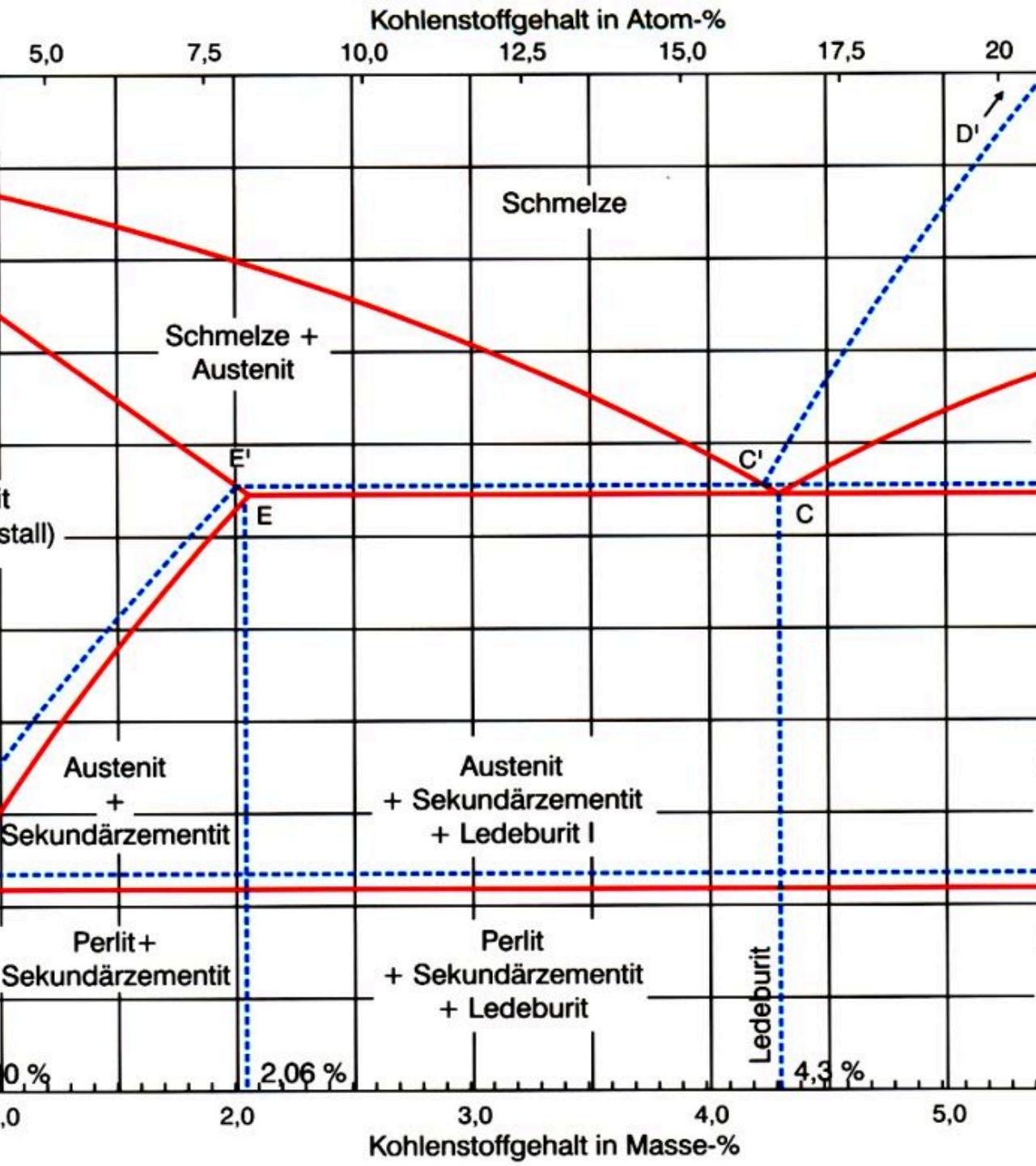


Vorlesung Werkstofftechnik - Legierungsbildung

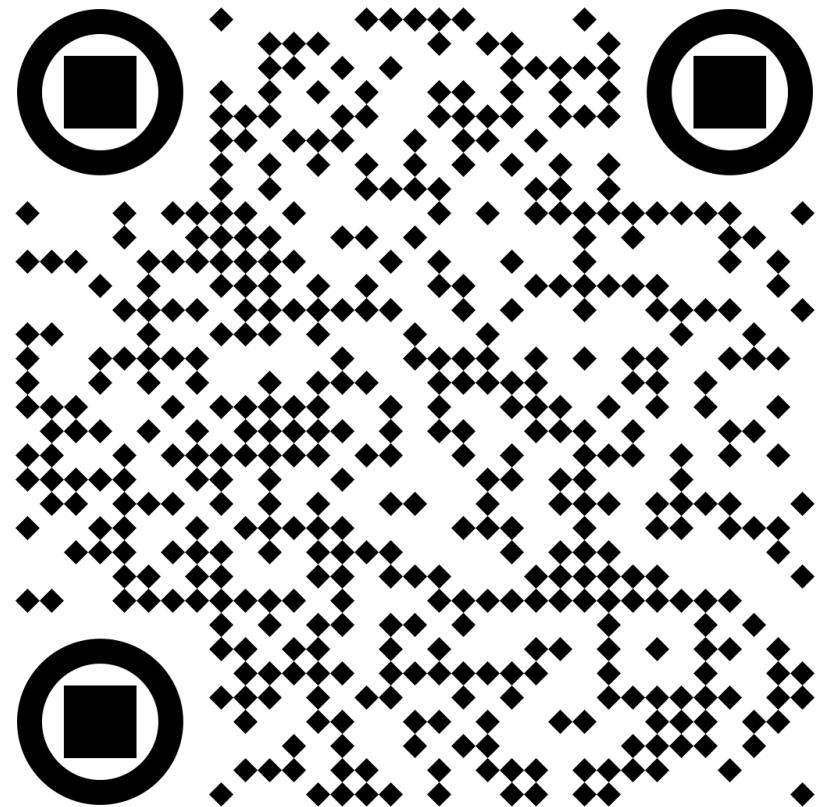
Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{id}
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: 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.



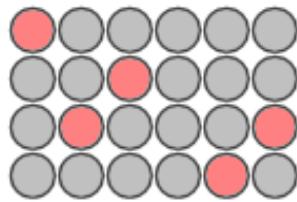
Mischkristalle

- 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)

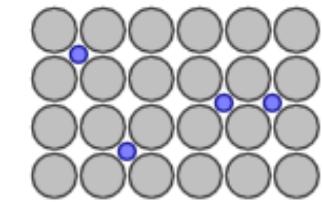
Mischkristalle - Arten

Substitutionsmischkristall

- ähnlicher chemischer Charakter
- ähnlicher Durchmesser
- gleiches Kristallgitter



