



**KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Institut für Festkörperforschung**

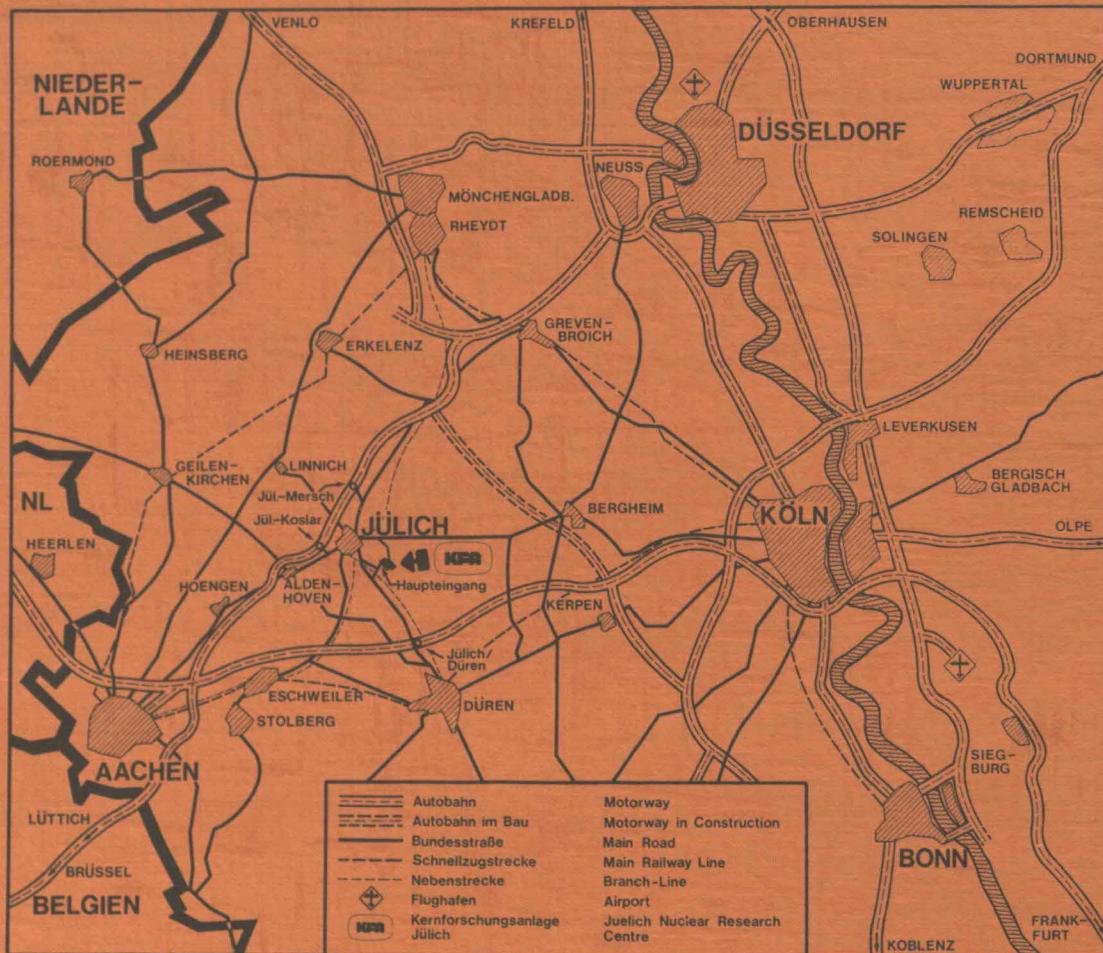
**Zugversuche an Folienproben  
aus Typ 316 Edelstahl im  
Temperaturbereich von 20 bis 900°C**

von

G. J. Kraaij

**Jül - Spez - 94  
Dezember 1980**

ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

**Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 94**

Institut für Festkörperforschung Jül - Spez - 94

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich 1 (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: (02461) 61-0 · Telex: 833556 kfa d

**Zugversuche an Folienproben  
aus Typ 316 Edelstahl im  
Temperaturbereich von 20 bis 900°C**

von

G. J. Kraaij

## ABSTRACT

Foil specimens in a thickness range of 20 - 500  $\mu\text{m}$  are increasingly used in simulation experiments where neutron-induced changes of mechanical properties are simulated by light ion bombardment. For a reliable transfer of such data to bulk material, the mechanical behavior of foil specimens in comparison with bulk specimens must be known. In this work results of tensile tests on cold worked and solution annealed type 316 stainless steel foils of 200  $\mu\text{m}$  thickness are reported for temperatures between 20 and 900 $^{\circ}\text{C}$ . The investigated material was part of a heat supplied by JRC Ispra. It shall serve as reference material for irradiation experiments within the Euratom Fusion Programme.

Ich danke den Mitarbeitern der Gruppe "Mechanische Werkstoffeigenschaften bei hoher Strahlenbelastung" am Institut für Festkörperforschung für ihre Hilfe bei der Probenpräparation und bei den Messungen. Insbesondere danke ich Dr. H. Ullmaier und J. Rothaut für ihre Betreuung, für viele wertvolle Diskussionen und für ihre Hilfe bei der Abfassung des Manuskripts.

Die vorliegende Arbeit wurde als Praktikum für mein Physikstudium an der Technischen Hochschule Eindhoven durchgeführt.

## INHALTSVERZEICHNIS

1. Erklärung der verwendeten Symbole
2. Einleitung
3. Physik des Zugversuches
4. Experimentelles
  - 4.1 Probenherstellung und Charakterisierung
  - 4.2 Zugapparatur mit Hochtemperatureinsatz
5. Ergebnisse und Diskussion
6. Schlußfolgerungen
7. Literaturverzeichnis

1. Erklärung der verwendeten Symbole

D	Probendicke ( $\mu\text{m}$ )
L	Probenlänge (mm)
$L_0$	Probenlänge im unverformten Zustand (mm)
A	Probenquerschnitt ( $\text{mm}^2$ )
$A_0$	Probenquerschnitt im unverformten Zustand ( $\text{mm}^2$ )
$\epsilon$	Dehnung (%)
$\delta$	Bruchdehnung (%)
$\sigma$	wahre Spannung (MPa)
$\sigma_{0.2}$	wahre Spannung bei 0.2% Dehnung (MPa)
$\sigma_m$	wahre maximale Spannung (MPa)
$R_m$	Zugfestigkeit (MPa)
T	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\xi$	Kaltwalzgrad (%)
S.A.	lösungsgeglüht
c.w.	kaltgewalzt

## 2. Einleitung

Die Gruppe "Mechanische Werkstoffeigenschaften bei hoher Strahlenbelastung" im Institut für Festkörperforschung der KFA Jülich führt Untersuchungen bestrahlungsinduzierter Änderungen von mechanischen Eigenschaften durch.<sup>(1)</sup> Als Bestrahlungsquelle wird ein kleines Zyklotron verwendet, das leichte Ionen (p,d, $\alpha$ ) mit Energien bis zu 28 MeV liefert. Diese Teilchen sind in der Lage, Proben bis zu 200  $\mu\text{m}$  Dicke, welche für mechanische Tests geeignet sind, homogen zu schädigen. Dadurch gelingt es, die in Reaktoren auftretenden Neutronenschäden zeitsparend und billig zu simulieren.

Eine Übertragung solcher Simulationsdaten auf Reaktorbedingungen erfordert u.a. eine genaue Kenntnis des Verhaltens von Folienproben im Vergleich zu massiven Standardproben. Außerdem hängen die Festigkeitsparameter und ihre Veränderung durch Bestrahlung von der genauen chemischen Zusammensetzung und der thermomechanischen Vorbehandlung eines Materials ab. Selbst bei Legierungen mit genormter Spezifikation schwanken diese Daten von Hersteller zu Hersteller und sogar von Charge zu Charge beträchtlich.

Die "Expert Group on Fusion Materials" bei EURATOM hat deshalb eine Reihe von Referenzlegierungen vorgeschlagen, die von einem Hersteller erschmolzen werden und an die verschiedenen Laboratorien verteilt werden. Eine dieser Standards ist ein Edelstahl vom Typ 316<sup>(2)</sup> mit der in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzung. An diesem Material wurden in dieser Arbeit in zwei oftverwendeten metallurgischen Zuständen (lösungsgeglüht und 20% kaltverformt) erste Spannungs-Dehnungsdiagramme im Temperaturbereich von 20-900°C aufgenommen. Die daraus erhaltenen Daten sind eine wichtige Basis für die zukünftigen Bestrahlungsexperimente.

