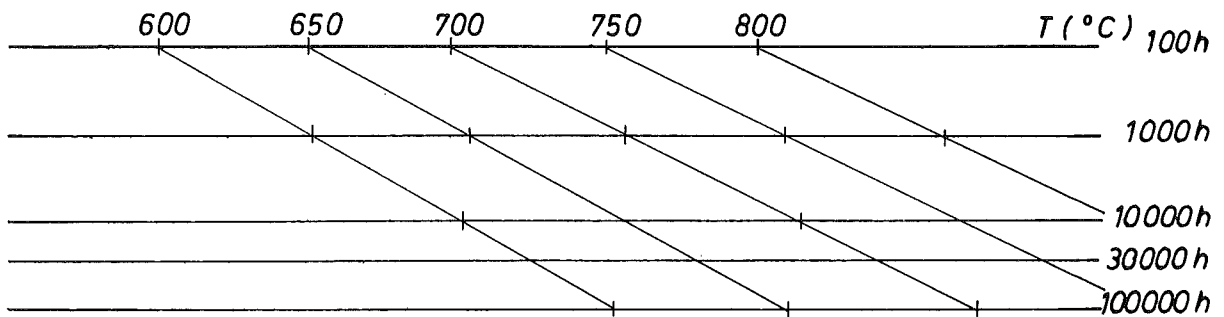


Abb.40 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Nickelbasislegierung Inconel 718

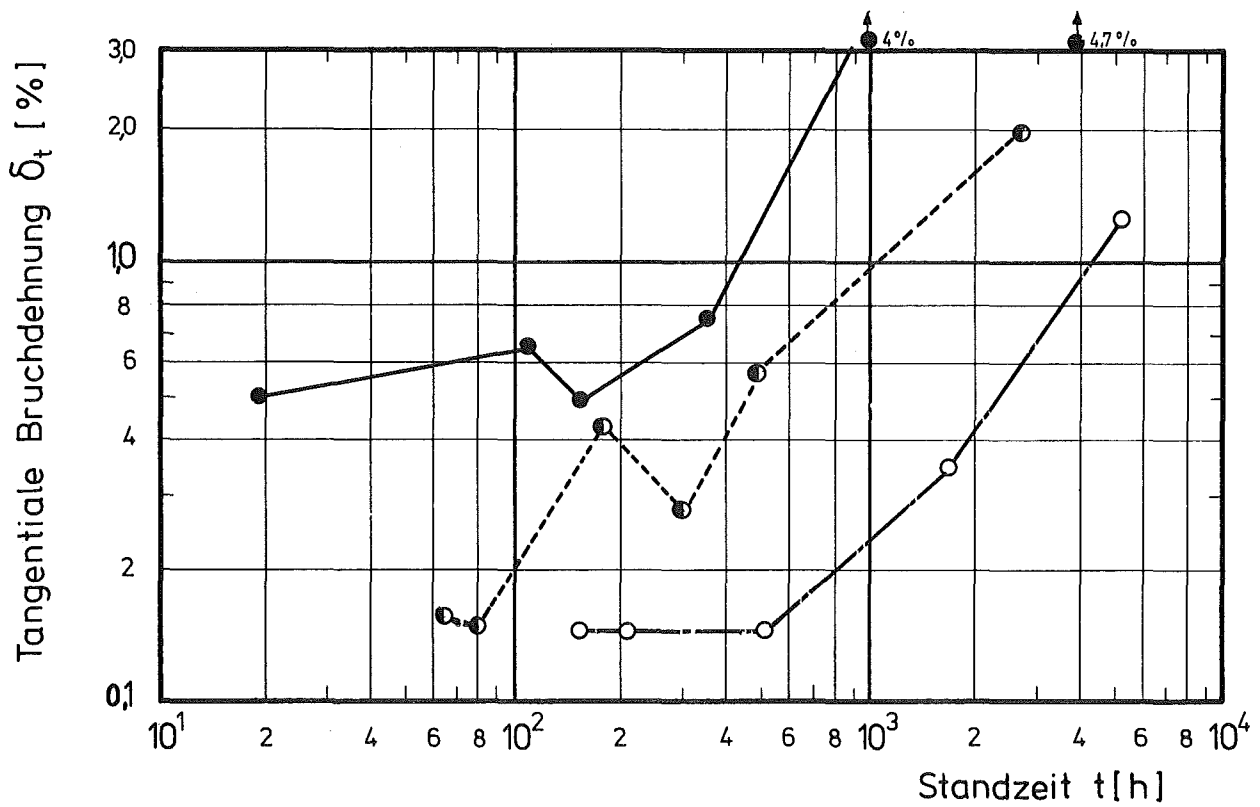
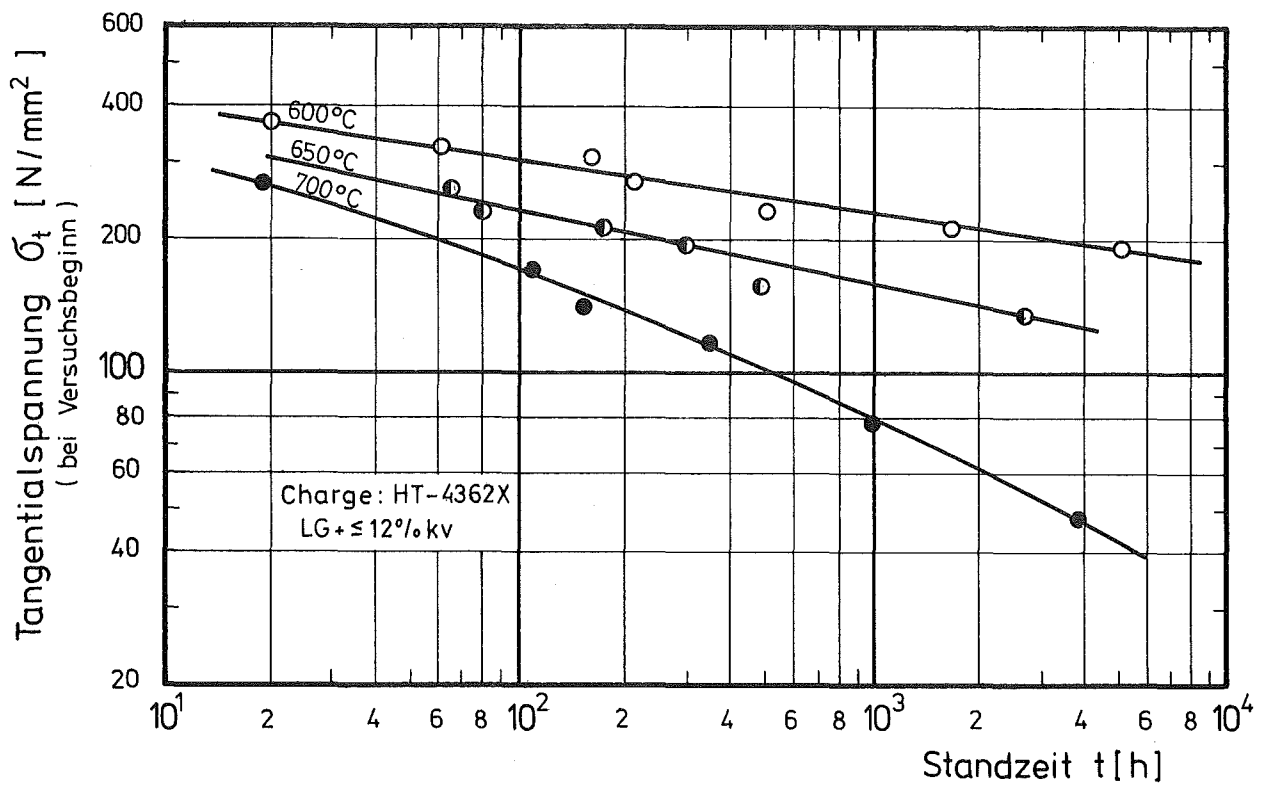
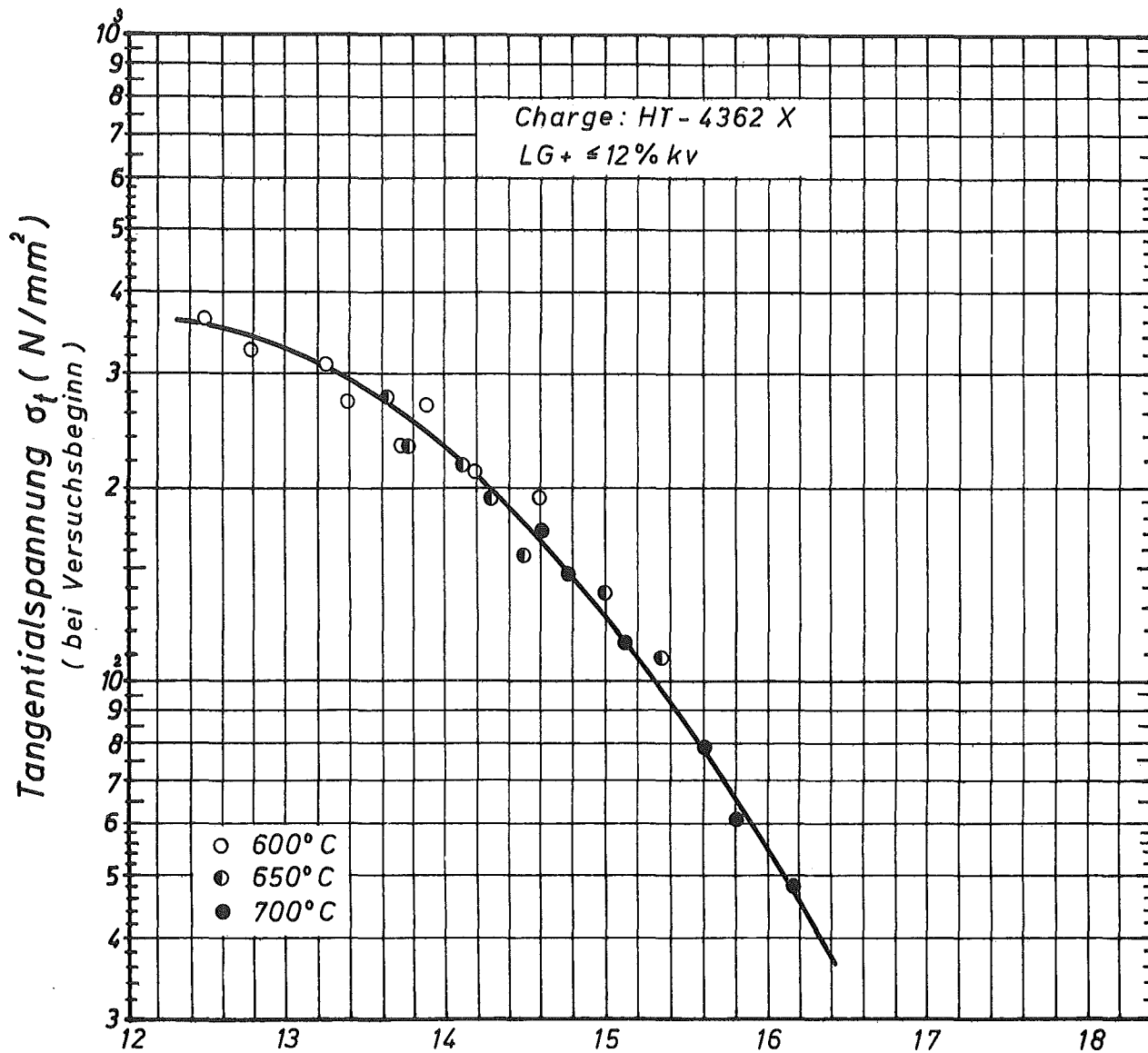


Abb.41 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Nickelbasislegierung INCONEL X750



$$P = T_k (13 + \log t_B) 10^{-3}$$

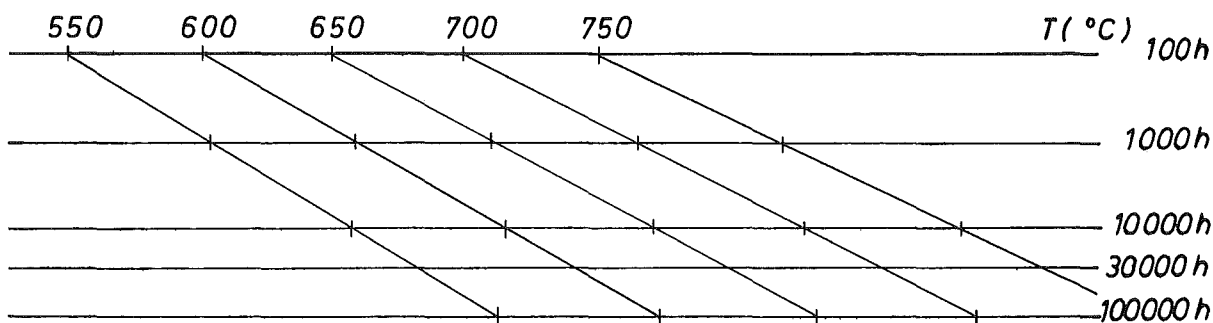


Abb.42 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Nickelbasislegierung Inconel X 750

