

WERKSTOFFTECHNIK-GRUNDPRAKTIKUM

Versuch G8: Prüfung von Kunststoffen

Inhalt

1 Einleitung

2 Erkennung von Kunststoffen

- 2.1 Allgemeines
- 2.2 Durchführung und Werkstoffe
- 2.3 Versuchsauswertung

3 Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen

3.1 Härteprüfung nach DIN ISO 2039, Teil 1

- 3.1.1 Allgemeines
- 3.1.2 Durchführung und Werkstoffe
- 3.1.3 Versuchsauswertung

3.2 Zugversuch nach DIN 53455

- 3.2.1 Allgemeines
- 3.2.2 Durchführung und Werkstoffe
- 3.2.3 Versuchsauswertung

3.3 Schlagbiegeversuch nach DIN 53 453

- 3.3.1 Allgemeines
- 3.3.2 Durchführung und Werkstoffe
- 3.3.3 Versuchsauswertung

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Testat: _____

1 Einleitung

DEFINITION

Unter Kunststoffen versteht man allgemein *künstliche*, d.h. durch chemische Umsetzungen erzeugte Werkstoffe.

Sie bestehen im wesentlichen aus organischen Makromolekülen, die entweder vollsynthetisch oder durch Modifizierung von Naturprodukten hergestellt werden. Die Hauptbestandteile der Kunststoffe sind Kohlenstoffatome. Die neben Kohlenstoff am wichtigsten für den Aufbau der Makromoleküle beteiligten Elemente sind Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Schwefel und Wasserstoff.

HERSTELLUNG

Aus vielen kleinen Bausteinen (Monomere, Moleküle) werden mittels Polyreaktionen Riesenmoleküle (Polymere, Makromoleküle) aufgebaut. Je nach Art der Verknüpfungsreaktion wird unterteilt in :

- Polymerisation,
- Polykondensation,
- Polyaddition.

AUFBAU

Die innere Gestalt der Kunststoffe wird durch nachfolgend aufgezählte Strukturelemente bestimmt:

- lineare Kettenmoleküle,
- verzweigte Kettenmoleküle,
- vernetzte Makromoleküle.

KLASSIFIZIERUNG

Es hat sich eingebürgert, die Kunststoffe aufgrund der Temperaturabhängigkeit ihres mechanischen Verhaltens in drei Gruppen zu unterteilen:

- **Thermoplaste (Plastomere)**

Hierbei handelt es sich um Kunststoffe mit kettenförmigen (linear oder verzweigt) Makromolekülen, die bei Wärmezufuhr ohne chemische Veränderung erweichen und somit wiederholt plastisch verformt werden können.

Typische Beispiele: *Polyethylen (PE)*, *Polystyrol (PS)*, *Polyamide (PA)*, *Polyvinylchlorid (PVC)*

Strukturelle Unterscheidung der Thermoplaste:

1. Amorphe Thermoplaste

völlig regelloser Aufbau ("Wattebauschstruktur") - z.B. PS, PVC

2. Teilkristalline Thermoplaste

höhere Ordnungszustände in Teilbereichen - z.B. PE, PA

- **Duroplaste (Duromere)**

Es sind engmaschig vernetzte Kunststoffe, die bei Erwärmung nicht erweichen und schmelzen. Sie können daher nicht thermisch umgeformt werden.

Typische Beispiele: *Gehärtete Epoxyd (EP)-, Phenol-Formaldehyd (PF)- und Melamin-Formaldehyd (MF)-Harze*

- **Elastomere**

Elastomere sind weitmaschig vernetzte Kunststoffe. Sie lassen sich bis zu ihrer Zersetzungstemperatur stark gummielastisch verformen und behalten diese Fähigkeit oft auch bei sehr tiefen Temperaturen bei.

Typisches Beispiel: *Vernetzter (vulkanisierter) Naturkautschuk*

EIGENSCHAFTEN

1. Vorteile

- niedrige Dichte
- hohe Beständigkeit gegen Chemikalien
- leichte Formgebung und wirtschaftliche Verarbeitbarkeit
- hohes elektrisches Isoliervermögen
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung möglich

2. Nachteile

- meist nur geringe mechanische Festigkeit
- meist nur geringe Formbeständigkeit in der Wärme
- Brennbarkeit
- Anfälligkeit gegen Alterung

2 Erkennung von Kunststoffen

2.1 Allgemeines

Jeder Anwender von Kunststoffen sollte mit einfachen Mitteln in der Lage sein, sich Klarheit über den Typ bzw. die Stoffgruppe des von ihm zu verwendenden Kunststoffes zu verschaffen. Die in diesem Praktikumsteilversuch durchgeführten einfachen Erkennungsmethoden gestatten allerdings keine exakte Bestimmung eines Kunststoffes nach seiner chemischen Zusammensetzung und Struktur, da hierzu aufwendige physikalische und chemische Verfahren eingesetzt werden müssten. Meist kann auch kein Nachweis eventuell vorhandener Füllstoffe und Stabilisatoren erbracht werden.