Substitutionsmischkristalle

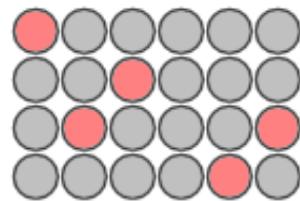


Einlagerungsmischkristalle

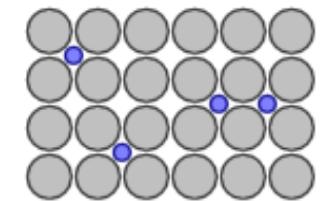
Mischkristalle - Arten

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

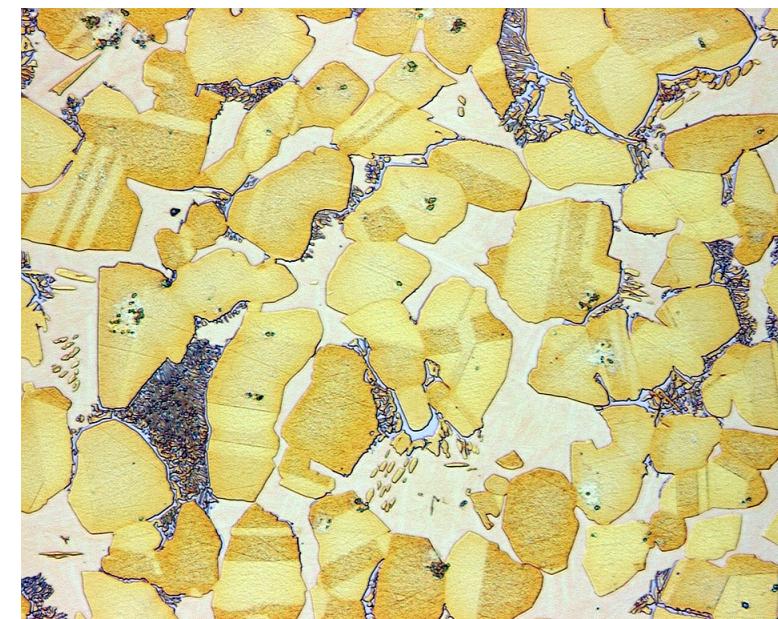
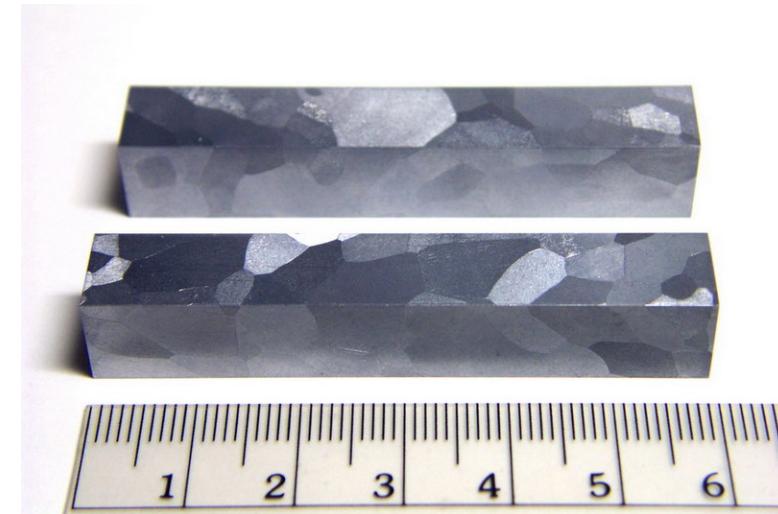
Intermetallische Phase / intermediäre Kristalle

- 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)