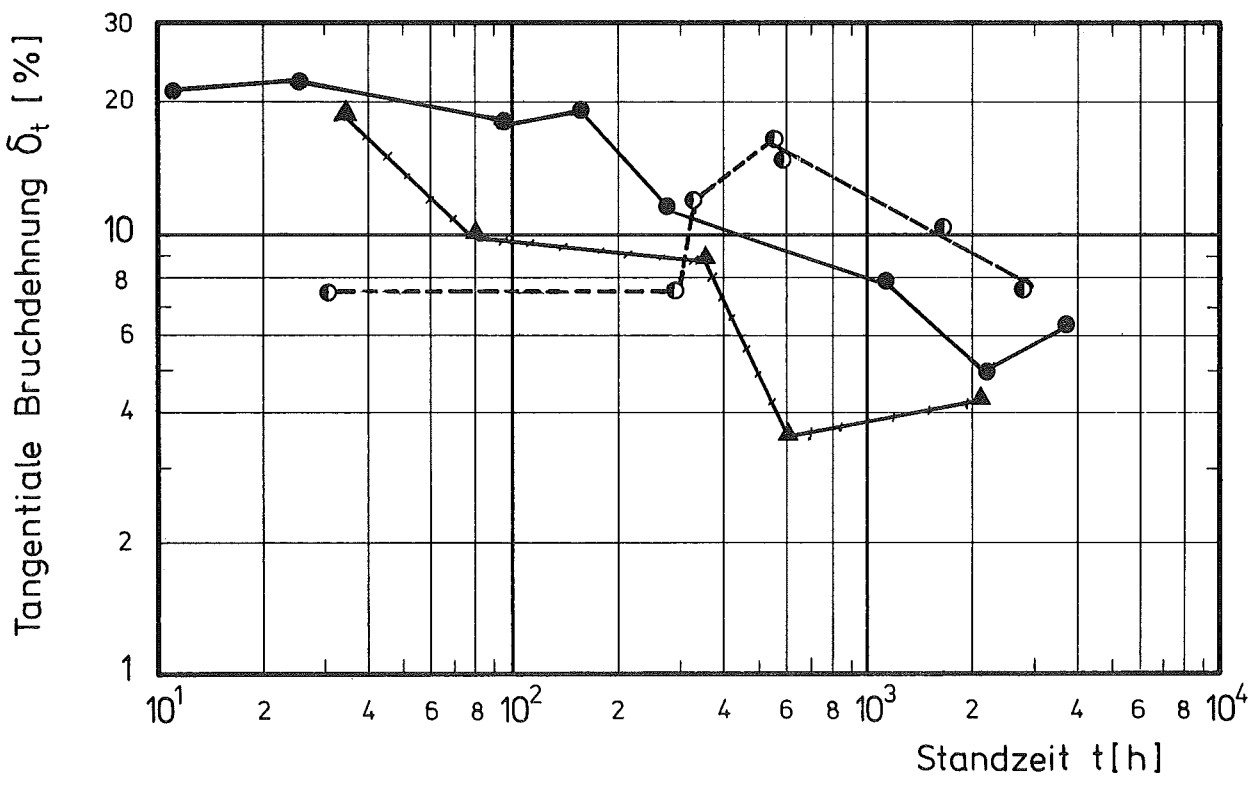
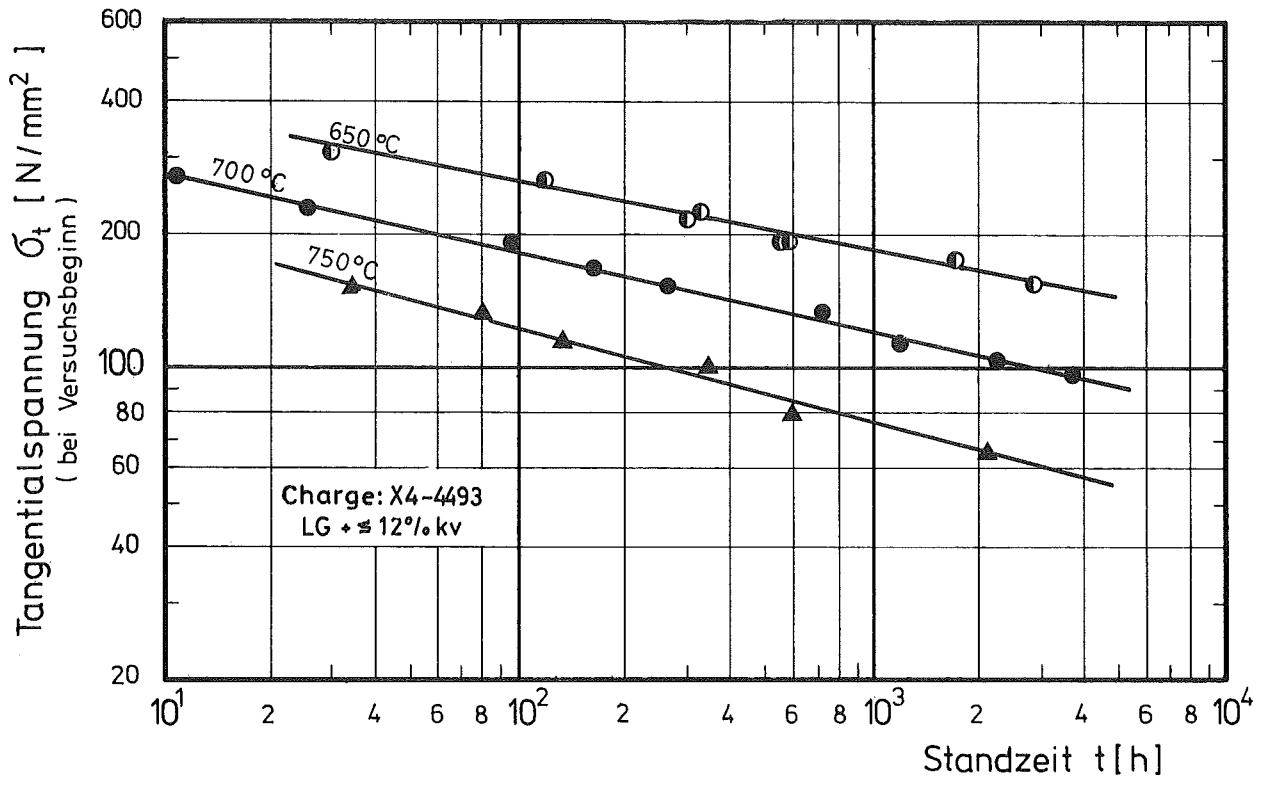
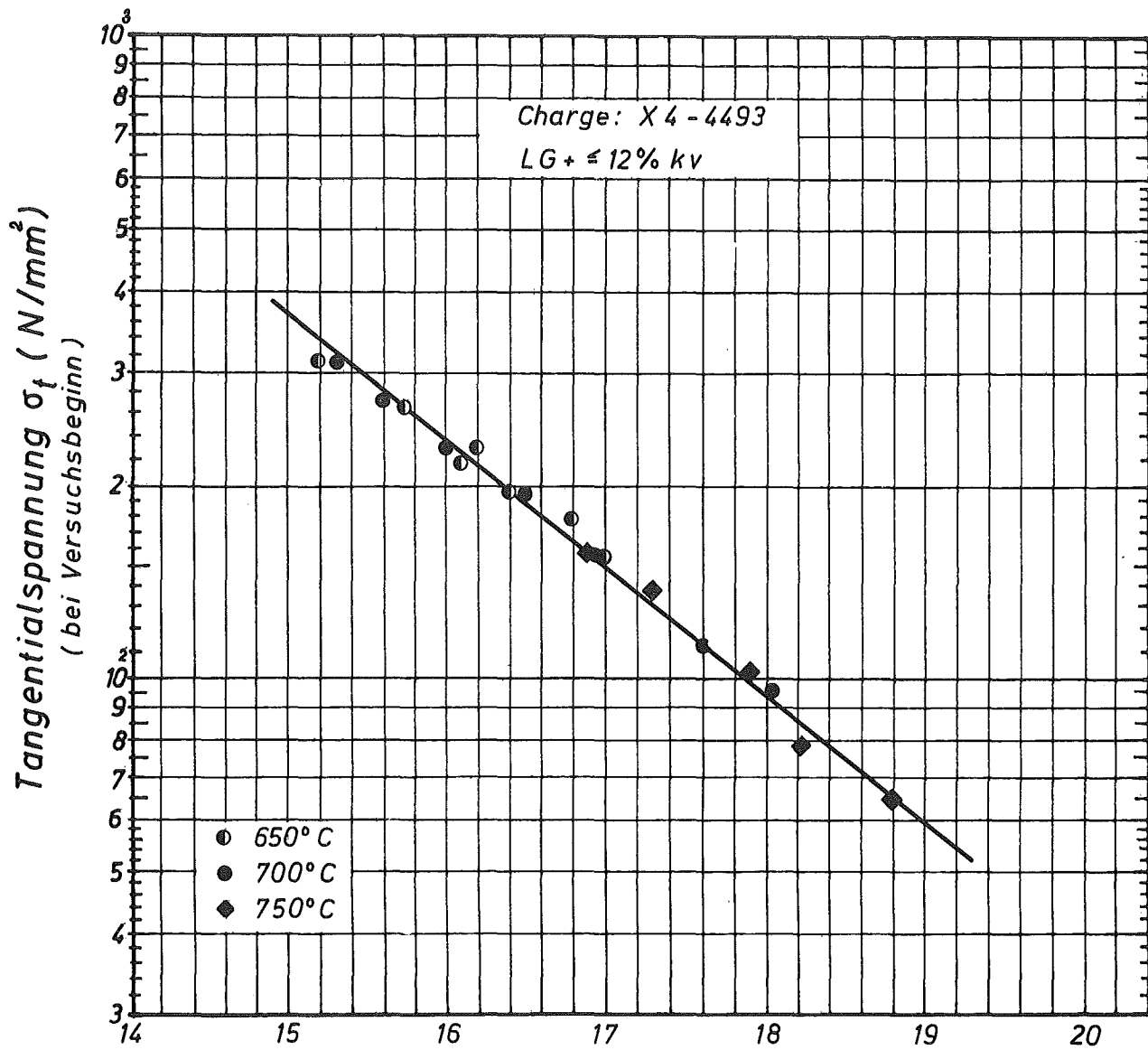


Abb.43 Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung
Nickelbasislegierung HASTELLOY X



$$P = T_k (15 + \log t_B) 10^{-3}$$

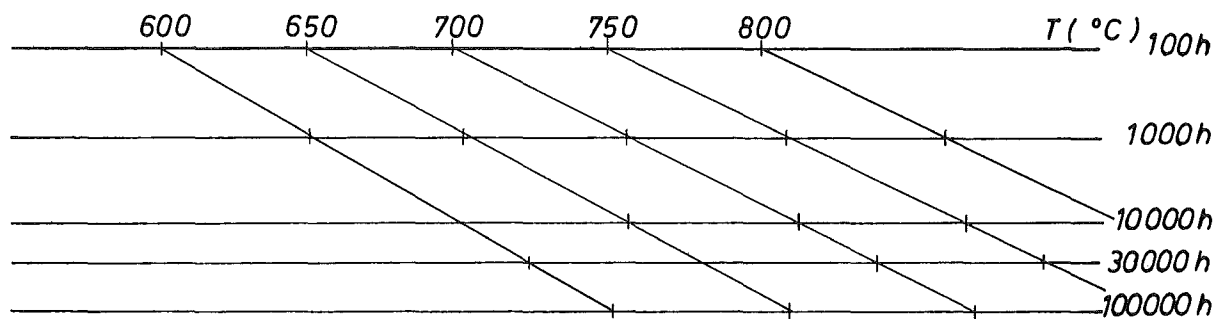


Abb.44 Hauptkurve nach dem Zeit-Temperatur-Parameter von Larson - Miller

Nickelbasislegierung Hastolloy X

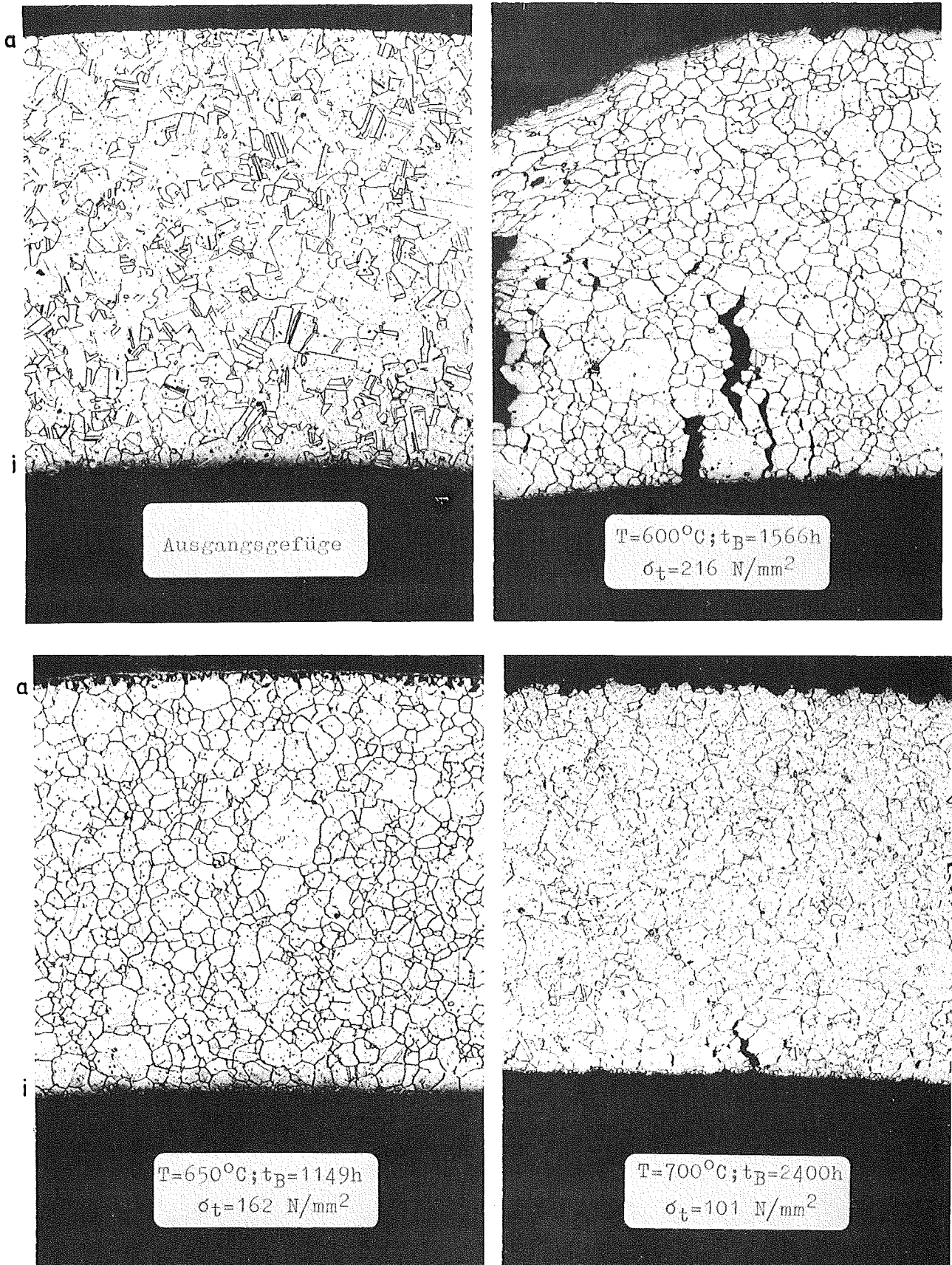


Abb.45 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 1613
Werkstoff -Nr. 1.4988

Charge: 25116 ; LG+ $\leq 5\%$ kv+750°C 3 h

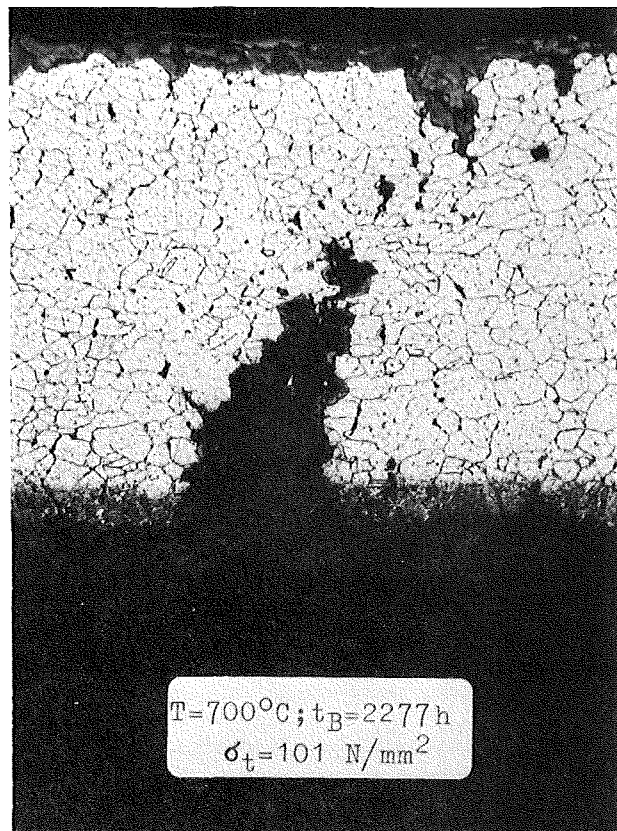
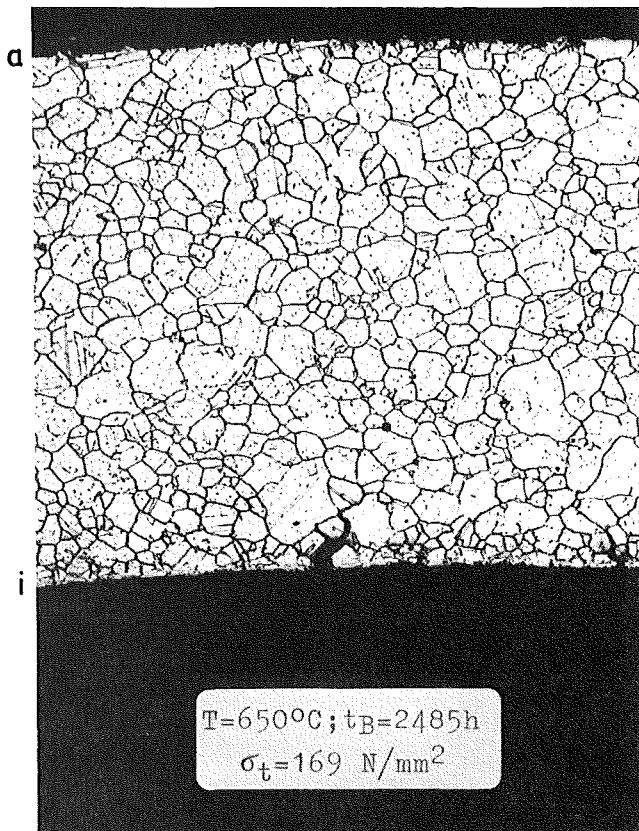
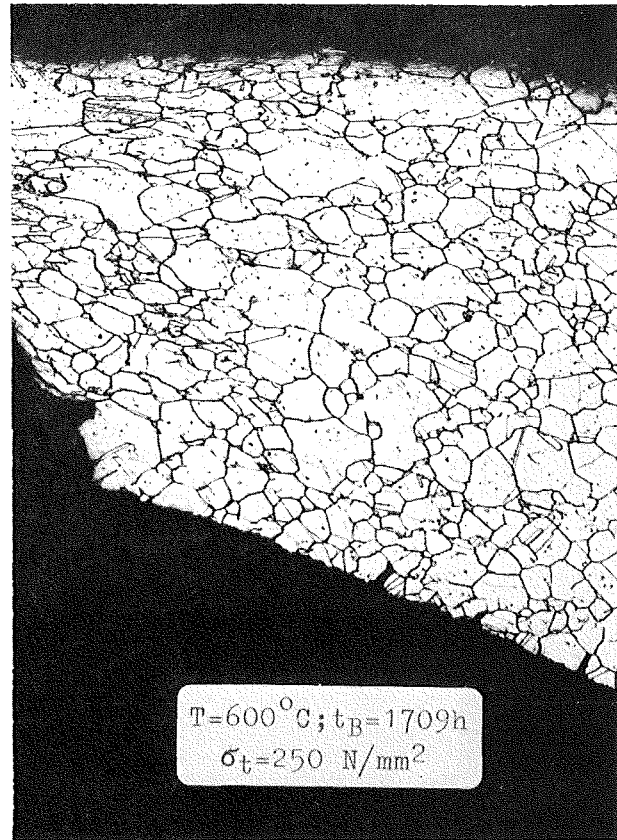
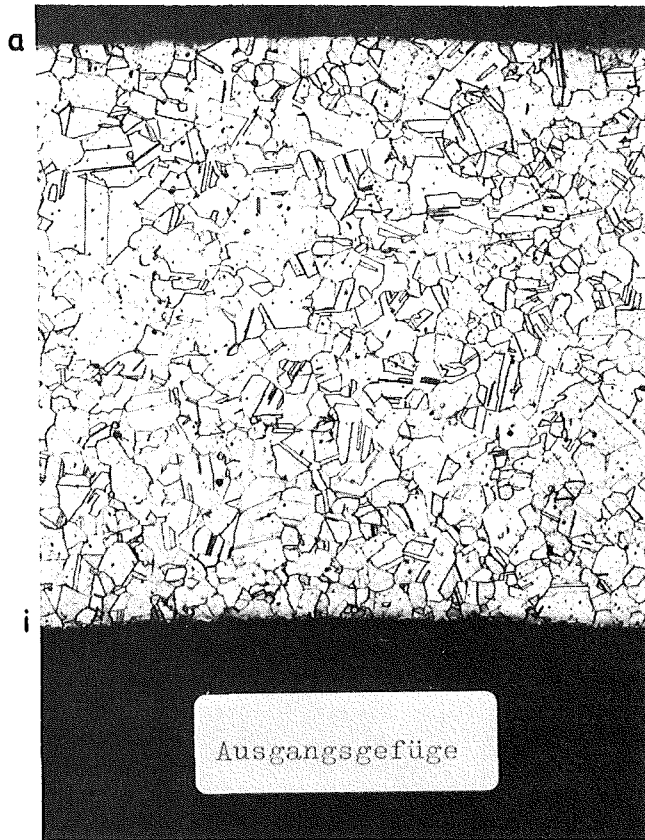


