

# Praktikum Materialwissenschaft – Thermoschockverhalten von Glas

André Schwöbel 1328037,  
Max Fries 1407149,  
Jörg Schließer 1401598,  
Tobias Brink 1400670  
(Gruppe 17)  
e-Mail: [m.fries@stud.tu-darmstadt.de](mailto:m.fries@stud.tu-darmstadt.de)

Betreuer: Thorsten Schlegel

12. Januar 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Materialgrößen . . . . .	1
1.1.1	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	1
1.1.2	Bruchfestigkeit . . . . .	2
1.1.3	Poisson-Zahl . . . . .	2
1.1.4	Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient . . . . .	2
1.1.5	Elastizitätsmodul . . . . .	2
1.1.6	Thermoschockparameter . . . . .	2
1.2	Verwendetes Material . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>2</b>
2.1	Vorbereitung der Probe . . . . .	2
2.2	Thermoschock . . . . .	3
2.3	E-Modul . . . . .	3
2.4	Restfestigkeit . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>3</b>
3.1	Messergebnisse . . . . .	3
3.2	Berechnete Größen . . . . .	4
3.2.1	E-Modul . . . . .	4
3.2.2	Restfestigkeit . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>4</b>
4.1	Verlauf der Datenpunkte . . . . .	4
4.2	Beobachtungen . . . . .	5
4.3	Fehlerquellen . . . . .	6

## 1 Einleitung

Das Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung des Thermoschockverhaltens von Glas. Beim Thermoschock wird eine Probe schnell von einer hohen Temperatur abgekühlt. Hierbei kühlt der äußere Bereich der Probe schneller ab als ihr Kern, da die Wärmeleitfähigkeit des Materials nicht unendlich groß ist. Dadurch entsteht ein Temperaturgradient, der zu inneren Spannungen im Material führt. Überschreiten diese Spannungen einen materialspezifischen Wert, so kommt es zu Beschädigungen der Probe, die die Bruchfestigkeit beeinflussen.

In diesem Versuch messen wir die Restfestigkeit von Glas sowie den E-Modul nach einem Thermoschock.

### 1.1 Materialgrößen

Das Thermoschockverhalten hängt von verschiedenen Materialgrößen ab.

#### 1.1.1 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist ein Maß für die Geschwindigkeit des Transports von Wärme durch ein Material. Je größer die Wärmeleitfähigkeit, desto schneller werden Temperaturunterschiede im Material ausgeglichen und die Spannungen

werden bei gleicher Temperatur geringer. Bei unendlich großer Wärmeleitfähigkeit träte kein Thermoschock auf, da Temperaturunterschiede direkt ausgeglichen würden.

### 1.1.2 Bruchfestigkeit

Die Bruchfestigkeit  $\sigma_f$  ist die größte Spannung, die sie erreicht, so bricht das Material. Die Spannung ist die Kraft bezogen auf den Querschnitt der Probe.

### 1.1.3 Poisson-Zahl

Die Poisson-Zahl  $\nu$  liegt bei den meisten Materialien bei ungefähr 0.3 und gibt das Verhältnis zwischen Längendehnung und Querkontraktion an.

### 1.1.4 Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient

Der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$  beschreibt die prozentuale Dehnung eines Materials bei einer Temperaturänderung von einem Kelvin.

### 1.1.5 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul  $E$  ist das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung bei Belastung in eine Richtung. Er ist ein Maß für den Widerstand gegen elastische Verformung.

### 1.1.6 Thermoschockparameter

Der Thermoschockparameter gibt die maximale Temperaturdifferenz an, bei der ein Material keine Schäden davonträgt. Der erste Thermoschockparameter lautet

$$R_S = \frac{\sigma_f \cdot (1 - \nu)}{\alpha \cdot E}, \quad (1)$$

er gilt für rapide Thermoschocks. Der zweite Thermoschockparameter  $R'_S$  gilt für Schocks über längere Zeiträume, deswegen fließt die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  als Faktor ein.

## 1.2 Verwendetes Material

Wir verwenden eine Glasprobe, da Glas eine niedrige Wärmeleitfähigkeit hat, ein amorpher und somit isotroper Stoff ist. Dies hat den Vorteil, dass die Richtung der Messung keinen Einfluss auf das Messergebnis hat. Ein weiterer Faktor ist der vergleichsweise niedrige Preis von Glas.

## 2 Durchführung

### 2.1 Vorbereitung der Probe

Zuerst werden alle Proben entgratet, indem wir die Kanten der Glasproben abschleifen. Dies dient dazu Kerben zu entfernen, die Schwachstellen darstellen. Nach einer nochmaligen Kontrolle vermessen wir die Proben, beschriften sie und wiegen sie anschließend.