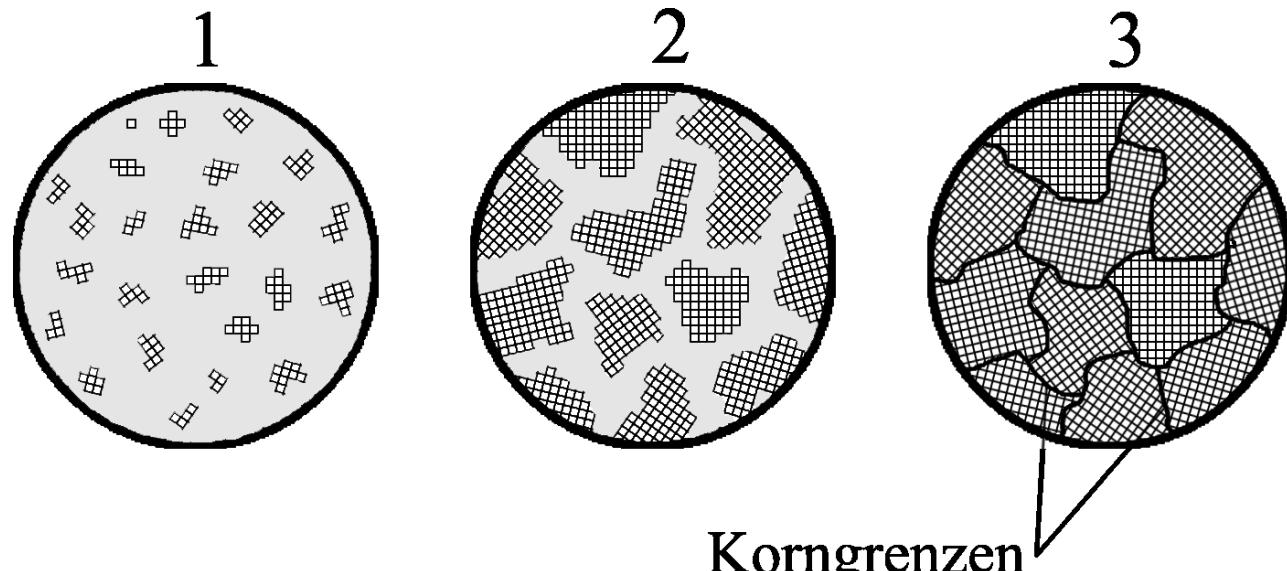
Keimwachstum → Kristallisation



Kristallitbildung (Kornbildung mit
Korngrenzen)



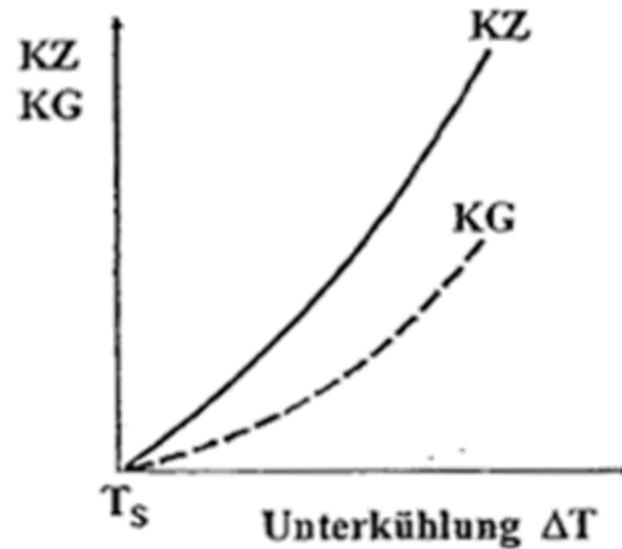
Σ aller Körner und Korngrenzen =>
Gefüge



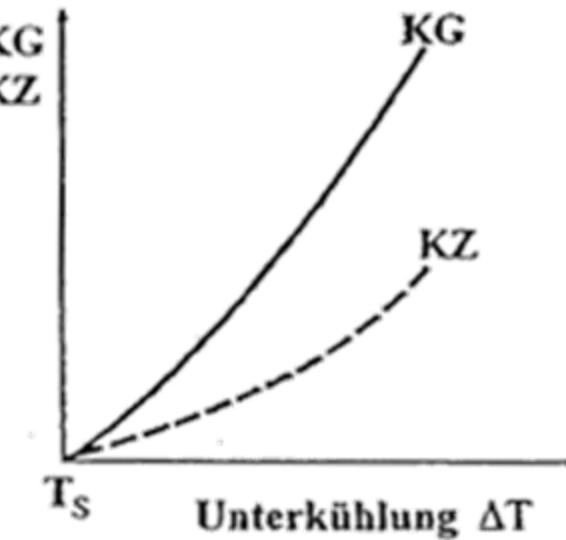
Keimbildung

- 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 ΔT andererseits.

