

# Charakterisierung von Ausscheidungsprozessen in aushärtbaren Aluminiumlegierungen mit Hilfe der Positronenannihilation

R. Krause-Rehberg<sup>1</sup>, T.E.M. Staab<sup>2</sup>, U. Hornauer<sup>3</sup>,  
E. Zschech<sup>4</sup>, G. Dlubek<sup>5</sup>

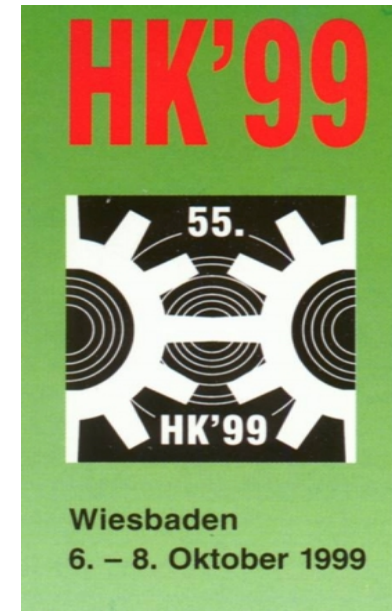
<sup>1</sup> Universität Halle, FB Physik

<sup>2</sup> Helsinki University of Technology, Laboratory of Physics

<sup>3</sup> FZ Rossendorf, Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

<sup>4</sup> AMD Saxony Manufacturing GmbH Dresden  
(früher: DASA GmbH Bremen)

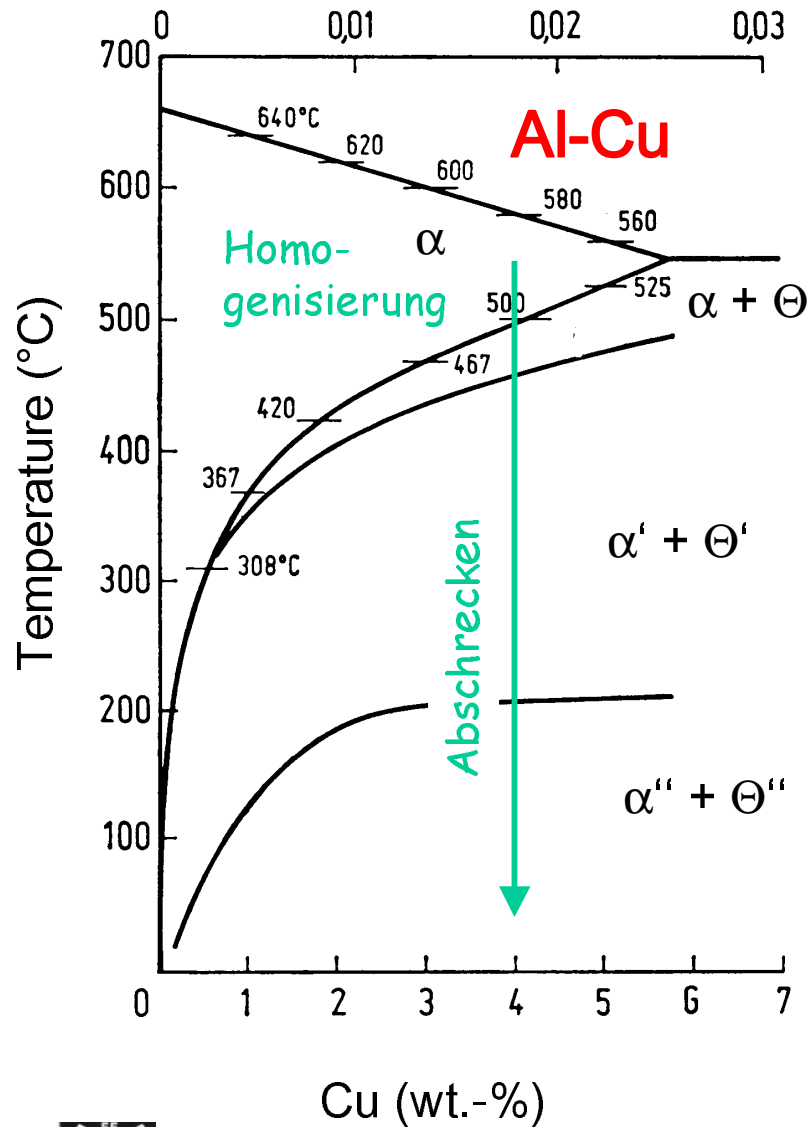
<sup>5</sup> ITA Institut für innovative Technologien GmbH Köthen