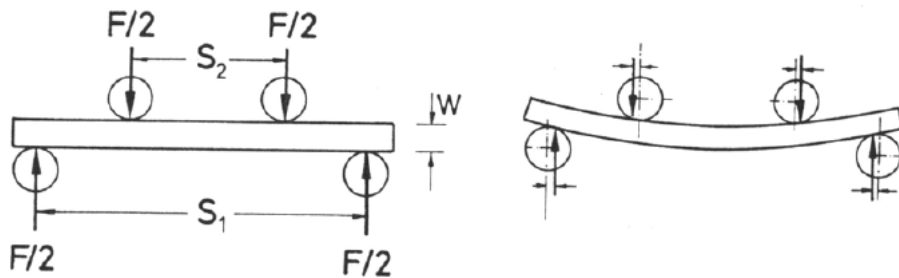


Abbildung 1: Vierpunktbiegemethode

## 2.2 Thermoschock

Zwei Proben dienen uns später als Referenz bei der Prüfung der Restfestigkeit. Die anderen Proben werden erhitzt. Gleichzeitig mit ihnen erhitzen wir auch eine Zange, damit diese beim Aufnehmen der Proben noch keinen Thermoschock auslöst.

Wir stellen nun einen Wasserbehälter bereit um die Proben abzukühlen und messen die Wassertemperatur. Bei verschiedenen Temperaturen nehmen wir je zwei Proben mit der Zange auf und werfen sie schnellstmöglich ins Wasser.

## 2.3 E-Modul

Wir bestimmen den E-Modul mithilfe einer akustischen Messmethode. Die Glasprobe wird mit einem kleinen Hammer zum Schwingen gebracht. Sie liegt dazu auf einem Schaumstoffkissen, damit sie ungehindert schwingen kann. Das Glas schwingt nun mit seiner Eigenfrequenz, welche von einem hochsensiblen Mikrofon aufgenommen und mit einem Frequenzmesser angezeigt wird. Um hierbei mögliche Fehler zu vermeiden, notieren wir einen Wert sobald er bei drei aufeinander folgenden Messungen konstant ist.

## 2.4 Restfestigkeit

Die Restfestigkeit der Proben nach dem Thermoschock wird mit Hilfe der Vierpunktbiegemethode bestimmt (s. Abbildung 1, Seite 3). Über die oberen beiden Rollen wird eine Kraft auf die Probe ausgeübt. Die Kraft wird solange erhöht, bis die Probe bricht. Die maximal ausgeübte Kraft wird von einem Messgerät gespeichert und angezeigt.

Diese Methode hat gegenüber der Dreipunktbiegemethode den Vorteil, dass ein größeres Volumen belastet wird, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich in diesem Volumen eine Schwachstelle befindet.

# 3 Auswertung

## 3.1 Messergebnisse

In Tabelle 1 (Seite 7) sind die gemessenen Werte für die Ausmaße der Proben, das Gewicht der Proben, die Temperatur der Proben vor dem Thermoschock, die Frequenz der Proben bei der E-Modul-Bestimmung sowie die ausgeübte

Kraft beim Bruch der Proben. Probe *a* und *b* wurden keinem Thermoschock ausgesetzt. Die Probe *k* zerbrach bei der Resonanzmessung, deswegen existieren nicht alle Messwerte für diese Probe.

## 3.2 Berechnete Größen

Aus den gemessenen Werten errechnen wir verschiedene Größen. Die Messwerte und Rechenergebnisse sind in Tabelle 1, Seite 7 aufgeführt.

### 3.2.1 E-Modul

Für die Berechnung des Elastizitätsmoduls verwenden wir folgende Formeln:

$$E = 4 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{L^4 \pi^2}{4.73^4 \cdot i^2} \cdot f_F^2 \cdot C \cdot \rho \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{2} + D + \sqrt{\frac{1}{4} + D + \frac{4.73^4 \cdot i^4}{4L^4} \cdot \left(1 - \frac{12}{5} \cdot (1 + \nu)\right)^2} \quad (3)$$

$$D = \frac{4.73^2 \cdot i^2}{2L^2} \cdot \left(1 + \frac{12}{5} \cdot (1 + \nu)\right) \quad (4)$$

$$(5)$$

$$A = B \cdot H \quad I = \frac{B \cdot H^3}{12} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \rho = \frac{G}{LBH} \cdot 10^3$$

$f_F$  = Frequenz der Schwingung in Hz

$L$  = Länge der Probe in mm

$H$  = Höhe der Probe in mm

$B$  = Breite der Probe in mm

$G$  = Gewicht der Probe in g

### 3.2.2 Restfestigkeit

Mit Hilfe der Formel

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot (S_1 - S_2)}{2 \cdot W^2 \cdot B} \cdot F \quad (6)$$

berechnen wir die Restfestigkeit der Proben aus der Differenz der Rollenabstände ( $S_1 = 2 \text{ cm}$ ,  $S_2 = 1 \text{ cm}$ ), der Dicke  $W$ , der Breite  $B$  und der aufgebrachten Kraft  $F$  (für den Aufbau des Versuchs s. Abbildung 1, Seite 1).