2.2 Durchführung und Werkstoffe

Bei den zu prüfenden Kunststoffen handelt es sich um 4 Thermoplaste und einen Duromer. Es handelt sich im einzelnen um:

1. *Polyethylen niedriger Dichte: LDPE*
2. *Standard-Polystyrol: PS,*
3. *Polyamid: PA,*
4. *Polyvinylchlorid: PVC,*
5. *Melamin-Formaldehyd-Kunststoff: MF.*

Es sollen für jeden vorliegenden Kunststoff folgende Tests durchgeführt werden:

- a) Verhalten beim trockenen Erhitzen
- b) Verhalten beim Entzünden,
- c) Beilstein-Probe (nur für PVC).

Erkennungsmethoden:

a) Verhalten beim trockenen Erhitzen

Ein kleines Stück der Probe wird in einem Reagenzglas, das mit einem in Wasser getränkten Wattebausch verschlossen wird, langsam erhitzt und bis zur Zersetzung geglüht. Das Verhalten der Probe (Erweichen, Verfärben) und der Dämpfe wird beobachtet. Nach dem Test wird der Wattebausch, der zum Auffangen der Dämpfe dient, in ein mit H₂O gefülltes kleines Becherglas gegeben. Anschließend wird mit pH-Indikatorpapier geprüft, ob es zu einer sauren bzw. basischen Reaktion der Gase mit Wasser gekommen ist. Nach Abnahme des Wattebausches soll vorsichtig

(Achtung: giftige Substanzen) der Geruch der im Reagenzglas verbliebenen Dämpfe festgestellt werden.

Mit Hilfe dieses Versuchs kann eine Unterscheidung zwischen Thermoplasten (Schmelzen) und Duromeren (Zersetzung, kein Schmelzen) getroffen werden.

b) Verhalten beim Entzünden

Ein Probenstab wird in die nichtleuchtende Flamme eines Bunsenbrenners gehalten, wobei man die Entflammbarkeit und die Flammenfärbung überprüft. Nach etwa 10 Sekunden wird die Probe aus der Flamme herausgenommen und geprüft, ob sie weiterbrennt. Das Verhalten der Probe ist charakteristisch für die jeweiligen Kunststoffe.

Die Verbrennung der Kunststoffe stellt eine chemische Reaktion (Oxidation) dar. Durch die Vereinigung des kohlenwasserstoffhaltigen Materials mit dem in der Luft vorhanden Sauerstoff entstehen als Verbrennungsprodukte Kohlendioxid und Wasser.

c) Beilstein-Probe (nur für PVC)

Das im PVC enthaltende Chlor soll mit der sogenannten Beilstein-Probe nachgewiesen werden. Dazu wird ein glühender Kupferdraht mit der Probe kurz in Berührung gebracht und anschließend erneut in die Flamme des Bunsenbrenners gehalten. Das Vorhandensein von Chlor wird durch eine grüne Flammenfärbung angezeigt.

2.3 Versuchsauswertung

Tragen Sie ihre Ergebnisse in die zum Versuch gehörende Tabelle ein, wobei auch die äußere Erscheinungsform der Proben festgehalten werden soll. Hier sind vor allem Farbe, Transparenz und Oberflächenbeschaffenheit von Bedeutung.

3 Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen

Zur Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen wurden zahlreiche Verfahren entwickelt, die den spezifischen Eigenschaften der Kunststoffe angepasst sind. Einige wichtige Prüfmethoden sind Weiterentwicklungen von Metallprüfverfahren. Bei der Untersuchung von Kunststoffen muss vor allem der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Prüfergebnisse in viel größerem Maße als bei den Metallen von der Herstellungsbedingungen, der Temperatur, den Umgebungseinflüssen und der Zeit abhängen.

In der Laborübung werden Prüfungen durchgeführt, die zur Beurteilung der Kunststoffe hinsichtlich ihrer Härte-, Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften dienen.

3.1 Härteprüfung nach DIN ISO 2039, Teil 1

3.1.1 Allgemeines

Grundsätzlich versteht man unter dem Begriff Härte den Widerstand eines Stoffes gegen das Eindringen eines anderen härteren Stoffes. Die Härteprüfung wird hauptsächlich zur Qualitätssicherung und zur Eingruppierung des zu prüfenden Erzeugnisses in Werkstoffklassen verwendet.

Der Kugeleindruckversuch dient zur Bestimmung der Härte von Kunststoffen mit Hilfe eines belasteten kugelförmigen Eindringkörpers. Im Vergleich zu den meisten anderen Härteprüfverfahren wird die Gesamtdeformation unter Last ermittelt. Somit wird berücksichtigt, dass neben einer elastischen eine zeitabhängige Verformungskomponente der Kunststoffe von Bedeutung ist. Die Härtewerte gestatten eine Differenzierung zwischen den eher weichen zäh-elastischen Thermoplasten und den harten amorphen Thermoplasten und den Duromeren.