Einflussparameter auf die Ausbildung der Korngröße



a) → feinkörniges Gefüge



b) → grobkörniges Gefüge

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

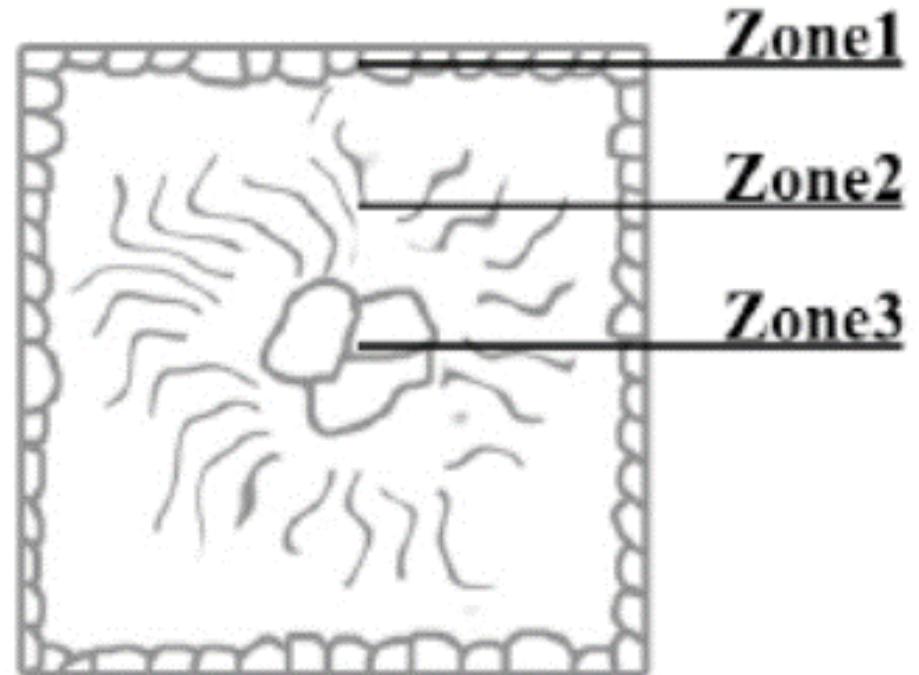
- Übergangsflächen zwischen Körnern

Gießen oder Stranggießen

