

**Veränderung der physikalischen Eigenschaften
in Aluminium durch Zulegierung
von 3,6 % Li und 1,2 % Cu**

F. Richter / Mülheim an der Ruhr



Sitzung des AK Thermophysik
Technische Universität Graz

3. und 4. Mai 2012

Flugzeug, leer:	43 bis 47 % Al
Legierungszusätze:	2,2 bis 2,7 % Li („LITAL“)
	1 bis 1,6 % Cu
	0,6 bis 1,3 % Mg
	0,04 bis 0,16 % Zr

Bild 2: Gehalte an Legierungszusätzen von Al-Legierungen
in BOEING-Flugzeugen

- ◆ Gewichtseinsparung: rd. 10 %
- ◆ Erhöhte Steifigkeit: rd. 10 %
- ◆ Erhöhte Nutzlast
- ◆ Höhere Festigkeit und verbesserte Duktilität
durch Zusatz von Cu, Mg, Zr (Bildung kohärenter Phasen)

Bild 3: Vorteile beim Einsatz von Al-Li-Legierungen

- ◆ Die Löslichkeit von Li in Al ist sehr begrenzt
- ◆ Bei Erhöhung der Temperatur kann es zu Ausscheidungen kommen:

Al₃Li, δ'-Phase, kohärent, kugelförmig, metastabil,
geordnet wie Cu₃Au

Übergang in die kubische Gleichgewichtsphase
AlLi (δ-Phase)

Bild 4: Angaben zur Löslichkeit von Li in Al

3,55 % Li	1,24 % Cu
0,77 % Mg	0,27 % Fe
0,14 % Si	0,11 % Zr
Al 99,99 %	

Bild 5: Ist-Analysen der untersuchten Schmelzen

Werkstoff	Probe	d (20,0 °C)
AlLi _{3,6} Cu _{1,2}	1	2,520
	2	2,539
	3	2,541
	----- Mittel	----- 2,533
Al	1	2,701

Bild 6: Dichte von AlLi_{3,6}Cu_{1,2} und Al

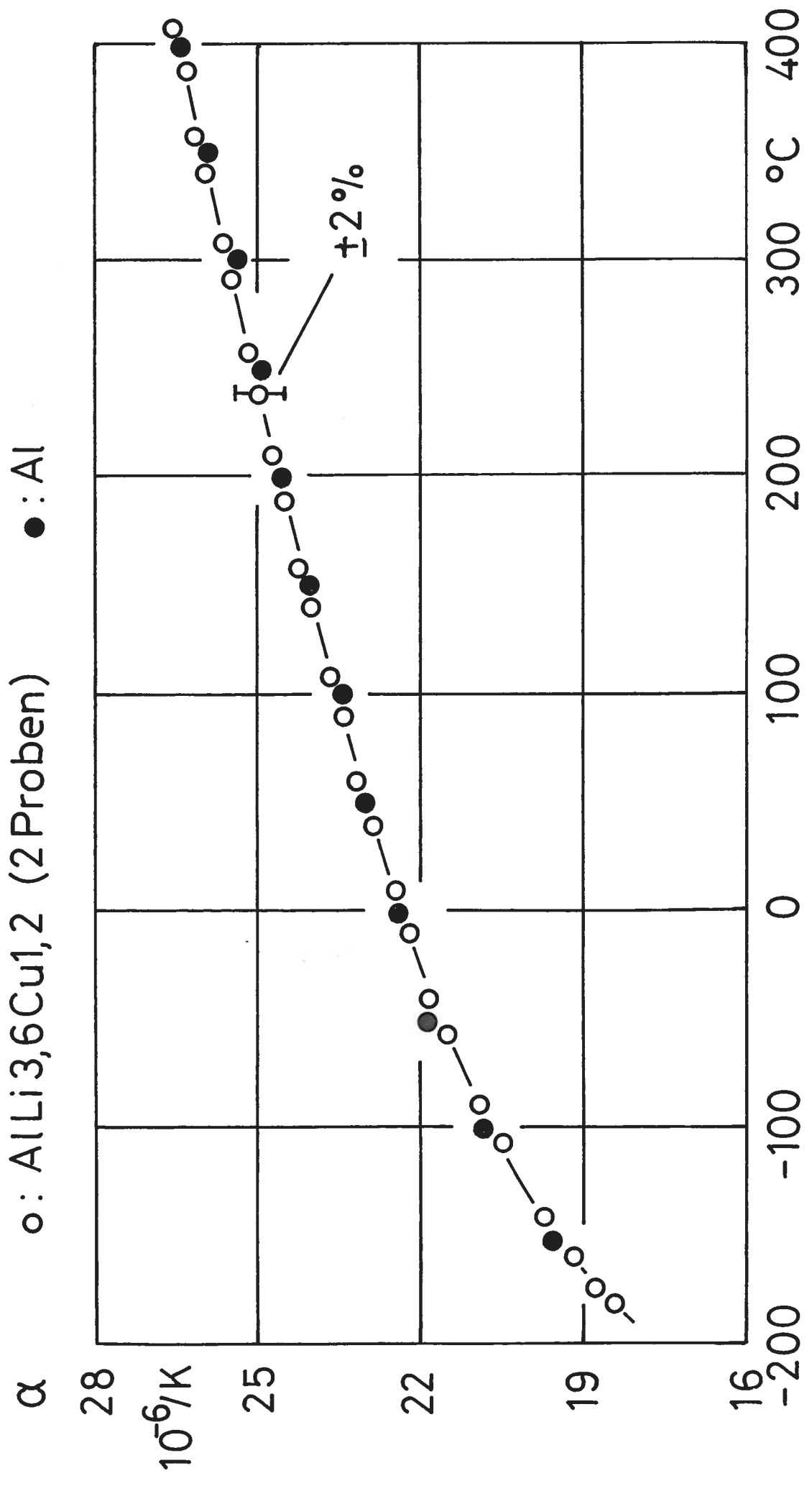


Bild 7: Mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
 (Bezugstemperatur: 20 °C)