Abb.46 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 16 13
Werkstoff- Nr. 1.4988

Charge: 25 116 ; LG+ \leq 5%kv+750°C 20h

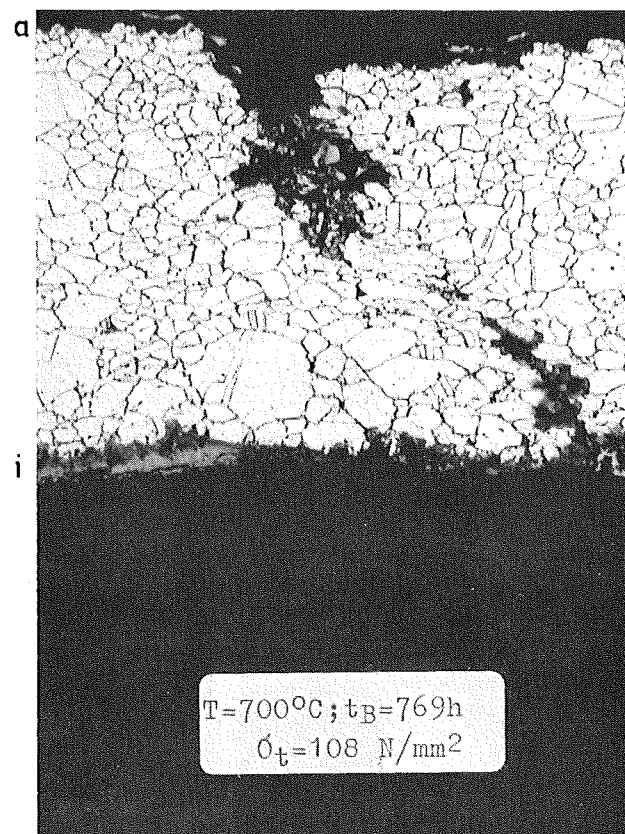
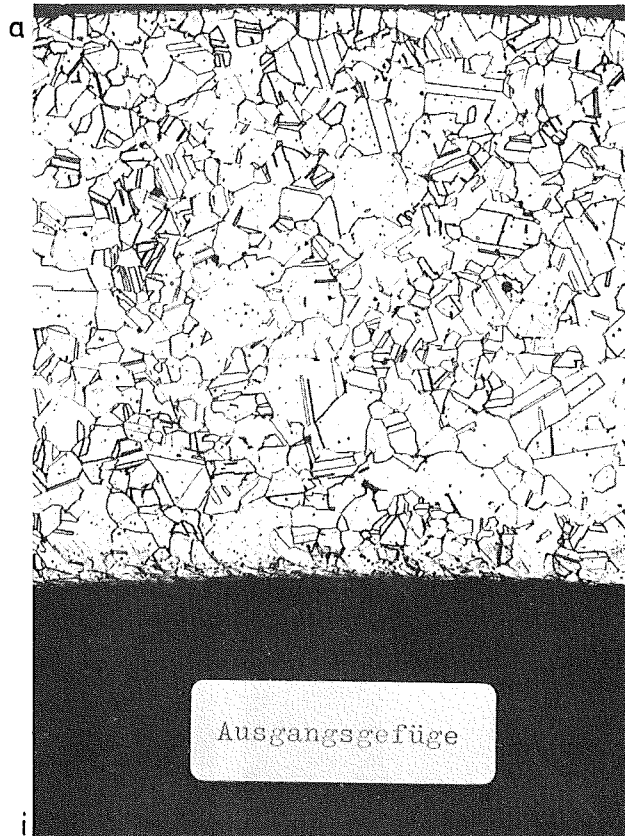


Abb. 47 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 1613
Werkstoff-Nr. 1.4988

Charge: 25116 ; LG + $\leq 5\%$ kv + 800°C 1h

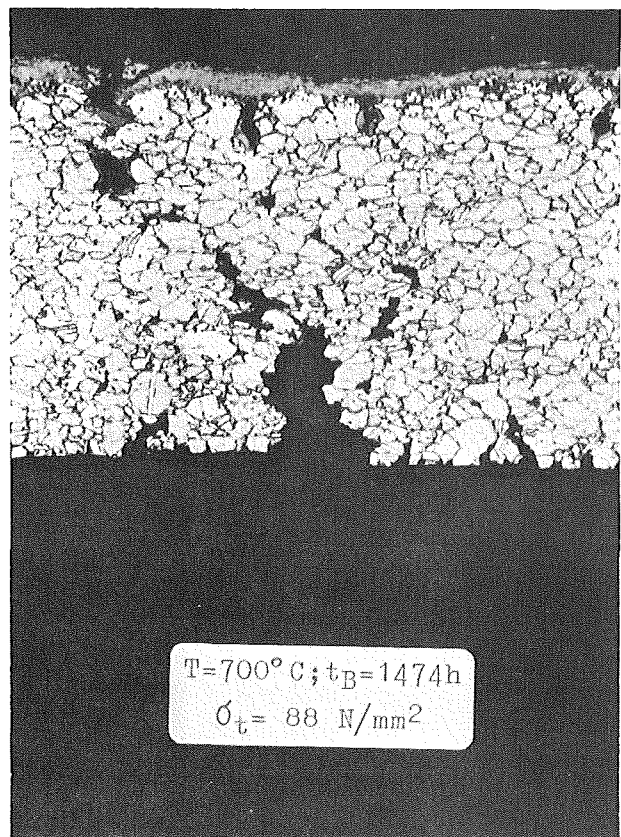
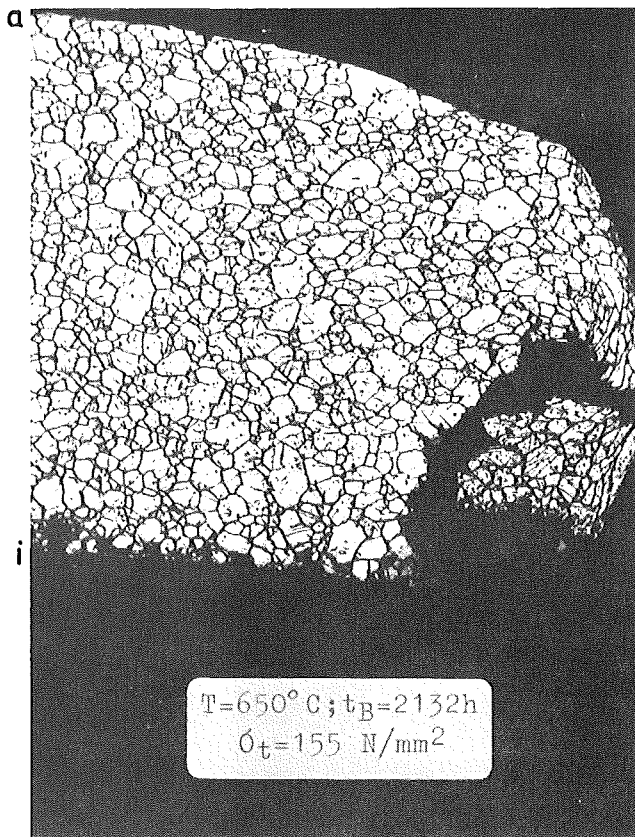
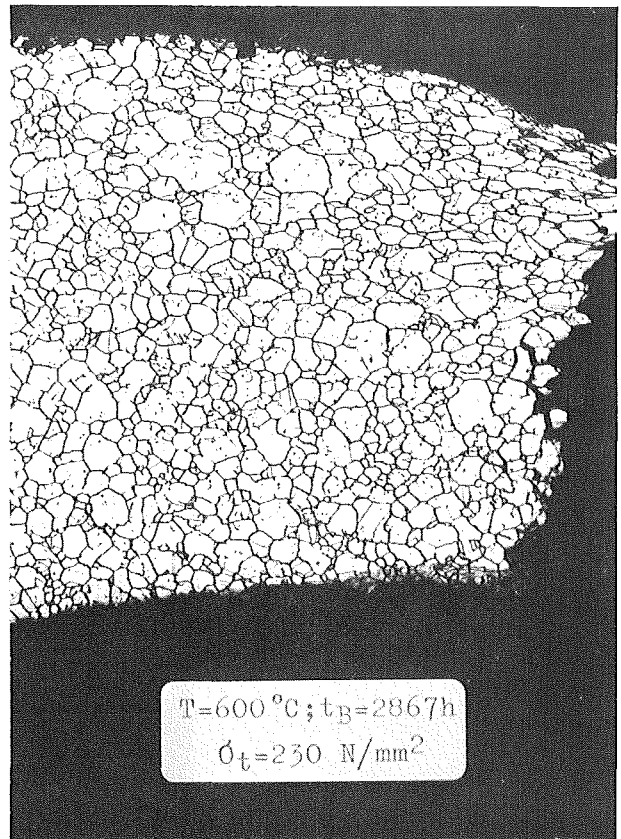
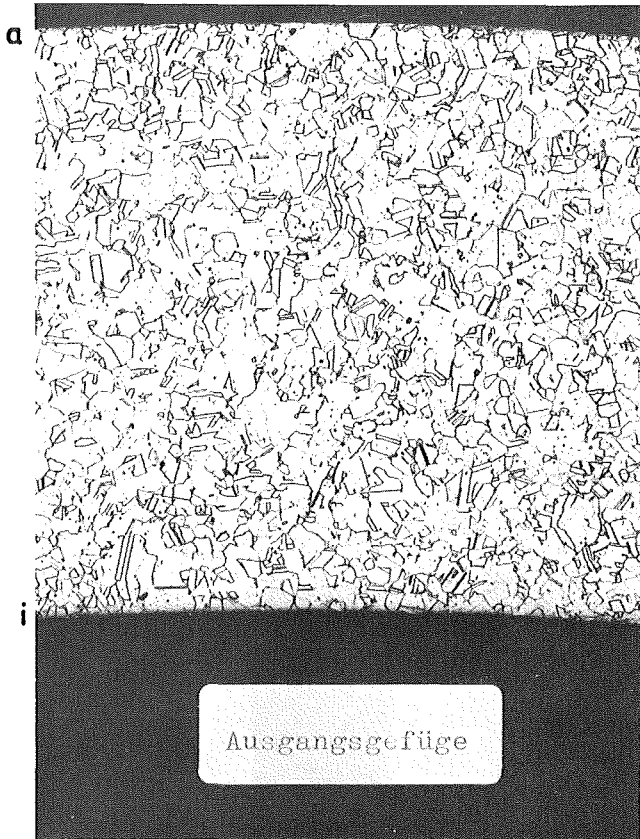


Abb.48 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 1613
Werkstoff - Nr. 1.4988

Charge: 25116 ; LG+ \pm 5%kv+800°C 20h

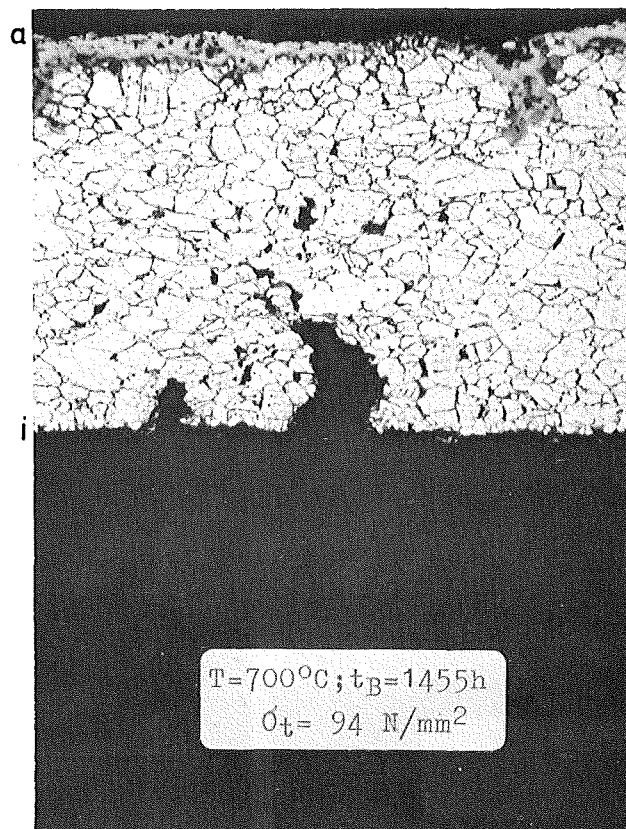
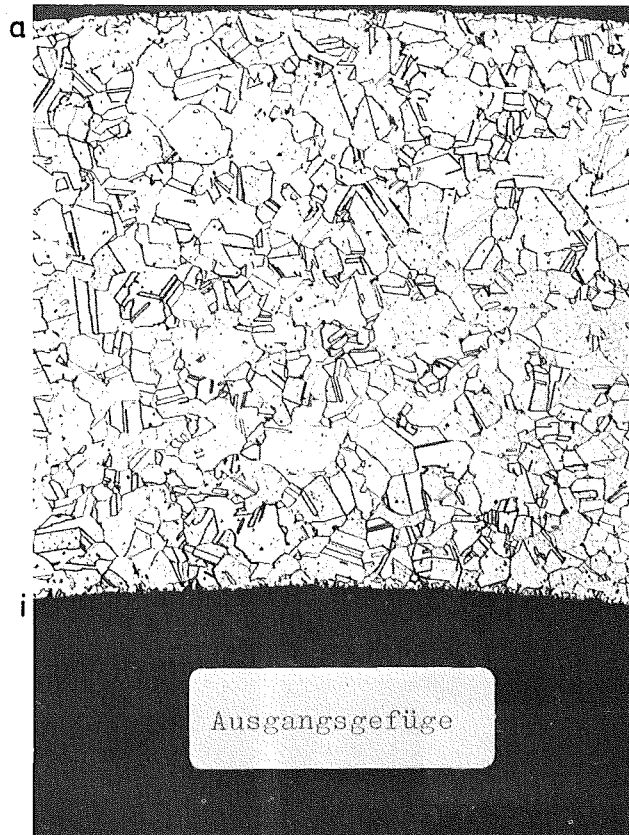


