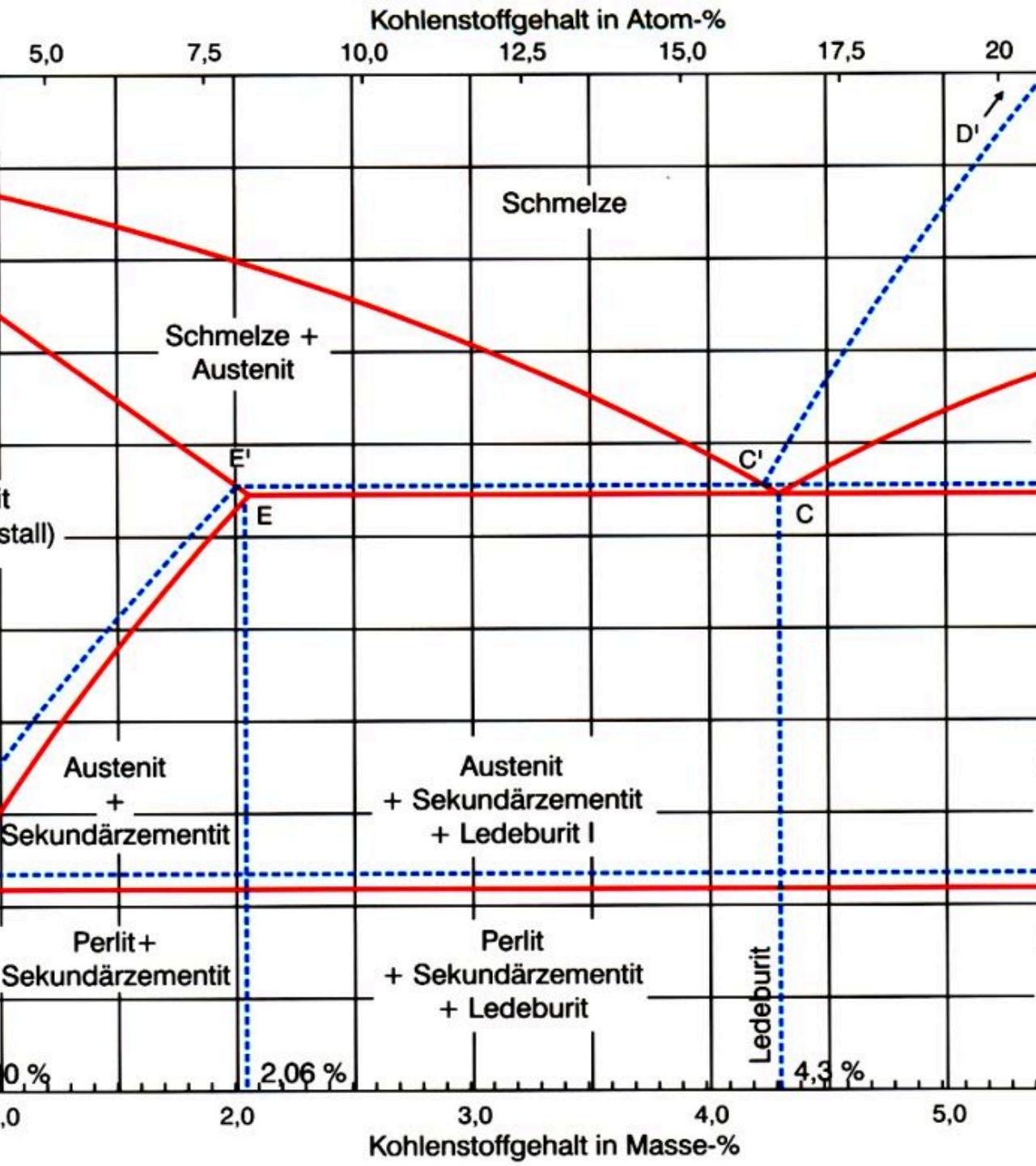


# Vorlesung Werkstofftechnik - Legierungsbildung

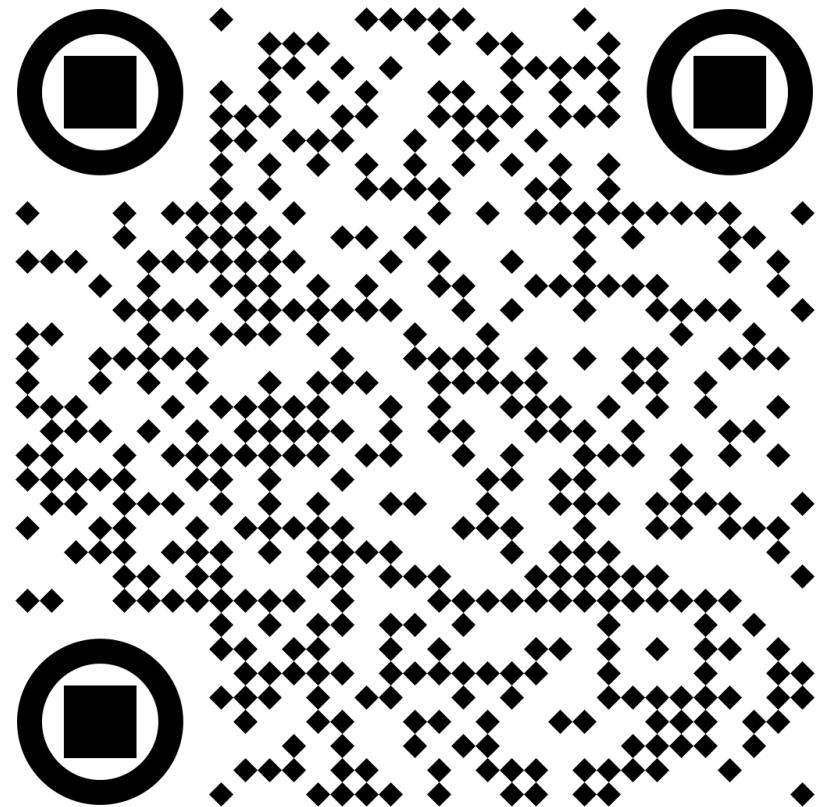
Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg<sup>id</sup>  
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: [christian.willberg@h2.de](mailto:christian.willberg@h2.de)  
Teile des Skripts sind von  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Häberle  
übernommen



# Inhalte

- Grundbegriffe
- Kristallbildung
- Zustandsdiagramme



# Begriffe

## Legierung

- von "ligare" - zusammenbinden, verbinden, vereinigen
- Gemisch aus mehreren Atomsorten (*Komponenten*) mit *metallischem Charakter*
- Komponenten
  - meist metallisch (Cu, Ni)
  - nicht metallisch (C, P, S, N, O)
- Variationen
  - welche Komponenten
  - Zahl der Komponenten
  - Konzentration der Komponenten

# Chemische Zusammensetzung oder Konzentration

**Massenanteil, Gewichtsanteil, Massenprozent (Synonym)**

$$\frac{m_1}{\sum_i m_i} \cdot 100 = m_{1-rel} \text{ in [%]}$$

$$\text{Bsp. } m_{Cu-rel} = \frac{m_{Cu}}{m_{Cu} + m_{Fe}} \cdot 100$$

Massen  $m$  von Komponenten sind unterschiedlich

**Atomanteil**

$$\frac{n_1}{\sum_i n_i} \cdot 100 = n_{1-rel} \text{ in [%]}$$

$$\text{Bsp. } n_{Cu-rel} = \frac{n_{Cu}}{n_{Cu} + n_{Fe}} \cdot 100$$

Wenn Massen  $m$  von Komponenten ähnlich sind, dann sind  $n_{rel}$  und  $m_{rel}$  gleich.

# Übung

1 kg Legierung 25% Ni - 75% Cu.

Wieviel Masse hat Cu und Ni für den Massenanteil und den Atomanteil?

# Lösung

- ▶ Massenanteil
- ▶ Atomanteil