### 3. Physik des Zugversuches

Im Zugversuch wird eine an beiden Enden eingespannte Probe mit konstanter Dehngeschwindigkeit meist bis zum Bruch verformt. Dabei wird die zur Verformung notwendige Spannung simultan registriert. Das Ergebnis ist ein sogenanntes Spannungs-Dehnungsdiagramm. Es bildet die Grundlage zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens von Werkstoffen.

Abb. 1 unten zeigt solch ein Spannungs-Dehnungsdiagramm schematisch für eine einkristalline reine Metallprobe.

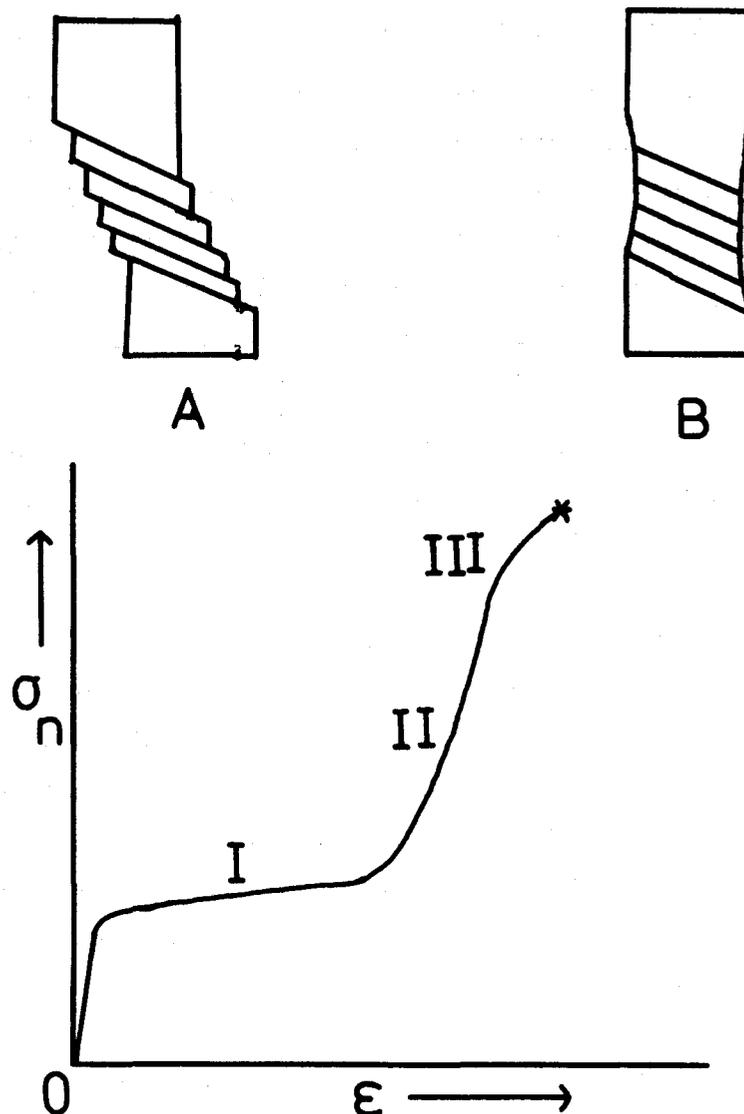


Abb. 1:

Spannungs-Dehnungsdiagramm eines reinen Metalleinkristalls (schematisch). Bei sog. freier Gleitung würde sich der Kristall in der Form A verformen, beim Zugversuch ist die Mittelachse festgehalten, die Kristallebenen müssen sich daher bei der Verformung verdrehen (B).

Man kann folgende Bereiche unterscheiden:

**Linearer Bereich nahe 0:** Hier verformt sich die Probe elastisch (Hooke'sches Gesetz). Bei Wegnehmen der Last geht die Probe auf ihre ursprüngliche Länge zurück.

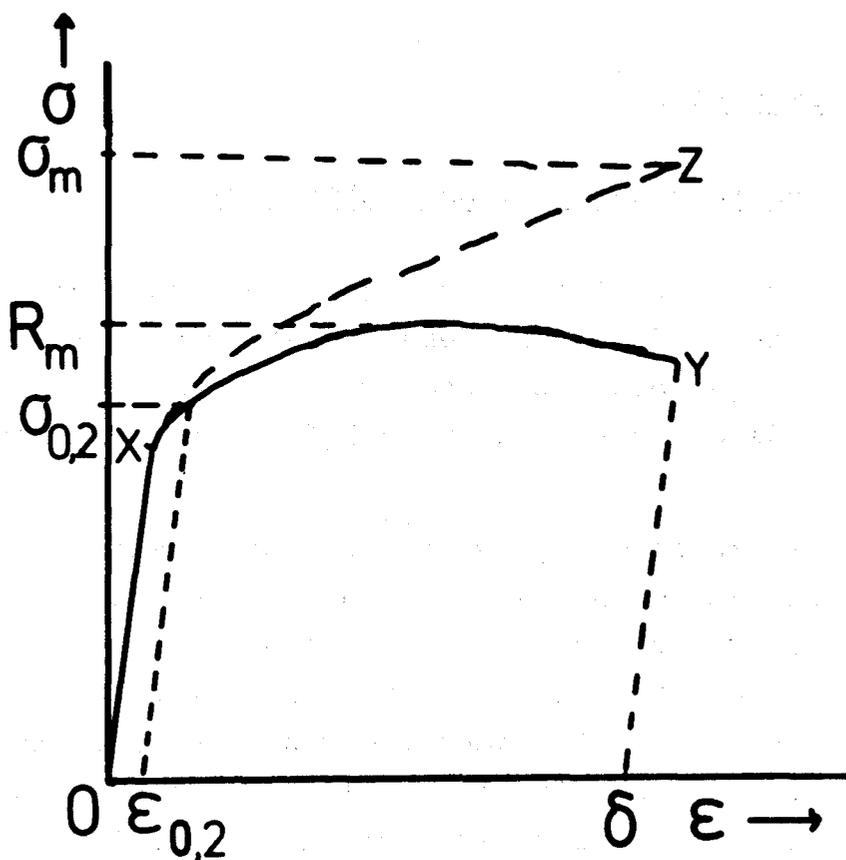
**Bereich I:** Plastische Verformung durch sog. Einfachgleiten, wo Versetzungen sich nur auf einer Sorte von Gleitebenen (die günstig zur Spannung orientiert sind) bewegen (siehe auch Abb. 1 A). Da die Versetzungen bis zur Oberfläche des Kristalls ohne große Behinderung laufen können und dort Gleitbänder erzeugen, ist die Verfestigung  $d\sigma/d\varepsilon$  im Bereich I gering.

**Bereich II:** Mit zunehmender Verformung drehen sich die Kristallebenen (Abb. 1 B) und es wird auch auf anderen Gleitebenen die kritische Schubspannung erreicht. - Mehrfachgleiten setzt ein. Die Versetzungen laufen in verschiedene Richtungen und behindern sich dabei gegenseitig (z.B. Lomer-Cottrell Lock). Dadurch kommt es zu einer starken Verfestigung.

**Bereich III:** Hier können Versetzungen bei hoher Spannung wieder ausheilen (Quergleiten, Klettern) und die Verfestigung nimmt wieder ab, bis es schließlich zum Bruch kommt.

In polykristallinem Material fehlt der Bereich I. Außerdem bilden die Korngrenzen zusätzliche Hindernisse für die Versetzungsbewegung. Weitere Verfestigungsmöglichkeiten, die in der Praxis genutzt werden, sind Kaltverformung (Erzeugung hoher Versetzungsdichten), Mischkristallhärtung (Fremdatome als Hindernisse) und Ausscheidungshärtung (dispers verteilte sekundäre Phasen als Hindernisse). In technisch verwendeten Werkstoffen wirkt meist eine Kombination mehrerer Härtungsmechanismen.

Ein typisches Spannungs-Dehnungsdiagramm eines technischen Werkstoffes ist schematisch in Abb. 2 gezeigt. Es hat sich als praktisch erwiesen, folgende Kenngrößen zur Charakterisierung der Festigkeitseigenschaften eines Materials anzugeben:



**Abb. 2:** Spannungs-Dehnungsdiagramm eines Vielkristalls (schematisch).

- $\sigma_{0,2}$  Streckgrenze, d.i. die Spannung, die eine bleibende Dehnung von  $\epsilon=0.2\%$  hervorruft.
- $R_m$  Zugfestigkeit, d.i. die maximale technische Spannung (= Last/Anfangsprobenquerschnitt).
- $\delta$  Bruchdehnung

Während die obigen technischen Größen direkt aus dem gemessenen Spannungs-Dehnungsdiagramm O-X-Y abzulesen sind, erhält man die physikalisch relevanten wahren Spannungen aus der Kurve O-X-Z. Sie wird erhalten, wenn man die entsprechenden Zugkräfte auf den tatsächlichen Probenquerschnitt (der sich während der Verformung verringert) und nicht auf den Anfangsquerschnitt bezieht.