3.1.2 Durchführung und Werkstoffe

Die Kugeldruckhärte H ist definiert als Quotient aus der Kraft auf den kugelförmigen Eindringkörper und der Oberfläche des Eindrucks.

$$H = \frac{\text{aufgebrachte Prüfkraft}}{\text{Oberfläche des Eindrucks}} \quad (\text{Einheit: N/mm}^2)$$

Für die Messung wird eine Stahlkugel mit 5 mm Durchmesser benutzt. Der glatt auf der Unterlage aufliegende Prüfkörper wird 5 Sekunden mit der Vorkraft $F_0=9,81$ N belastet. Nachdem die Anzeige des Messgerätes für die Eindringtiefe auf Null gestellt wurde, wird die Prüfkraft stoßfrei und gleichmäßig aufgebracht. Es stehen für die Hauptlast 4 Laststufen zur Verfügung. Die Laststufe ist so zu wählen, dass die Eindringtiefe zwischen 0,15 und 0,35 mm liegt. Andernfalls ist die Prüfkraft zu wechseln. Die Last soll in der Regel 30 Sekunden einwirken.

Die zu prüfenden Kunststoffen liegen in Form von Normstäben aus folgenden Materialien vor:

1. *Polyethylen niedriger Dichte: LDPE*
2. *Polyethylen hoher Dichte: HDPE,*
3. *Polystyrol mit Butadienkautschuk: SB,*
4. *Standard-Polystyrol: PS,*
5. *Phenol-Formaldehyd-Kunststoff: PF.*

3.1.3 Versuchsauswertung

Aus der gemessenen Eindringtiefe, welche indirekt die Oberfläche des Eindrucks wiedergibt, wird mit Hilfe der am Versuchsaufbau ausliegenden Tabelle die Kugeldruckhärte ermittelt. Die Ergebnisse werden in die entsprechende Tabelle eingetragen und sollen im Protokoll diskutiert werden.

3.2 Zugversuch nach DIN 53 455

3.2.1 Allgemeines

Der Zugversuch dient zur Beurteilung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens von Kunststoffen bei einachsiger Beanspruchung auf Zug. Angewendet wird er zur Qualitätskontrolle, zur Festlegung von Werkstoffspezifikationen und in Forschung und Entwicklung.

Da Kunststoffe gegenüber Metallen aufgrund ihres mikrostrukturellen Aufbaus eine starke Temperatur- und Zeit Abhängigkeit ihrer mechanischen Eigenschaften zeigen, müssen zur Interpretation und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse Probenkörpervorbehandlung, Prüfklima und Prüfgeschwindigkeit genau bekannt sein und berücksichtigt werden.

Aus dem mittels Zugversuch bestimmbareren Spannungs-Dehnungs-Diagramm lassen sich folgende Festigkeits- und Verformungskennwerte ermitteln (s. Bild 1):

1. Spannungen: (Einheit: N/mm²)

$$\sigma_{Sx} = \frac{F_{Sx}}{A_0} \quad \text{Zugspannung bei x \% Dehnung}$$

$$\sigma_S = \frac{F_S}{A_0} \quad \text{Streckspannung = Zugspannung bei Kurvensteigung = 0}$$

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad \text{Zugfestigkeit = Zugspannung bei Maximalkraft}$$

$$\sigma_R = \frac{F_R}{A_0} \quad \text{Reißfestigkeit = Zugspannung beim Bruch}$$

2. Dehnungen: (in %)

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta L_{F \max}}{L_0} \quad \text{Dehnung bei Maximalkraft}$$

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta L_R}{L_0} \quad \text{Reißdehnung = Dehnung beim Bruch}$$

A_0 = Anfangsquerschnitt L_0 = ursprüngliche Länge ΔL = Längenänderung

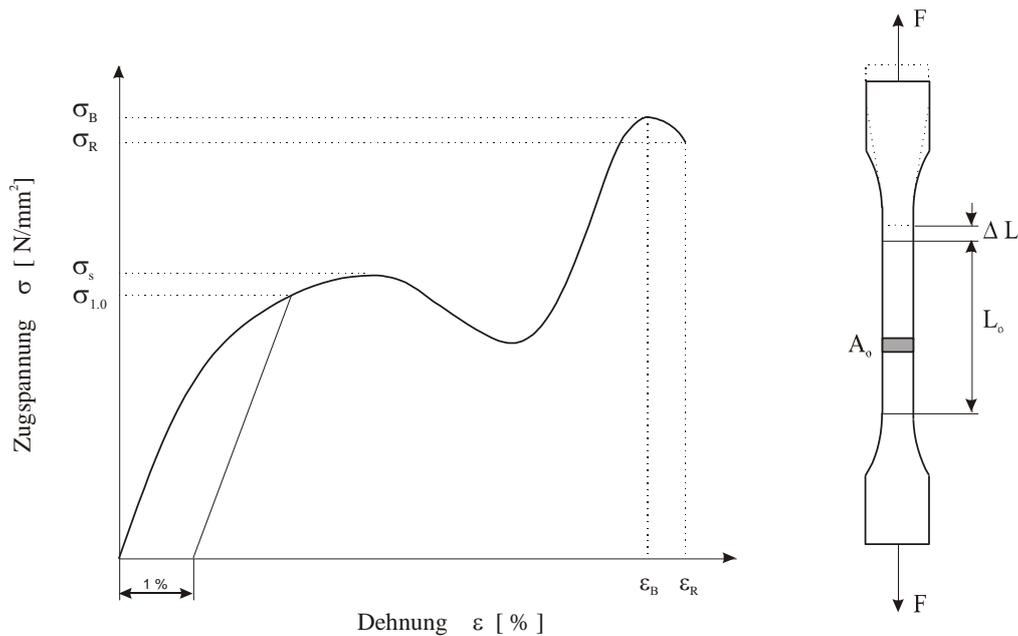


Bild1: Festigkeits- und Verformungsverhalten aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Das Aussehen der Spannungs-Dehnungs-Diagramme wird durch das Werkstoffverhalten determiniert. Man unterscheidet im wesentlichen 3 Grundtypen (Bild 2).