Abb. 49 Austenitischer Stahl X8CrNiMoVNb 16 13
Werkstoff-Nr. 1.4988

Charge : SL 733 ; LG + $\geq 12\%$ kv

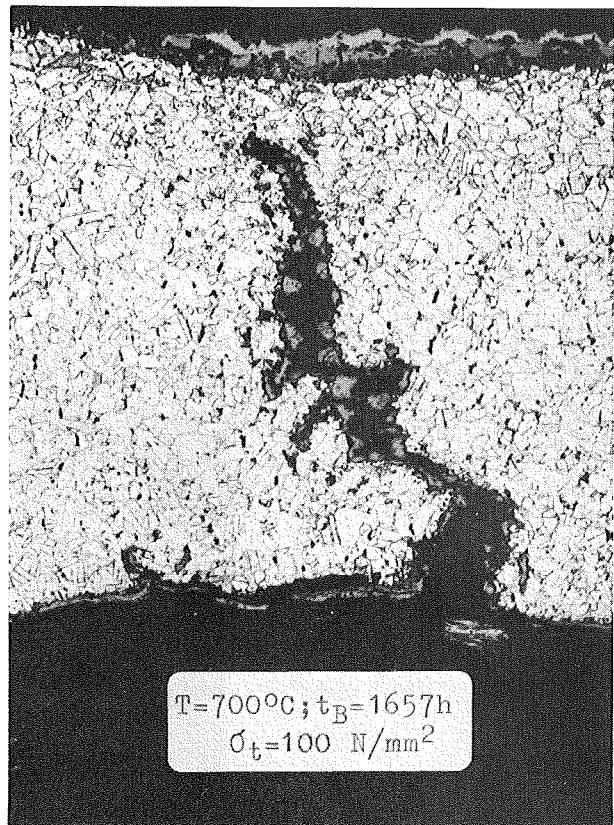
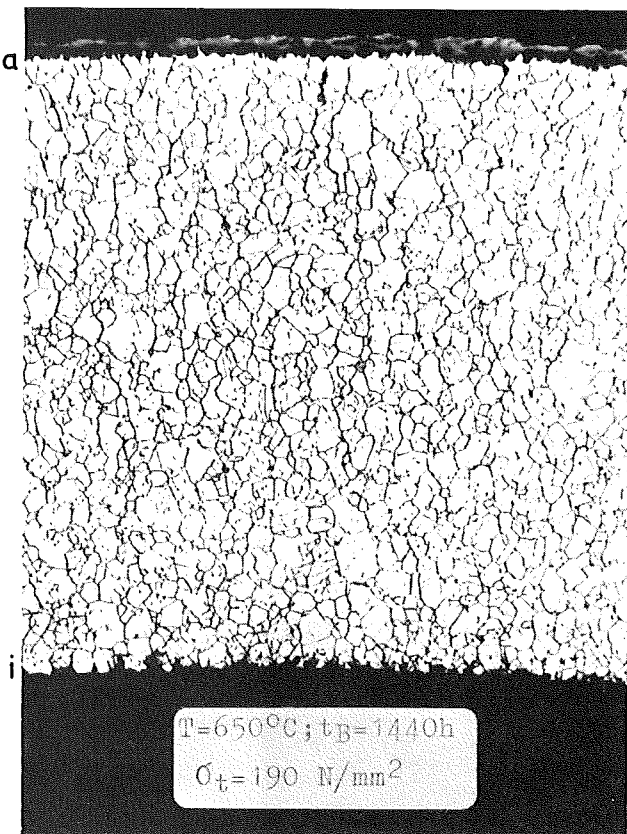
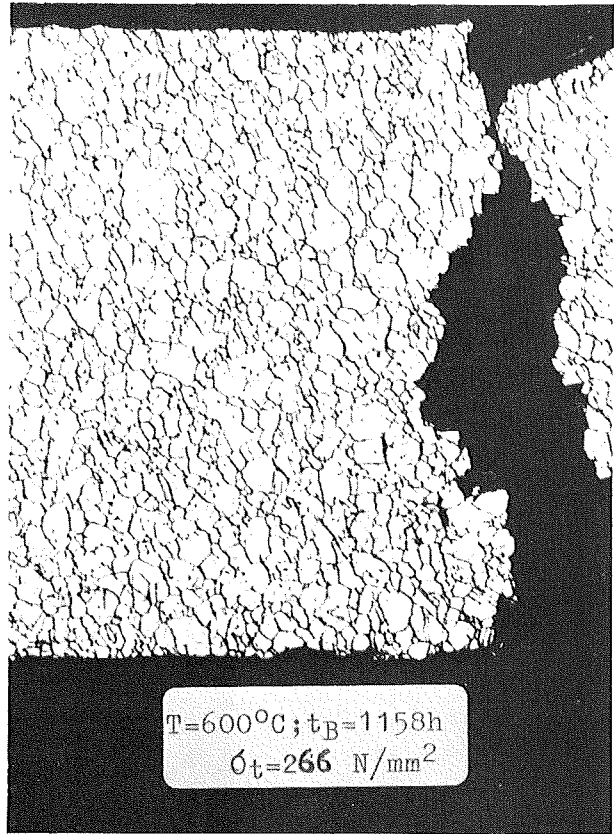


Abb.50 Austenitischer Stahl X 8 CrNiMoVNb 1613
Werkstoff-Nr. 1.4988

Charge: HV 139 ; LG + $\leq 5\%$ kv

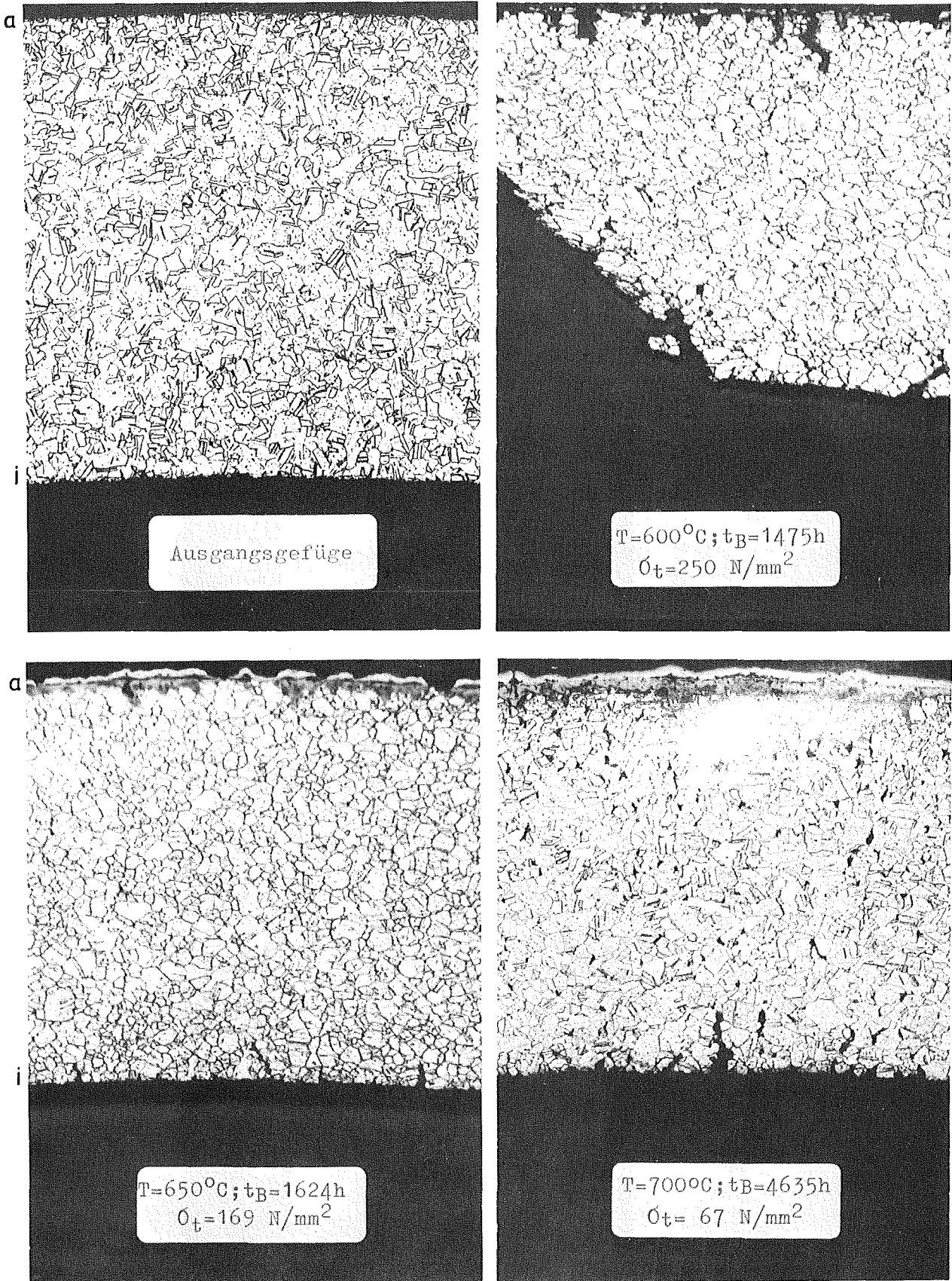


Abb.51 Austenitischer Stahl X 8CrNiMoNb 1616
Werkstoff - Nr. 1.4981

Charge: HV 139; LG+ \leq 5%kv+750°C 20h

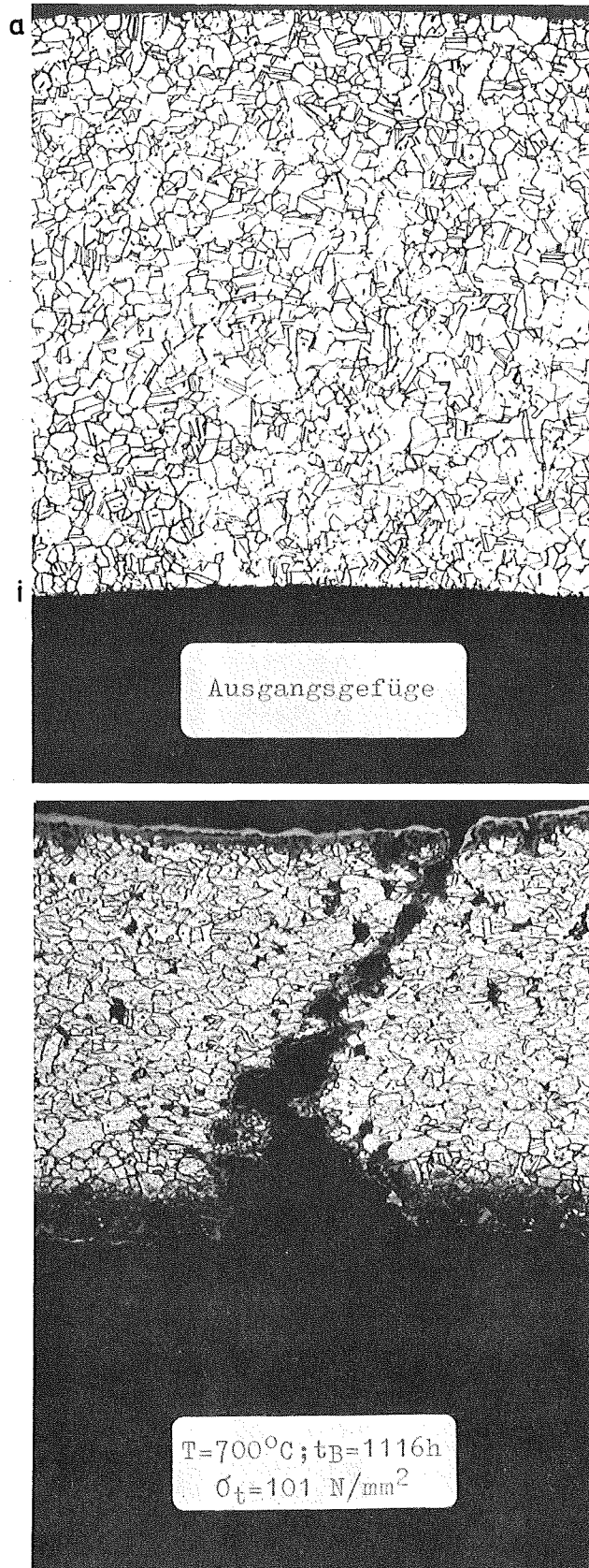


Abb.52 Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 16 16
Werkstoff -Nr. 1.4981