# Inhalt

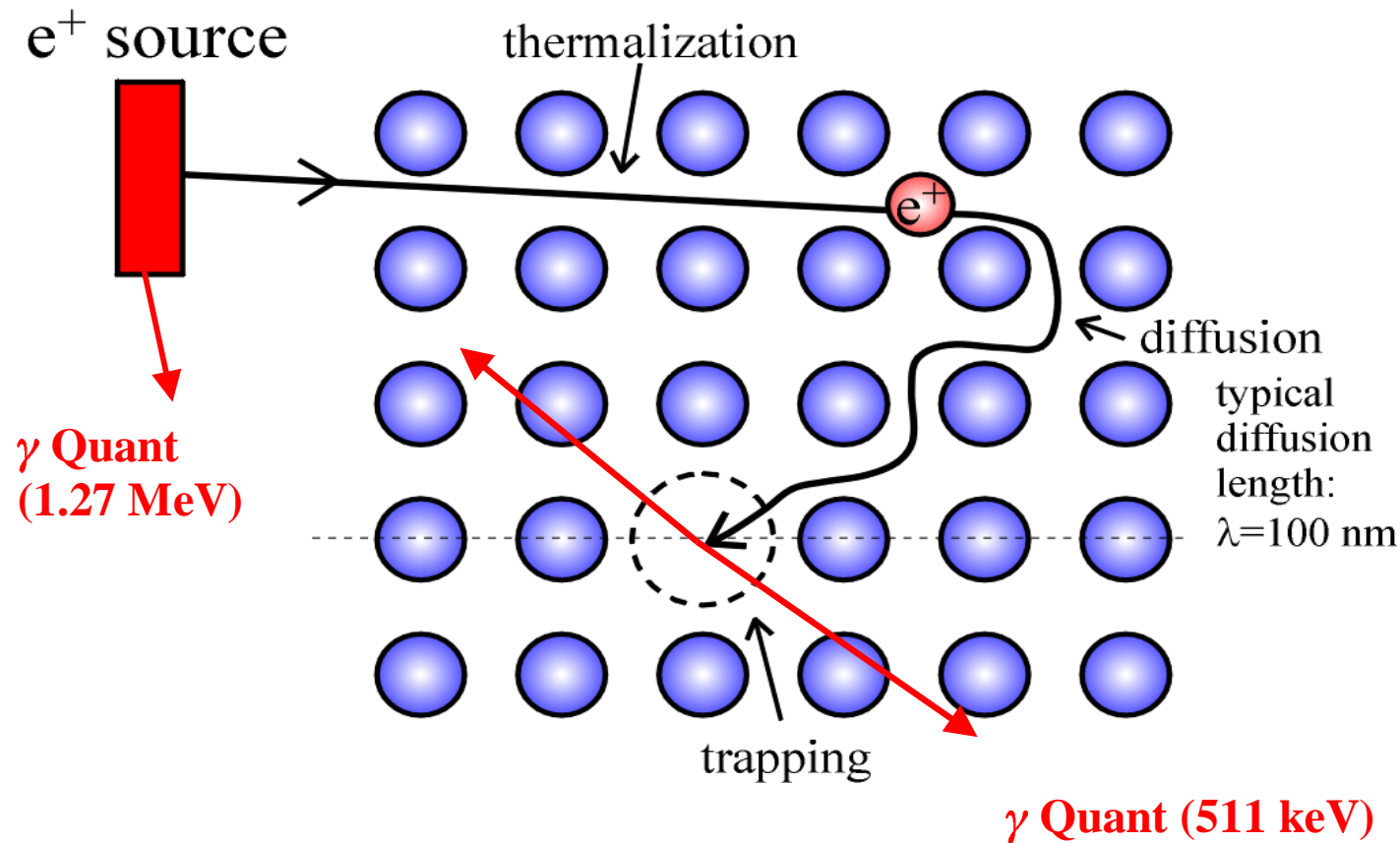
- Einführung: Die Ausscheidungshärtung in Al-Werkstoffen
- Positronen als Sonde im Festkörper
- Einfang von Positronen in Ausscheidungen
- Beispiele:
  - Guinier-Preston-Zonen in Al-Zn (at%)
  - Übergang: kohärent  $\Rightarrow$  teilkohärent in Al-Zn (15at%)
  - Alterung der  $\Theta''$ -Ausscheidungen in Flugzeuglegierung Al 2024
- Zusammenfassung