# Phase

Bekannt im Bezug auf den Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig, plasmaförmig)

## Allgemeine Definition

Unter Phase versteht man einen chemisch und physikalisch gleichartigen homogenen Bestandteil einer Legierung oder von Materie überhaupt.

Phasenänderungen sind unterteilbar in

- Umwandlungen
- Ausscheidungen

# Umwandlungen

- instabile Gittermodifikationen wandeln sich in stabile um
- unterhalb einer Gleichgewichtstemperatur (bspw.  $\gamma - FE$  in  $\alpha - FE$ )
- bei Legierungen kann sich die Mischkristallkonfiguration ändern. Dann ändert sich die Konzentration (bspw.  $\gamma - MK$  in  $\alpha - MK$ )

# Auscheidungen

- Löslichkeit nimmt ab (Änderung der Temperatur)
- Phasen (eine oder mehre) scheiden aus dem Mischkristall aus
- Erfordert einen Massentransport (Diffusion) -> phys. Arbeit nötig (Wärme) und Zeit

# Diffusion

- Diffusion allgemein ist temperatur- und zeitabhängig
- es findet ein Massentransport statt

Beschrieben durch das 1. Ficksche Gesetz

$$dm_A = -D \frac{dc_A}{dx} S dt$$

mit

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_A}{RT}\right)$$

- $D_0$  - Diffusionskonstante
- $Q_A$  - Aktivierungsenergie / Wärme

*Modell kann auch verwendet werden, um Diffusion von Gasen aus Tanks zu beschreiben*

- Einphasigkeit
  - reines Aluminium
  - reines Eisen
  - Wasser
- Zweiphasigkeit
  - Nebel
  - übersättigte Lösungen
- Mischkristall
  - Ein Mischkristall ist ein chemisch homogener, gleichartiger Kritall, der aus mehreren Atomsorten aufgebaut ist.