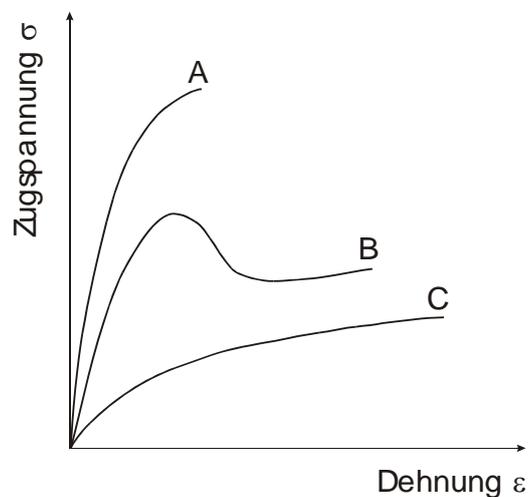


Bild2: Werkstoffverhalten beim Zugversuch

Ein *spröder* Kunststoff (Kurve A) dehnt sich im Zugversuch nur wenig, die steil ansteigende Spannungs-Dehnungskurve endet beim Bruch abrupt. *Zähelastische* Kunststoffe (Kurve B) beginnen zum Teil zunächst zu fließen und verfestigen sich dann nach Überschreiten der Streckspannung wieder. *Gummielastische* Stoffe (Kurve C) liefern sehr flache Kurven, weil schon geringe Spannungen mit großen Dehnungen verknüpft sind.

Die Form der Spannungs-Dehnungs-Kurven wird in starkem Maße von den Prüfbedingungen beeinflusst. Bei einer schnell durchgeführten Zugprüfung steht dem

Kunststoff nicht genügend Zeit zur Verfügung, um z.B. durch Entknäuelung der ineinander verschlungenen Makromoleküle bei Beanspruchung zu relaxieren. Daraus resultiert eine erhöhte Steifigkeit und Festigkeit, bzw. eine verminderte Dehnbarkeit des Polymers.

3.2.2 Durchführung und Werkstoffe

Die Zugversuche werden mit einer Universalprüfmaschine (Typ T 22 K) der Firma J.J. INSTRUMENTS durchgeführt.

Die Zugproben wurden als Probekörper Nr. 3 ($L_0 = 50 \text{ mm}$, $A_0 = 40 \text{ mm}^2$) aus dem Material LDPE hergestellt.

Beim Einspannen der Probe ist darauf zu achten, dass keine zusätzliche Belastung durch Biegen oder Drücken an den Klemmbacken auftritt. Die Proben werden kontinuierlich mit einer konstanten Querschnittsgeschwindigkeit über eine motorgetriebene Spindel bis zum Bruch gezogen, wobei eine hohe (75 mm/min) und eine niedrige Prüfgeschwindigkeit (5 mm/min) gewählt werden. Die wirksame Zugkraft wird mit einer Kraftmessdose gemessen, die Längenänderung ergibt sich aus dem Traversenverfahrweg. Zur Aufzeichnung des Kraft-Längenänderungs-Diagramms steht ein x-y-Schreiber zur Verfügung.

3.2.3 Versuchsauswertung

Aus den jeweils aufgenommenen Kraft-Verlängerungs-Diagrammen und den geometrischen Daten der Zugproben sind zunächst die ingenieurmäßigen Spannungs-Dehnungs-Diagramme zu ermitteln, die als Grundlage zur Berechnung folgender charakteristischer Werte verwendet werden sollen: σ_B , σ_R , ϵ_B , ϵ_R .

Erläutern Sie die gefundenen Ergebnisse, wobei die Interpretation des Einflusses der Prüfbedingungen besondere Berücksichtigung finden soll.

3.3 Schlagbiegeversuch nach DIN 53 453

3.3.1 Allgemeines

Der Schlagbiegeversuch dient zur Beurteilung des Verhaltens von Kunststoffen bei kurzzeitiger, schlagartiger Biegebeanspruchung und zur Erfassung der Zähigkeit innerhalb der vorgegeben Grenzen. Im Gegensatz zum Zugversuch tritt ein mehrachsiger Spannungszustand in der Probe auf, der das Bruchverhalten mitbeeinflusst. Der Schlagbiegeversuch wird vor allem zur Qualitätskontrolle verwendet.