# Ausscheidungshärtung am Beispiel Al-Cu



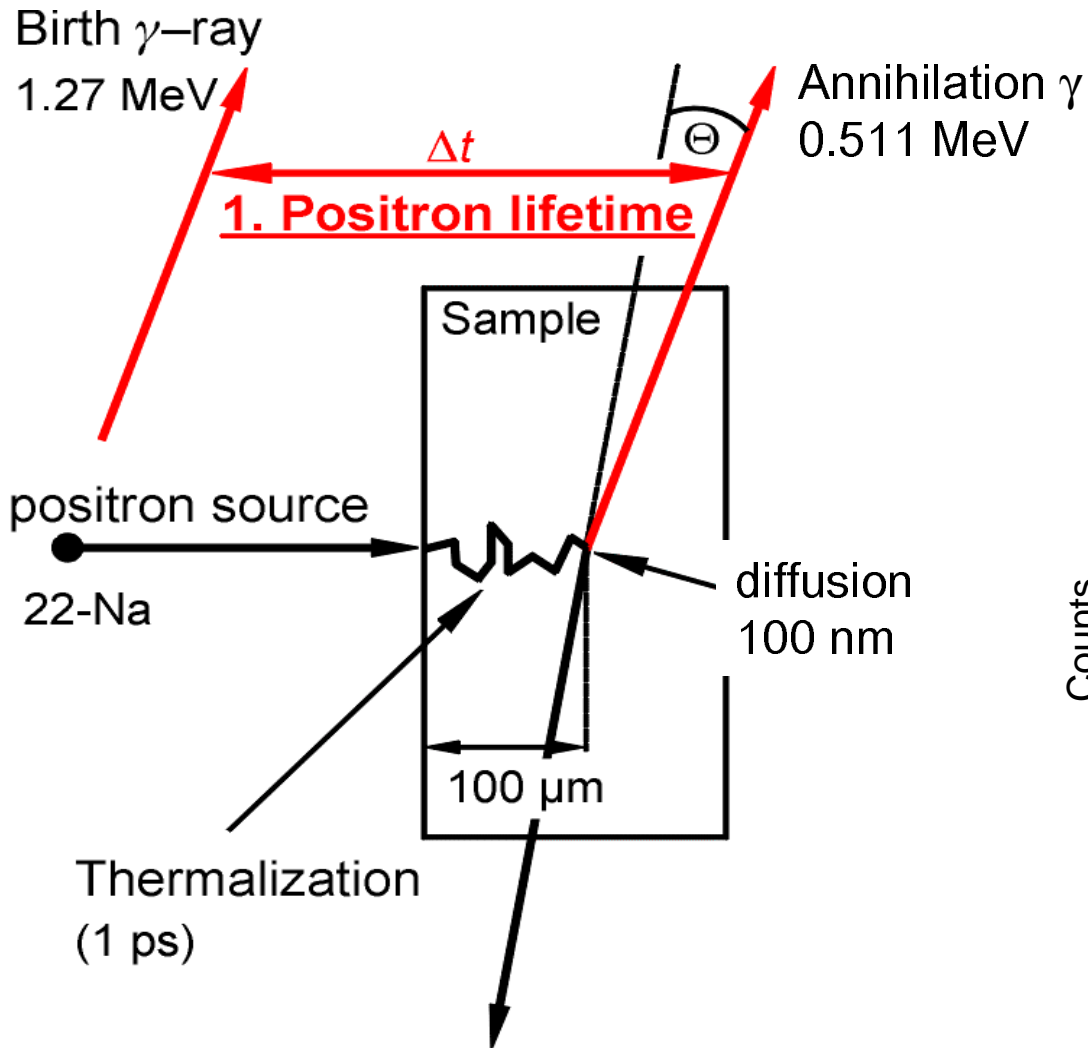
- Homogenisierung bei 550°C löst Cu in Al
- Abschrecken zu RT: Übersättigung
- GGW ( $\Theta$ -Phase:  $\text{CuAl}_2$ ) wird bei RT nicht erreicht: metastabile Zwischenprodukte  $\Theta''$  (auch Guinier-Preston-Zonen genannt) und  $\Theta'$
- sind zunächst vollkohärent und haben ausgedehntes Spannungsfeld
- behindern Versetzungsbewegung, d.h. Härte nimmt stark zu
- bei Übergang zu teil-/inkohärenten Ausscheidungsprodukten: Zusammenbruch der Kohärenzverspannung des Gitters  $\Rightarrow$  Härte sinkt