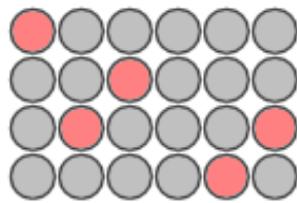
# Mischkristalle

- mindestens 2 Atomsorten
- Heterogenität wird erst im Bereich atomarer Abmessungen sichtbar
- die meisten Metalle können in ihrem Gitterverband eine bestimmte Menge andere Atome aufnehmen
- dies führt zu "Verspannungen" im Gitter
- "solid solution" (fest Lösung)

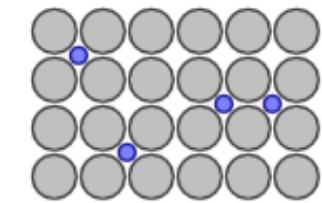
## Mischkristalle - Arten

Substitutionsmischkristall

- ähnlicher chemischer Charakter
- ähnlicher Durchmesser
- gleiches Kristallgitter



Substitutionsmischkristalle

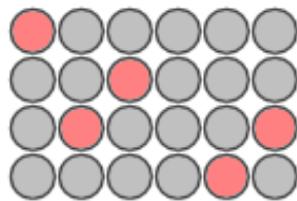


Einlagerungsmischkristalle

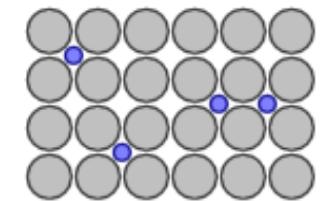
# Mischkristalle - Arten

## Einlagerungsmischkristall

- kleinere Atome
  - in Lücken des Kristallgitters eingelagert (Einlagerungs- oder Zwischengitteratome)
  - zweite Komponente ist gelöst
  - Durchmesserverhältnis  $f = \frac{d}{D} \leq 0.41$
- Beide Arten sind einphasig.*



Substitutionsmischkristalle



Einlagerungsmischkristalle

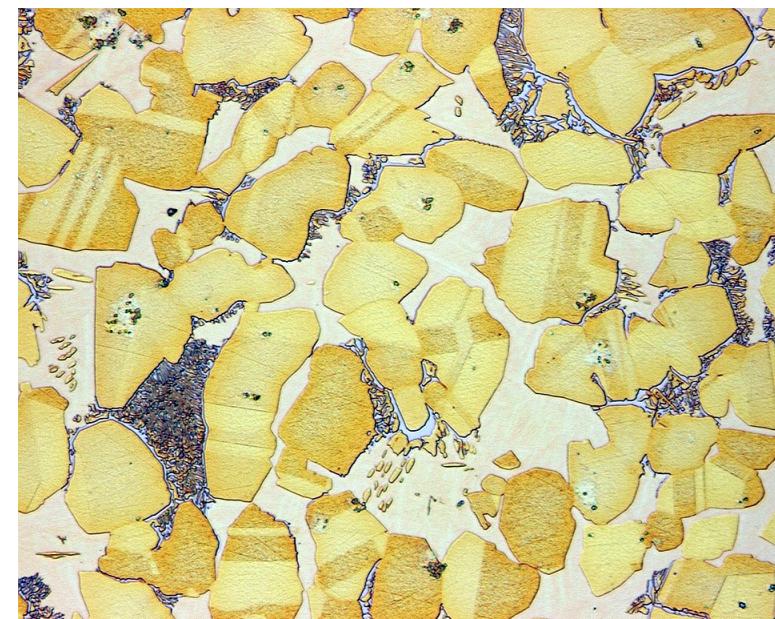
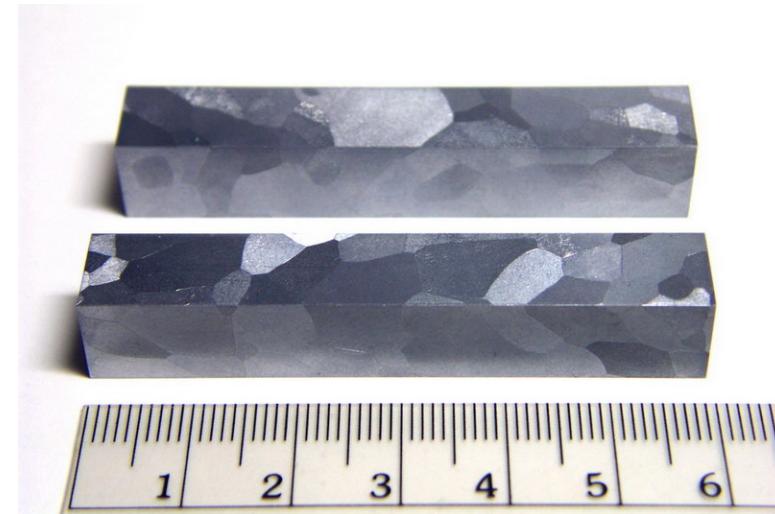
## Intermetallische Phase / intermediäre Kristalle

- meist komplizierter Gitteraufbau, unabhängig von Ausgangsgittern (mehrere hundert Atome)
- zwischen den Atomsorten gibt es starke Anziehungskräfte
- neben der metallischen Bindung wirken die kovalenten und Ionenbindungen  
-> Bindungsform zwischen chemisch und metallisch -> intermediate

- sie sind sehr hart und spröde
- technische Legierungen enthalten in der Regel weniger als 10%
- wichtige Untergruppe -> interstitiellen Phasen (Einlagerungsstrukturen)
  - Carbide, Boride, Nitride
  - wird in Werkzeugstählen und hitzebeständigen Stählen eingesetzt

