

Gruppe 3  
Protokoll: Simon Kumm  
Mitarbeiter: Philipp Kaller, Paul Rossi

# Aushärtbarkeit von Al-Legierungen

## **1. Einleitung, Aufgabenstellung**

Ziel des Versuchs ist es, die Härte einer Al-Si- und einer Al-Cu-Legierung mit Hilfe der Vickersprüfung und der Widerstandsmessung in Abhängigkeit der Auslagerungszeit zu bestimmen. Dazu werden die Proben bei 250°C im Ofen ausgehärtet.

## **2. Grundlagen**

Die Härte von metallischen Legierungen kann unterschiedlich beeinflusst werden. Ziel ist es immer, eine Behinderung von Versetzungsbewegungen zu erreichen welche für eine Verformung nötig sind. Al-Si bildet beim langsamen abkühlen grobe Siliziumkristalle wodurch keine nennenswerte Verfestigung erreicht wird.

Durch abschrecken der Lösungsgeglühten Probe kann erreicht werden, dass das Gefüge fein lamellar erstarrt. Auslagern führt jedoch wieder zur Bildung grober Kristalle. Daher nennt man die Legierung nichtaushärtbar.

Für eine Erhöhung durch Ausscheidungshärtung muss das System eine beschränkte Mischkristallbildung aufweisen und mit die Löslichkeit einer Komponente muss mit sinkender Temperatur Abnehmen. Dies ist bei Al-Cu der Fall.

Beim langsamen Abkühlen entstehen verschiedene Zonen im Material.

Die GP I-Zonen welche aus sehr kleinen monoatomaren Cu-Schichten bestehen die kohärent zum Mischkristall homogen in der gesamten Probe entstehen.

GP II-Zonen bzw.  $\Theta''$  Phasen bestehen aus parallelen Al und Cu Schichten mit der ungefähren Zusammensetzung  $Al_2Cu$  und ist gegenüber dem Mischkristall tetragonal verzerrt. Sie sind deutlich größer als GP I-Zonen (mehr als 15 mal so groß) und ebenfalls kohärent zur Matrix.

Die Nichtgleichgewichtsphase  $\Theta'$  hat wie die  $\Theta''$  Phase eine Zusammensetzung von  $Al_2Cu$ , ist aber nur teilweise kohärent zur Matrix.

Die  $\Theta'$ - und  $\Theta''$ -Phasen spielen die Größte Rolle bei der Aushärtung.

Die  $\Theta$ -Phase ist die stabile Gleichgewichtsphase mit tetragonaler Struktur und ist völlig inkohärent zur Matrix. Sie trägt kaum zur Festigkeitssteigerung bei.

Die Härte eines Werkstoffs kann verschiedenartig geprüft werden. Die im Versuch gewählten Methoden waren die Bestimmung der Vickershärte und der Leitfähigkeit.

Die Vickershärte wird durch das Eindringen einer Diamantpyramide mit quadratischer Grundfläche und einem Flächenöffnungswinkel von 136° bestimmt. Die Härte ergibt sich aus dem Verhältnis von Aufpressdruck zu Oberfläche des Eindrucks.

Die Formel zur Berechnung lautet

$$HV = \frac{p}{O} = \frac{2 p \sin 68^\circ}{d^2} \left[ \frac{kp}{mm^2} \right]$$

mit p: Belastung/Aufpressdruck

O: Oberfläche des Eindrucks

d: Mittel der Diagonalen des Eindrucks

Die zweite Messmethode ist die Widerstandsmessung mit Hilfe der Thomson-Brücke.

Der Widerstand einer Legierung setzt sich zusammen aus dem Restwiderstand welcher von Störungen im Gitter herrührt und dem temperaturabhängigen auf Grund von Gitterschwingungen.

Der sehr kleine Widerstand des zu prüfenden Materials benötigt zum Messen die Thomson-Messbrücke in der der Fehler durch die Messleitungen durch einen parallel zur Messleitung geschalteten Spannungsteiler fast vollständig eliminiert wird welcher bei der sonst üblichen Wheatstone-Brücke auftauchen würde.

### **3. Versuchsdurchführung**

Bei den Lösungsgeglühten Proben wurden zunächst im unausgehärteten Zustand die Vickershärte und der Widerstand gemessen. Anschließend wurden sie im Ofen bei 250°C ausgelagert und die Messungen nach 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 und 80min nach abschrecken wiederholt.

Dabei betrug die Last bei der Vickers-Messung 2kp (2kg bei 9,81  $\frac{m}{s^2}$  Erdbeschleunigung). Die

Belastungszeit betrug 20s.

Gemessen wurden 3 Eindrücke aus denen der Mittelwert gebildet wurde.

Zur Widerstandsmessung wurde die jeweilige Probe in eine Messvorrichtung geklemmt.