#### 4. Experimentelles

##### 4.1 Probenherstellung und Charakterisierung

Als Ausgangsmaterial für die Zugproben diente ein Block aus austenitischem Edelstahl, dessen chemische Zusammensetzung in Tabelle 1 angegeben ist. Davon wurden 5 mm dicke Quader abgetrennt, deren Oberfläche geschliffen und in 2 Gruppen geteilt.

(a) In der ersten Gruppe wurden zuerst Streifen mit 300  $\mu\text{m}$  Dicke durch Walzen hergestellt. Nach einer einstündigen Glühung bei 1020°C im Hochvakuum mit anschließender schneller Abkühlung wurden die Folien auf die Enddicke von 200  $\mu\text{m}$  gebracht. Danach erfolgte die Formgebung der Zugproben durch Funkenerosion (s. Abb 3), an die sich schließlich eine Endglühung wieder bei 1020°C für 2 Stunden im Hochvakuum anschloß. Dieser thermomechanische Behandlung wird im folgenden mit 2 St. S.A. 1020°C bezeichnet und resultiert in der in Abb. 4 A gezeigten Struktur.

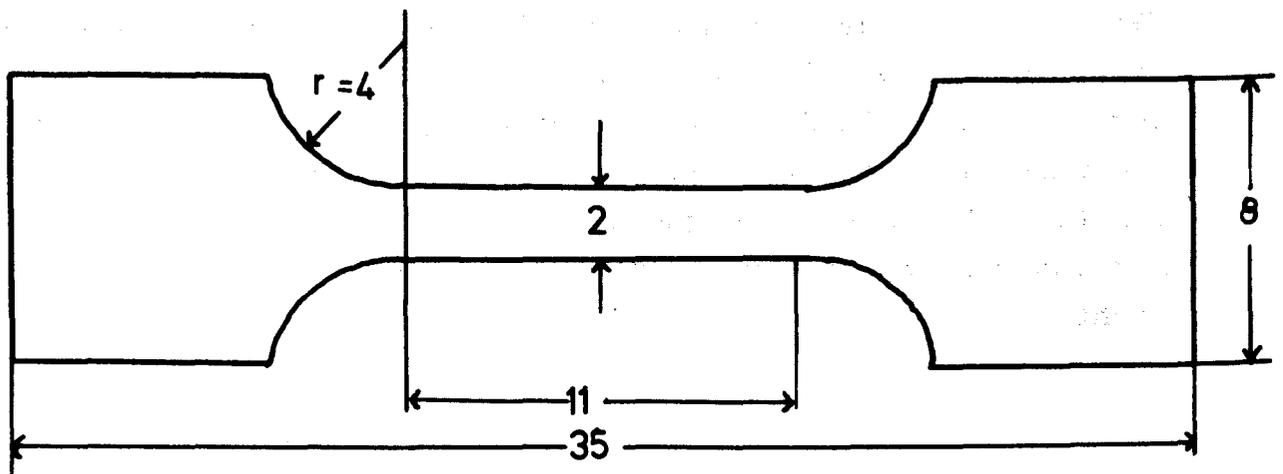
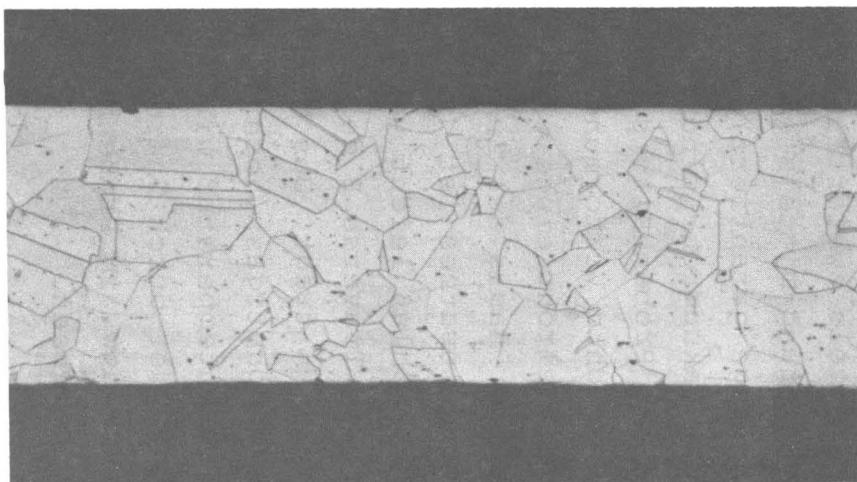


Abb. 3: Probenform der verwendeten Zugproben. Die Dicke der Proben betrug einheitlich 200  $\mu\text{m}$ .

Tabelle 1

Chemische Zusammensetzung des untersuchten Edelstahl vom Typ 316 (lt. Analysenbericht Nr. 0420 des ZCH der KFA Jülich) in Gew. %:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Fe
0,060	0,34	1,64	0,02	0,006	16,90	12,33	2,37	0,03	Rest



200  $\mu\text{m}$

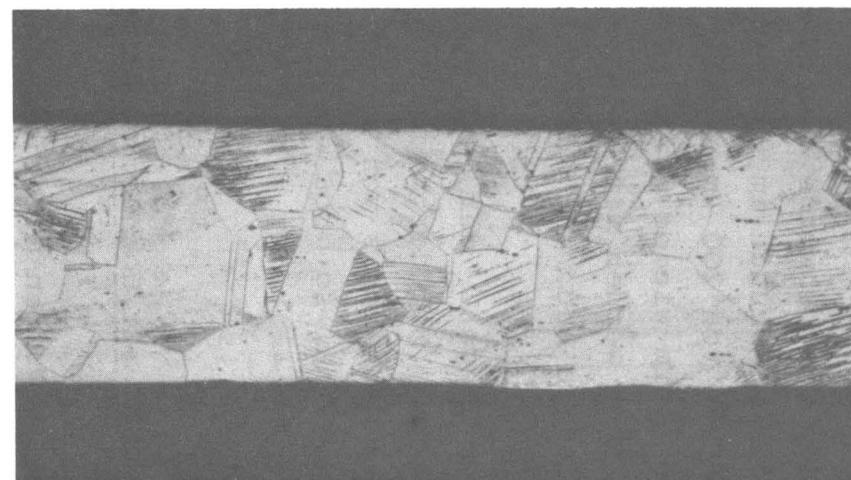


Abb. 4: Schliffbilder der verwendeten Folienproben von einer Ebene parallel zur Zugrichtung und senkrecht zur Folienfläche: (a) lösungsgeglühte Probe und (b) kaltverformte Probe. Die mittlere Korngröße betrug etwa 35  $\mu\text{m}$ .

(b) Die zweite Gruppe wurde zuerst auf 250  $\mu\text{m}$  gewalzt und dann bei 1060 $^{\circ}\text{C}$  1 Stunde im Hochvakuum gegläht. Danach wurde auf die Enddicke von 200  $\mu\text{m}$  gewalzt (= 20% kaltverformt), bevor die Probenform wieder durch Funkenerosion hergestellt wurde. Diese Proben werden mit 20% c.w. bezeichnet, ein Schliffbild davon ist in Abb. 4 B zu sehen.

Als effektive Länge  $L_0$  der in Abb. 3 gezeigten Probenform wurde 12 mm angenommen. Mit der Dicke  $D = 200 \mu\text{m}$  und Breite 2 mm ergibt sich ein Verhältnis von  $L_0/\sqrt{A_0} = 17,4$  ( $A_0$  Probenquerschnitt). Dies ist etwa 3 mal so groß wie für die in DIN 50145<sup>(3)</sup> angegebenen Flachproben, wo  $L_0/\sqrt{A_0} = 5,65$ .