# Gefüge der Werkstoffe

- durch Art, Größe, Form und Orientierung und Anordnung der einzelnen Bestandteile (Phasen), wie Kristallite (Körner), amorphe Bereiche, Verstärkungs- bzw. Füllstoffe, charakterisiert



# Entstehung des Gefüges

Schmelze → Abkühlung /

Unterkühlung



Keimbildung (homogen + heterogen)



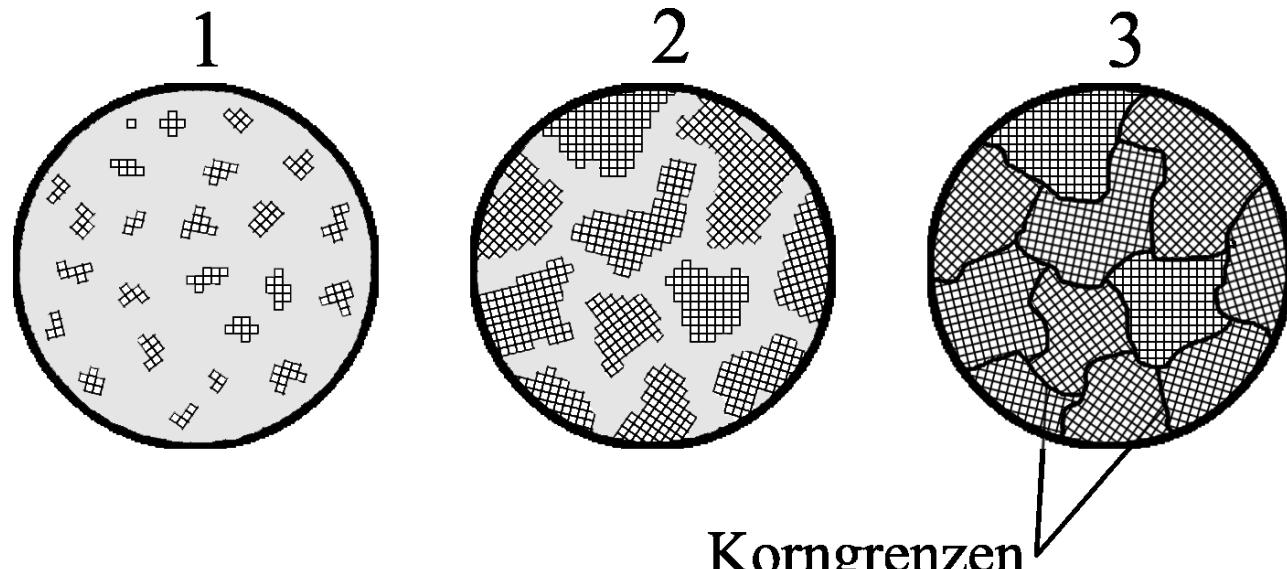
Keimwachstum → Kristallisation



Kristallitbildung (Kornbildung mit  
Korngrenzen)



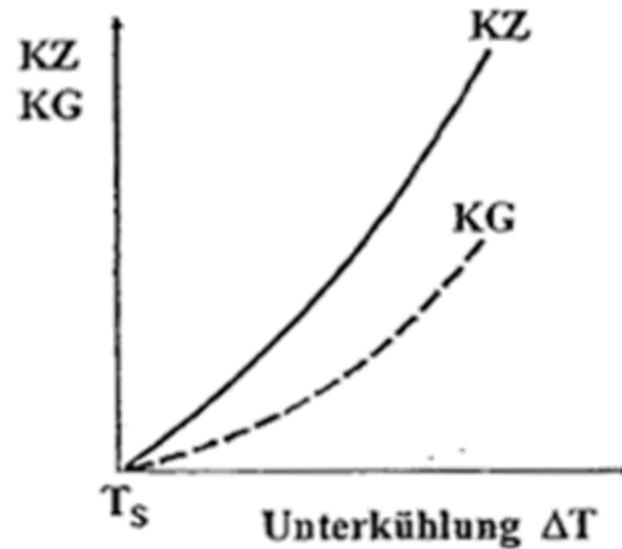
$\Sigma$  aller Körner und Korngrenzen =>  
Gefüge



# Keimbildung

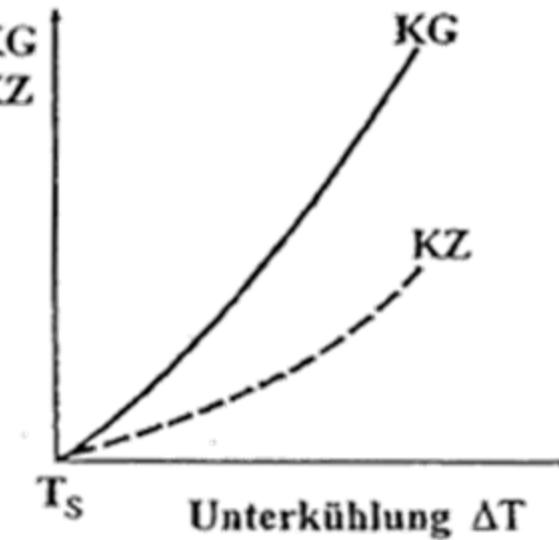
- Erstarren findet nicht gleichmäßig statt -> Bildung von Keimen
- homogen (arteigenen) oder heterogen (artfremden)
- Wachstum der Keime (Kristallwachstum) bis gesamte Schmelze erstarrt ist
- Es bestehen Zusammenhänge zwischen der Keimzahl (KZ) und der Kristallisationsgeschwindigkeit (KG) einer-seits und der Unterkühlung  $\Delta T$  andererseits.