## 4 Diskussion

### 4.1 Verlauf der Datenpunkte

In Abbildung 2, Seite 5 ist der E-Modul  $E$  über dem Temperaturunterschied  $\Delta T$  aufgetragen. Der Verlauf des Graphen ist annähernd linear.

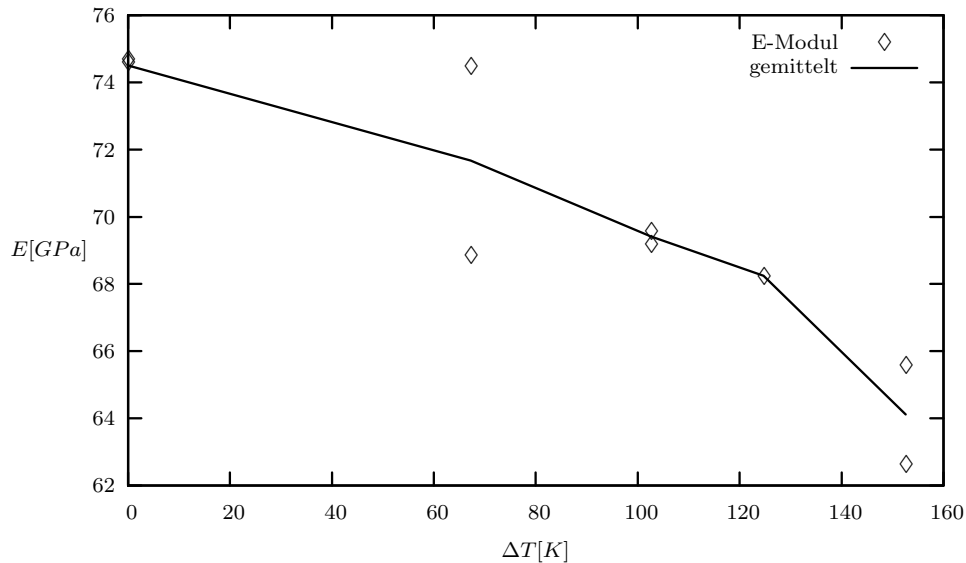


Abbildung 2: E-Modul

Abbildung 3, Seite 6 zeigt die Restfestigkeit  $\sigma_f$  aufgetragen gegen den Temperaturunterschied  $\Delta T$ . Der Graph weist einen „Sprung“ zwischen 100 K und 120 K auf.

Während des Versuchs zeigten sich zunehmende Materialschäden mit zunehmender Temperaturdifferenz. Dies stimmt mit den aufgetragenen Werten überein, E-Modul sowie Restfestigkeit nehmen ab. Bei einer kritischen Temperaturdifferenz (hier bei ca. 120 K) nimmt die Restfestigkeit schlagartig ab, der Thermoschockparameter ist überschritten. Dies stimmt mit den Erwartungen überein. Der E-Modul nimmt stetig ab, was bedeutet, dass die Elastizität zunimmt. Dies ist auf zunehmende Risse im Material zurückzuführen, die den Widerstand des Materials gegen Verformung mindern.

## 4.2 Beobachtungen

Es fällt im Versuch desweiteren auf, dass man direkt nach dem Abkühlen der Proben Risse im Material sieht, die mit der Zeit schlechter zu sehen sind. Der Grund dafür ist, dass zuerst im Material ein Temperaturgradient vorliegt, was dazu führt, dass verschiedene Teile des Stoffes verschieden ausgedehnt sind. Wird die Temperatur ausgeglichen, so wird auch die Ausdehnung wieder angeglichen, das Material nimmt wieder seine ursprünglichen Ausmaße an. Das bedeutet, dass die Lücken zwischen den Teilen des Materials kleiner werden, die Risse werden schlechter sichtbar.