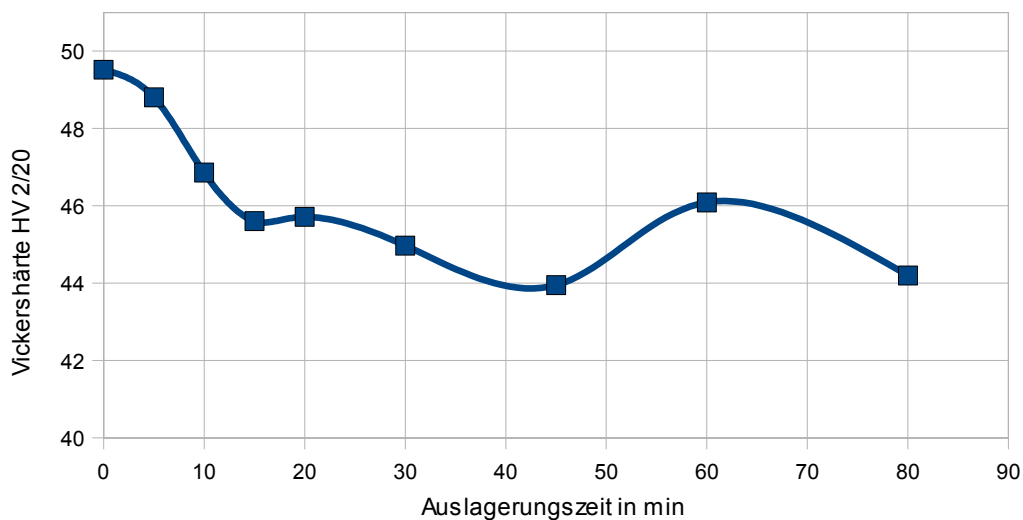
Für die Vickershärte- und Widerstandsmessung wurden jeweils unterschiedliche Proben verwendet, es war unbekannt um welche Legierung es sich handelt daher war zur Unterscheidung je eine Probe mit einem kleinen Loch versehen.

## 4. Messergebnisse

Härtemessung der Probe mit Loch (so weit nicht anders angegeben Werte in mm)

Auslagerungszeit in Minuten	Eindruck 1			Eindruck 2			Eindruck 3			HV 2/20 in $\text{kp/mm}^2$
	d1	d2	Mittelwert	d1	d2	Mittelwert	d1	d2	Mittelwert	
0	0,282	0,271	0,277	0,275	0,272	0,274	0,271	0,271	0,271	49,52
5	0,274	0,267	0,271	0,283	0,273	0,278	0,283	0,274	0,279	48,8
10	0,279	0,285	0,282	0,283	0,284	0,284	0,283	0,274	0,279	46,86
15	0,291	0,288	0,290	0,289	0,285	0,287	0,282	0,276	0,279	45,61
20	0,282	0,289	0,286	0,283	0,286	0,285	0,279	0,290	0,285	45,71
30	0,285	0,283	0,284	0,280	0,291	0,286	0,292	0,292	0,292	44,97
45	0,292	0,285	0,289	0,289	0,285	0,287	0,301	0,291	0,296	43,95
60	0,287	0,295	0,291	0,279	0,273	0,276	0,279	0,289	0,284	46,09
80	0,296	0,290	0,293	0,291	0,284	0,288	0,286	0,291	0,289	44,2

Zeit-Härte-Diagramm für Probe mit Loch

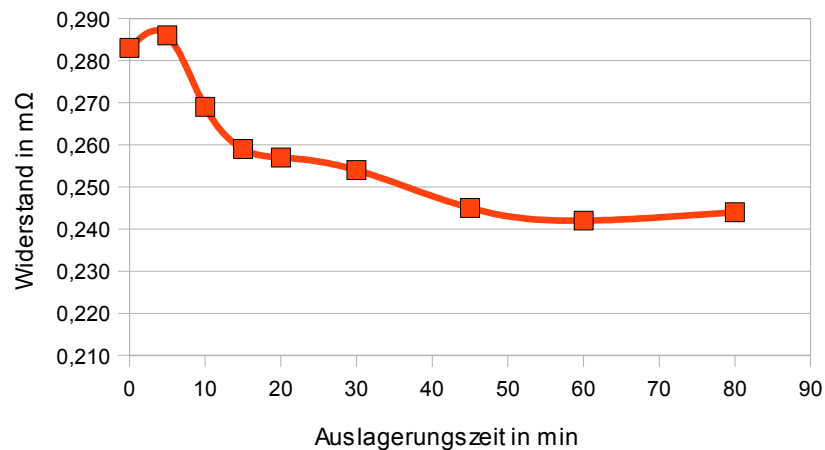


Widerstandsmessung der Probe mit Loch

t in min	0	5	10	15	20	30	45	60	80
R in $m\Omega$	0,283	0,286	0,269	0,259	0,257	0,254	0,245	0,242	0,244