# Einflussparameter auf die Ausbildung der Korngröße



a) → feinkörniges Gefüge

- große Zahl von Keimen -> feinkörniges Gefüge
- schnelles Kristallwachstum und geringe KZ -> grobkörniges Gefüge



b) → grobkörniges Gefüge

# Begriffe

## Korn

- Keime haben Wachstum abgeschlossen und stoßen aneinander
- Kristallorientierung zwischen benachbarten Körnern ist in der Regel unterschiedlich
- Form und Größe wird durch den Wärmefluss bestimmt
  - gleichmäßig in alle Richtungen - *globulistisch*
  - Vorzugsrichtung des Wärmeflusses - *transkristalline Erstarrung*

## Korngrenze

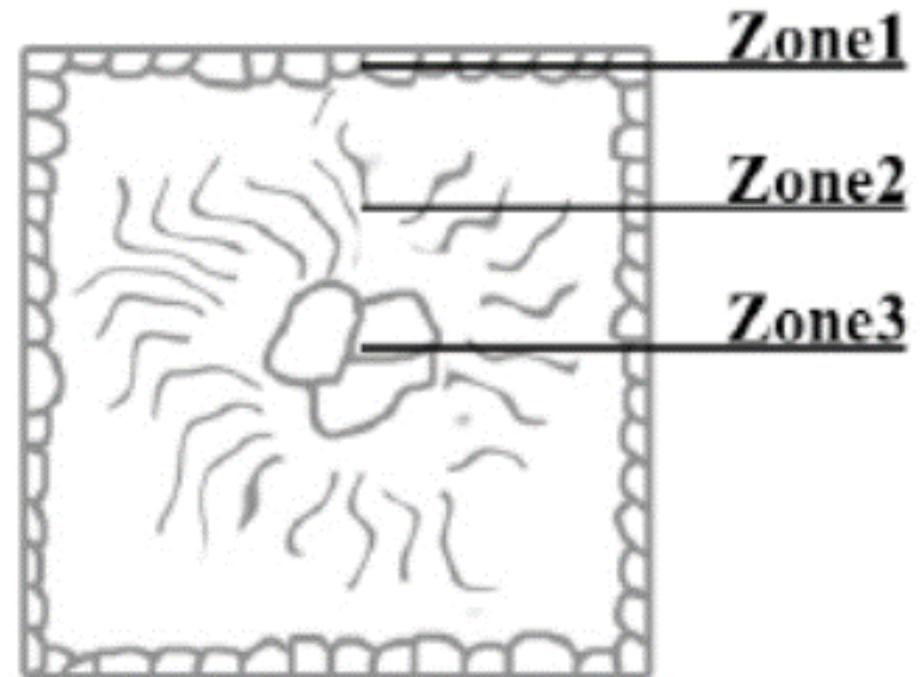
- Übergangsflächen zwischen Körnern

## Gießen oder Stranggießen

- Beim Gießen oder Stranggießen in eine Metallform (Kokille) bildet sich eine Gussstruktur in drei Zonen, meist mit einer deutlichen Abgrenzung zueinander:

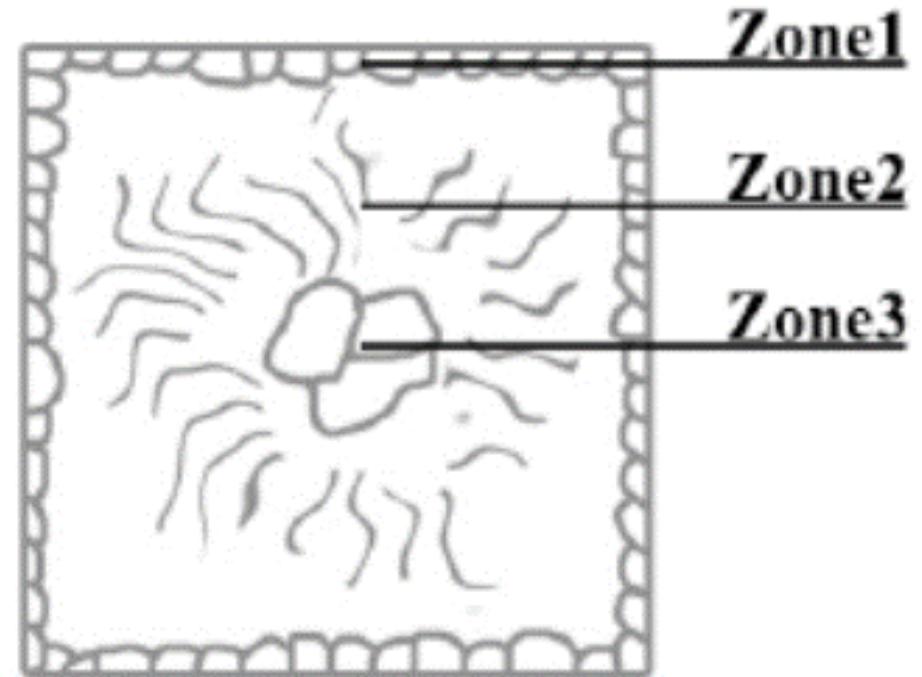
## 1. Feinkörnige globulare Randzone

- starke Unterkühlung der Schmelze an der Kokillenwand
- Ausbildung von zahlreichen Kristallkeime -> kleine, gleichmäßige Kristallite