#### 4.2 Zugapparatur mit Hochtemperatureinsatz

Die Zugversuche wurden mit einer Instron-Zugmaschine vom Typ 1122 durchgeführt. Sie war mit einem selbstgebauten Hochtemperatureinsatz ausgestattet, der folgendermaßen aufgebaut war: Die Probe E wird in einem aus Molybdän gefertigten Probenhalter (Abb. 5) mittels zweier Klemmbacken B eingespannt. Während der Probenmontierung mittels einer Einspannschablone (die eine zentrische Montage garantiert) und beim Einsetzen des Probenhalters in das Vakuumrohr sind die beiden gegeneinander beweglichen Teile des Probenhalters durch eine Schraube F arretiert, um eine unerwünschte Verformung zu verhindern. Der Probenhalter wird in ein Nickelrohr eingesetzt (Abb. 6) und mit seinem unteren Ende an der Basis der Zugmaschine befestigt. Das obere Ende des Probeneinsatzes ist durch eine O-Ring Dichtung gegenüber dem Rohrabschluß leicht verschiebbar und wird mit der beweglichen oberen Traverse B der Zugmaschine verbunden, die auch die Lastmeßzelle A trägt. Das Nickelrohr kann evakuiert und anschließend mit Schutzgas (hochreines Argon) gefüllt werden. Die gewünschte Probentemperatur wird durch den 3-teilig aufgebauten Ofen D erzeugt, der durch Thermoelemente, die sich in Probennähe (Gastemperatur) bzw. im Probenhalter (1 u. 2 in Abb. 5) befinden, geregelt und gemessen.

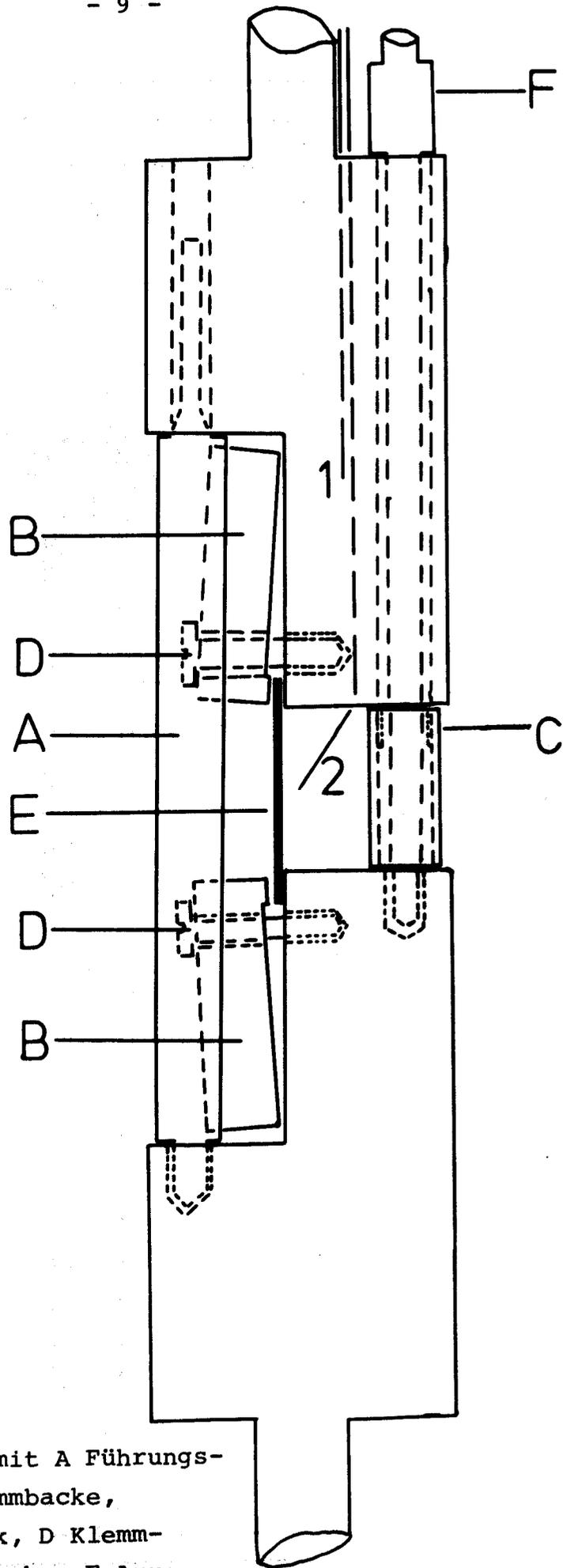


Abb. 5: Probenhalter mit A Führungsstange, B Klemmbacke, C Distanzstück, D Klemmschraube, E Probe, F Arretierungsvorrichtung und 1,2 Thermoelemente.

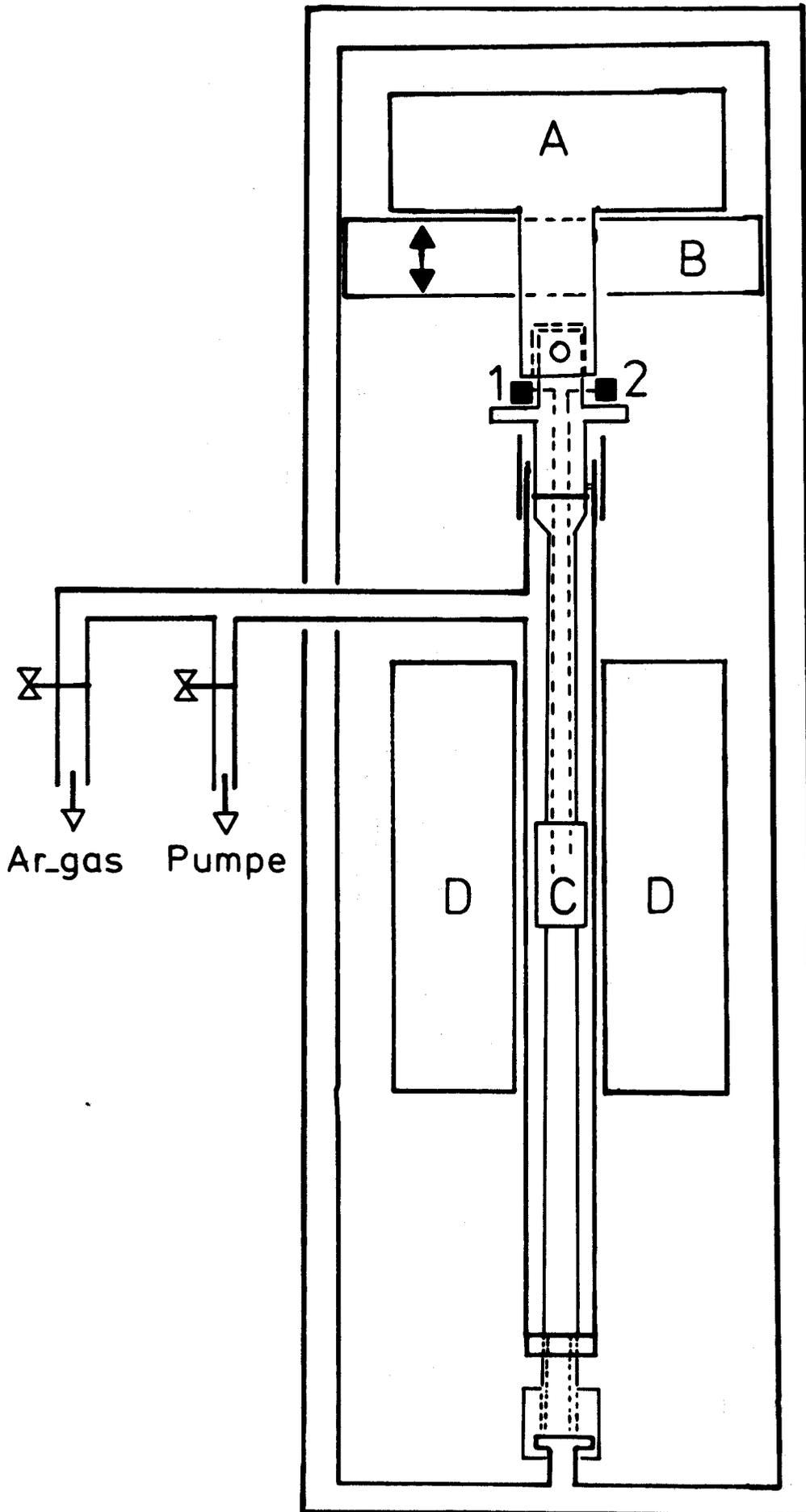


Abb. 6: Zugmaschine (schematisch) mit A Kraftmeßkopf, B Traverse, C Probenhalter, D Ofen, 1,2 Thermoelementanschlüsse.