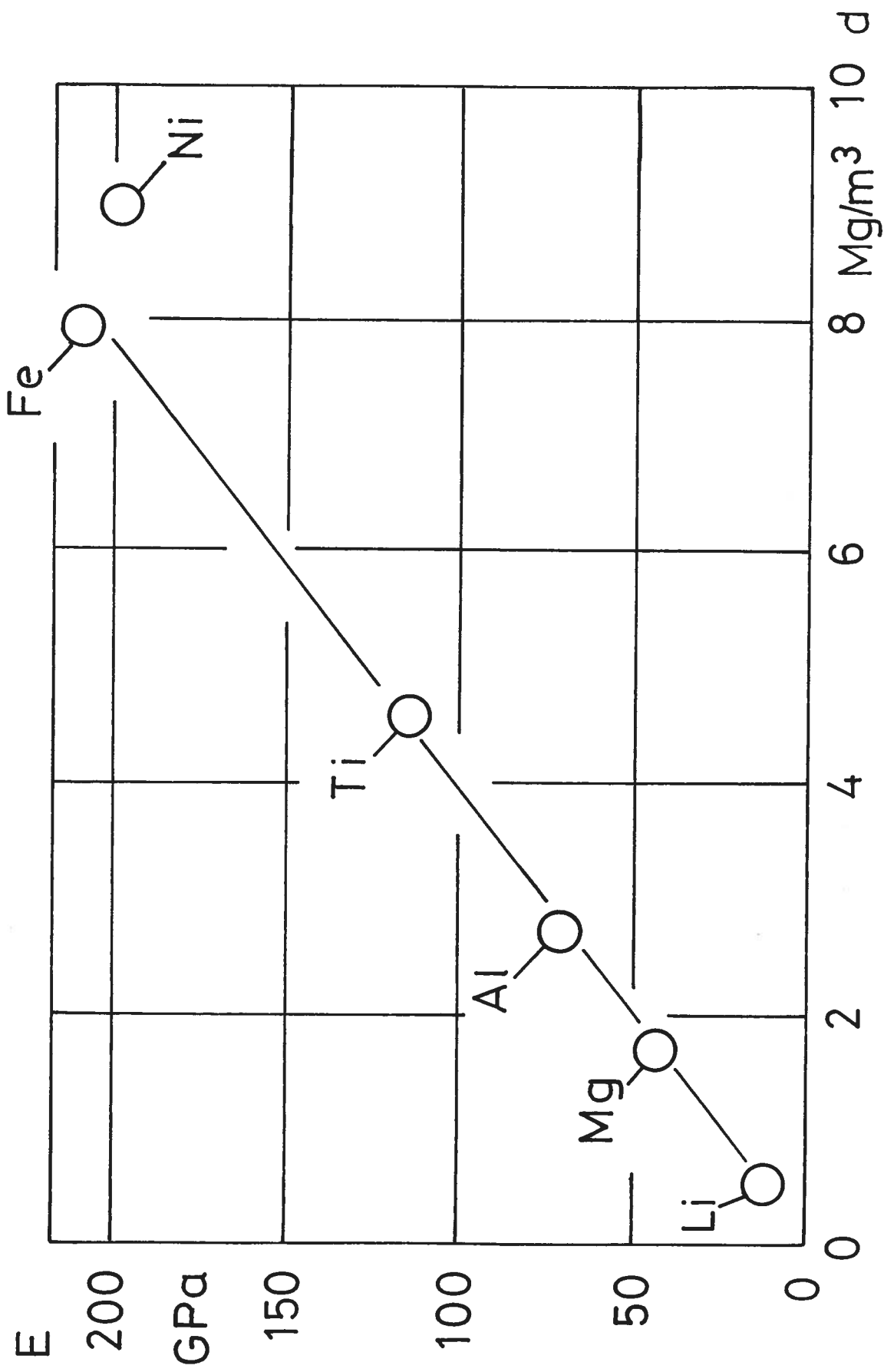


Bild 8: Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Dichte

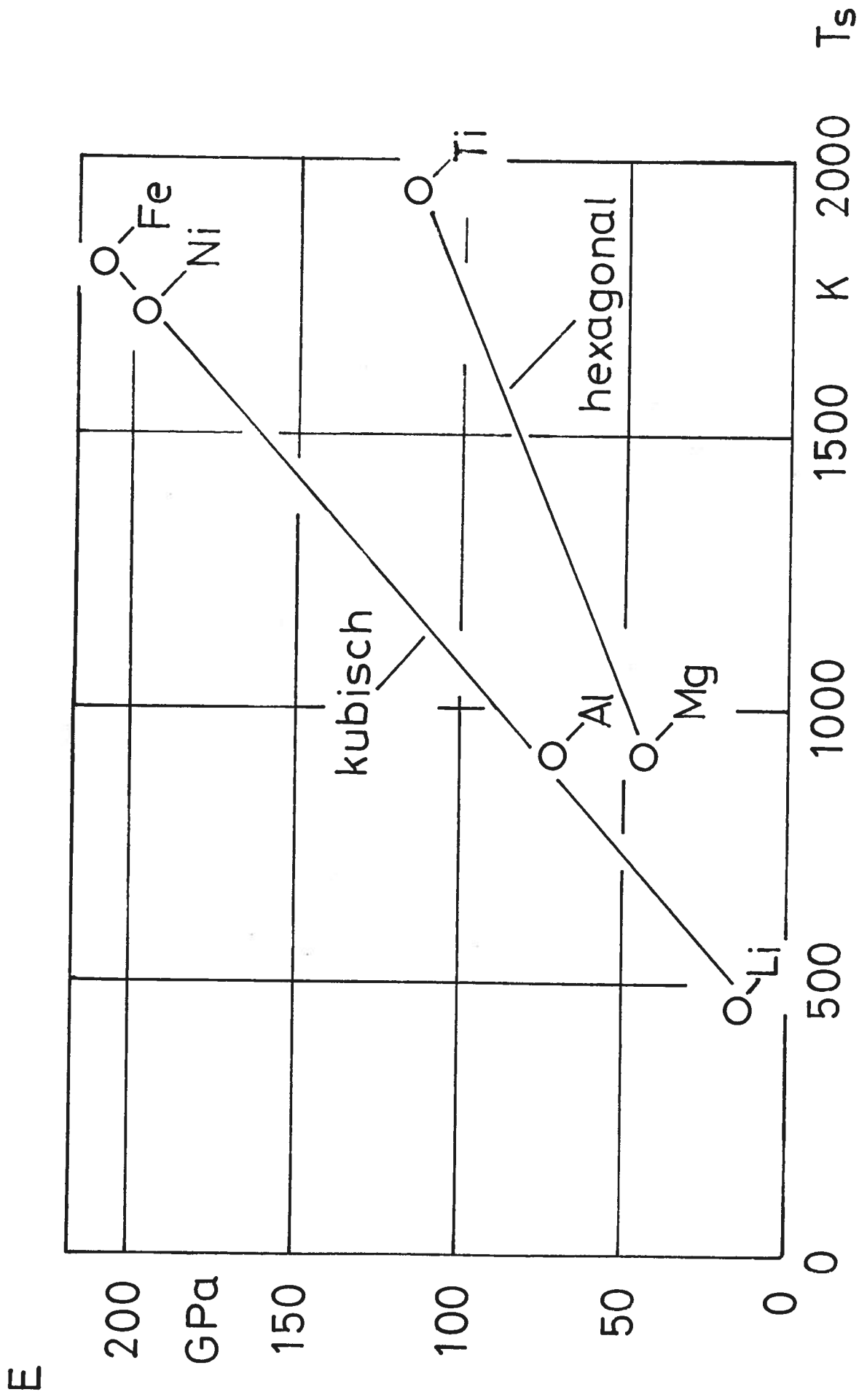