Widerstand der Probe mit Loch

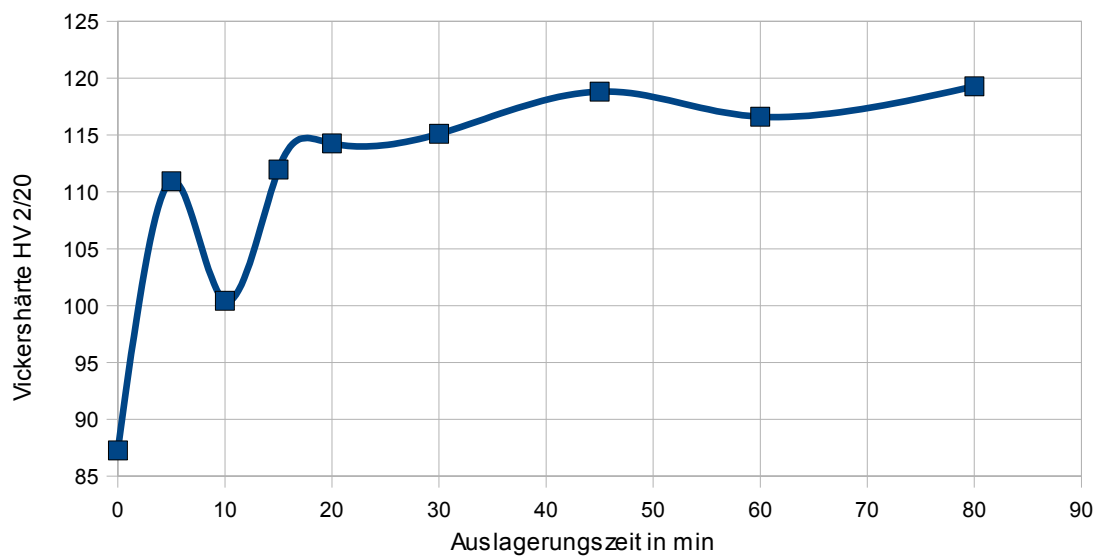
Änderung des Widerstands in Abhängigkeit der Auslagerungszeit



*Härtemessung der Probe ohne Loch (so weit nicht anders angegeben Werte in mm)*

Auslagerungszeit in Minuten	Eindruck 1			Eindruck 2			Eindruck 3			HV 2/20 in $\text{kp/mm}^2$
	d1	d2	Mittelwert	d1	d2	Mittelwert	d1	d2	Mittelwert	
0	0,210	0,204	0,207	0,203	0,209	0,206	0,204	0,207	0,206	87,25
5	0,184	0,189	0,187	0,183	0,175	0,179	0,181	0,185	0,183	110,95
10	0,192	0,195	0,194	0,188	0,191	0,190	0,197	0,190	0,194	100,43
15	0,189	0,185	0,187	0,180	0,177	0,179	0,180	0,181	0,181	111,97
20	0,185	0,185	0,185	0,182	0,179	0,181	0,172	0,178	0,175	114,26
30	0,178	0,174	0,176	0,189	0,180	0,185	0,176	0,180	0,178	115,11
45	0,186	0,178	0,182	0,170	0,178	0,174	0,174	0,174	0,174	118,83
60	0,182	0,178	0,180	0,180	0,182	0,181	0,176	0,172	0,174	116,62
80	0,178	0,174	0,176	0,174	0,173	0,174	0,178	0,181	0,180	119,28

Zeit-Härte-Diagramm für Probe ohne Loch

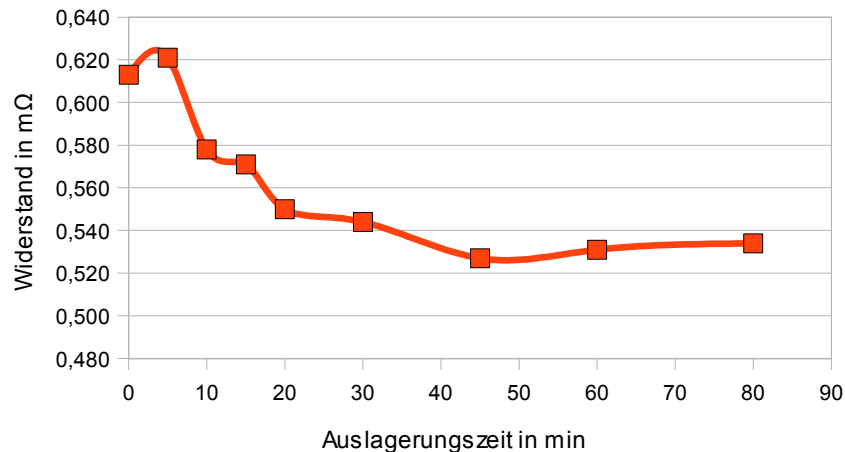


*Widerstandsmessung der Probe ohne Loch*

t in min	0	5	10	15	20	30	45	60	80
R in $m\Omega$	0,613	0,621	0,578	0,571	0,550	0,544	0,527	0,531	0,534