Nach Einsetzen des Probenhalters wurde die gewünschte Temperatur nach etwa 30 min. erreicht. Danach wurde die Probe noch 15 min. auf der Meßtemperatur gehalten bevor die Arretierungsschraube gelöst und der Zugversuch begonnen wurde. Ein Zweilinienschreiber registrierte neben der Temperatur die Längenänderung der Probe als Funktion der dafür notwendigen Last, die durch die Lastmeßzelle A gemessen wurde. Zur Berechnung der Spannung wurde diese Anzeige durch geeignete Korrekturen mit dem Gestängegewicht und der Reibungskraft in der O-Ring Durchführung auf die tatsächlich an der Probe auftretende Kraft umgerechnet. Da der Argongasdruck genau auf den äußeren Luftdruck eingeregelt wurde, war eine diesbezügliche Korrektur nicht erforderlich.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse von Zugversuchen, d.h. Spannungs-Dehnungsdiagramme hängen von einer Vielzahl von Parametern ab. Die wichtigsten davon sind: Materialzusammensetzung und -vorbehandlung, Temperatur, Verformungsgeschwindigkeit, Probenform, Oberflächenbeschaffenheit (insbes. bei Miniaturproben) usw.

Da das Material und die Probenform vorgegeben waren, wurde das Hauptgewicht auf die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitsparameter gelegt. Bei hohen Temperaturen wurden auch noch einige Versuche mit variabler Dehngeschwindigkeit durchgeführt.

Abb. 7 und 8 zeigen typische Original-Schreiberkurven für eine lösungsgeglühte bzw. 20% kaltverformte Probe bei Raumtemperatur und einer Dehnungsrate von  $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$  (Kurven A). Es sind auch die entsprechenden wahren  $\sigma(\epsilon)$  Kurven (B) angegeben, die man aus  $\sigma = F/A = F(1+\epsilon)/A$  erhält (F Zugkraft).

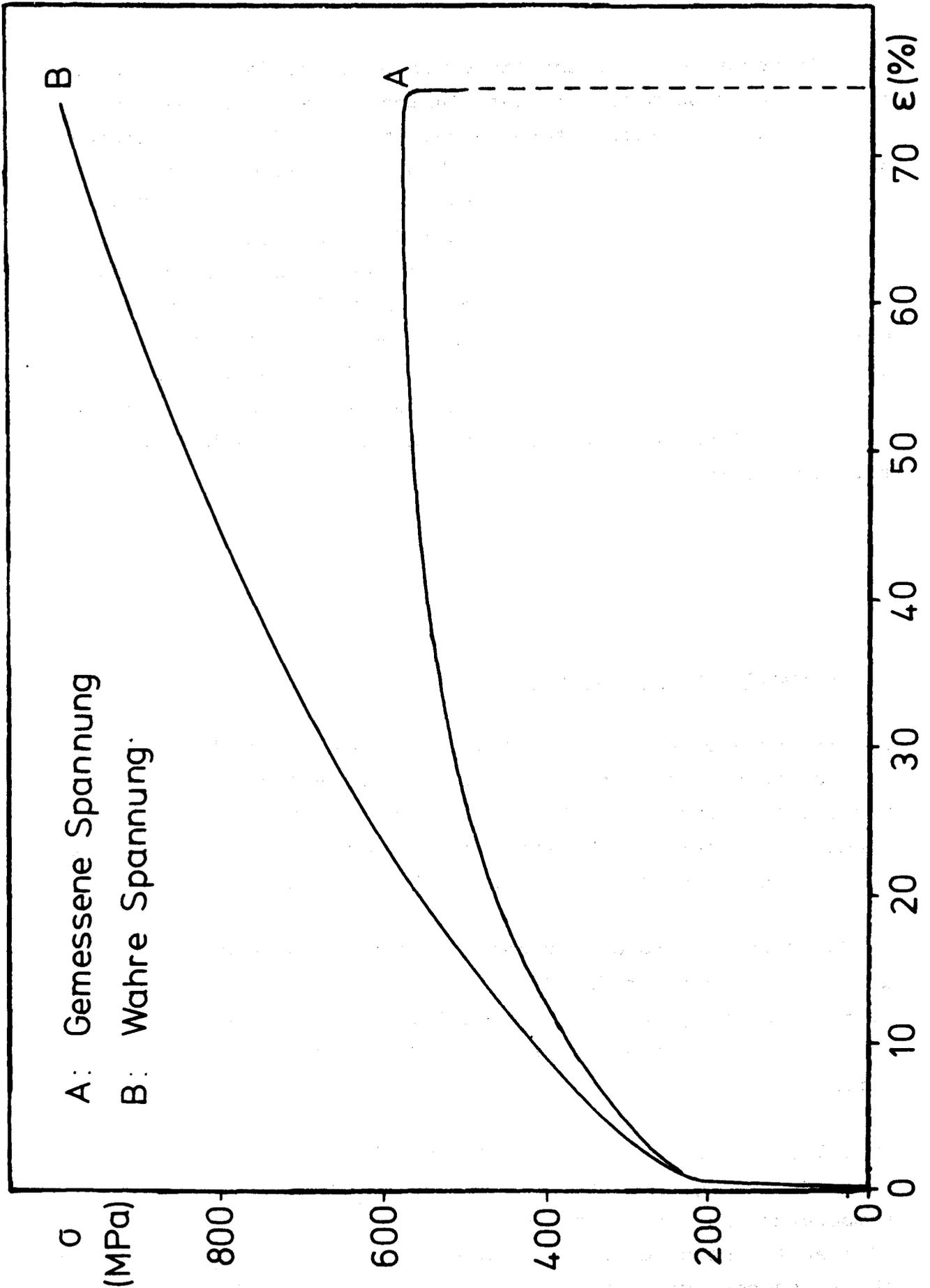


Abb. 7: Spannungs-Dehnungsdiagramm für eine lösungsgeglühte Typ 316 Edelstahlprobe bei 24°C aufgenommen mit einer Verformungsrate von  $\dot{\epsilon} = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ .

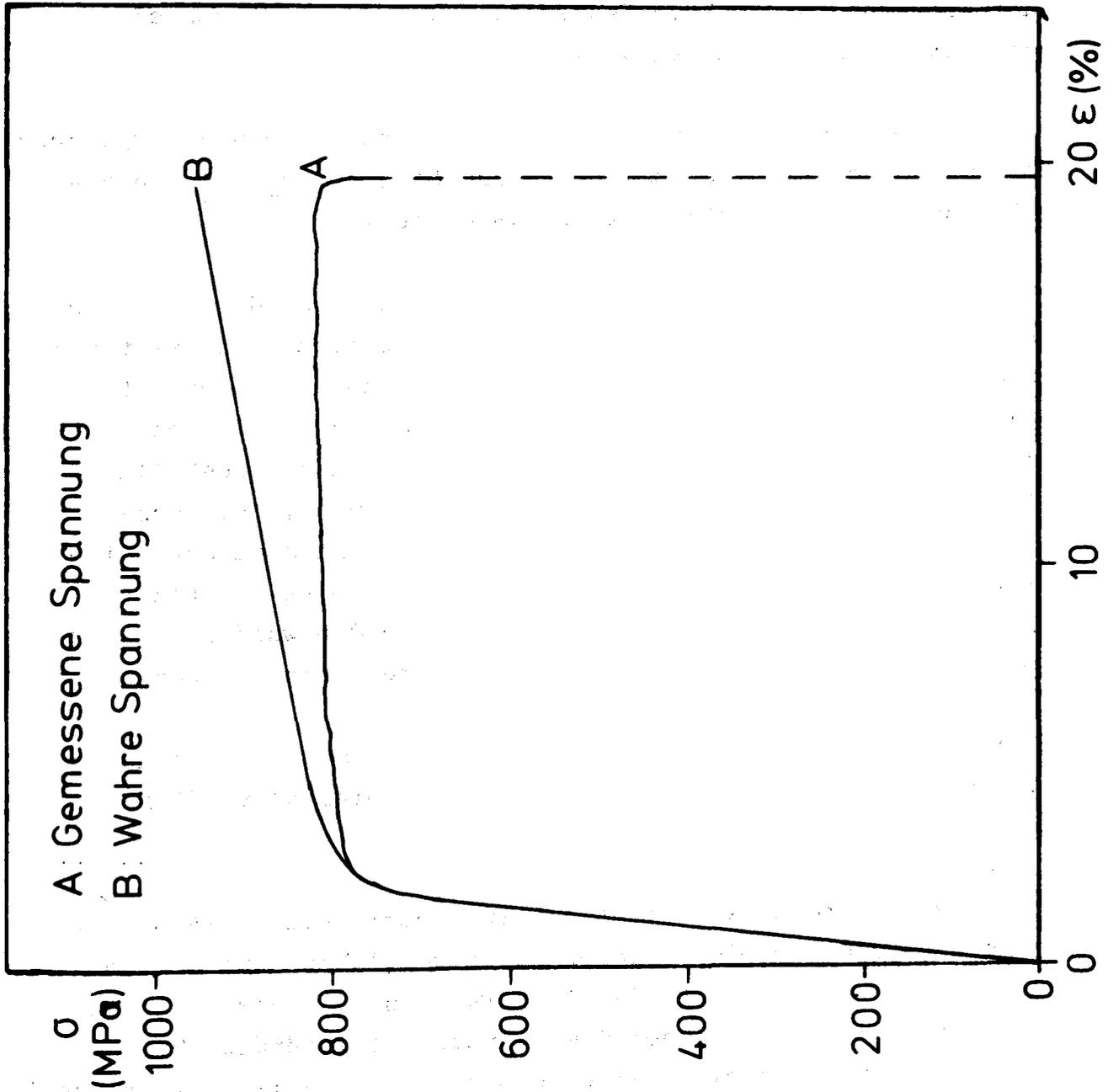


Abb. 8: Spannungs-Dehnungsdiagramm für eine 20% kaltverformte Typ 316 Edelstahlprobe bei 24°C aufgenommen mit einer Verformungsrate von  $\dot{\epsilon} = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ .

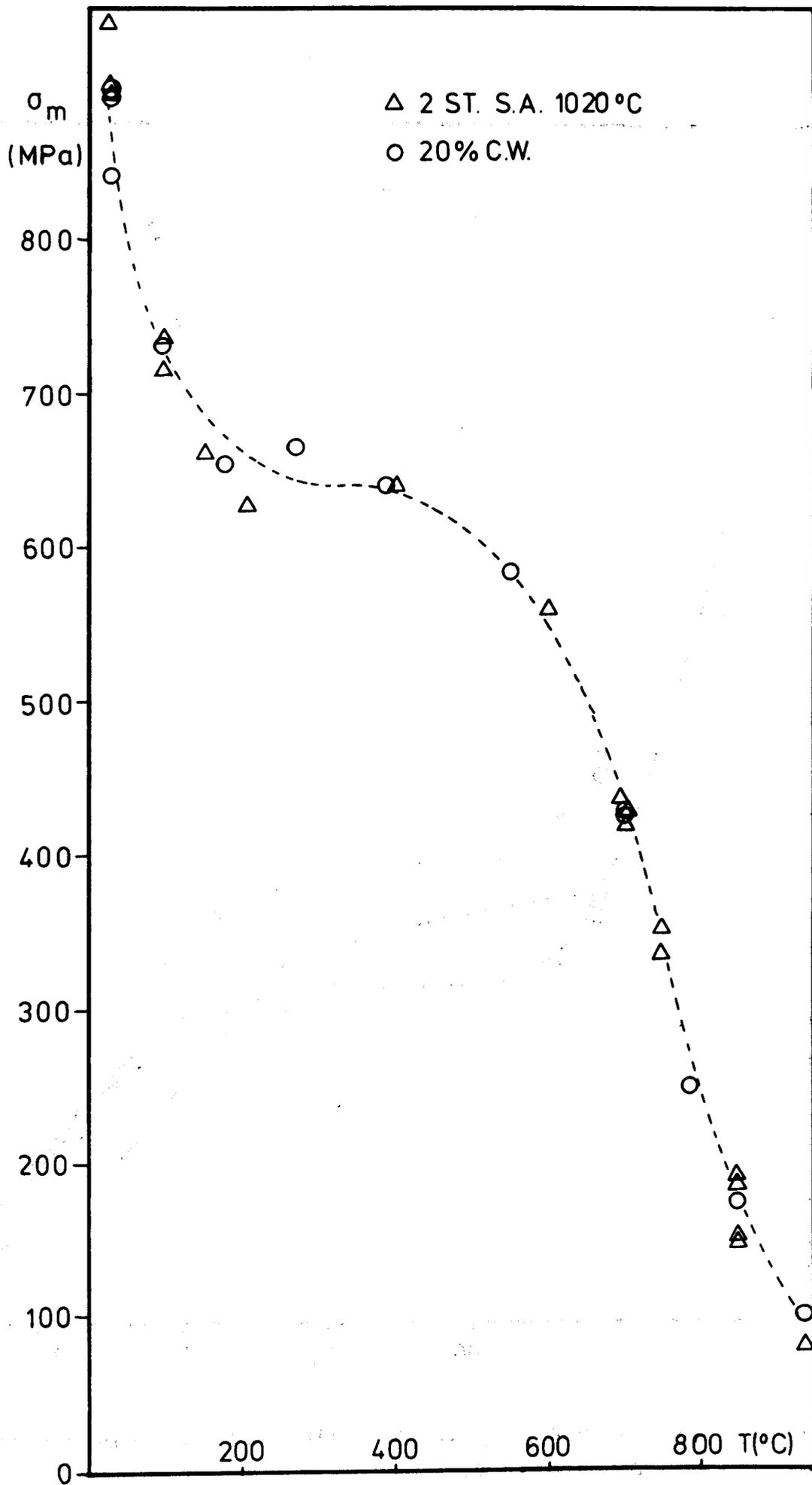
Ein Vergleich der Kennwerte aus Abb. 7 und 8 zeigt deutlich den Einfluß der Kaltbearbeitung, der sich in einer hohen Streckgrenze und einer verringerten Duktilität (Bruchdehnung) bemerkbar macht. Da sich die lösungsgeglühten Proben während des Zugversuchs stark verfestigen, fällt der Unterschied in den maximalen Spannungen viel weniger drastisch aus.

In den folgenden Abbildungen 9 bis 12 sind die aus den Spannungs-Dehnungsdiagrammen entnommenen Kenngrößen  $\sigma_m$ ,  $R_m$ ,  $\sigma_{0.2}$  und  $\delta$  als Funktion der Prüftemperatur dargestellt.

Aus den gerade oben erwähnten Gründen unterscheiden sich die maximalen wahren Spannungen der lösungsgeglühten und kaltverformten Proben nicht (Abb. 9). Die  $\sigma_m$  Werte nehmen mit steigender Temperatur ab - das übliche Verhalten metallischer Werkstoffe, das mit einer Zunahme des Versetzungsausheilens mit erhöhter Temperatur erklärt werden kann<sup>(4)</sup>. Interessant ist die "Schulter" zwischen 200 und 400°C, die möglicherweise darauf zurückzuführen ist, daß in diesem Gebiet interstitiell gelöste Atome beweglich werden, sodaß sie den wandernden Versetzungen folgen und damit deren Bewegung behindern können.

Ein Vergleich mit Literaturdaten war nicht möglich, da keine Information über  $\sigma_m$  an dem untersuchten Material verfügbar ist.

Auch bei der technisch wichtigen Zugfestigkeit  $R_m$  (Abb. 10) sind die Unterschiede zwischen lösungsgeglühten und kaltbearbeiteten Proben bei tiefen Temperaturen nur relativ klein und verschwinden bei hohen Temperaturen vollständig. Die gemessenen Daten für die kaltverformten Proben stimmen sehr exakt mit Literaturdaten<sup>(5)</sup> überein, während die Literaturdaten für das lösungsgeglühte Material ein breites Streuband überdecken<sup>(6)</sup>. Aber auch hier liegen die gemessenen Daten gut innerhalb dieser Grenzen und scheinen insbesondere gut im Anschluß an Tieftemperaturdaten<sup>(7)</sup> ( $< 0^\circ\text{C}$ ) zu liegen.