Bild9: Elastizitätsmodul und Schmelztemperatur

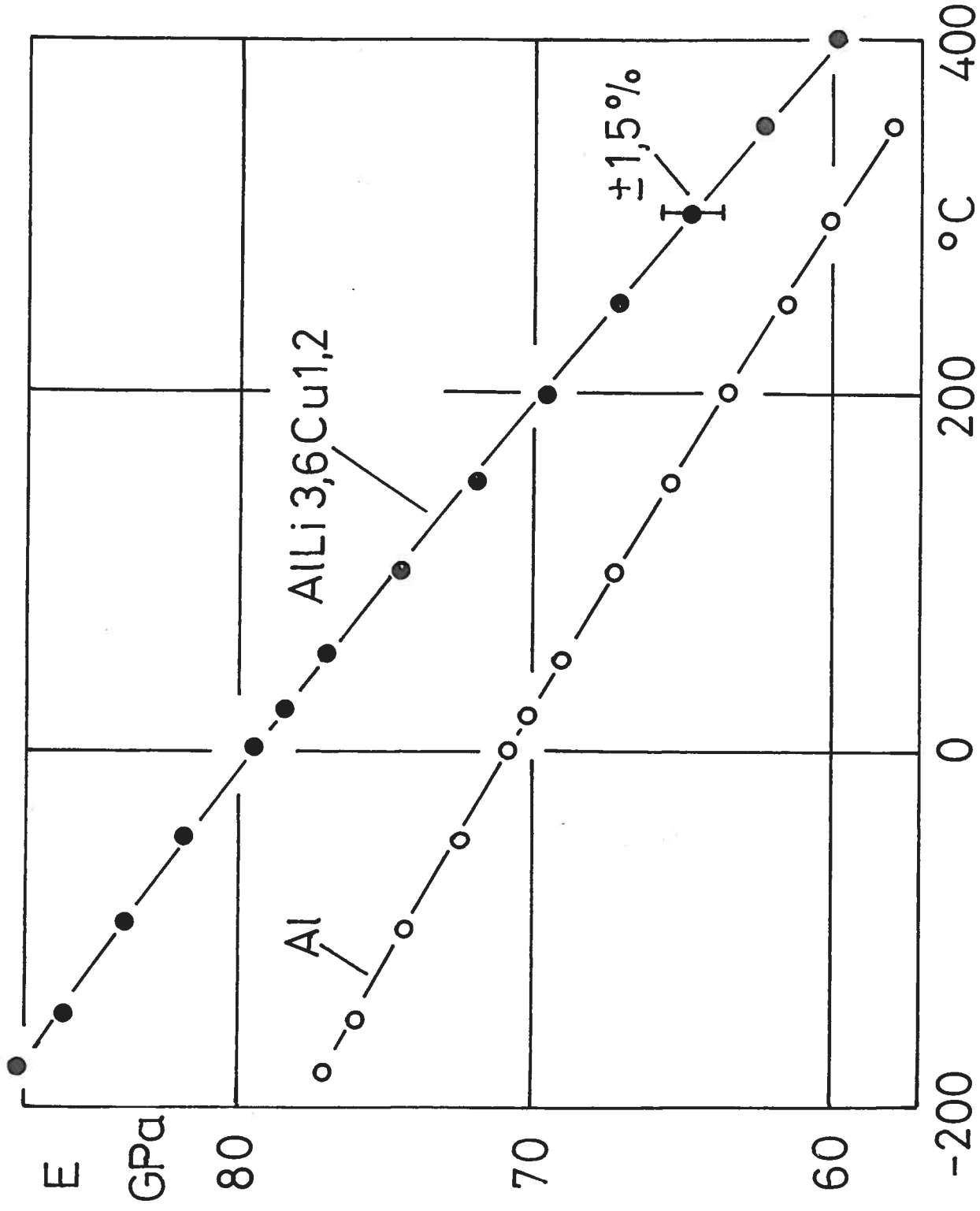


Bild 10: Elastizitätsmodul (dynamischer) von Al u. AlLi_{3,6}Cu_{1,2}