Charge : HV 139 ; LG $\pm 5\%$ kv +800°C 20h

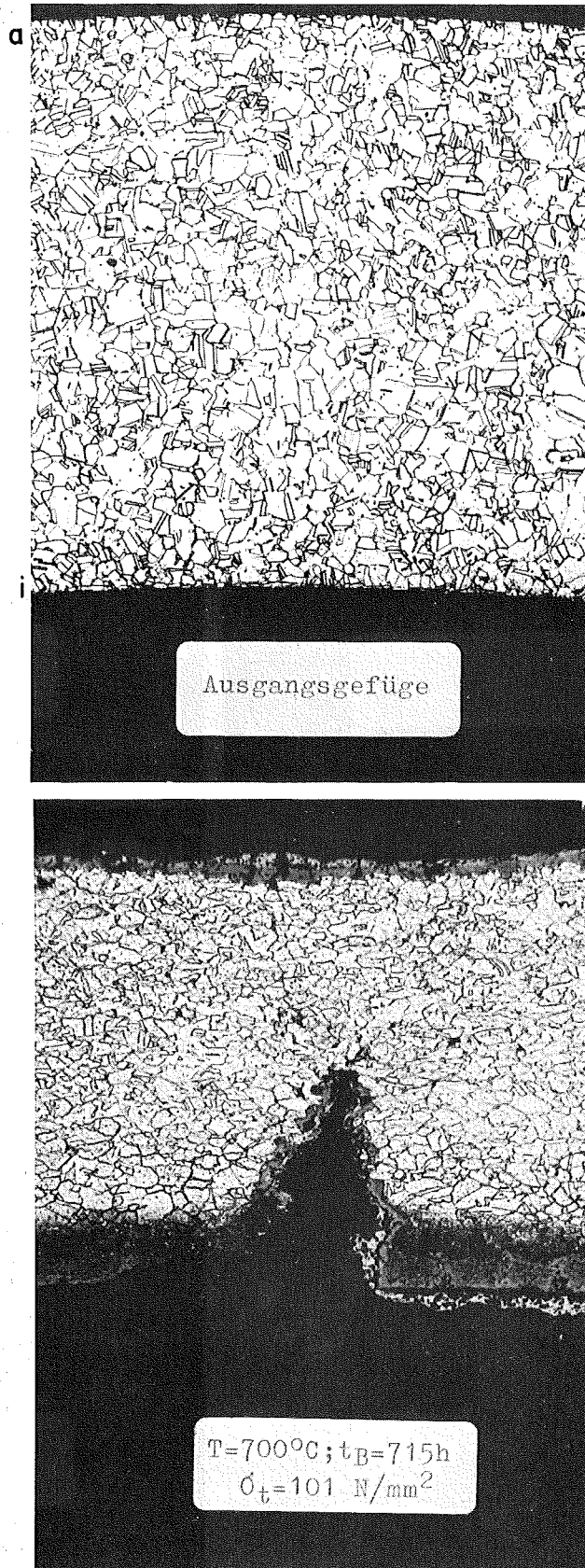


Abb. 53 Austenitischer Stahl X8CrNiMoNb 1616
Werkstoff - Nr. 1.4981

Charge: 70015 ; LG + ~7% kv

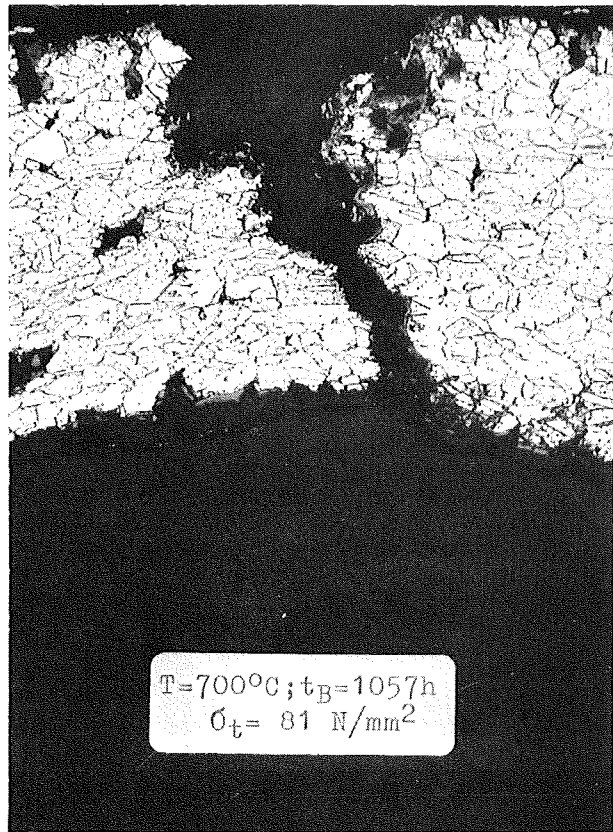
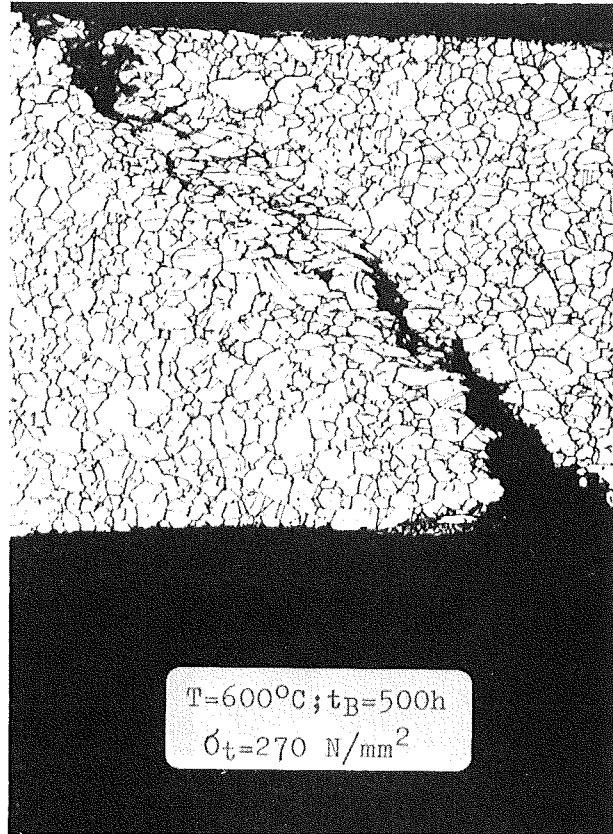
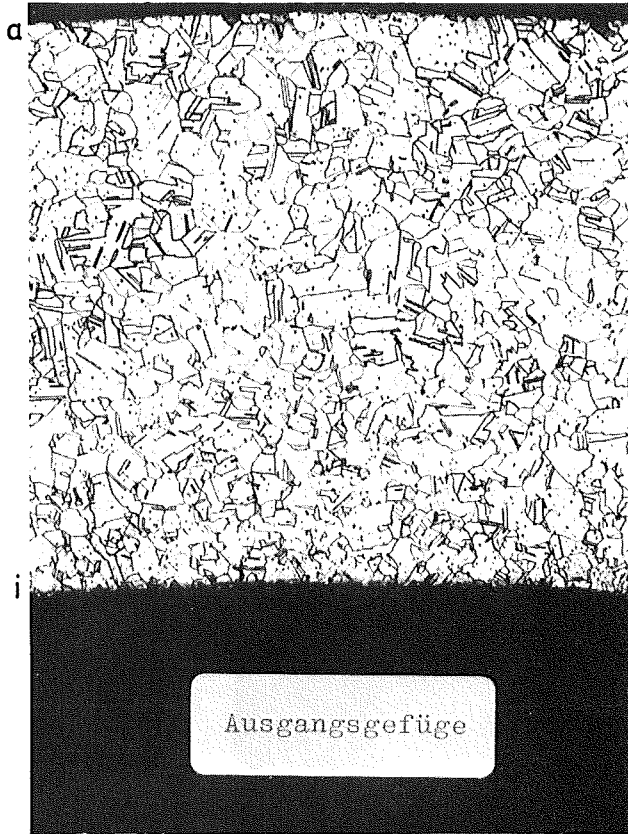


Abb.54 Austenitischer Stahl X 8 CrNiMoNb 1616
Werkstoff - Nr. 1.4981

Charge: 70015 ; LG + ~13% kv

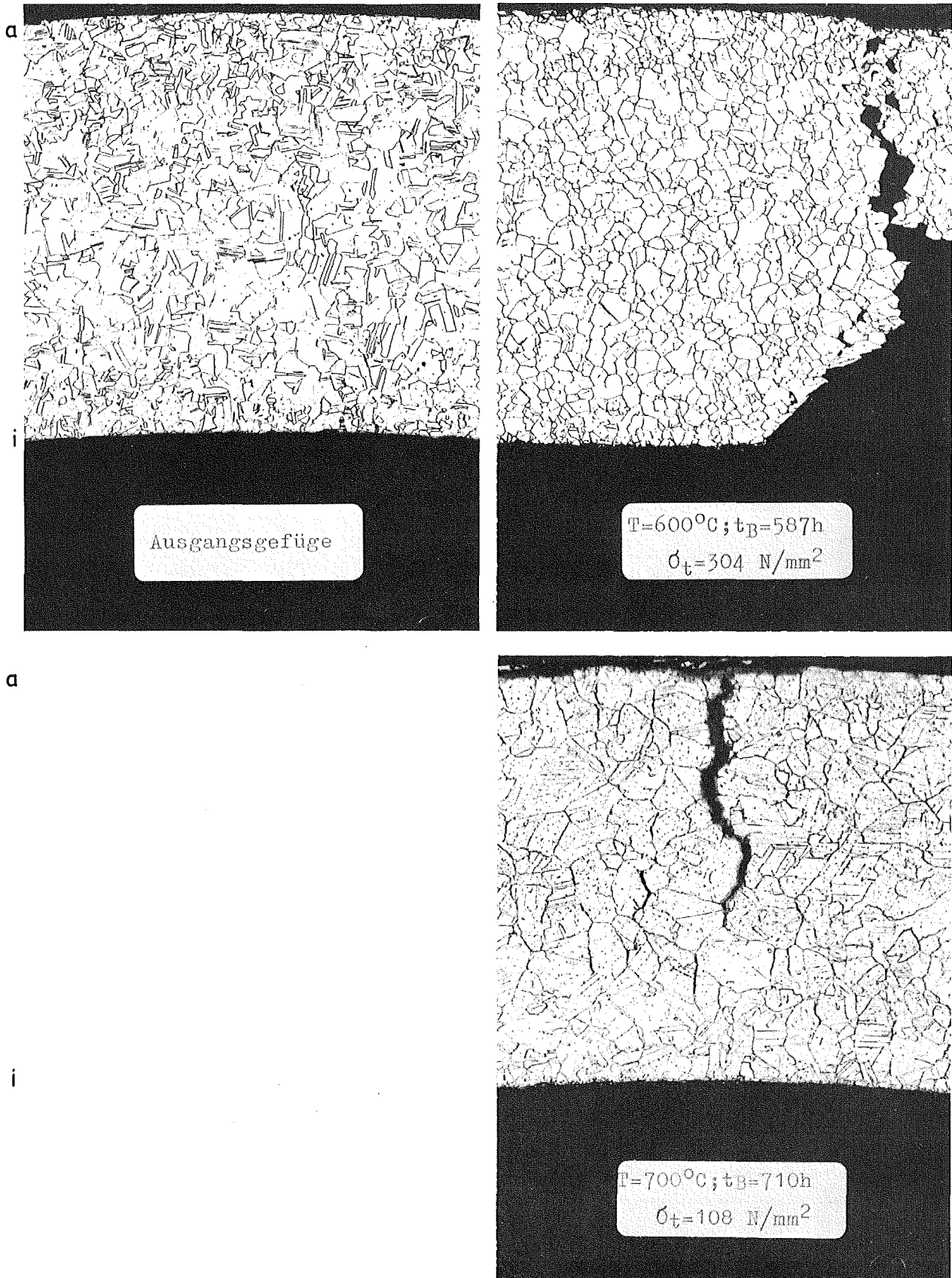


Abb.55 Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Mo Nb 16 16
Werkstoff -Nr. 1.4981

Charge: 8-29052 ; LG + ~16%kv

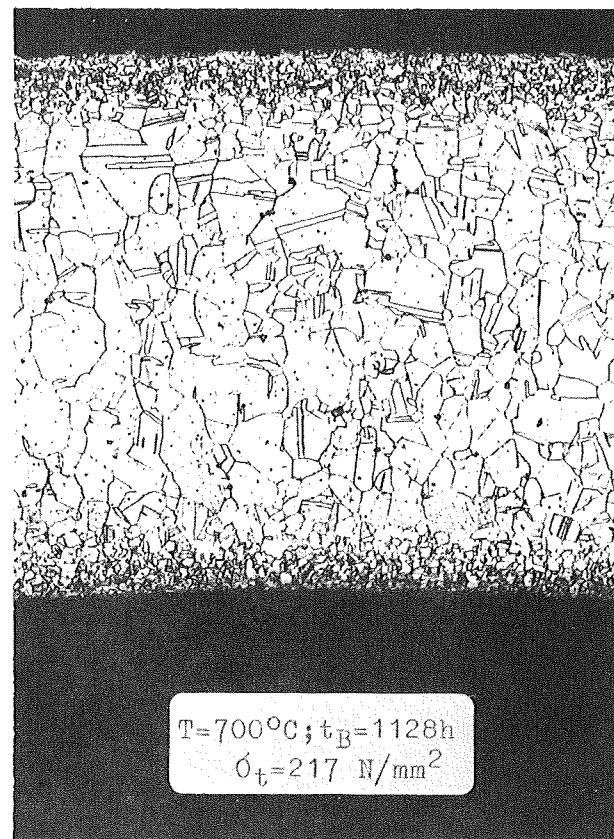
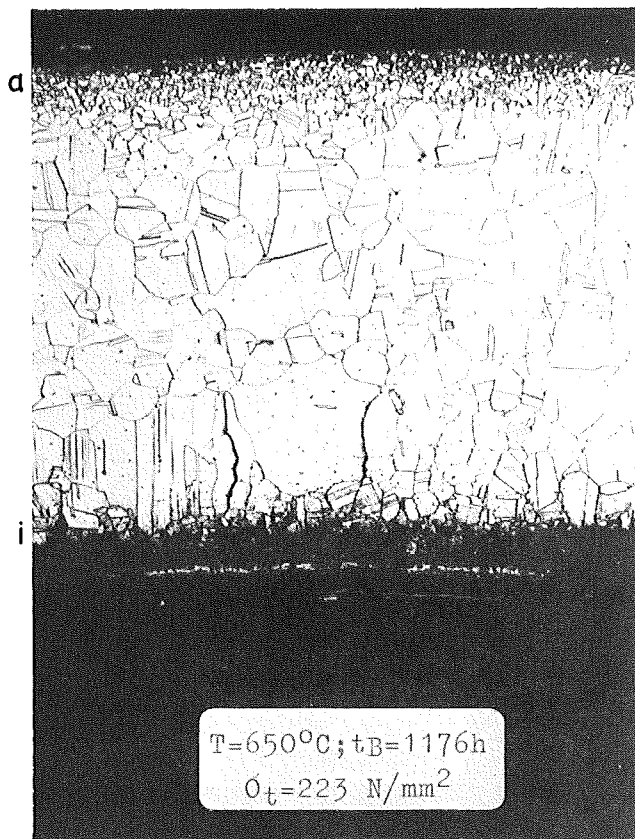
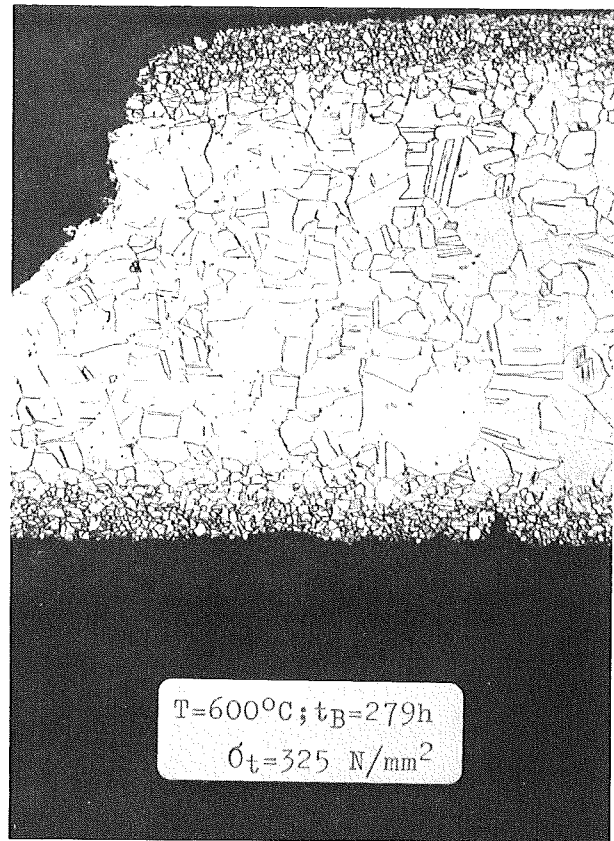
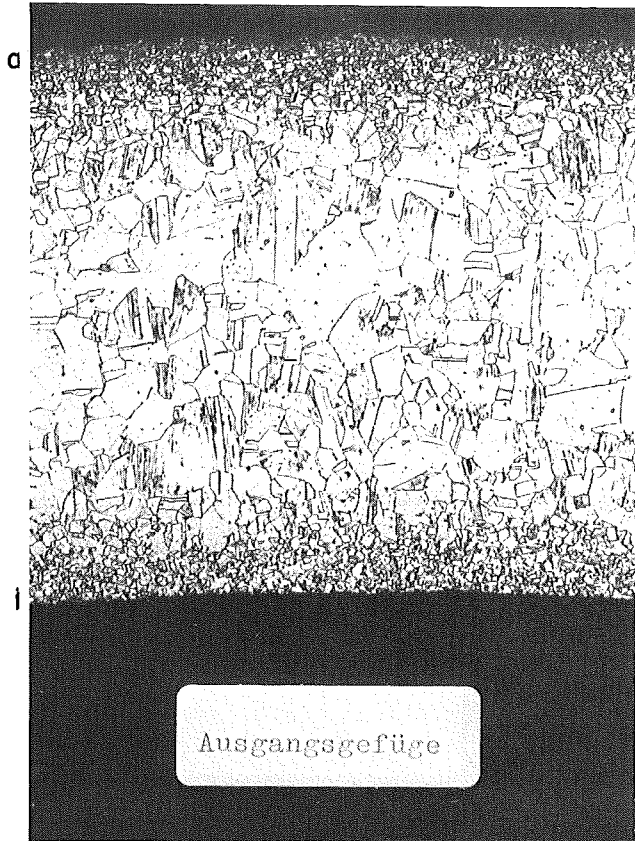