**Abb. 9:** Maximale wahre Spannung  $\sigma_m$  vom Typ 316 Edelstahl als Funktion der Temperatur  $T$ .

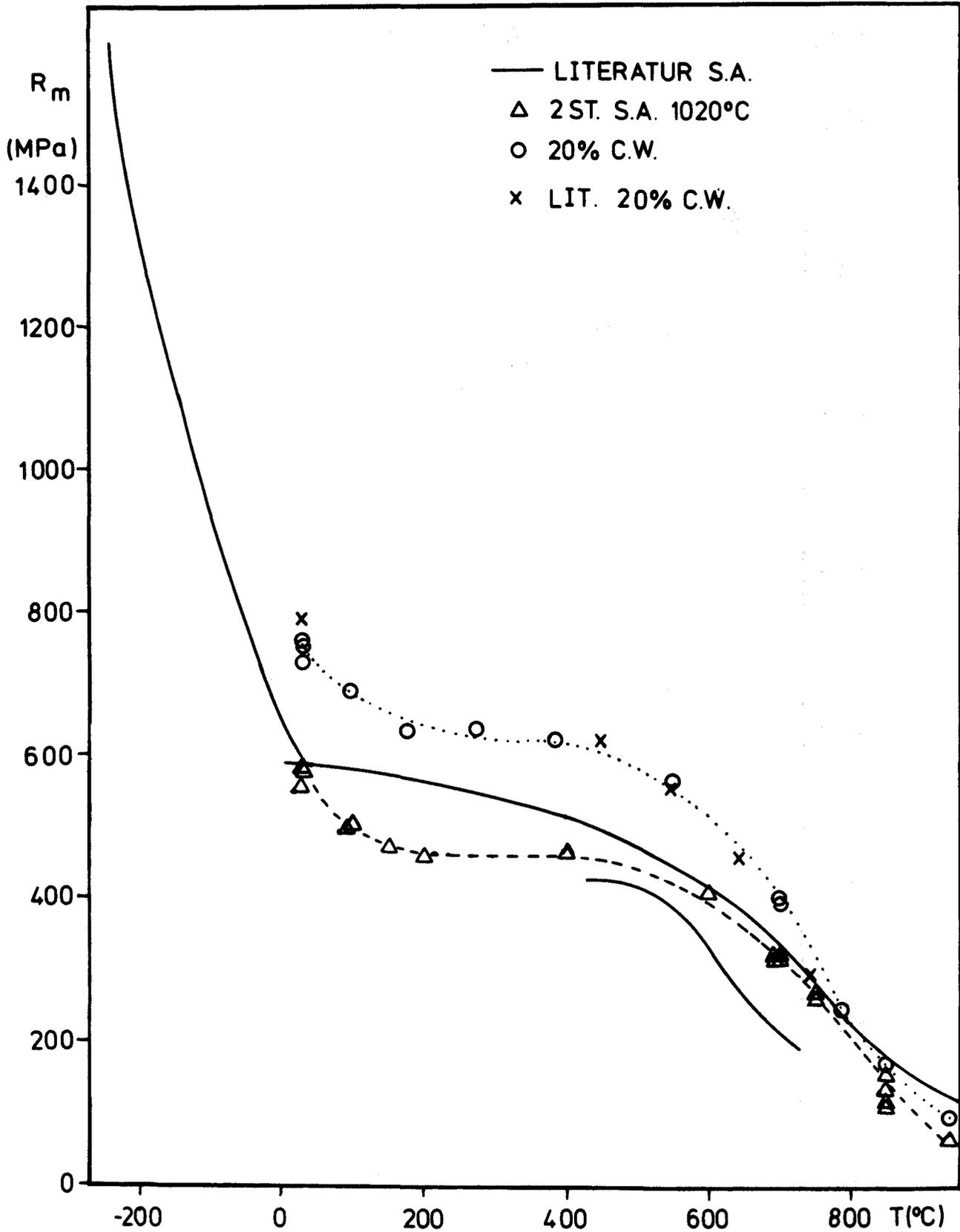


Abb. 10: Zugfestigkeit  $R_m$  vom Typ 316 Edelstahl als Funktion der Temperatur  $T$ .

Die unterschiedlich gute Übereinstimmung von kaltverformten bzw. geglühten Proben ist darin begründet, daß bei ersteren die Festigkeitseigenschaften hauptsächlich durch den Verformungsgrad bestimmt werden, der sich auch bei verschiedenen Materialchargen gut reproduzieren läßt. Bei den lösungsgeglühten Stählen spielen hingegen Details der Materialzusammensetzung die Hauptrolle und diese unterliegen erheblichen Schwankungen von Hersteller zu Hersteller und sogar innerhalb verschiedenen Chargen desselben Herstellers.

Sehr deutlich ist der Einfluß der thermomechanischen Vorbehandlung in der Streckgrenze (Fließspannung) zu sehen. Die Temperaturabhängigkeit von  $\sigma_{0.2}$  ist in Abb. 11 wiederum für das lösungsgeglühte und das kaltverformte Material dargestellt. Die drastisch höheren Werte des kaltverformten Materials sind durch die darin schon zu Beginn des Versuches vorhandene hohe Versetzungsdichte  $\rho_v$  bedingt (theoretisch nimmt die Fließspannung prop. mit  $\sqrt{\rho_v}$  zu). Diese hohe Versetzungsdichte läßt sich auch durch die zusätzliche Verformung während des Zugversuches nicht mehr wesentlich erhöhen, die Verfestigung ist daher gering (s. Abb. 8).

In den lösungsgeglühten Proben ist die Anfangsversetzungsdichte und damit die Fließspannung gering.  $\rho_v$  nimmt allerdings während der Verformung stark zu - die Verfestigung ist groß (Abb. 7). Bezüglich des Vergleichs mit den Literaturdaten gilt das vorhin Gesagte. Bei hohen Temperaturen nähern sich die Werte für kaltverformte und lösungsgeglühte Proben immer mehr an, was plausibel ist, denn bei der Glüh-temperatur von 1020°C müssen die Werte identisch sein.

In Abb. 12 sind schließlich die Bruchdehnungen  $\delta$  als Funktion der Temperatur angegeben. Wie immer geht eine Verfestigung des Materials mit einer Abnahme der Duktilität parallel, was auch hier in drastisch verringerten  $\delta$ -Werten für die kaltverformten Proben zu sehen ist. Interessant ist das Duktilitätsminimum um 200-400°C, wofür keine eindeutige Erklärung gefunden werden

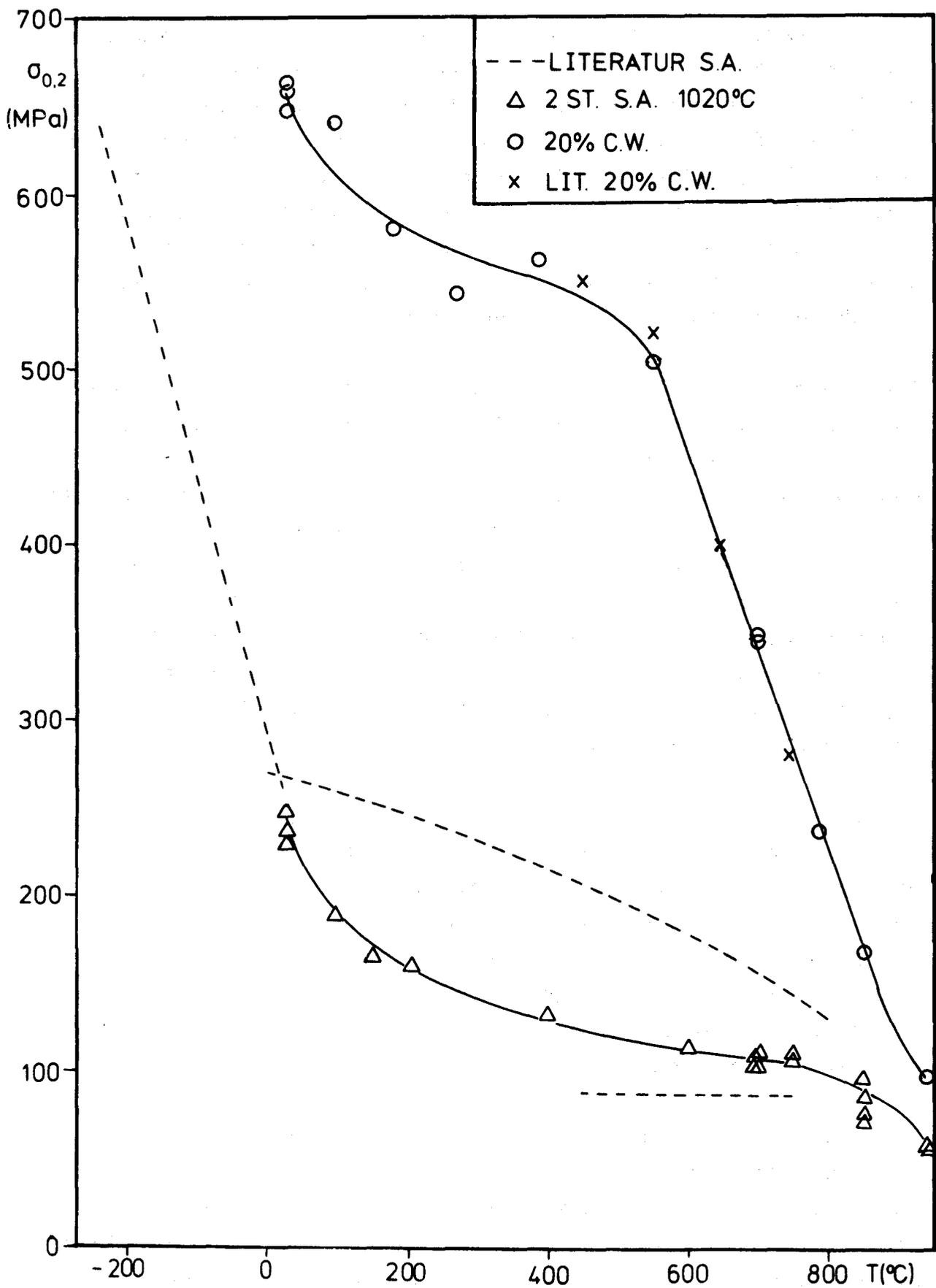


Abb. 11: 0.2% Streckgrenze  $\sigma_{0.2}$  vom Typ 316 Edelstahl als Funktion der Temperatur T.