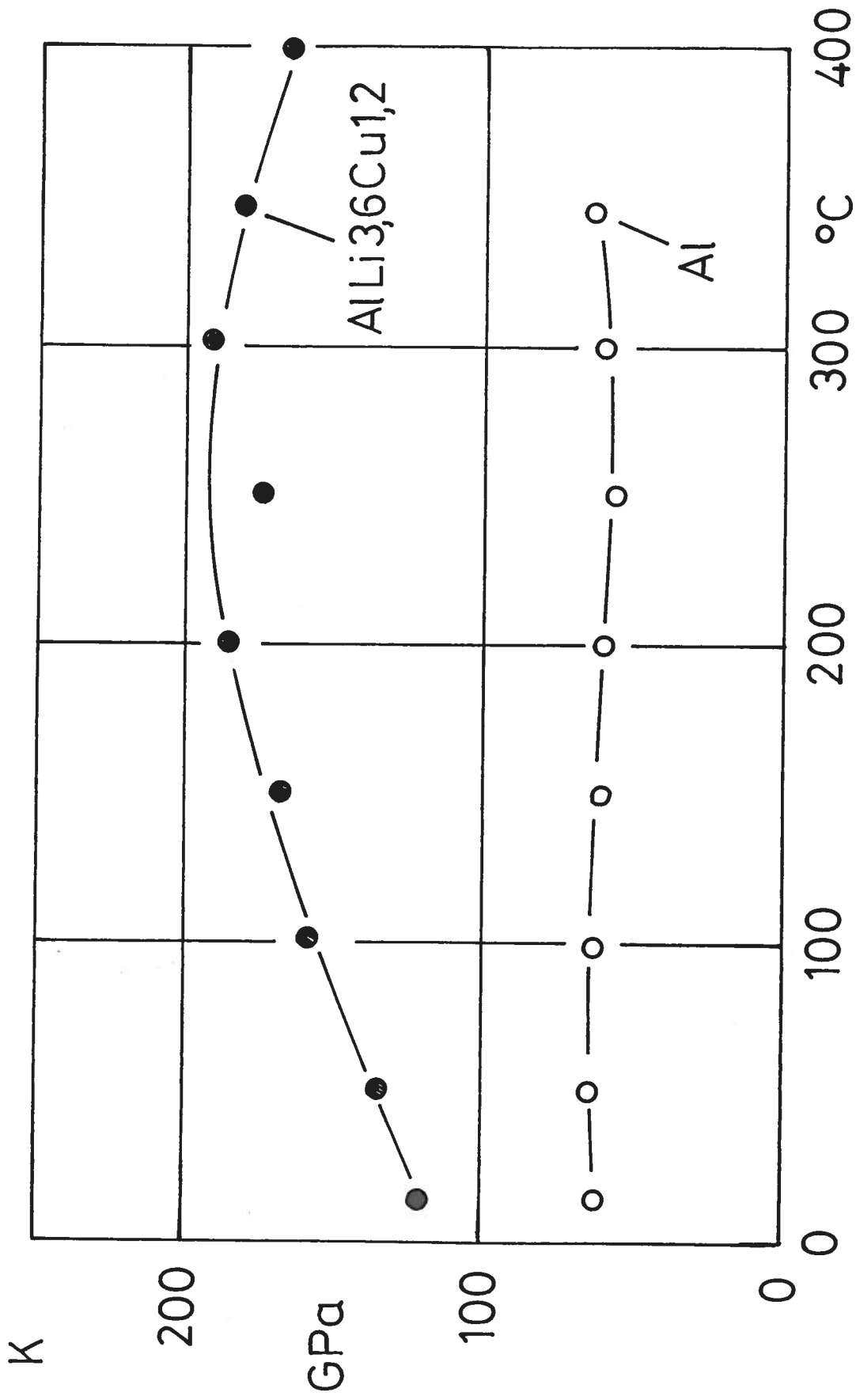


Bild 11: Kompressionsmodul (dynamischer) von Al und $\text{AlLi}_{3,6}\text{Cu}_{1,2}$