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

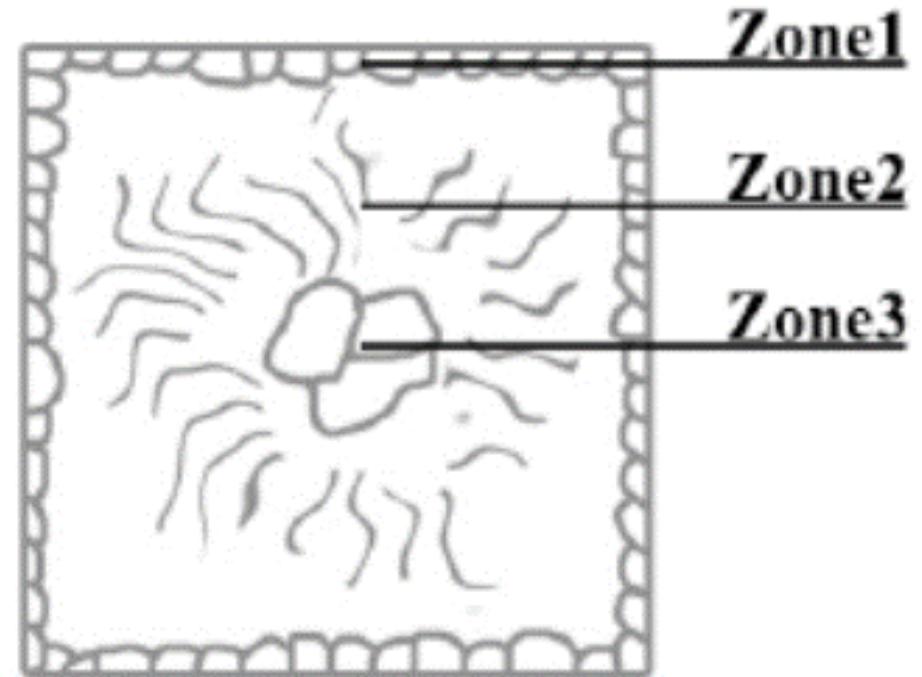
1. Feinkörnige globulare Randzone

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



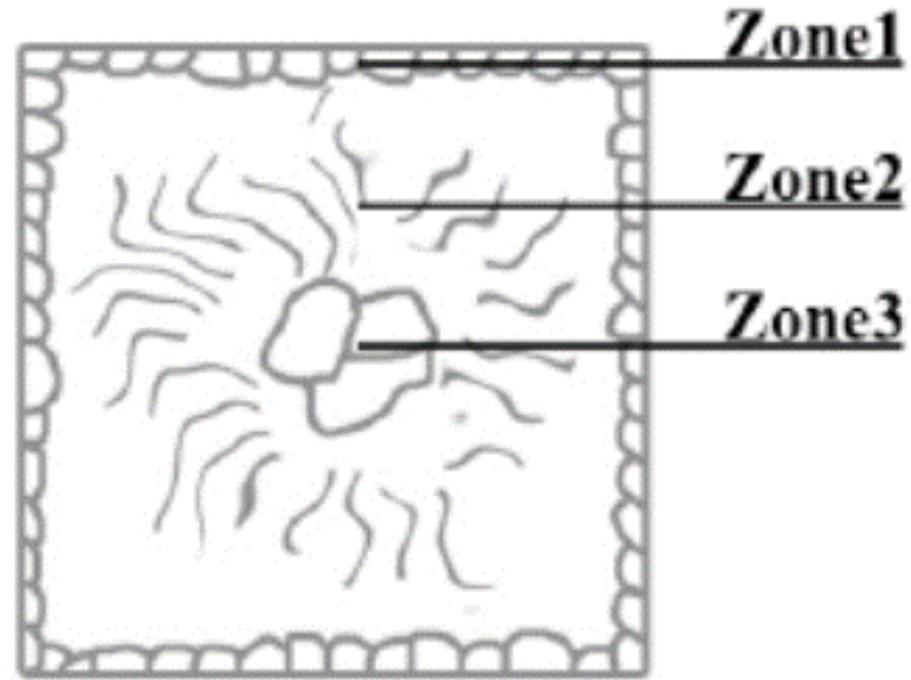
2. Transkristallisationszone mit stängelförmigen, sehr groben Kristalliten