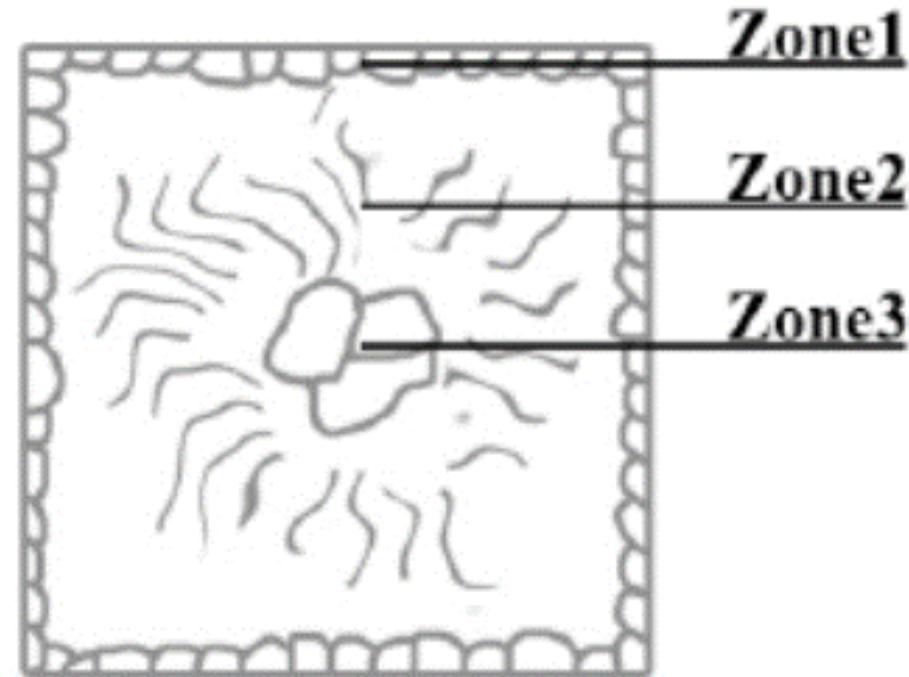
## 2. Transkristallisationszone mit stängelförmigen, sehr groben Kristalliten

- gerichtetes Wachstum von Kristallite (Stängelkristalle), bei denen die kristallografische Orientierung mit der Richtung des Wärmegefälles übereinstimmt;
- die dadurch aufgetretene Orientierung => Gusstextur