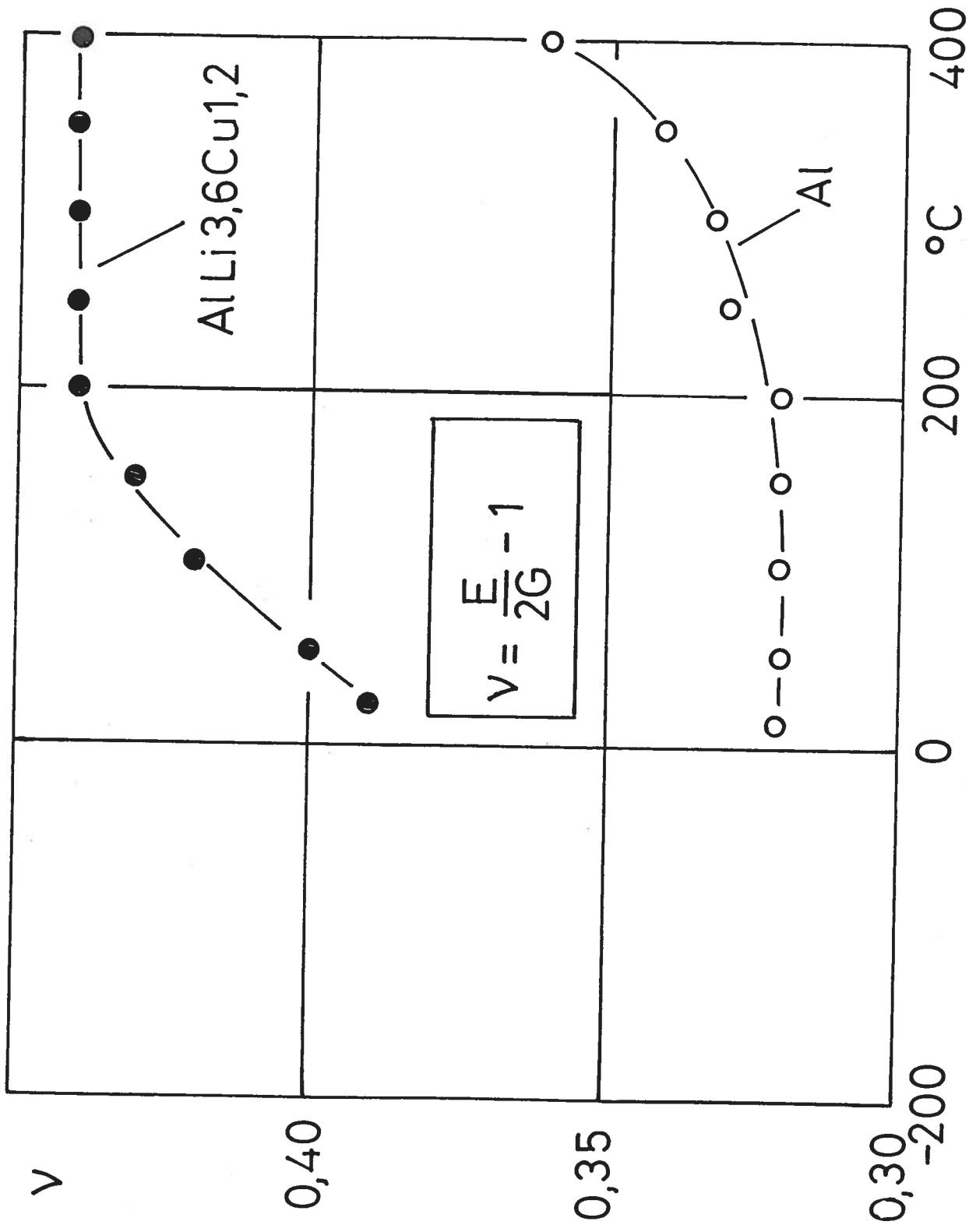


Bild 12: Querkontraktionszahl(dynamische) von Al u. $\text{AlLi}_{3,6}\text{Cu}_{1,2}$