Abb.56 Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

Charge: 8 - 29052; LG + ~16%kv + 800°C 2h

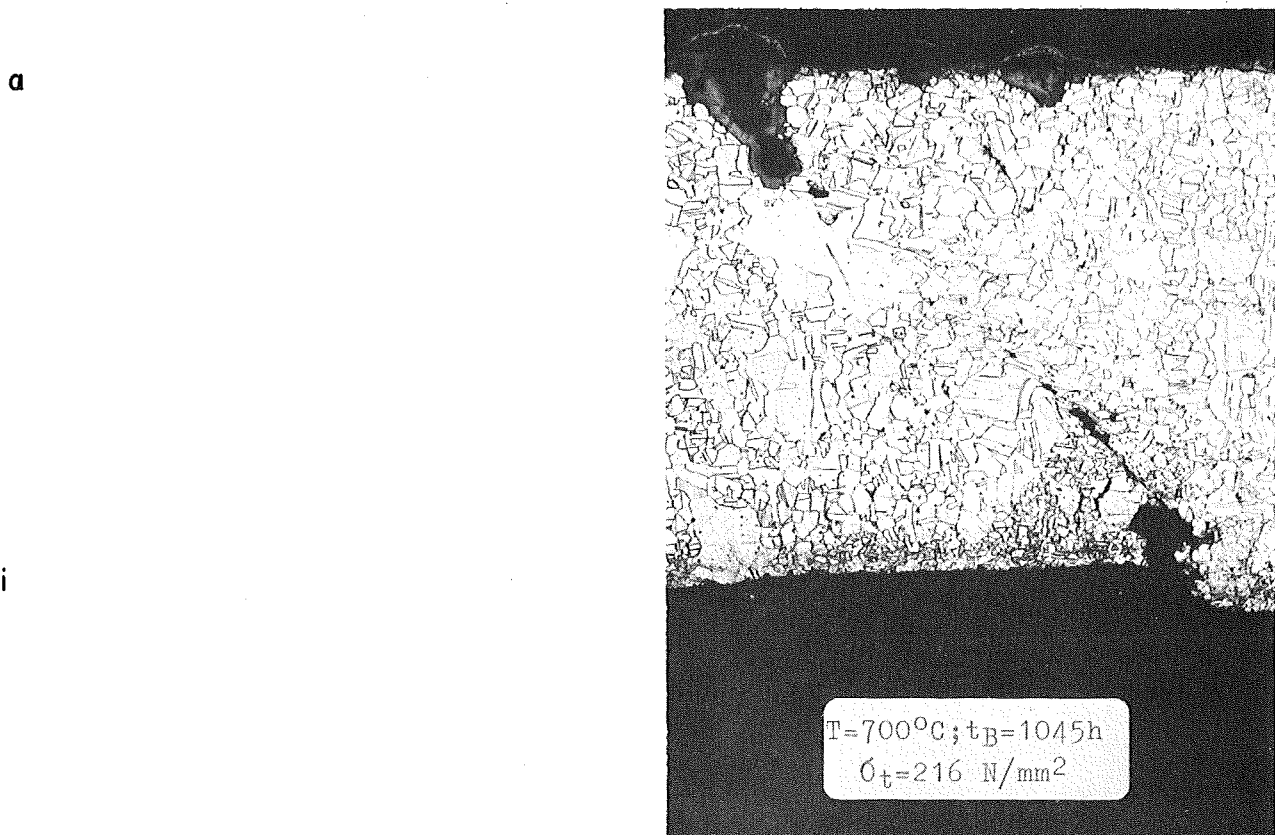
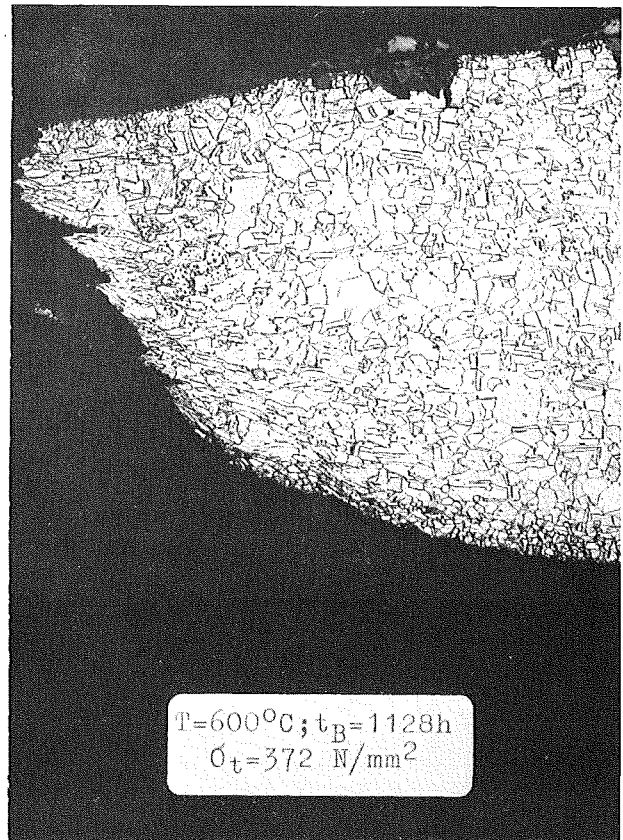
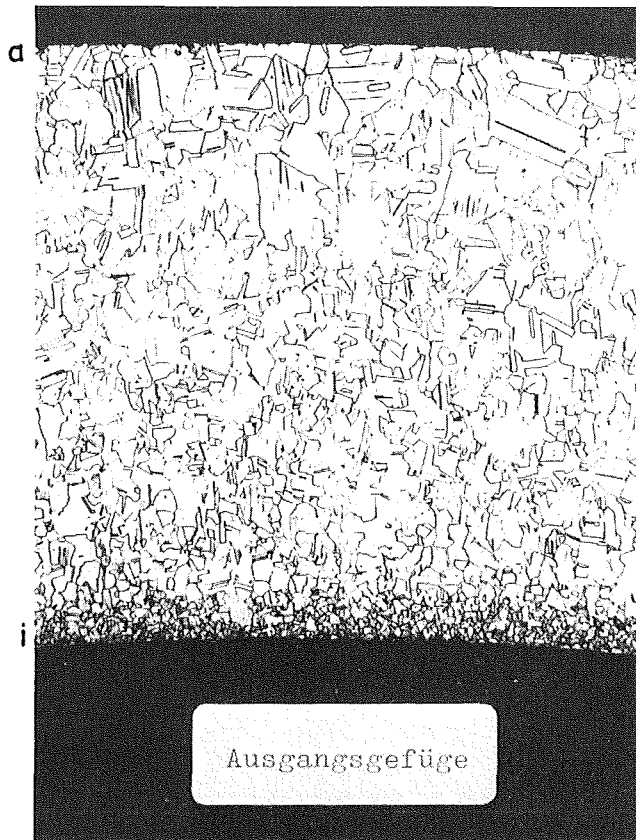


Abb. 57 Austenitischer Stahl X 10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