# Defektnachweis mit Positronen

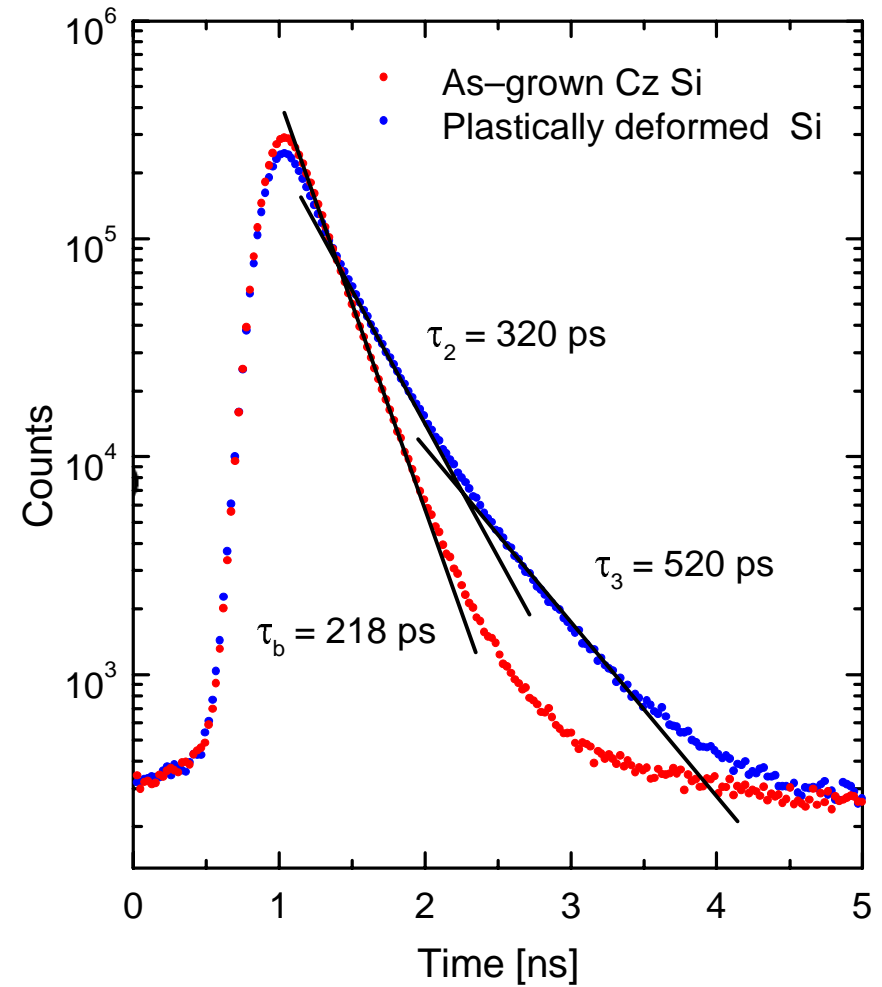


- Positronen werden im Defekt lokalisiert
- Annihilationsparameter ändern sich
- Defekte werden nachgewiesen (Identifizierung und Quantifizierung)