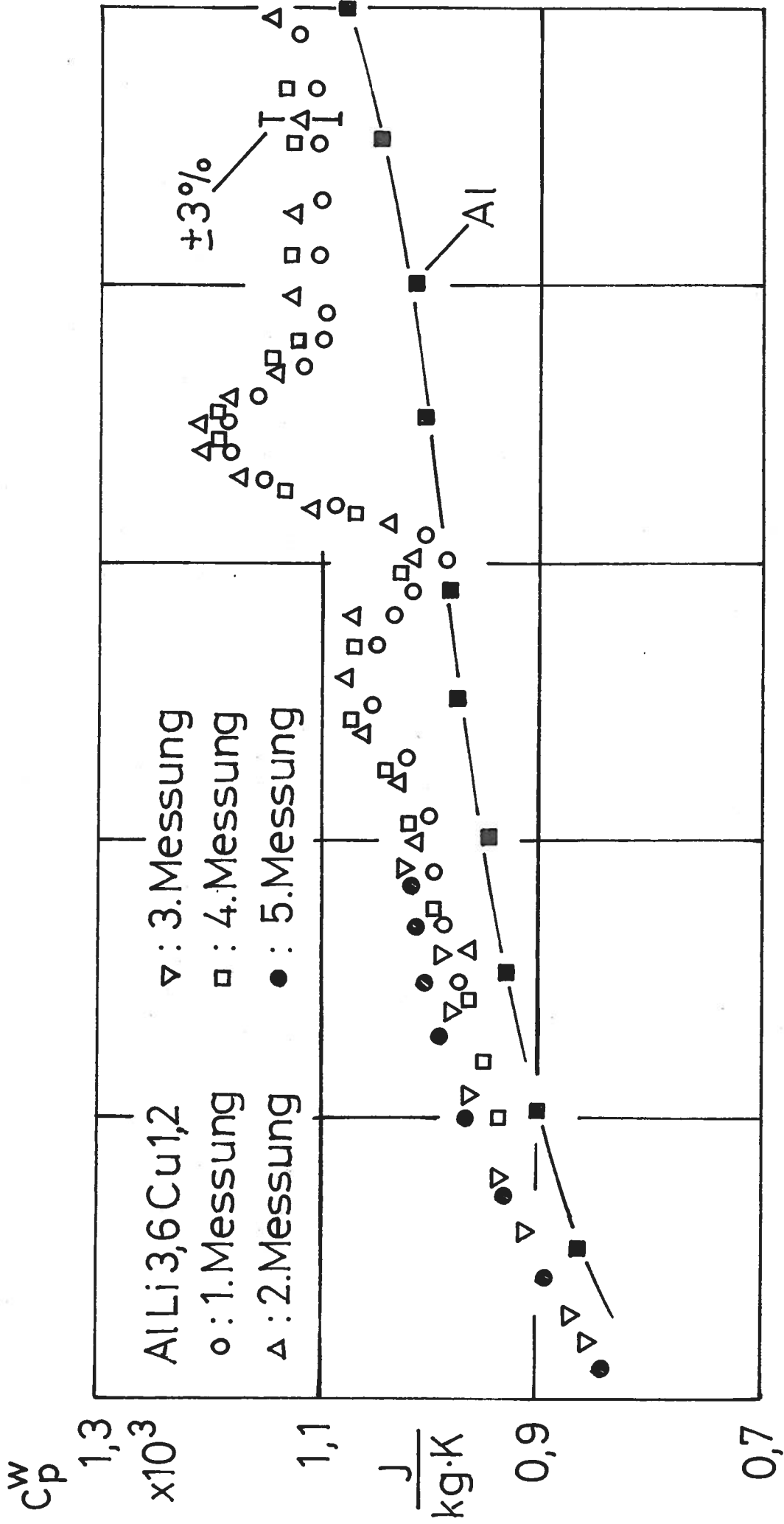


Bild 13: Wahre spezifische Wärmekapazität von AlLi_{3,6}Cu_{1,2} u. Al

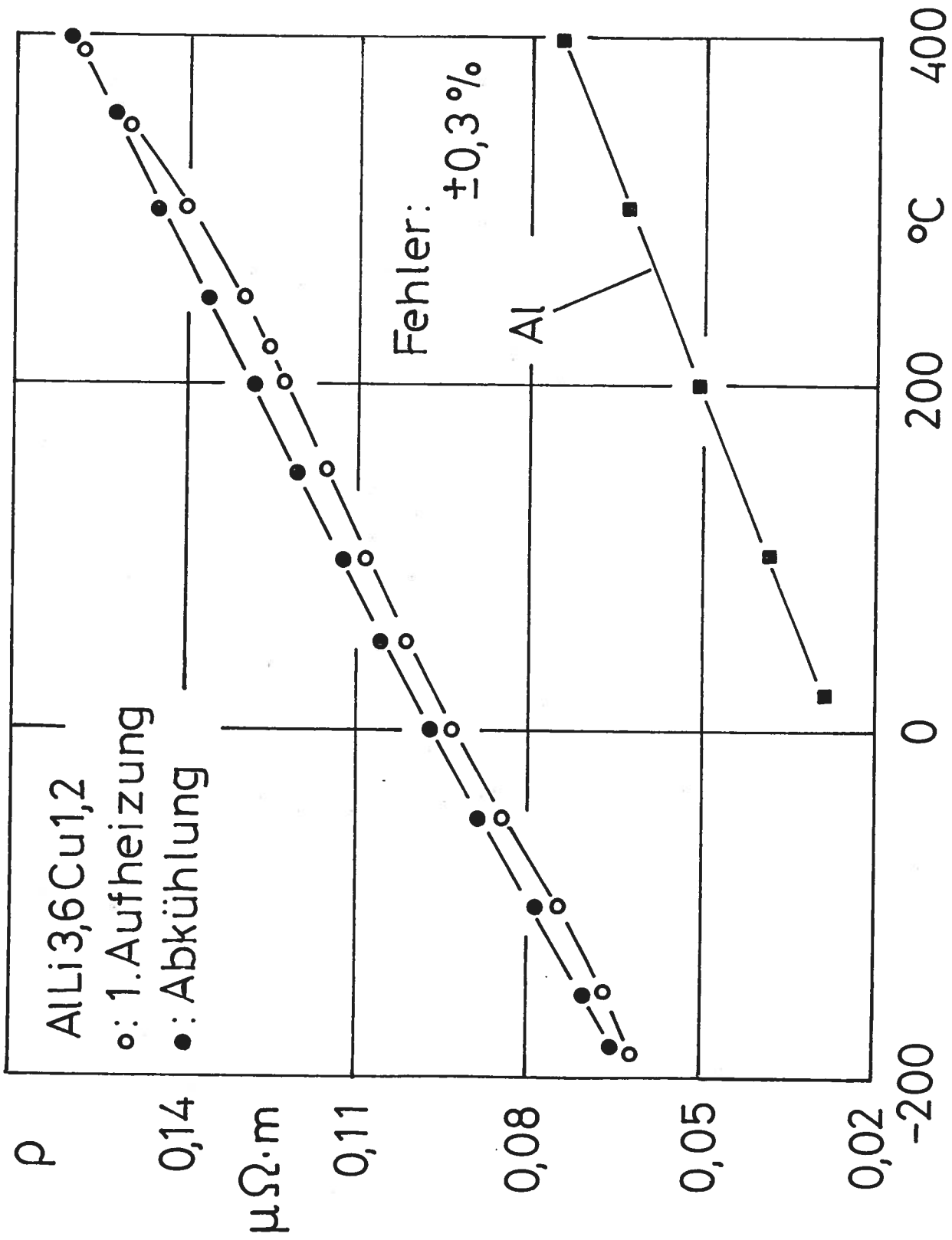


Bild 14: Spezifischer elektrischer Widerstand von AlLi_{3,6}Cu_{1,2} u. Al

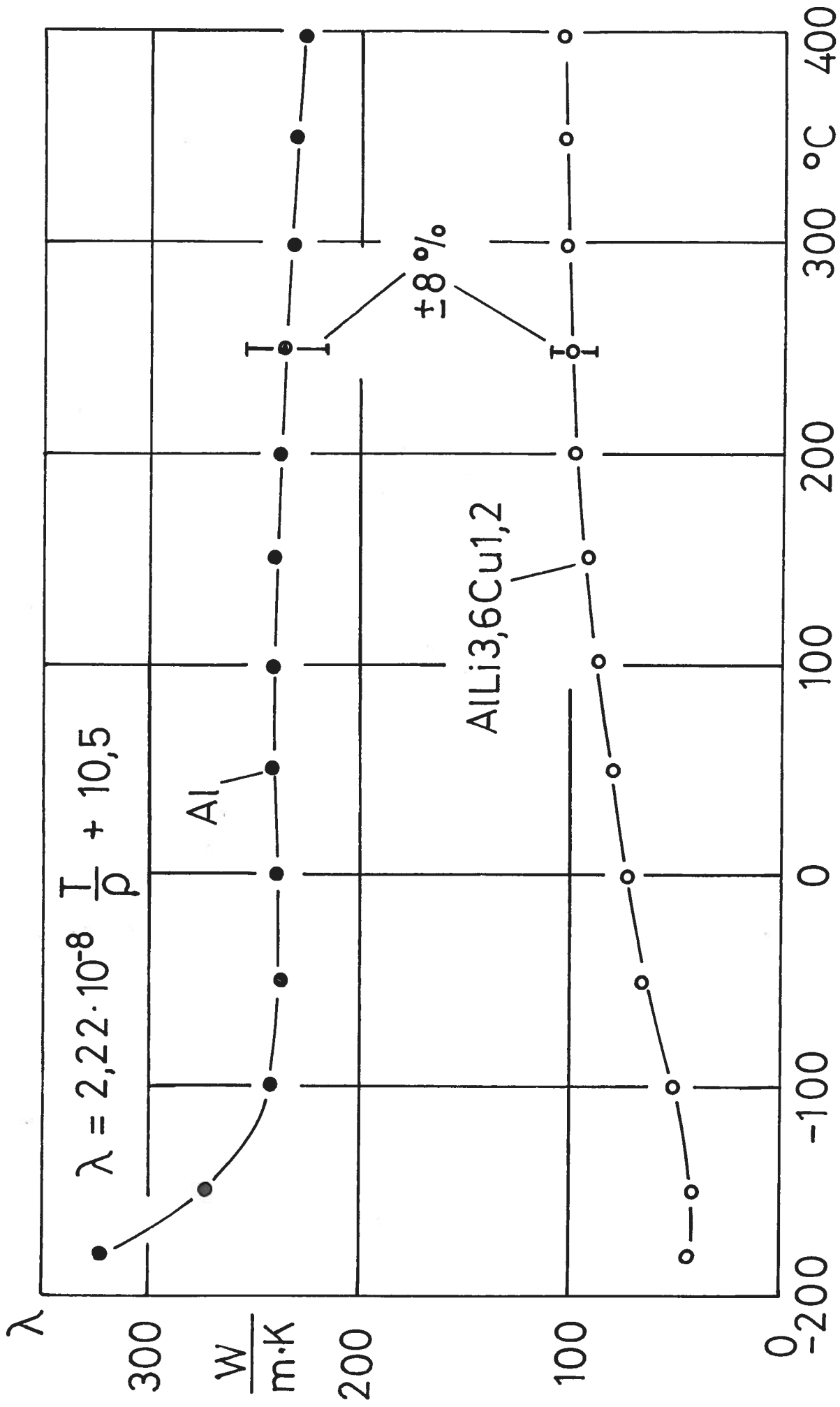


Bild 15: Wärmeleitfähigkeit von AlLi_{3,6}Cu_{1,2} und Al

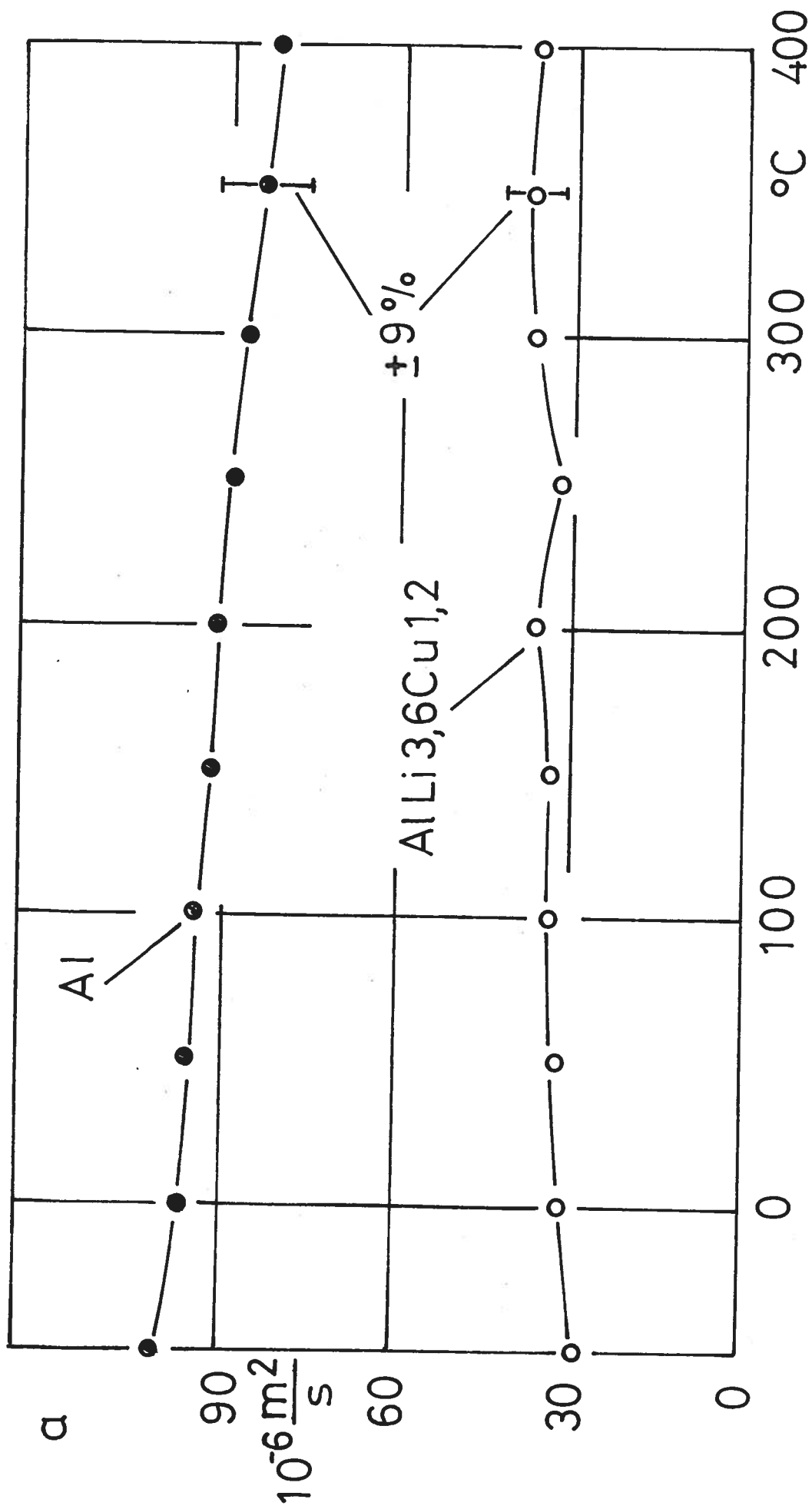


Bild 16: Temperaturleitfähigkeit von $\text{AlLi}_{3,6}\text{Cu}_{1,2}$ und Al

Veränderung der physikalischen Eigenschaften in Aluminium durch Zulegierung von 3,6 % Li und 1,2 % Cu

F. Richter / Mülheim an der Ruhr

In dem Bestreben, die Bauteile von Flugzeugen leichter zu machen, wird versucht, Werkstoffe mit geringerer Dichte einzusetzen. Knapp die Hälfte der modernen BOEING-Flugzeugtypen bestehen - im Leerzustand - aus knapp 50 % Al. Der Zusatz von Lithium ist eine Möglichkeit, die Dichte und damit das Leergewicht herabzusetzen. Bei der Zulegierung muss beachtet werden, dass die wichtigen Werkstoffeigenschaften, wie Dauerfestigkeit und Korrosionsfestigkeit, nicht verschlechtert werden.