Charge: 8-29052 ; LG+16%kv + 800°C 23h

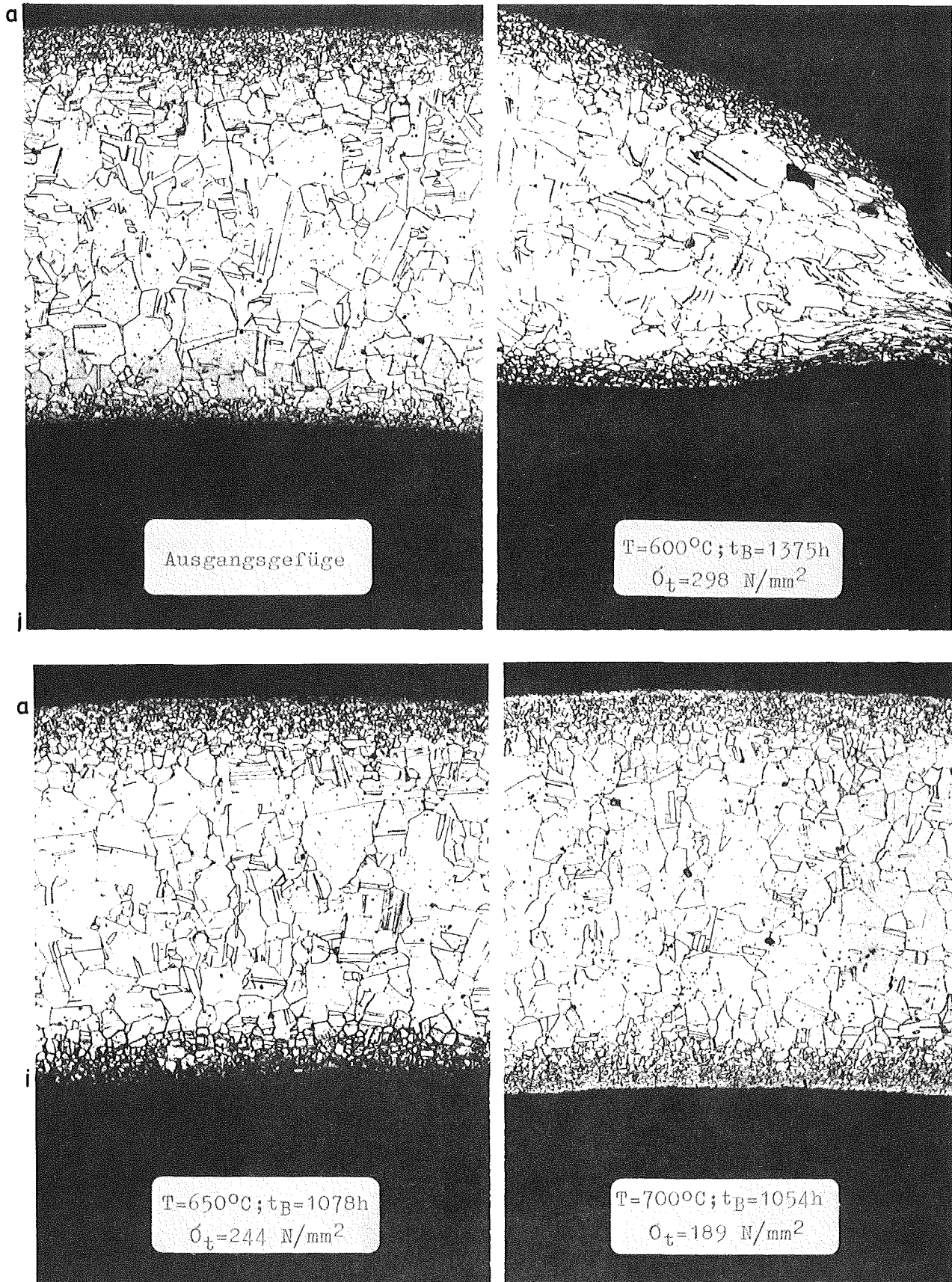


Abb.58 Austenitischer Stahl X10NiCrMoTiB 1515
Werkstoff-Nr. 1.4970

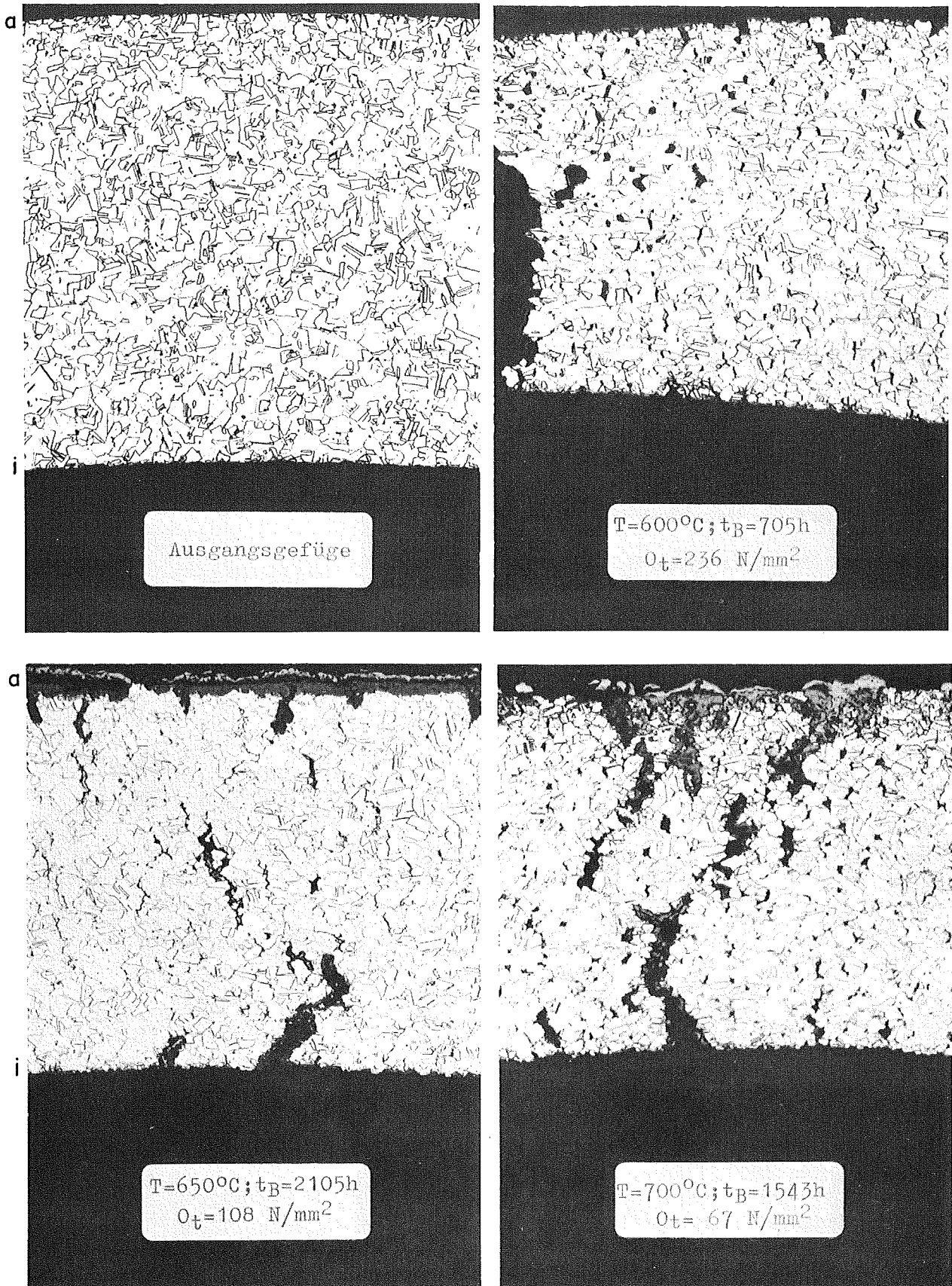


Abb.59 Austenitischer Stahl X 8 Cr Ni Nb 1613
Werkstoff-Nr. 1.4961

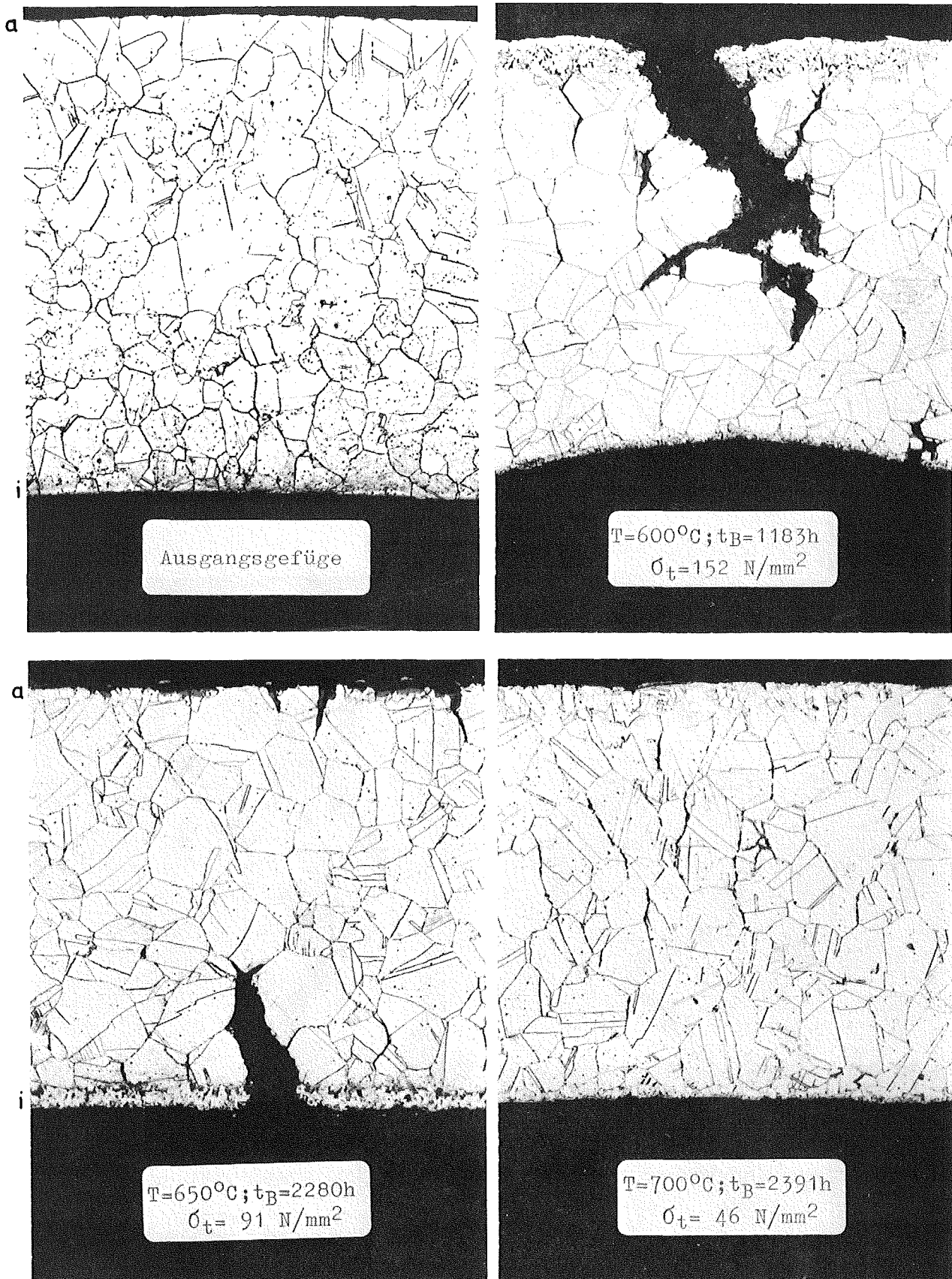


Abb.60 Austenitischer Stahl X4CrNiNb 2025
Werksbezeichnung: 20Cr/25Ni

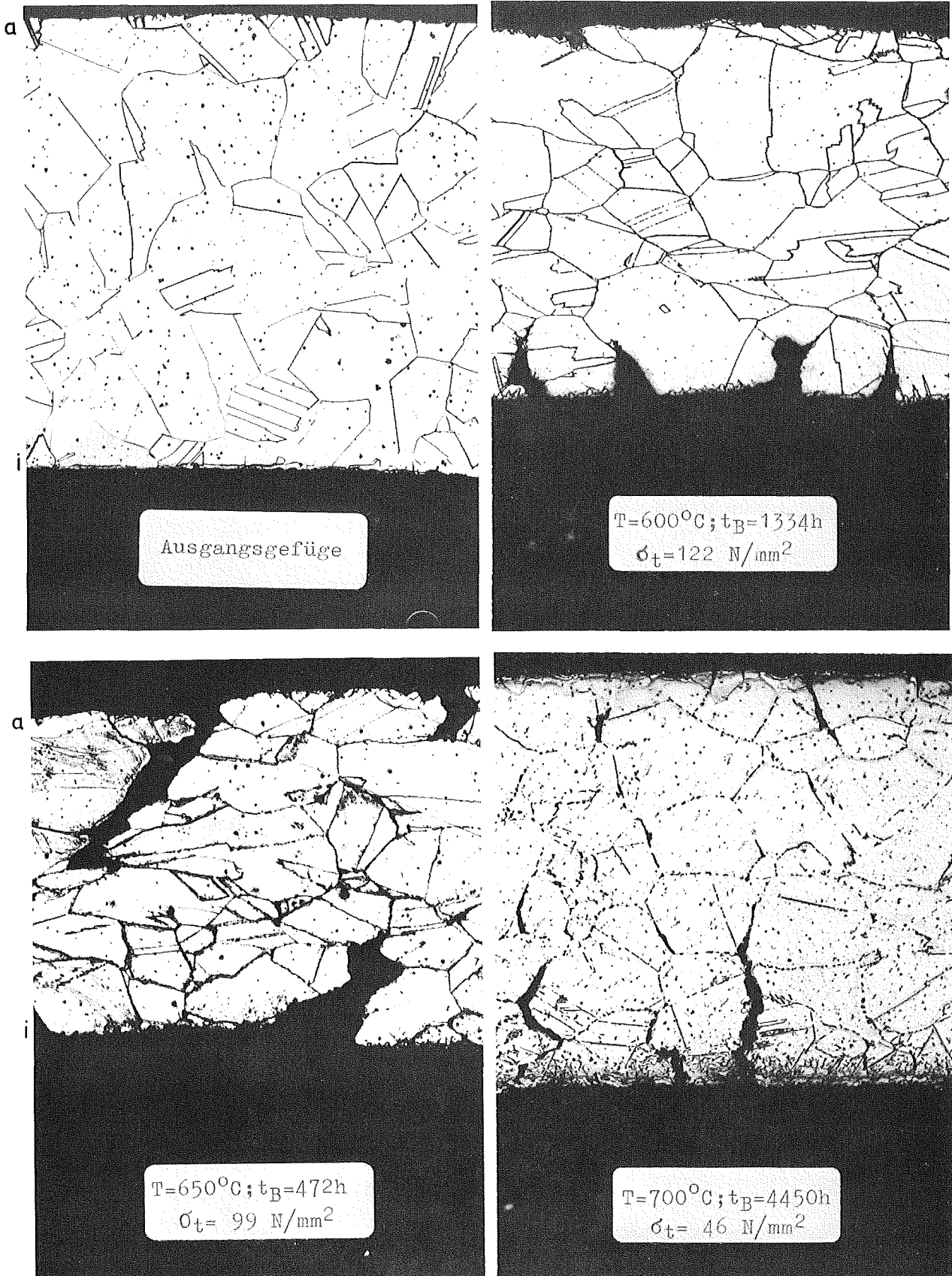


Abb. 61 Austenitischer Stahl X10NiCr 3220
Werkstoff-Nr. 1.4861



Abb.62 Austenitischer Stahl X10NiCr3220
Werkstoff-Nr. 1.4861

Charge: S 2106; LG+ \leq 12% kv

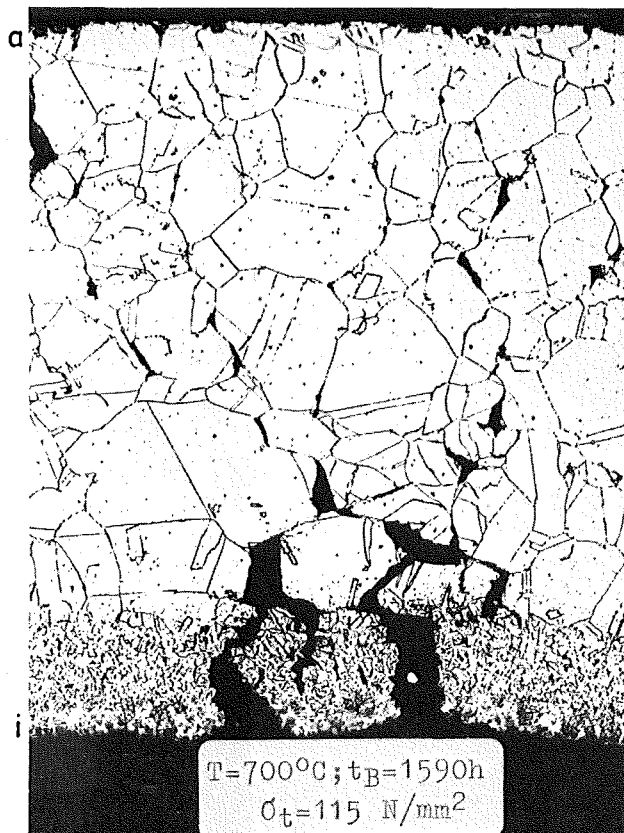
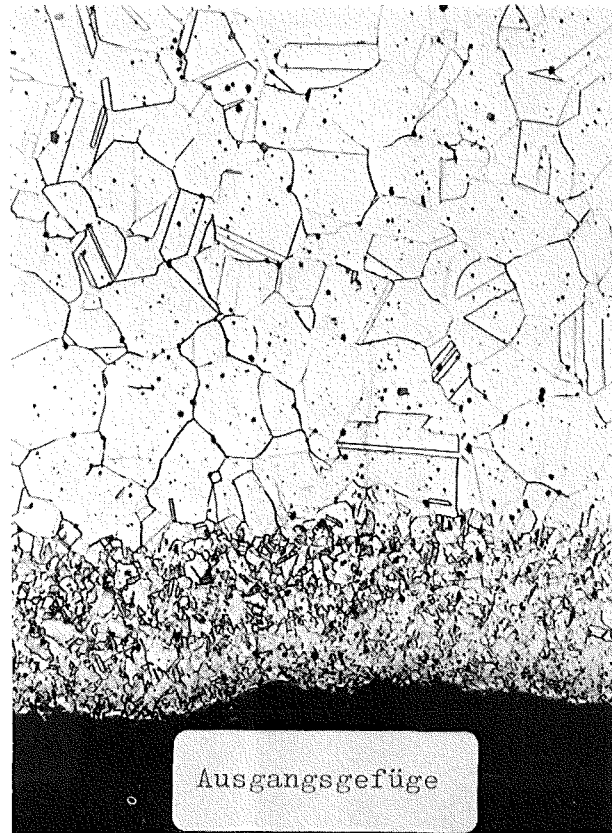


Abb. 63 Austenitischer Stahl X10NiCr 3220
Werkstoff - Nr. 1.4861

Charge: T 4921 ; LG +10-15% kv

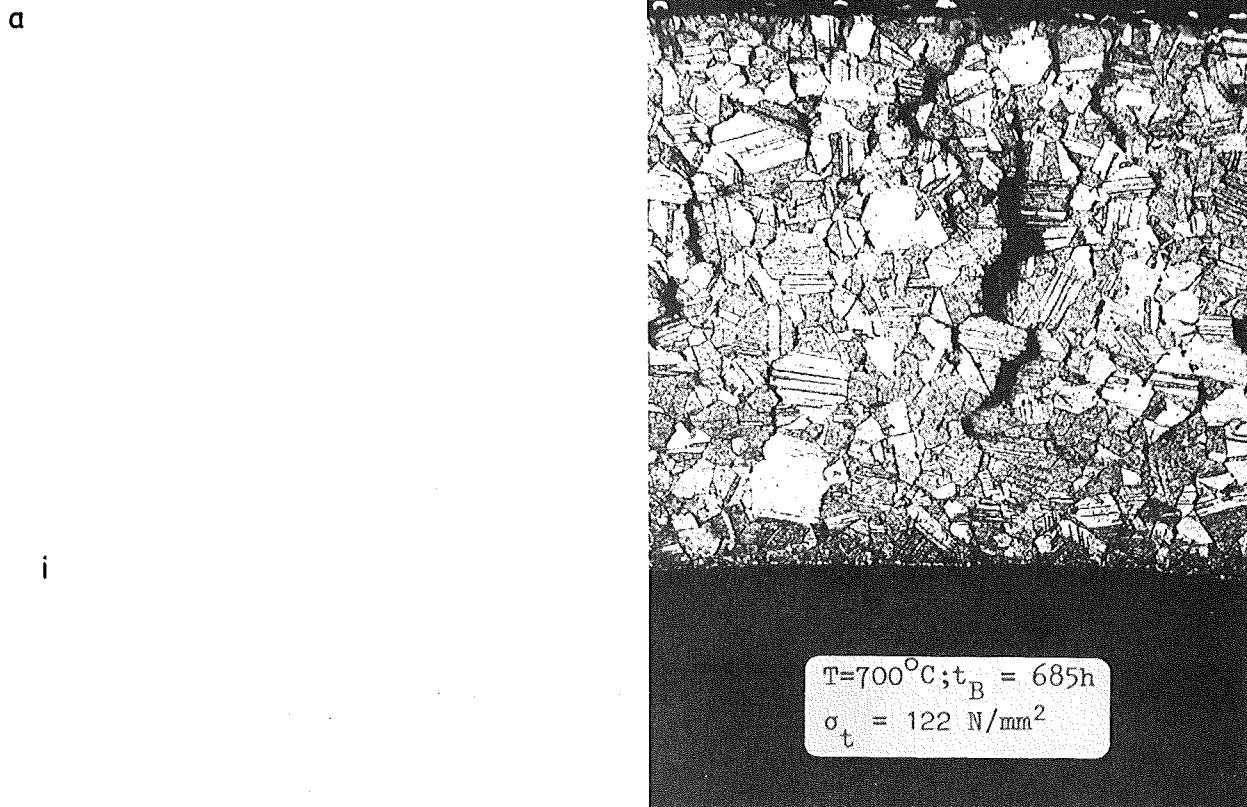
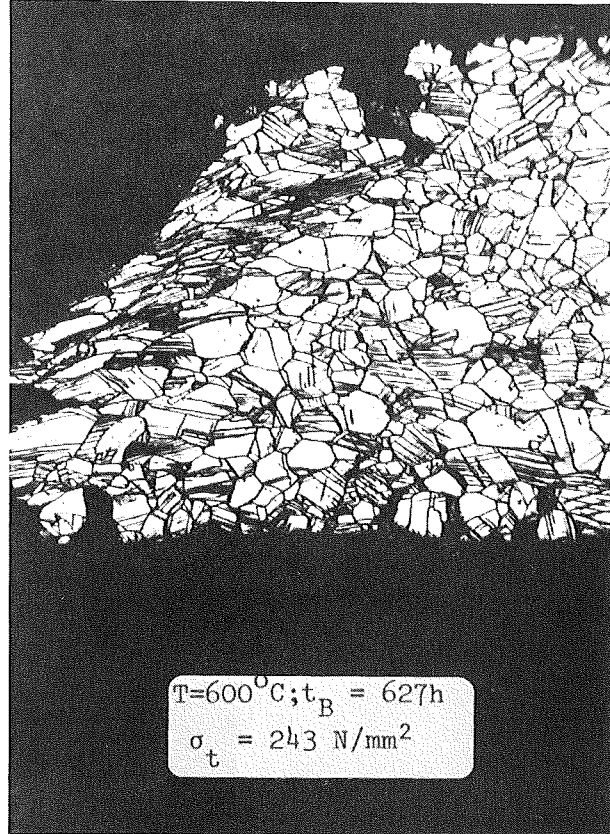
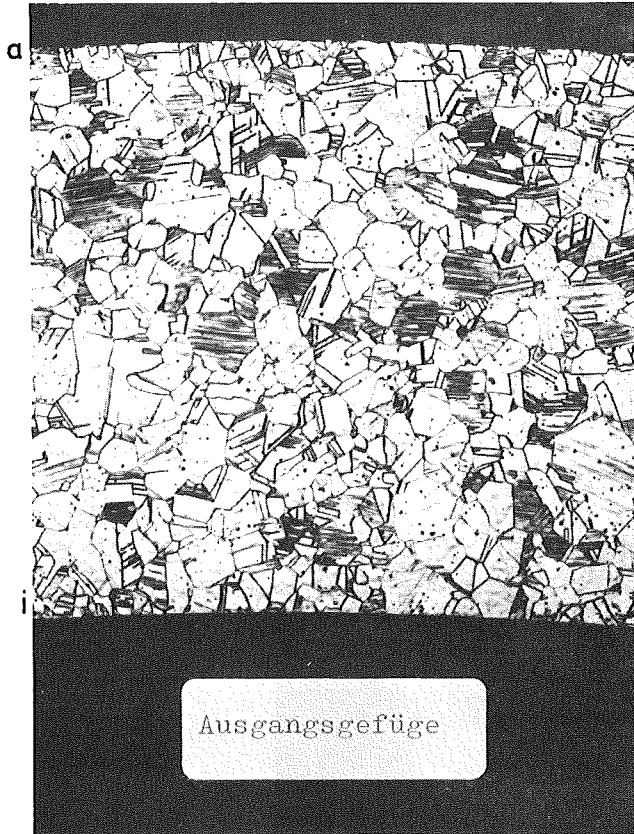