Die Schlagbiege Zähigkeit a_n ist die beim Bruch eines Probekörpers verbrauchte Schlagarbeit A_n bezogen auf den Querschnitt $b \cdot h$ des Probekörpers vor dem Versuch:

$$a_n = \frac{A_n}{b \cdot h} \quad (\text{Einheit: mJ/mm}^2; b = \text{Breite, } h = \text{Höhe}).$$

Neben der Ermittlung der Schlagzähigkeit wird das Bruchverhalten (Spröd-, Verformungs-, Mischbruch) und das Bruchaussehen (glatte Bruchfläche, Abplatzungen, weiße Zonen) registriert.

3.3.2 Durchführung und Werkstoffe

Das Probenmaterial liegt in Form von Normkleinstäben (Abmessungen: $l = 50 \text{ mm}$, $b = 6 \text{ mm}$, $h = 4 \text{ mm}$) vor. Die Proben werden mit der breiten Seite senkrecht zur Schlagrichtung auf das Widerlager des Pendelschlagwerks nach DIN 51 222 gelegt und anschließend mit einem Schlag des Pendelhammers gebrochen. Die verbrauchte Schlagarbeit kann direkt am Pendelschlagwerk abgelesen werden; aus dieser lässt sich dann in Verbindung mit dem Probenquerschnitt die Schlagzähigkeit ermitteln.

Untersucht werden soll sowohl Standard-Polystyrol (PS) als auch Styrol mit eingelagerter kautschukelastischer Phase (SB), die dem normalen Werkstoff eine erhöhte Schlagfestigkeit verleiht. Außerdem soll das Zähigkeitsverhalten der jeweiligen Kunststoffe in Abhängigkeit von der Temperatur (7 Temperaturen zwischen -196°C und Raumtemperatur) bestimmt werden. Zur Kühlung der Proben werden diese in mit Spiritus gefüllte Behälter gelegt, die mit flüssiger Luft auf die gewünschte Temperatur gebracht werden. Zur Absicherung der Ergebnisse müssen für jede Temperatur mindestens zwei Proben getestet werden.

3.3.3 Versuchsauswertung

Die bei der Laborübung ermittelten Ergebnisse werden in die dafür vorgesehene Tabelle eingetragen, wobei das Bruchverhalten und -aussehen auch angegeben werden müssen. Mittels der Schlagzähigkeit-Temperatur-Kurve für Standard-Polystyrol und modifiziertes Polystyrol soll das Deformationsverhalten von beiden Werkstoffen diskutiert und verglichen werden.

4 Anhang, Tabellen u. Diagramme zur Auswertung

Protokoll zu Laborübung G8: Erkennung von Kunststoffen

Datum:

Gruppe:

Protokollführer:

Kunststoffe		Thermoplaste				Durom.
		PE	PS	PVC	PA	MF
Merkmale						
Aussehen	Färbung	glasklar				
		opak				
		farbig				
Brennprobe in offener Flamme	Brennbarkeit	brennt nicht				
		brennt nur in der Flamme				
		brennt weiter				
		verkohlt				
	Flamme	gelb (leuchtend)				
		gelb, grüner Saum				
		bläulich (farblos)				
		blau, gelber Rand				
		rußend				
	Schmelze	tropft				
tropft nicht						
Erhitzen im Reagenzglas	Schmelzverhalten	wird klar				
		schmilzt				
		zersetzt sich				
	Färbung	dunkel				
		braun-schwarz				
		schwarz				
	Geruch der Rauchschwaden	süßlich				
		stechend scharf				
		paraffinartig				
		nach Ammoniak				
nach verbranntem Horn						
Reaktion der Schwaden a = alkalisch n = neutral s = sauer ss = stark sauer						

Protokoll zu Laborübung G8: Härtebestimmung

Protokollführer:

Gruppe:

Datum:

Werkstoff	Dichte [g/cm ³]	Härtebestimmung (DIN ISO 2039 Teil 1)				Bemerkungen
		Belastung [N]	Zeitdauer [sec]	Eindringtiefe h [mm]	Kugeldruckhärte H [N/mm ²]	
I						
II						
III						
IV						
V						
VI						