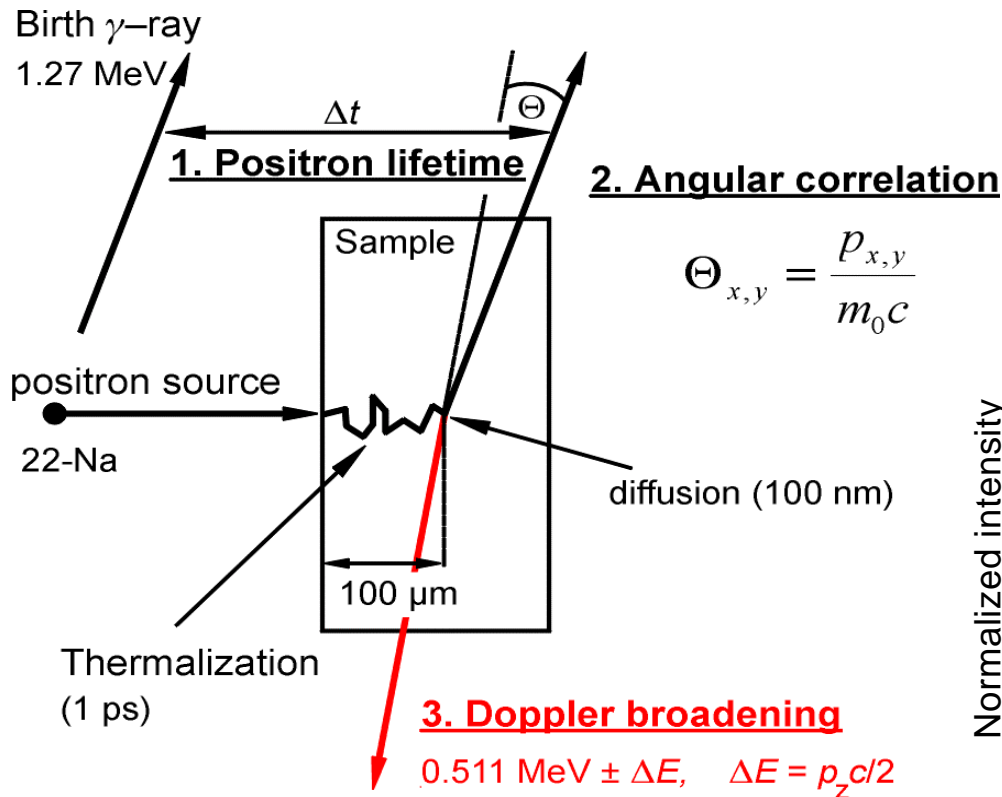
# Positronenlebensdauer-Spektroskopie



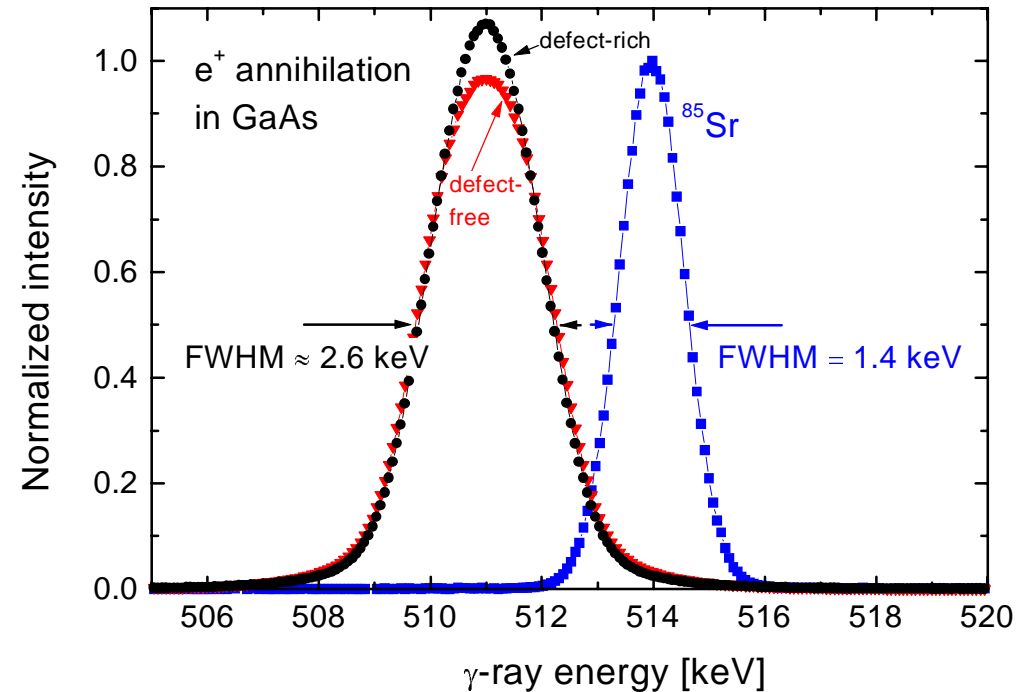
## Lebensdauerspektren



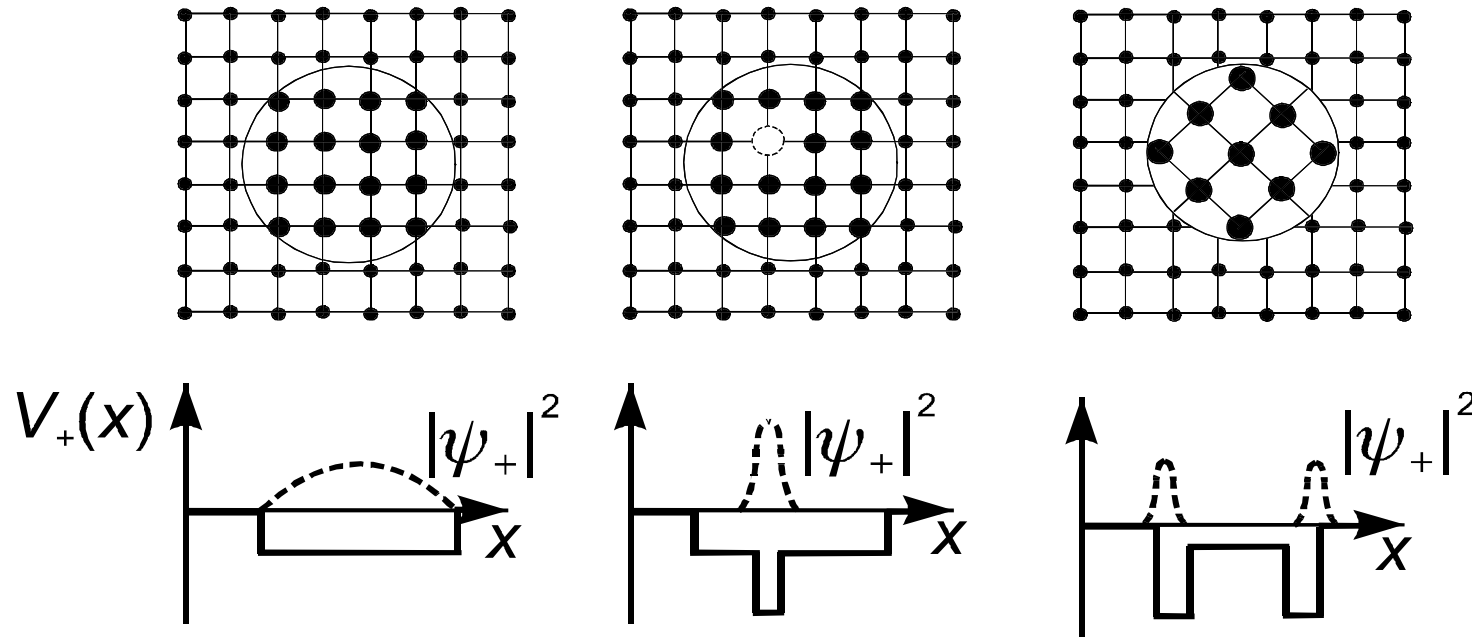
# Dopplerverbreiterung der Annihilationslinie