Abb.64 Austenitischer Stahl AISI 316
Werkstoff-Nr. 1.4401

Charge: 12667; LG + \leq 12% kv

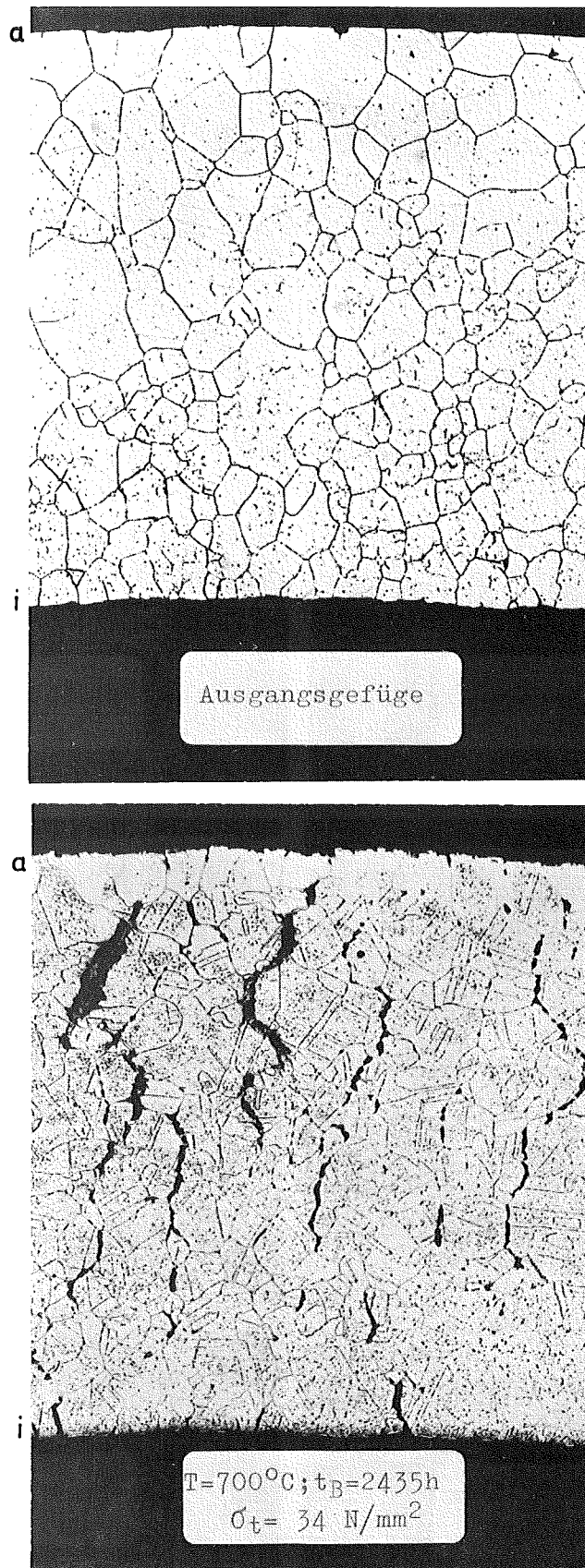


Abb. 65 Nickelbasislegierung NiCr 16 Fe 8 (INCONEL 600)
Werkstoff-Nr. 2.4640

Charge: NX 832 AV ; LG + $\leq 12\%$ kv

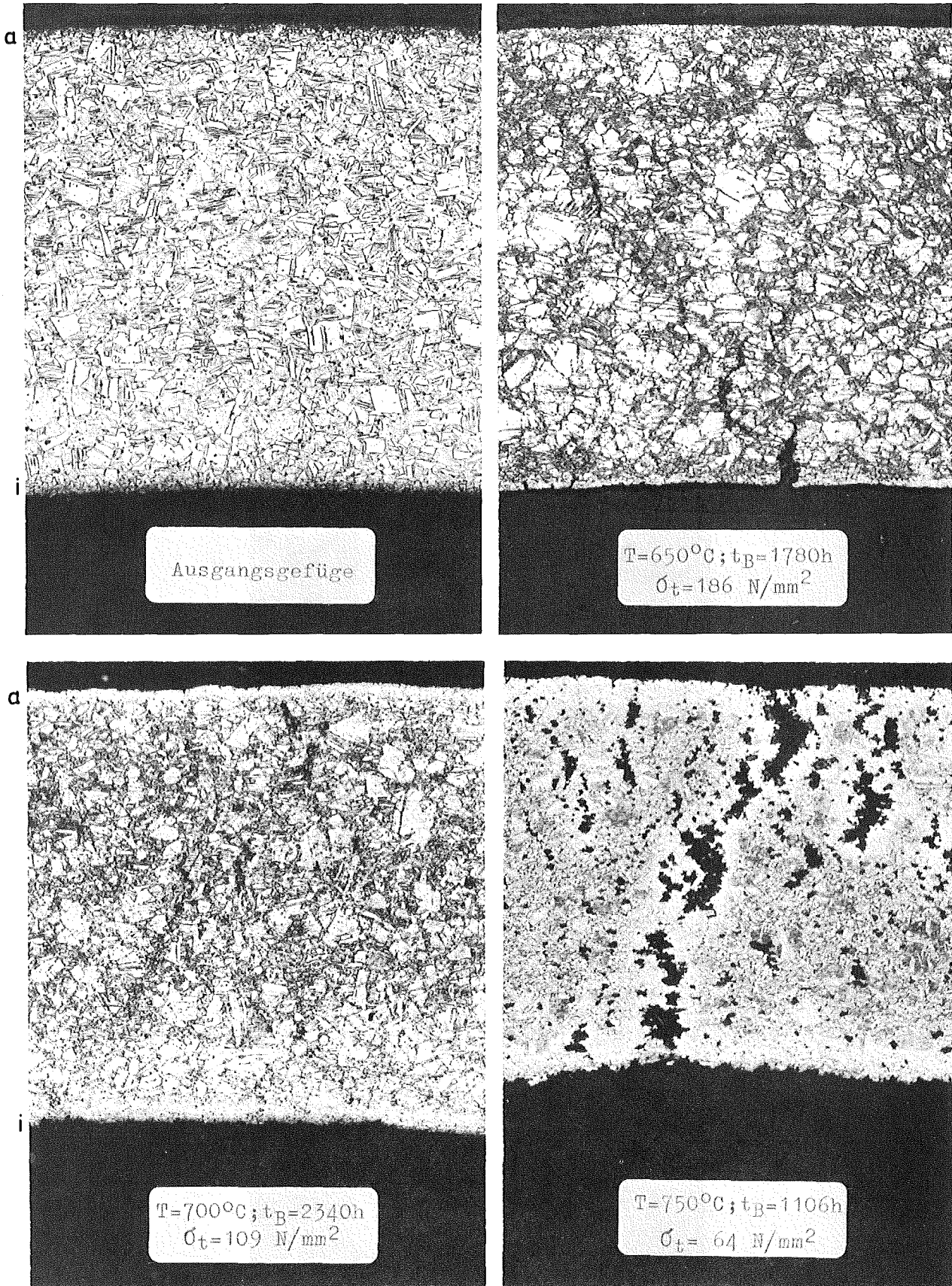


Abb.66 Nickelbasislegierung INCONEL 625

Charge: 7310-E; LG + $\leq 12\%$ kv

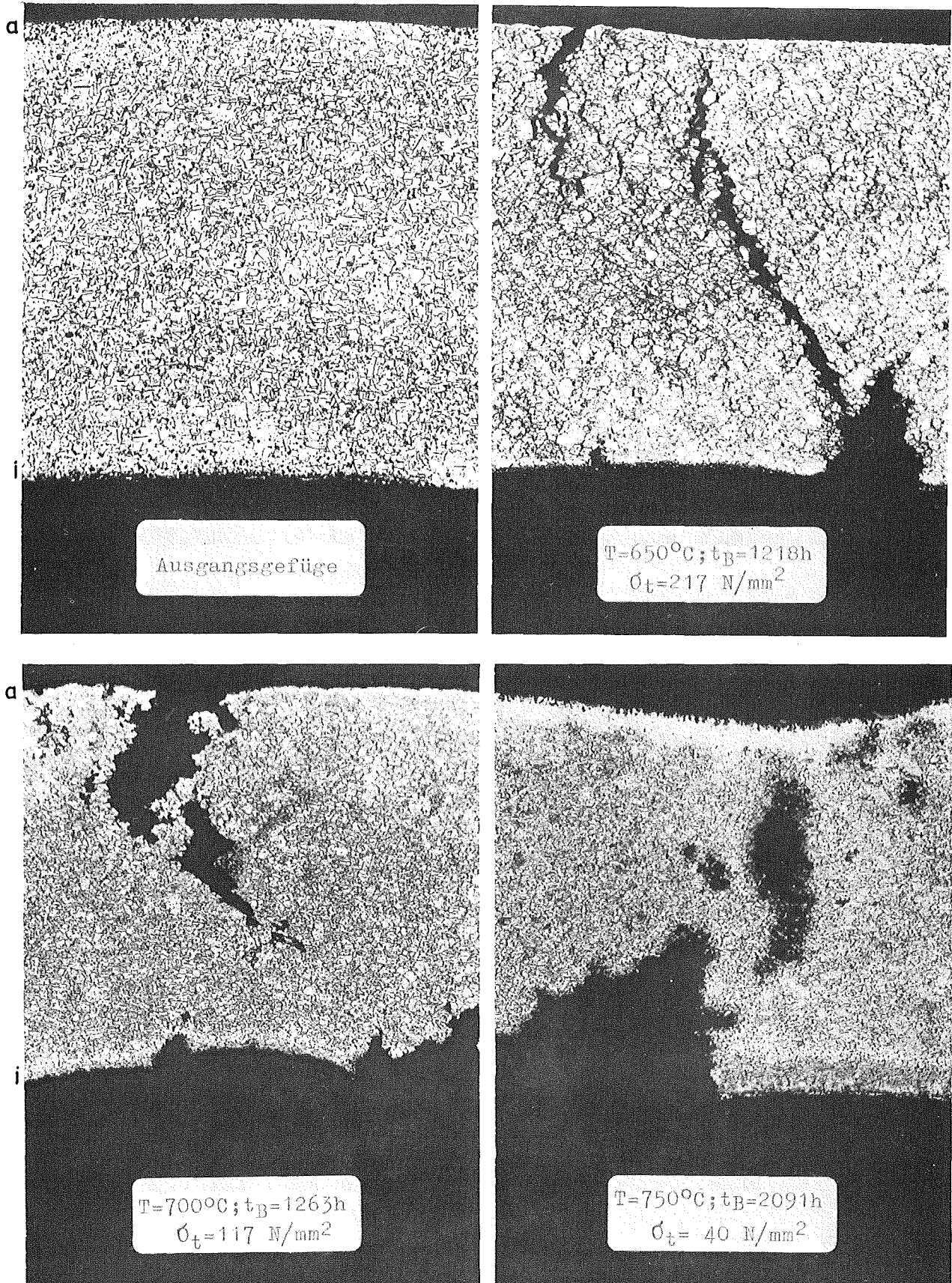


Abb.67 Nickelbasislegierung INCONEL 718

Charge: HT-4362-X ; LG+ \leq 12%kv

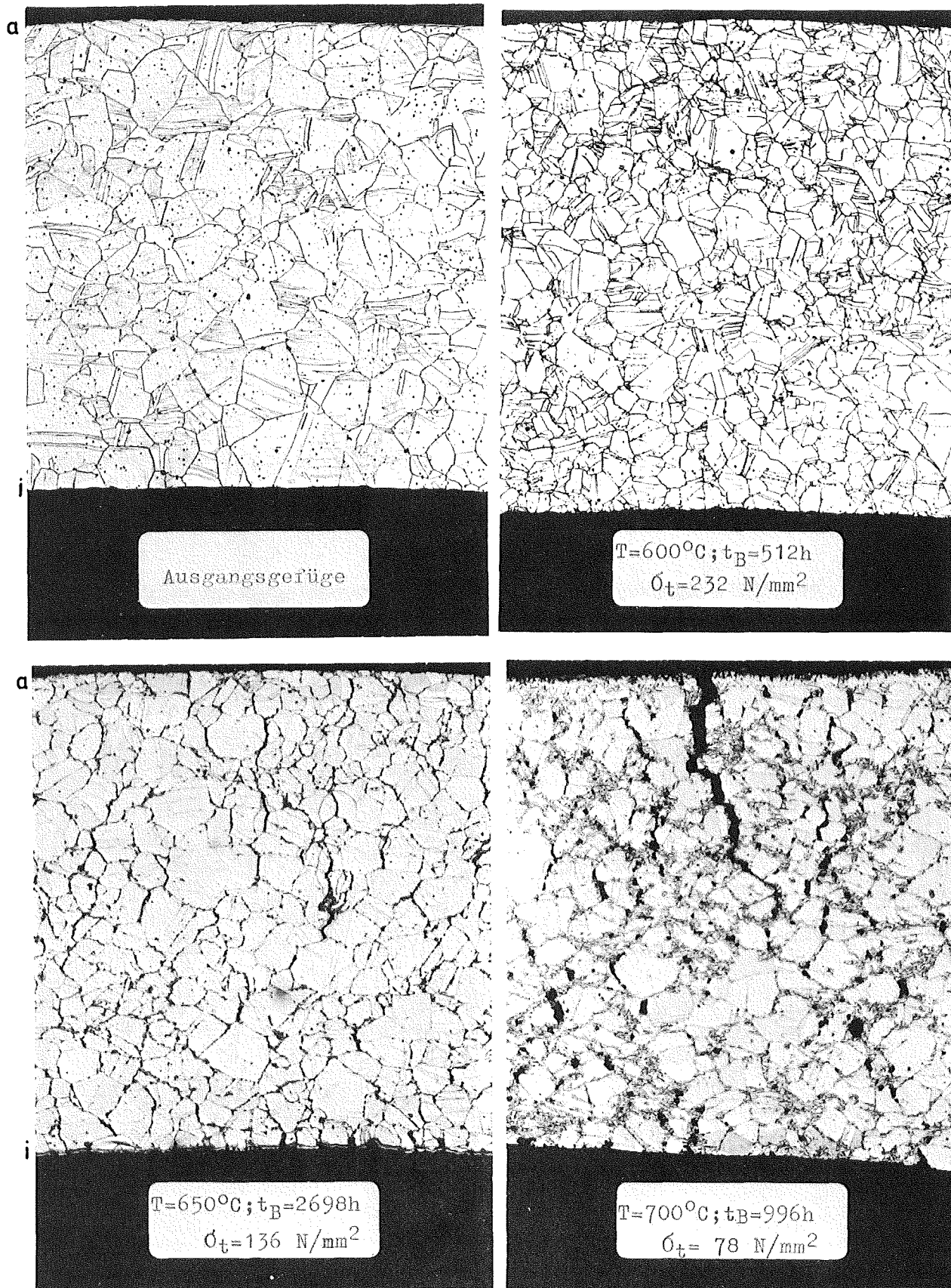


Abb. 68 Nickelbasislegierung INCONEL X 750

Charge: X4-4493; LG + $\leq 12\%$ kv

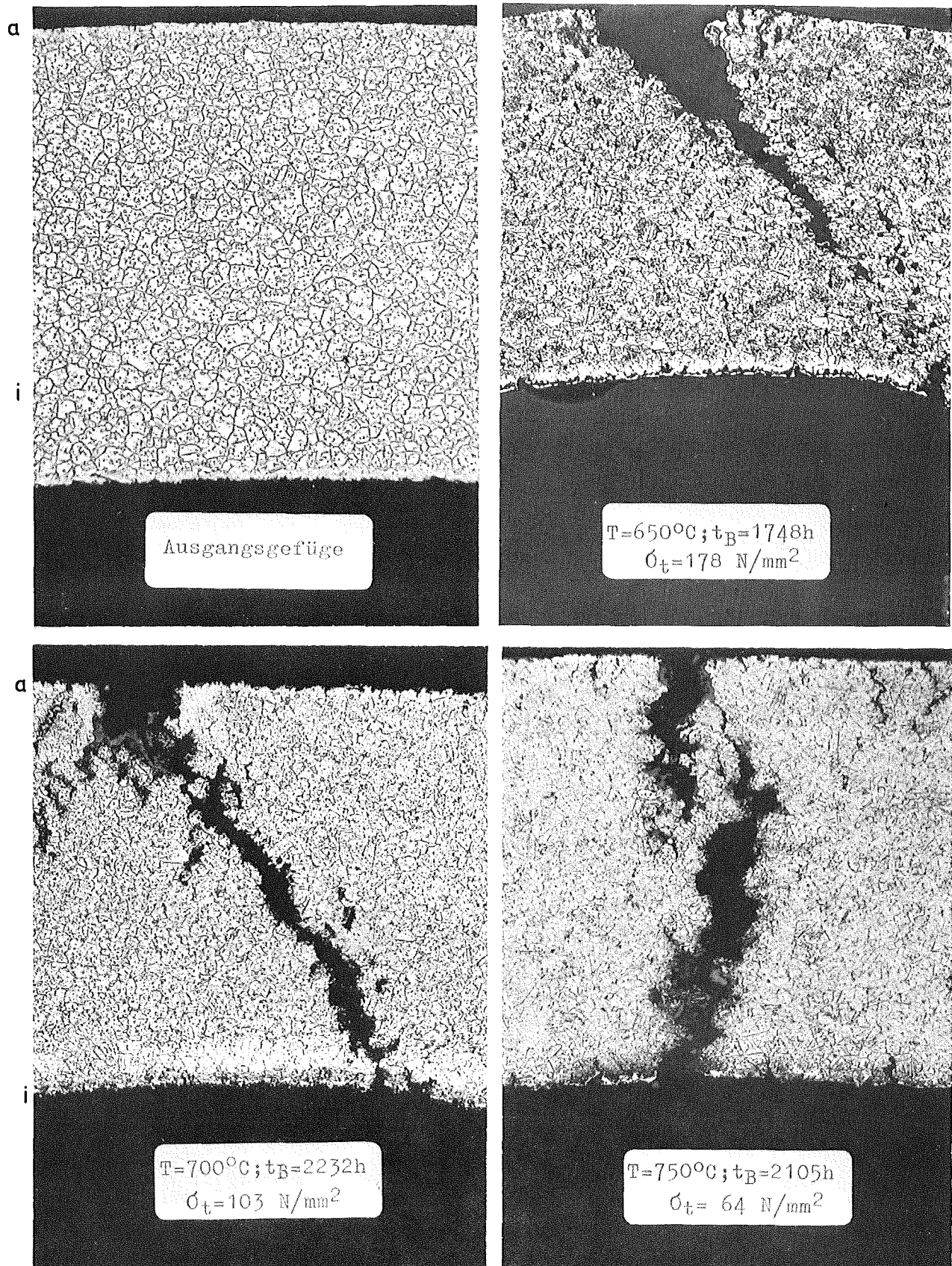


Abb.69 Nickelbasislegierung HASTELLOY X