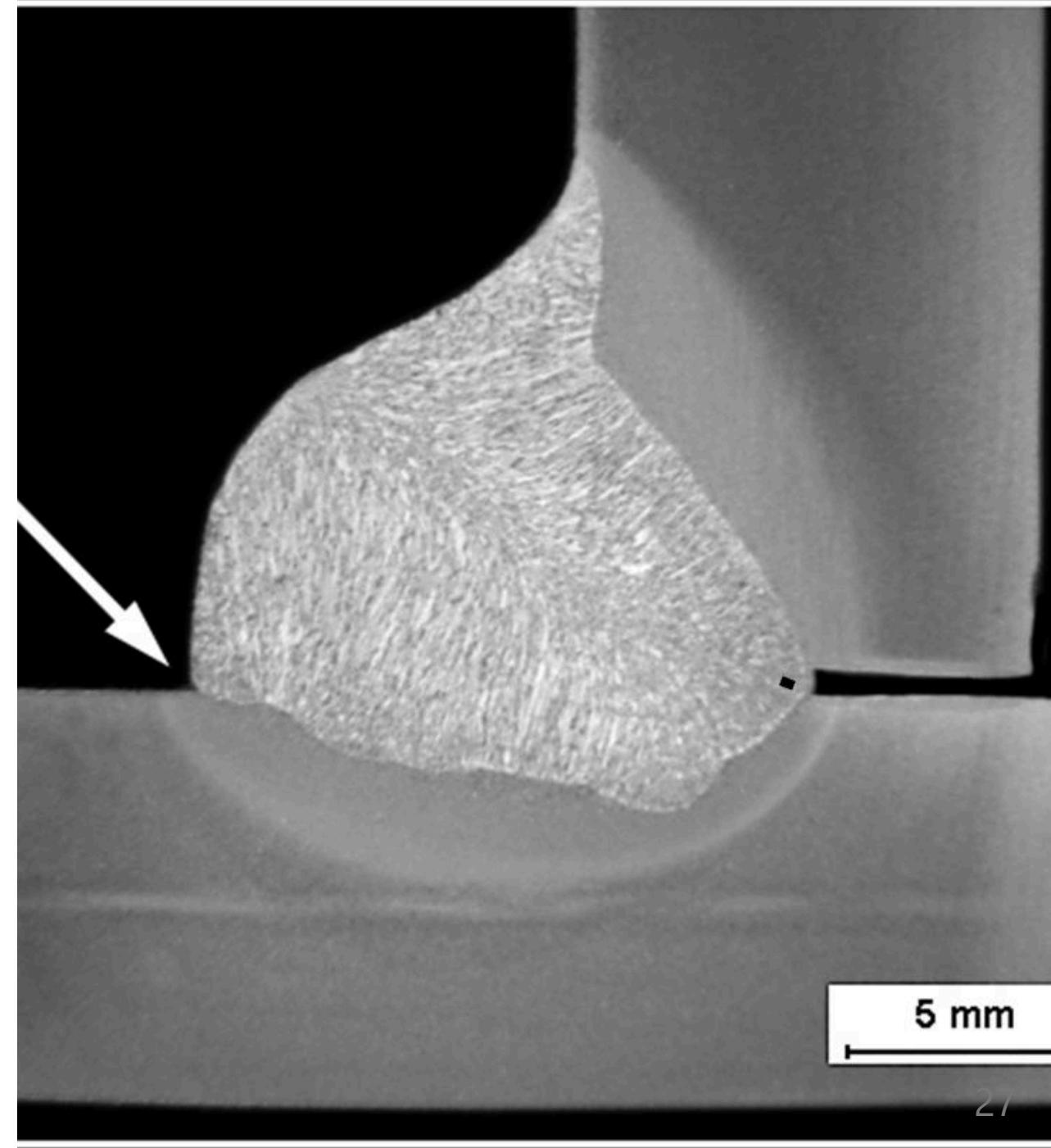


### 3. Globulare Kernzone

- Verunreinigungen, werden von den Stängelkristallen vor sich her geschoben und reichern sich im Kern an
- hohen Anzahl von artfremden Keimen
- globulare feinkörnige Kernzone
- Bei sehr reinen Metallen liegt in der dritten Zone allerdings ein grobkörniges Gefüge vor



# Schweißen



5 mm

# Gefügenachweise

- Im Allgemeinen sind die einzelnen Kristallite (Körner) in einem Werkstoff nicht ohne weiteres sichtbar.
- Für werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen ist es jedoch notwendig, die vorhandene Mikrostruktur zu analysieren.
- Arbeitsschritte:
  - gezielte Probenentnahme
  - Schleifen und Polieren der Probe
  - Ätzen der Oberfläche

## Mikroschliffe

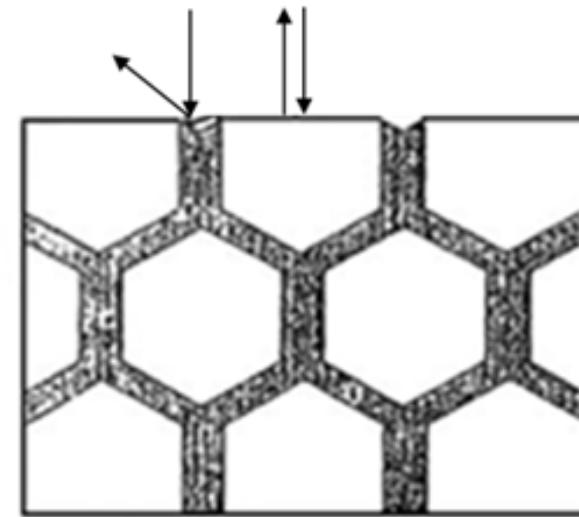
- sorgfältig präparierte Schlifffläche kann mittels eines Licht- oder Elektronenrastermikroskops betrachtet werden.
- Das Elektronenrastermikroskop weist neben der wesentlich stärkeren Auflösung auch eine höhere Schärfentiefe auf.

# Ätzungen

Das Ätzen zur Gefügeentwicklung kann auch als ein Korrosionsvorgang bezeichnet werden.

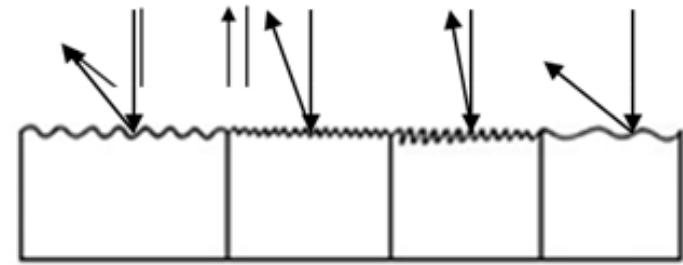
## Korngrenzenätzung

- bevorzugtes auflösen von Korngrenzen



## Kornflächenätzung

- nebeneinander liegende Kornschnittflächen werden unterschiedlich stark aufgeraut bzw. mit Oxidschichten bedeckt
- Körner reflektieren das Licht unterschiedlich



## Makroschliffe

Mit Hilfe der Makroätzungen können nur Gefügeerscheinungen untersucht werden, die mit bloßem Auge oder einer Lupe zu erkennen sind.