Wie werden sich die physikalischen Eigenschaften bei der Zulegierung von 3,5 % Li und 1,2 % Cu verändern? Die Messungen ergeben eine Dichteannahme von 2,70 auf 2,53 Mg/m³. Wärmeausdehnung und elastische Eigenschaften sollten sich nicht wesentlich verändern. Hinsichtlich der Wärmeausdehnung liegen die Unterschiede im Rahmen der Messgenauigkeit. Bei Eisenwerkstoffen, den Stählen, hat sich gezeigt, dass fast für das gesamte Stahlprogramm ein Elastizitätsmodul von 210 GPa gültig ist, unabhängig von der Höhe der Beimengung. Die vorliegenden Untersuchungen haben nun erhebliche Abweichungen im Elastizitätsmodul, im Kompressionsmodul und in der Querkontraktionszahl gegenüber den Werten des reinen Aluminiums ergeben. Was ist die Ursache? Bei der Fertigung von Halbzeugen werden im Verlauf der Wärmebehandlung, dazu der Warm- und Kaltverformung, bei vielen Werkstoffen, z. B. austenitischen Stählen, Vorzugsrichtungen, d. h. Texturen, im Material erzeugt. Um zuverlässige Zahlenwerte für die elastischen Eigenschaften zu erhalten, sollte in diesen Fällen Proben aus den 3 unterschiedlichen Richtungen entnommen werden. Hierbei kann es manchmal um 20 bis 30 % Effekte. Die in dieser Untersuchung gemessenen Zahlenwerte sind somit nicht geeignet, um als spezifisch für den vorliegenden Werkstoff zu gelten.

Der Verlauf der wahren spezifischen Wärmekapazität entspricht im Wesentlichen derjenigen des reinen Al. Zusätzlich findet man Hinweise auf die Einstellung von Ordnungsphasen des Typs Al₃Li (δ' -Phase) und des Typs AlLi (δ -Phase) im Temperaturbereich von 200 bis 250 °C.

Der Zusatz von Fremdelementen in Metallen verursacht eine Zunahme von Streuprozessen, d. h. der spezifische elektrische Widerstand wird erhöht, verbunden mit einer Abnahme der Wärmeleitfähigkeit. Die Messungen ergaben bei Raumtemperatur eine Zunahme des Widerstands von 0,03 auf 0,10 $\mu\Omega\cdot m$, sowie eine Abnahme der Wärmeleitfähigkeit von 237 auf 75 W/(m·K). Auch bei der Temperaturleitfähigkeit findet man eine Abnahme um den Faktor 3, von $97\cdot 10^{-6}$ auf $31\cdot 10^{-6}$ m²/s.

Die so gefundenen Zahlenwerte sind bei der Verwendung von AlLi zu berücksichtigen. Zusätzliche Messungen der elastischen Eigenschaften müssten jedoch noch ausgeführt werden.