## Doppler-Spektren



# Einfang von Positronen in Ausscheidungen



vollkohärent

Defekt innerhalb

teil-/inkohärent

GPZ in AlZn

Mg-V-Paar in AlZnMg

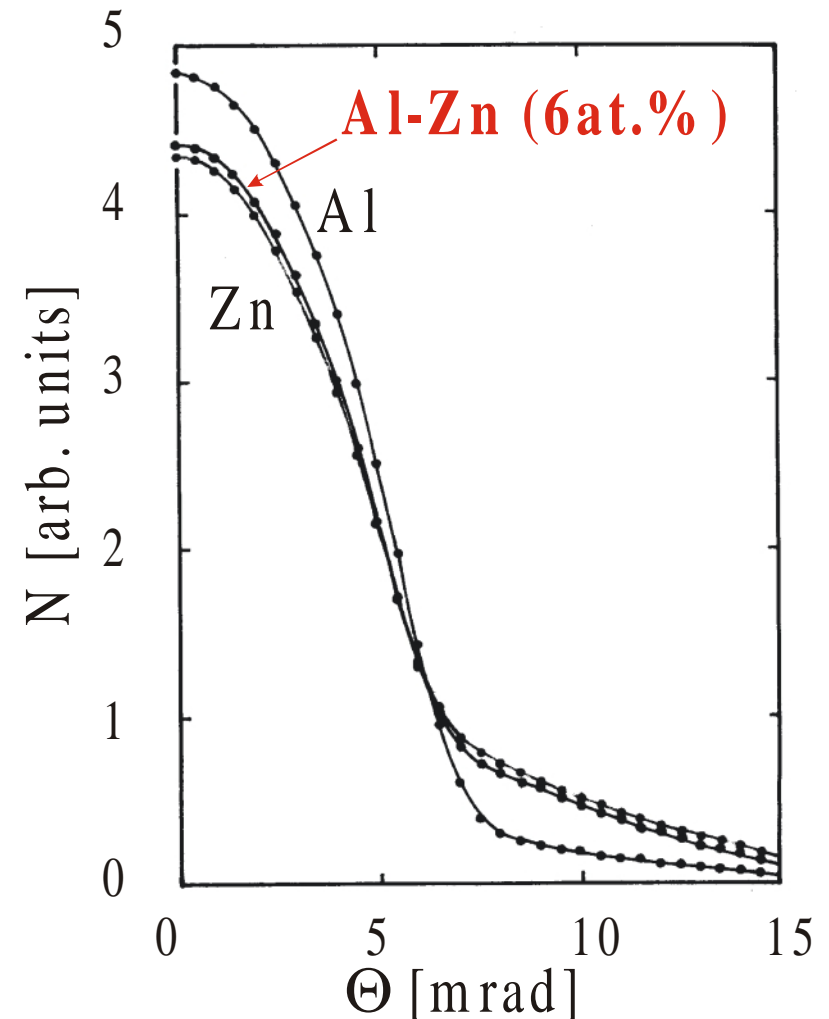
AlSi

## Einfang in GPZ in Al-Zn (6 at%)

- Abschrecken von Al-Zn (6at%) aus  $\alpha$ -Phase: Bildung vollkohärenter GPZ
- sind frei von Defekten (keine Leerstellen; keine Versetzungen)
- Zn-Gehalt  $\eta$  der Ausscheidung:

$$N_{AlZn} = (1 - \eta) N_{Al} + \eta N_{Zn}$$

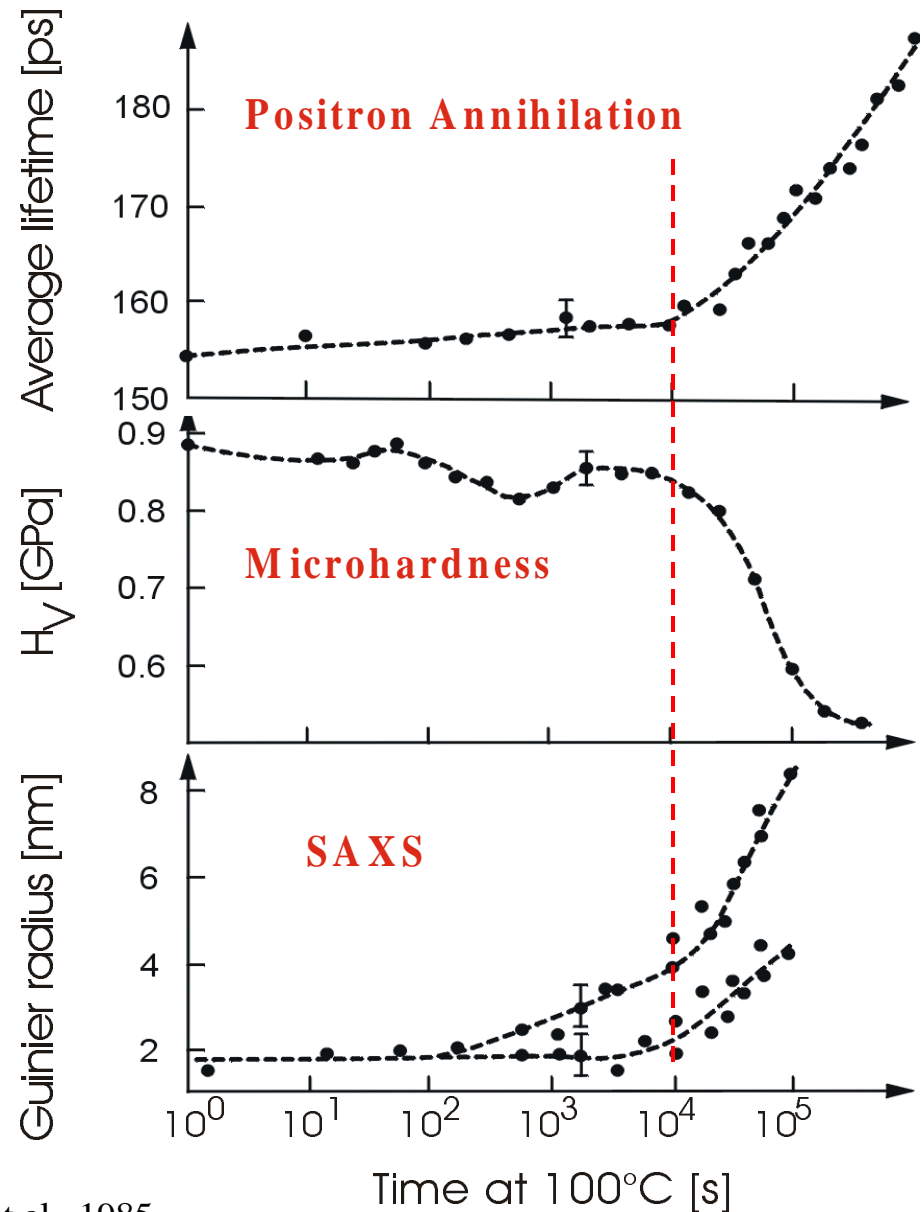
- Ergebnis:  $\eta = 70\%$
- Auflösung und Bildung der GPZ kann einfach studiert werden: Bestimmung von metastabilen Phasengrenzlinien