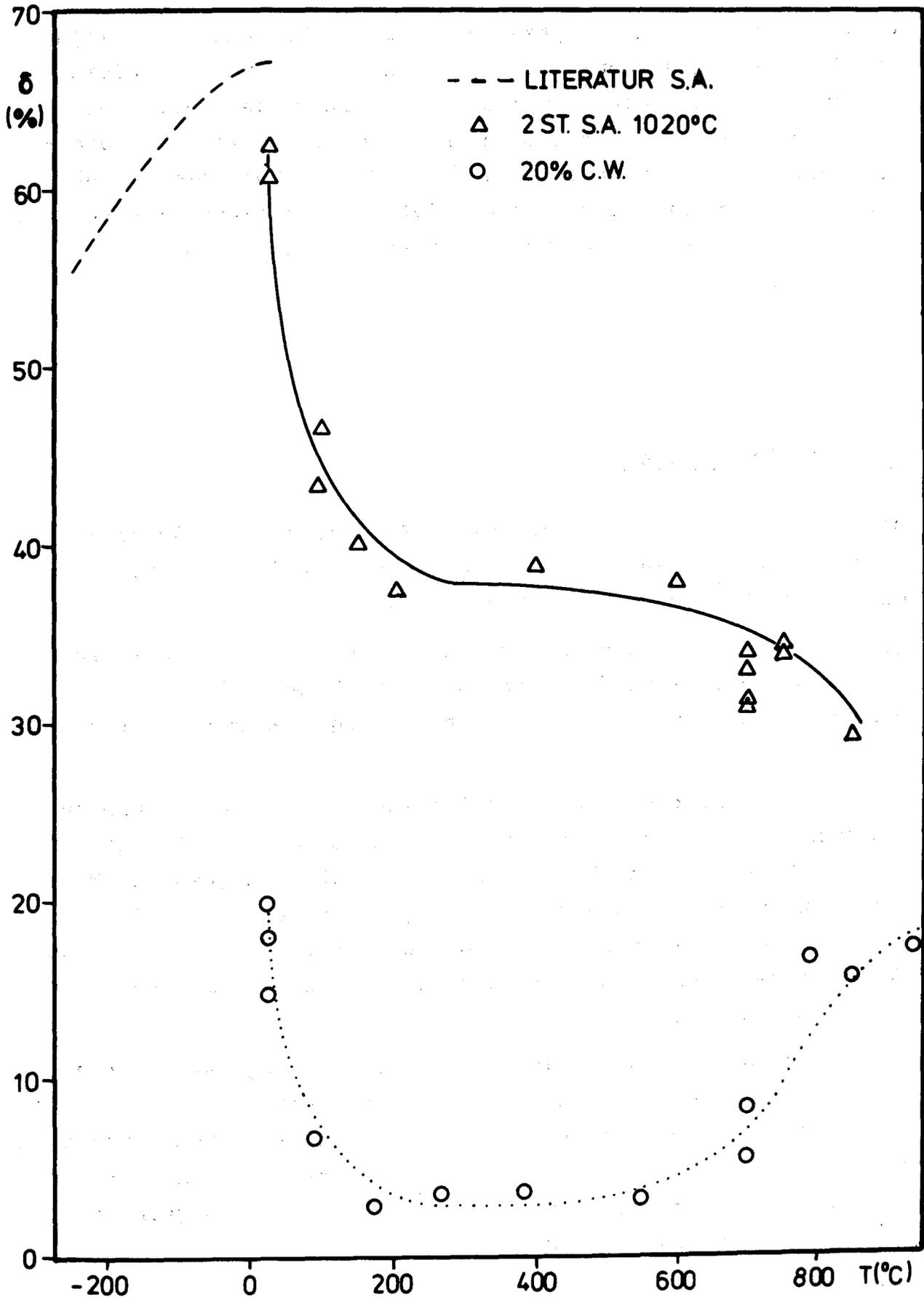


Abb. 12: Bruchdehnung  $\delta$  vom Typ 316 Edelstahl als Funktion der Temperatur  $T$ .

konnte. Die Versuche zeigten, daß die Bruchdehnung erheblich von der Dehnungsgeschwindigkeit abhängt, während die anderen Kenngrößen davon relativ wenig beeinflusst wurden. Auf diese Zusammenhänge soll aber hier nicht eingegangen werden. Außerdem hängt die Bruchdehnung stark von der Probengeometrie ab, sodaß ein Vergleich mit Literaturdaten wenig sinnvoll erscheint, da diese ja alle an genormten Massivproben gemessen wurden.

## 6. Schlußfolgerungen

Die in dieser Arbeit beschriebenen Zugversuche und deren Ergebnisse an Typ 316 Edelstahlproben verschiedener thermomechanischer Vorbehandlung haben gezeigt:

(a) Bei sorgfältiger Probenherstellung und bei Messungen in reiner Edelgasatmosphäre kann auch bei dünnen Folienproben eine sehr gute Reproduzierbarkeit bei Zugexperimenten erreicht werden.

(b) Die charakteristischen Festigkeitsdaten von Folienproben stimmen gut mit den aus massiven Standardproben ermittelten Werten überein. Diese Feststellung gilt für den gesamten Temperaturbereich von 20-900°C und zeigt, daß Daten aus Simulationsbestrahlungsexperimenten an Miniaturproben verlässlich auf Massivproben übertragen werden können, eventuell mit Ausnahme der Bruchdehnung.

(c) Die erhaltenen Daten über Streckgrenze, Zugfestigkeit und maximaler Spannung sind daher eine gute Grundlage für die Planung und Interpretation gegenwärtiger und zukünftiger Untersuchungen über den Einfluß von Bestrahlung auf das mechanische Verhalten des Typ 316 Edelstahl-Referenzmaterials (bestrahlungsinduziertes Kriechen, Ermüdung unter Bestrahlung usw.).

## 7. Literaturverzeichnis

- (1) H. Ullmaier: The Simulation of Neutron-Induced Mechanical Property Changes by Light Ion Bombardment, to be published in Trans. Ind. Inst. Metals (1981)
- (2) Wir danken Herrn Dr. P. Schiller, JRC Ispra, für die Bereitstellung des Materials
- (3) Prüfung metallischer Werkstoffe: Zugversuch DIN 50145, Beuth Verlag, Köln 1975
- (4) siehe z.B. P. Haasen: Physikalische Metallkunde, Springer Verlag, Berlin 1974
- (5) D.R. Harries, J. Nucl. Mat. 82, 2 (1979)
- (6) Mechanische und physikalische Eigenschaften austenitischer Chrom-Nickelstähle bei hohen Temperaturen, International Nickel (1965)
- (7) Mechanische und physikalische Eigenschaften austenitischer Chrom-Nickelstähle bei tiefen Temperaturen, International Nickel (1966).

Appendix

A) 2 Stunden lösungsgeglüht bei 1020°C

$$\epsilon = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$$

Temp. (°C)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$\delta$ (%)
24	297	313	941	581	62,3
24	229	254	900	561	60,6
24	236	264	893	579	
100			738	505	46,6
100	188	210	715	500	43,2
150	165	185	661	472	40,0
205	160	188	628	458	37,4
400	132	159	641	464	38,7
600	114	134	560	409	37,8
700	103	123	418	315	30,8
700	103	127	421	316	31,2
700	111	136	428	322	32,9
700	110	134	438	327	33,9
750	110	134	438	327	33,9
750	106	130	335	265	33,8
750	111	136	352	271	34,3
850	97	121	191	161	29,1

$$\epsilon = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$$

850	86	103	148	118	52
850	73	96	149	114	62
940	58	59	80	64	53

$$\epsilon = 7 \cdot 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$$

850	76	94	184	138	65
-----	----	----	-----	-----	----

B) 20% kaltverformt

$$\epsilon = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$$

Temp. (°C)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$\delta$ (%)
24	658	695	842	732	14,7
24	664	725	897	754	19,8
24	648	739	891	761	17,9
90	641	691	732	690	6,6
175	580	642	655	636	2,8
265	543	630	661	642	3,5
385	562	617	642	624	3,6
550	505	565	584	567	3,2
700	349	374	431	400	8,3
700	346	379	427	407	5,5
785	237	249	251	249	16,8
850	169	175	180	176	15,6
940	97	102	102	101	17,2