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

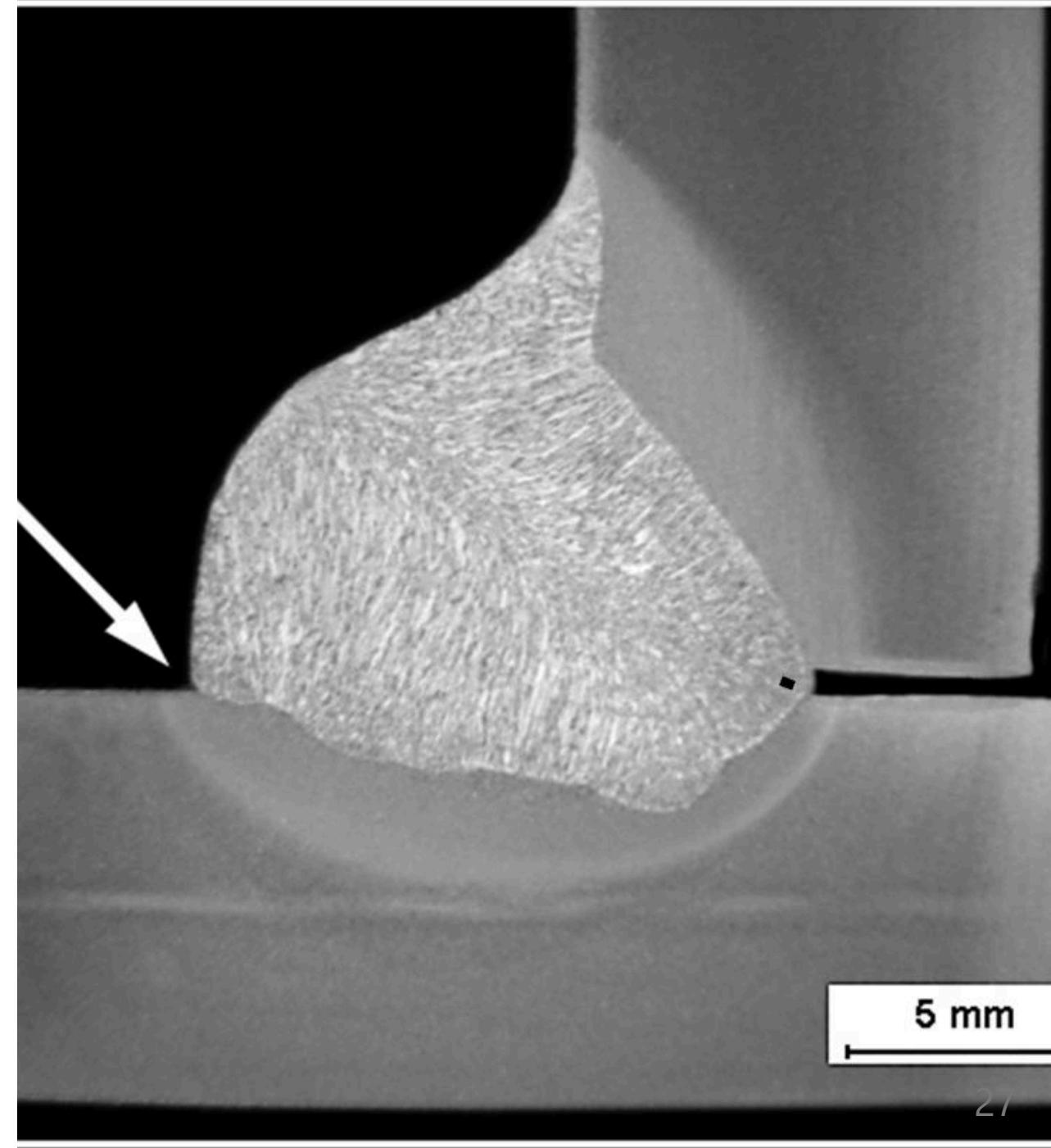


3. Globulare Kernzone

- 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

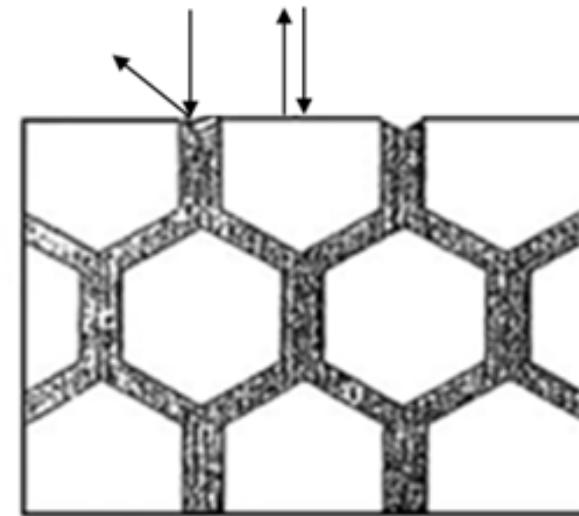
- sorgfältig präparierte Schlifffläche kann mittels eines Licht- oder Elektronenrastermikroskops betrachtet werden.
- Das Elektronenrastermikroskop weist neben der wesentlich stärkeren Auflösung auch eine höhere Schärfentiefe auf.