# Alterung von Al-Zn(15at%)

- Warmauslagerung von Al-Zn (15 at%): Wachstum der GPZ
- werden ellipsoid
- starker Härteeinbruch
- Positronen detektieren Versetzung an Ausscheidung
- Übergang vollkohärente GPZ zu teilkohärenten  $\alpha'_R$ -Teilchen
- direkter Nachweis bereits der ersten Anpaßversetzung mit Positronen

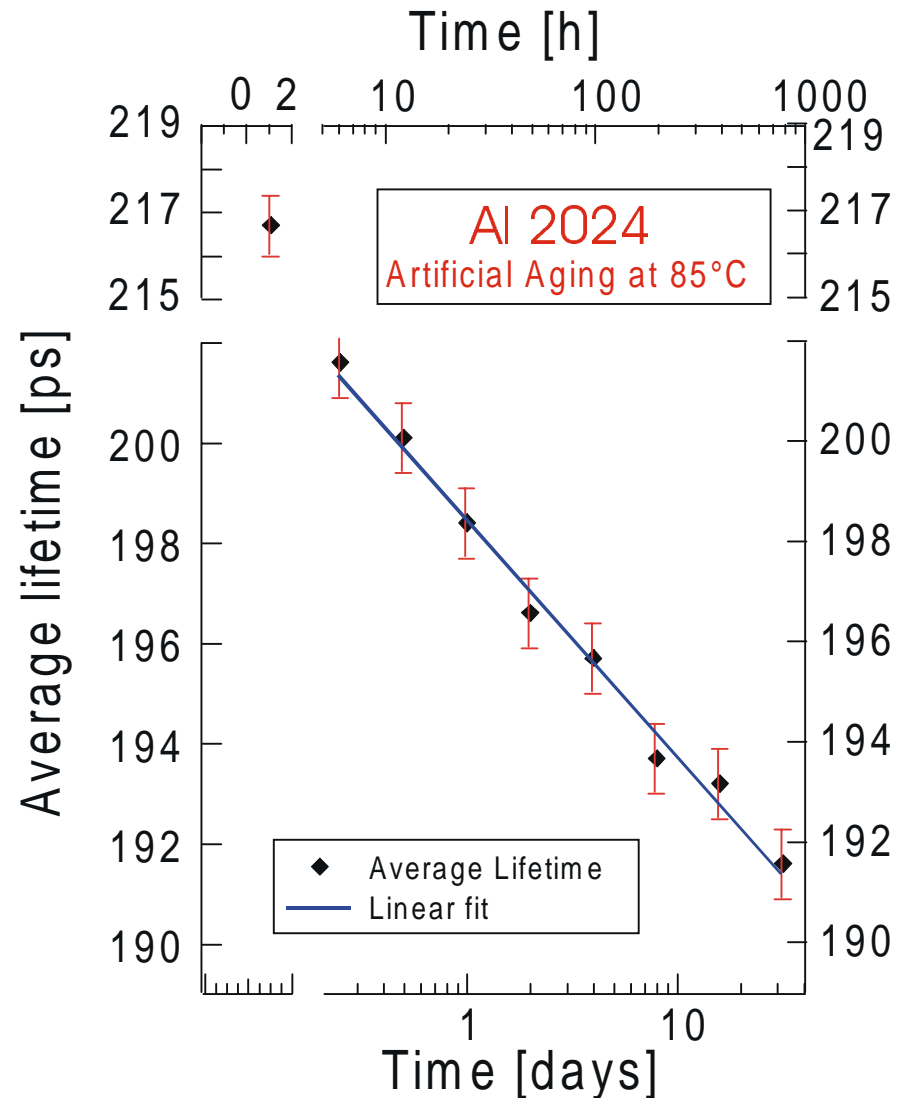


R. Krause et al., 1985



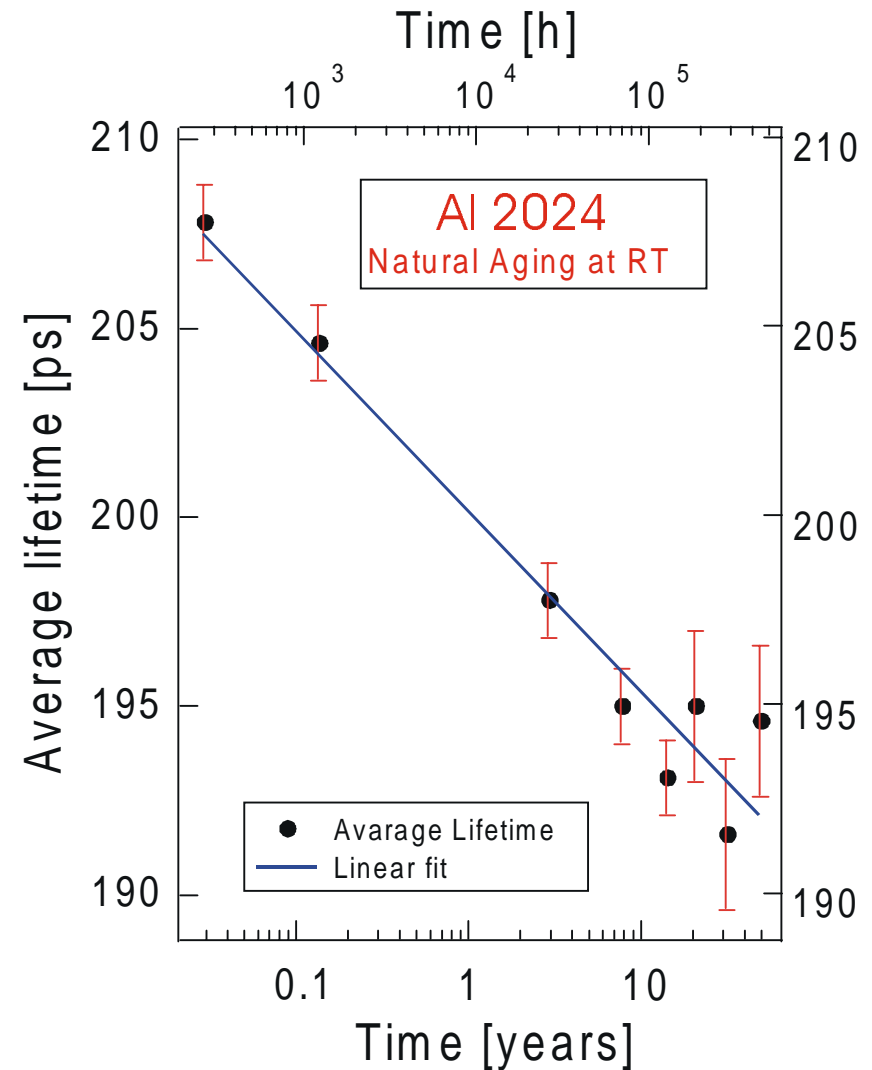
# Alterung von Al 2024

- Al 2024 (AlCuMg-Legierung „Dural“) wird seit langem im Flugzeugbau eingesetzt
- Warmauslagerung bei 85°C
- exponentielle Änderung der Positronenlebensdauer beobachtet
- GPZ-2 (oder  $\Theta''$ -Teilchen) bestehen aus parallelen Lagen mit Cu-Gehalt zwischen 25 und 45% (FIM-Messungen)
- Änderung der Positronen-Lebensdauer reflektiert Änderung der chemischen Komposition bei Warmauslagerung (Erhöhung des Cu-Anteils vermindert LD, weil  $\tau_{Cu}=110$  ps)



# Alterung von Al 2024

- Alterung bei Raumtemperatur ändert die Lebensdauer in gleicher Weise
- entsprechend längere Zeiten erforderlich
- noch nach Jahren sind Änderung im Gefüge zu beobachten
- mechanische Eigenschaften bleiben aber im Toleranzbereich (getestet durch DASA GmbH Bremen)



# Zusammenfassung

- Positronen eignen sich als Sonde in Werkstoffen im nanoskopischen Maßstab
- zerstörungsfreies Verfahren
- Positronen werden an/in kleinen Ausscheidungen lokalisiert (mittlerer Abstand  $< 200$  nm)
- Informationen zu
  - chemischer Zusammensetzung
  - Bildung/Auflösung von Ausscheidungen: metastabile Phasengrenzlinien
  - Auftreten von leerstellenartigen Defekten in Ausscheidungen
  - Übergang kohärent  $\Rightarrow$  teil-/inkohärent empfindlich nachweisbar