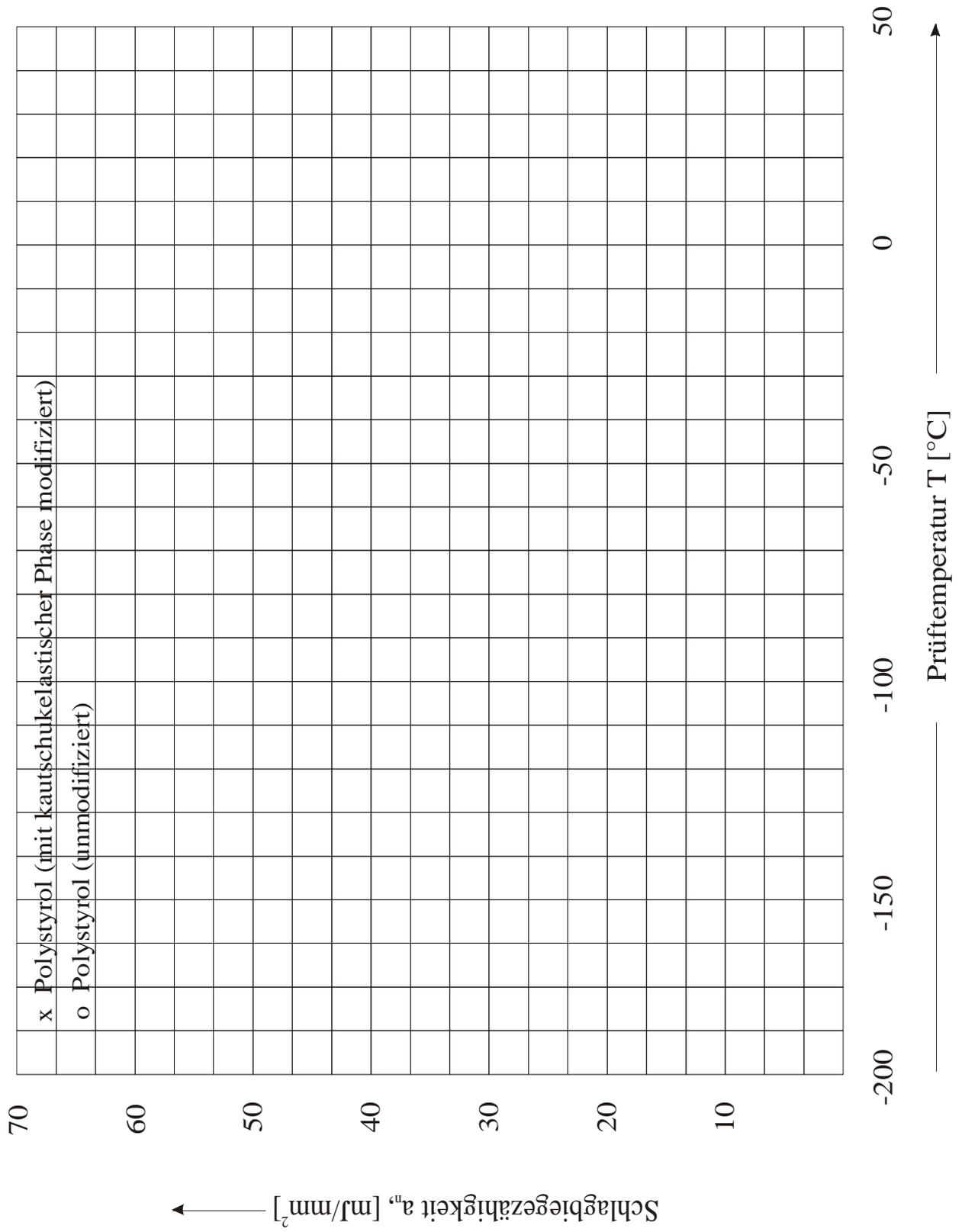
Protokoll zu Laborübung G8: Zugversuch und Schlagbiegeversuch

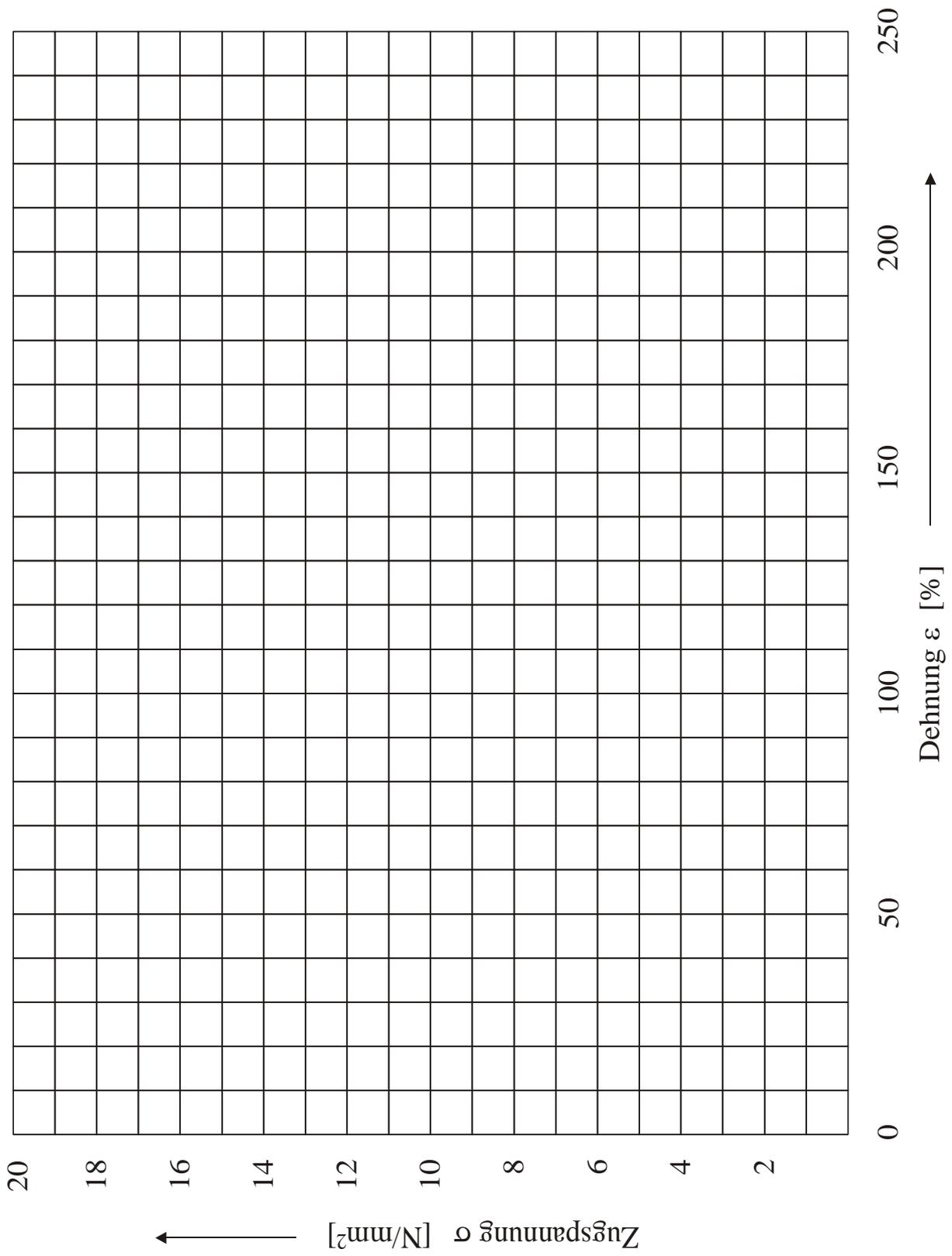
Protokollführer:

Gruppe:

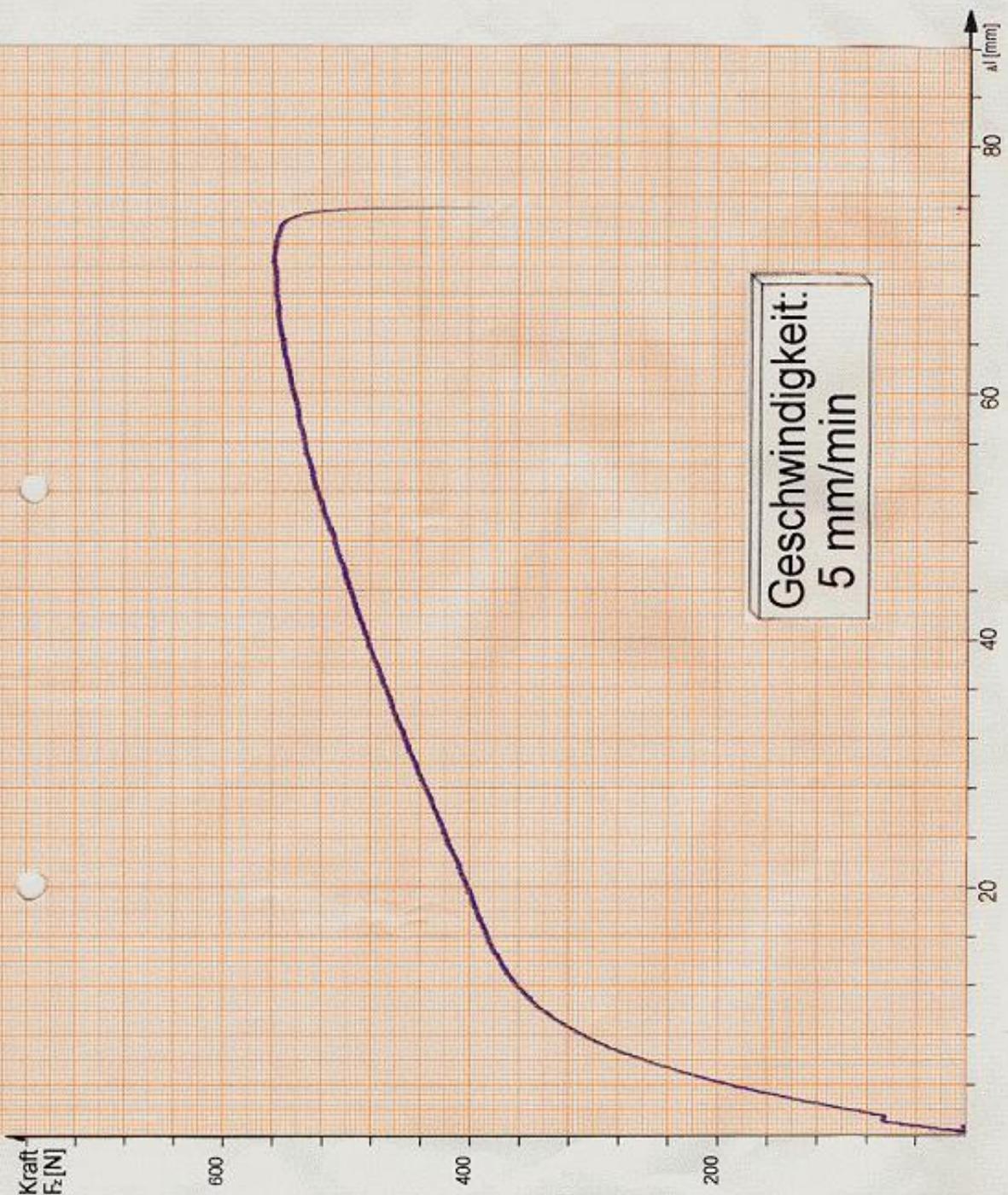
Datum:

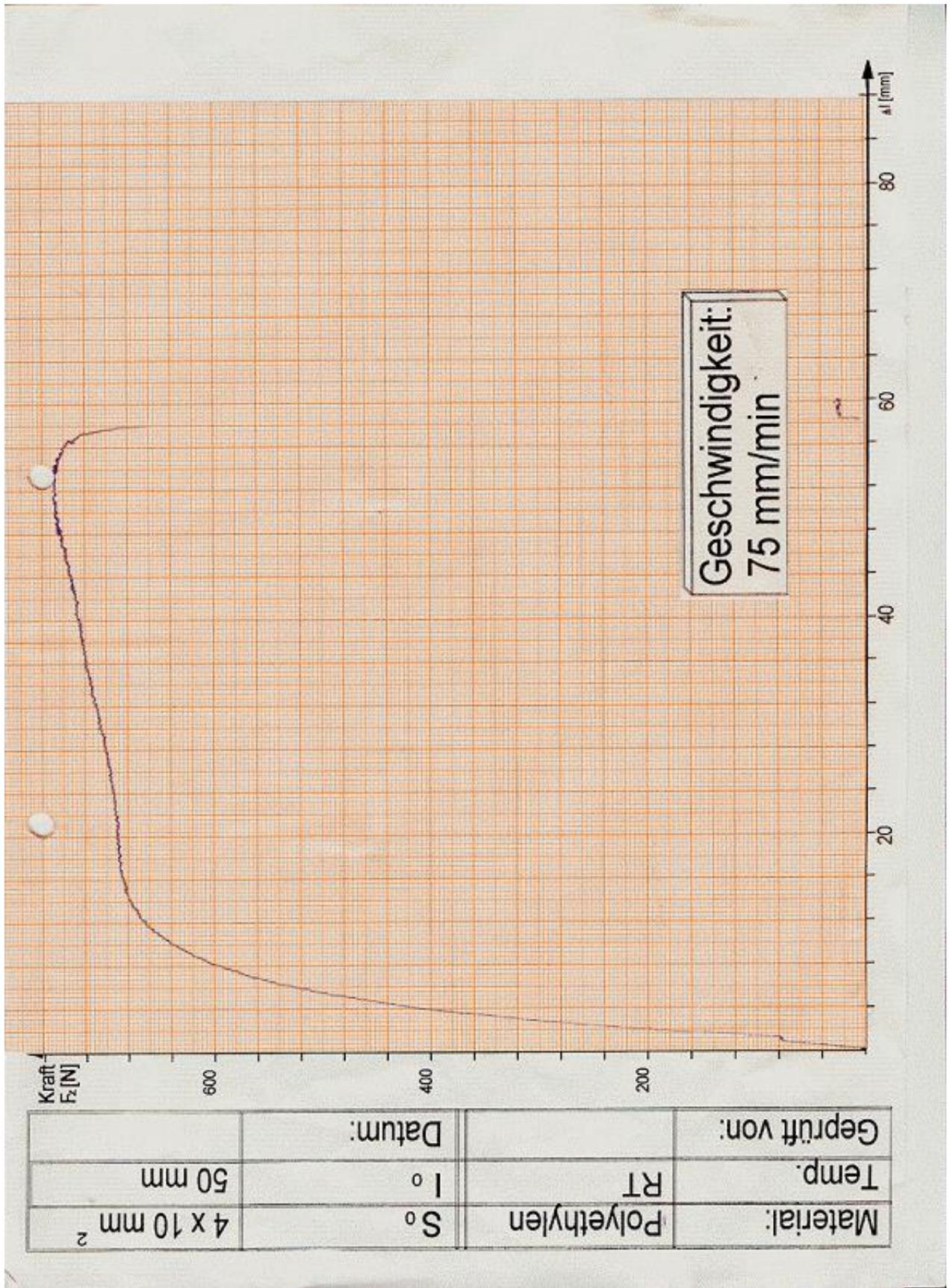
Zugversuch nach DIN 53 455													
Werkstoff	Anfangs- querschn. A_0 [mm ²]	Meßlänge L_0 [mm]	Prüfge- geschw. [mm/min]	Höchst- kraft F_{max} [N]	Zugfestig- keit σ_B [N/mm ²]	Reißkraft F_R [N]	Reißfestig- keit σ_R [N/mm ²]	Längenänd. $\Delta L_{F_{max}}$ [mm]	Dehnung bei σ_B [%]	Längenänd. ΔL_{FR} [mm]	Dehnung bei σ_R [%]	Temp. [°C]	Bemerkungen





Material:	Polyethylen	S ₀	4 x 10 mm ²
Temp.:	RT	l ₀	50 mm
Geprüft von:		Datum:	





Material:	Polyethylen	S_0	$4 \times 10 \text{ mm}^2$
Temp.	RT	l_0	50 mm
Geprüft von:		Datum:	