Folgende Nachweise sind möglich:

- Seigerungen und deren Lokalisierung: Ätzungen nach Heyn und Oberhoffer oder Baumannabdruck
- Güte von Schweißverbindungen: Adlerätzung
- Entwicklung von Kraftwirkungslinien nach plastischer Verformung: Ätzung nach Fry

# Begriffe für die qualitative und quantitative Beschreibung von Gefügen

Metallographie - Metalle

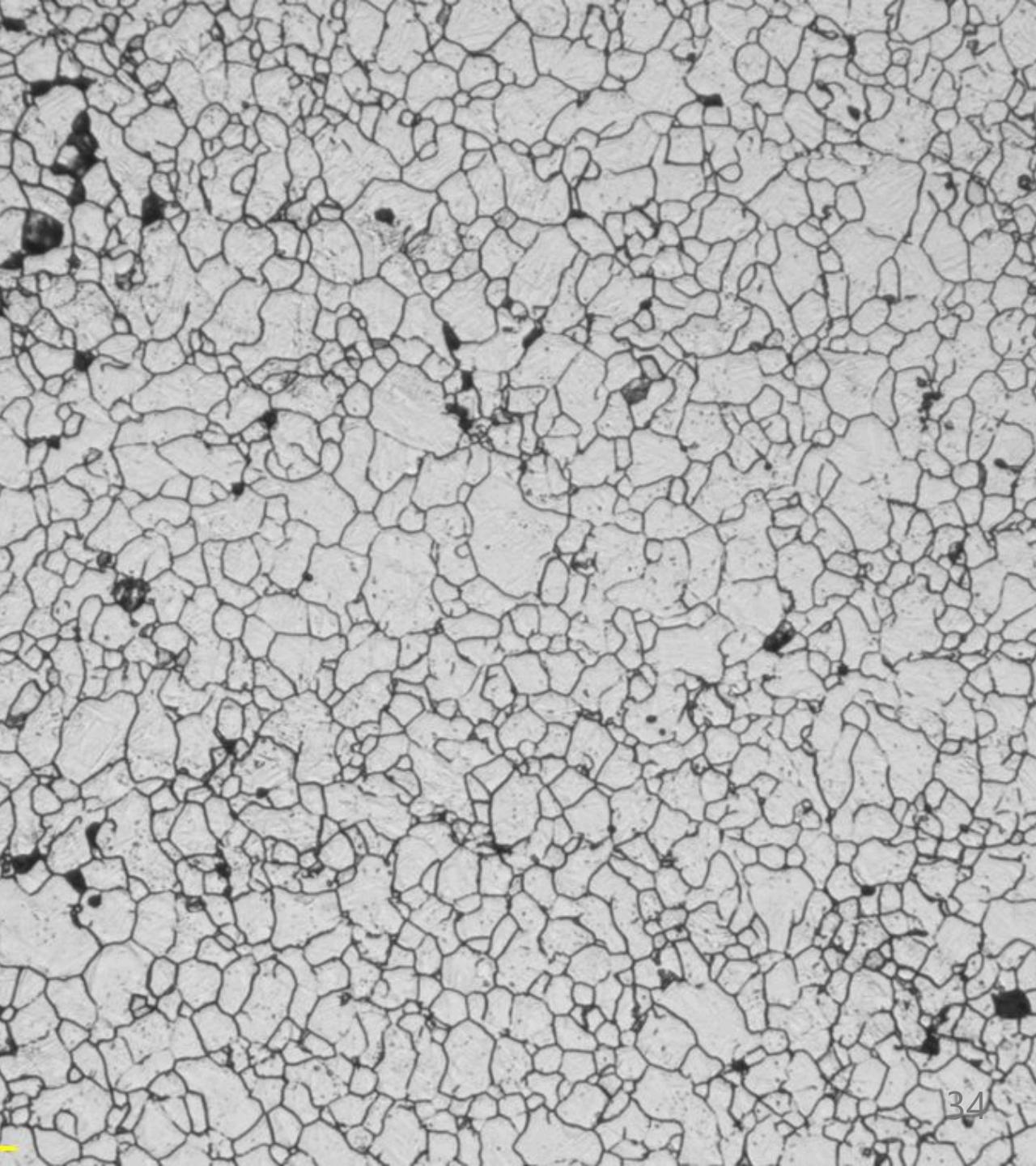
Keramographie - Keramiken

Plastographie - Polymerwerkstoffe

# Korngrenzen

[Video zum Kritallwachstum](#)

- nichtlösbare und/oder Verunreinigungen werden von der Kristallfronten vor sich hergeschoben -> **Korngrenzensubstanzen**



# Korngrenzensubstanzen

Fall 1:

Korngrenzensubstanz ist verformbar -> Materialverhalten wird durch Körner dominiert

Fall 2:

Korngrenzensubstanz sind spröde -> Materialverhalten wird durch Korngrenzen dominiert -> Versprödung

## Referenzen

Rainer Schwab: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für Dummies, 2019; ISBN-10  
352771538X

[Grundlagen der Metallkunde](#)