Ätzungen

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

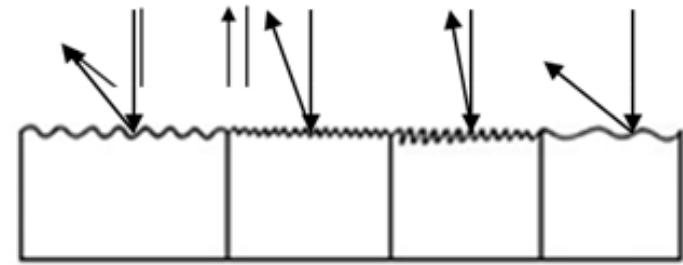
Korngrenzenätzung

- 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

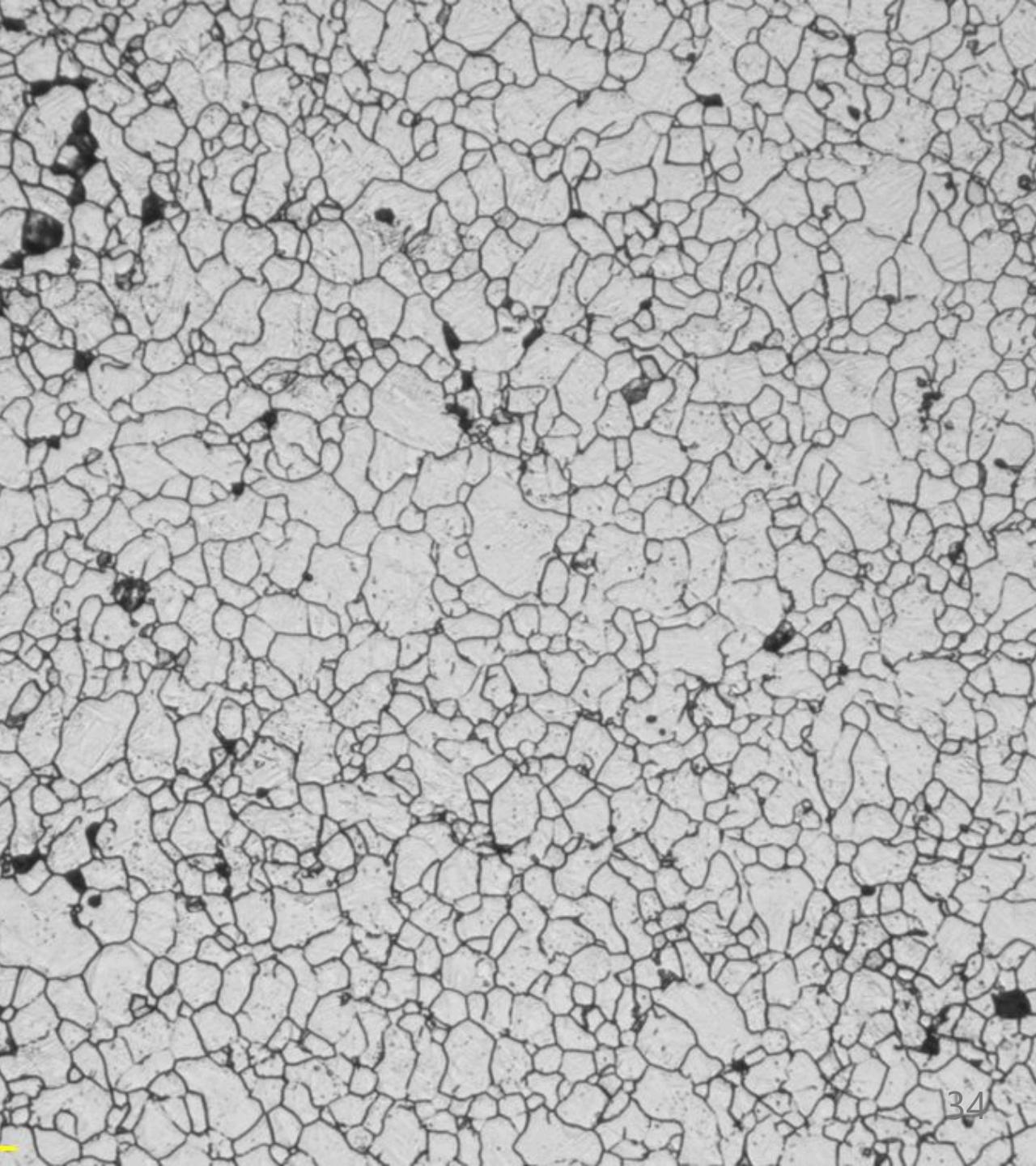
Keramographie - Keramiken

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](#)