Widerstand der Probe ohne Loch

Änderung des Widerstands in Abhängigkeit der Auslagerungszeit



## 5. Fehlerrechnung

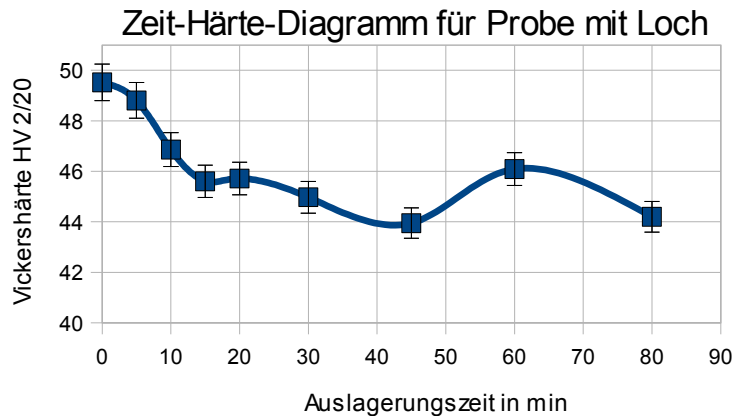
Als Messfehler bei der Härtemessung werden  $\Delta d = 0,002 \text{ mm}$  angenommen.

Daraus ergeben sich mit der Fehlerfortpflanzung  $\Delta HV = \left| \frac{\partial HV}{\partial d} \right| * \Delta d = \left| \frac{4 * 1,8544}{d^3} \right| * 0,002 \text{ mm}$

folgende Fehler:

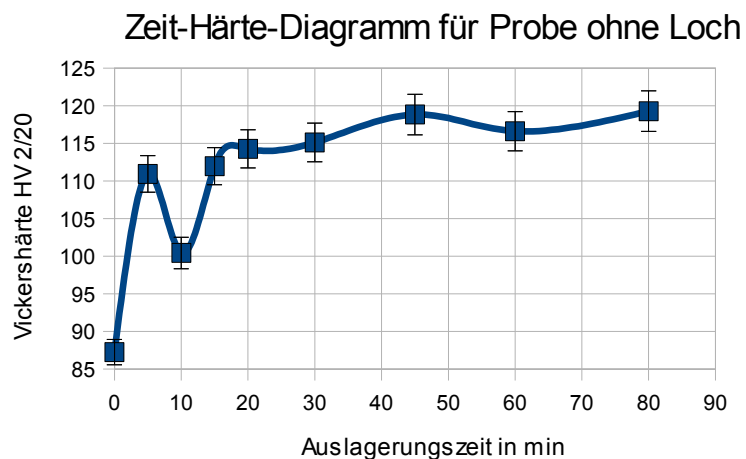
### Probe mit Loch

Auslagerungszeit in Minuten	Fehler in $\text{kp/mm}^2$
0	0,72
5	0,71
10	0,67
15	0,64
20	0,64
30	0,63
45	0,61
60	0,65
80	0,61



### Probe ohne Loch

Auslagerungszeit in Minuten	Fehler in $\text{kp/mm}^2$
0	1,69
5	2,43
10	2,09
15	2,46
20	2,54
30	2,57
45	2,69
60	2,62
80	2,71



## 6. Diskussion der Ergebnisse

Aus den Ergebnissen lässt sich zunächst feststellen, dass es sich bei den Proben ohne Loch um die Al-Cu-Legierung handelt und bei den Proben mit Loch um die Al-Si-Legierung.

Dies folgt aus der im Theorieteil erwähnten nichtaushärtbarkeit von Al-Si und ist im Diagramm am sinken der Härte nach längerer Auslagerung erkennbar.

Die Härte der Al-Cu-Legierung stieg zu Beginn sofort stark an (wobei der 2. Messwert wohl durch eine ungünstige Stelle im Material verfälscht ist) was eine Auswirkung der Bildung von GP-I und -II Zonen ist.

Nach ca. 20min lässt sich auch die Härte der Al-Cu-Legierung nicht weiter aushärten. Nach einer noch längeren Auslagerungszeit wäre hingegen ein erneutes Abfallen der Härte auf Grund der beginnenden Ausbildung der  $\Theta$ -Phase zu erwarten

Der Verlauf der Widerstandskurven ähnelt sich bei beiden Proben da sich bei beiden die sehr feinen Strukturen, welche nach dem Lösungsglühen vorlagen, auflösen und gröbere Strukturen bilden.