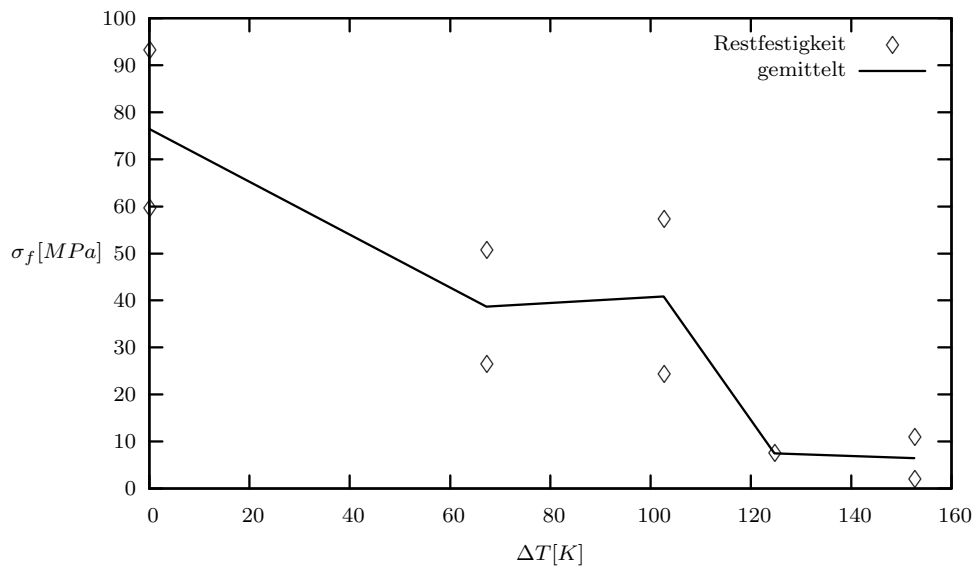


Abbildung 3: Restfestigkeit

### 4.3 Fehlerquellen

Es sind verschiedene Fehlerquellen in diesem Versuch möglich. Zum einen können nicht alle Kerben an den Kanten der Glasquader entfernt werden. Zum anderen wird die Temperatur der Proben schon beim Transport zum Kühlwasser durch die Luft beeinflusst. Die Proben wurden desweiteren auf einer Heizplatte nur einseitig erhitzt. Der Druck wird bei der Restfestigkeitsmessung manuell ausgeübt und könnte von einer Maschine gleichmäßiger ausgeübt werden. Außerdem ist uns nicht bekannt ob die Glasproben aus der gleichen Produktion stammen oder ob sie nicht unterschiedliche Eigenschaften haben.

Die meisten dieser Fehler lassen sich durch sorgältiges Arbeiten zumindest verringern. Durch weitere Modifikation des Versuchsaufbaus ließen sich die Ergebnisse weiter verbessern. Man könnte die Proben in einem Ofen gleichmäßiger erhitzen, sowie die Probenzahl erhöhen um eine statistisch bessere Mittelung zu ermöglichen.

Tabelle 1: Messwerte

Die Wassertemperatur beträgt 21.4 °C. Es sind die Breite  $B$ , die Dicke  $W$ , die Länge  $L$ , die Masse der Proben  $m$ , die Temperatur der Proben nach dem Erhitzen  $T$ , die Frequenz  $f$  bei der Resonanzmessung, die Restfestigkeit  $\sigma_f$  und der E-Modul  $E$  eingetragen.

Probe	$B$ [mm]	$W$ [mm]	$L$ [mm]	$m$ [g]	$T$ [°C]	$\Delta T$ [K]	$f$ [kHz]	$F$ [N]	$\sigma_f$ [MPa]	$A$ [mm <sup>2</sup> ]	$I$ [mm <sup>3</sup> ]	$i$ [mm]	$\rho$ [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	$C$	$E$ [GPa]
a	4.1	2.82	28.3	0.83	21.4	0	18.97	202.8	93.299	11,56	7,66	0,814	2,54	1,072	74,69632
b	4.03	2.81	28.18	0.82	21.4	0	18.93	126.5	59.630	11,32	7,45	0,811	2,57	1,072	74,61263
c	4.08	2.81	29.72	0.88	88.6	67.2	17.02	57	26.540	11,46	7,54	0,811	2,58	1,065	74,49983
d	4.12	2.82	28.85	0.89	88.6	67.2	17.15	110.9	50.772	11,62	7,7	0,814	2,66	1,069	68,84697
e	4.24	2.82	29.77	0.87	124	102.6	16.91	128.9	57.343	11,96	7,92	0,814	2,44	1,065	69,58469
f	4.05	2.82	29.79	0.86	124	102.6	16.56	52.3	24.358	11,42	7,57	0,814	2,53	1,065	69,19538
g	4.22	2.81	29.67	0.87	174	152.6	16	24.3	10.939	11,86	7,8	0,811	2,47	1,065	62,62598
h	4.16	2.8	29.79	0.89	174	152.6	15.9	4.4	2.024	11,65	7,61	0,808	2,56	1,064	65,60059
i	4.07	2.8	29.82	0.87	146.1	124.7	16.2	15.9	7.474	11,4	7,45	0,808	2,56	1,064	68,23878
k	4.05	2.8	29.71	0.86	146.1	124.7	N/A	N/A	N/A	11,34	7,41	0,808	2,55	1,064	N/A