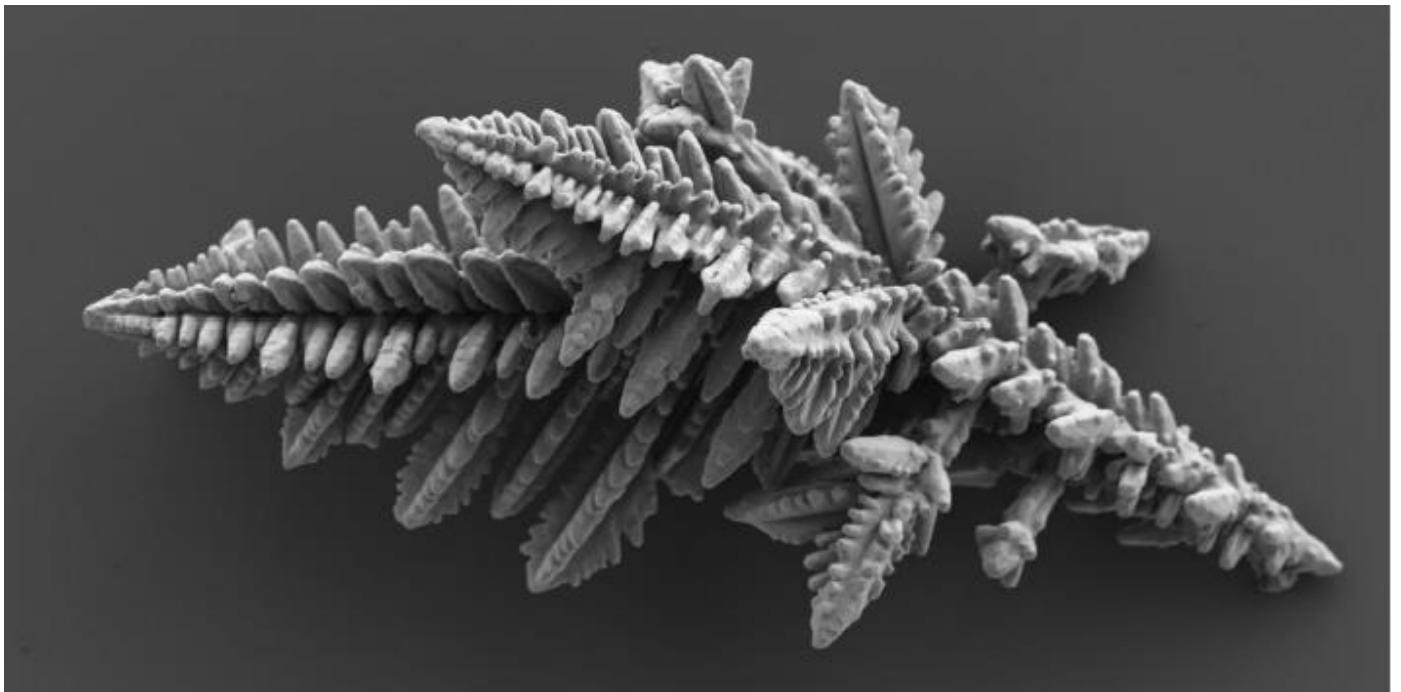


Werkstofftechnik

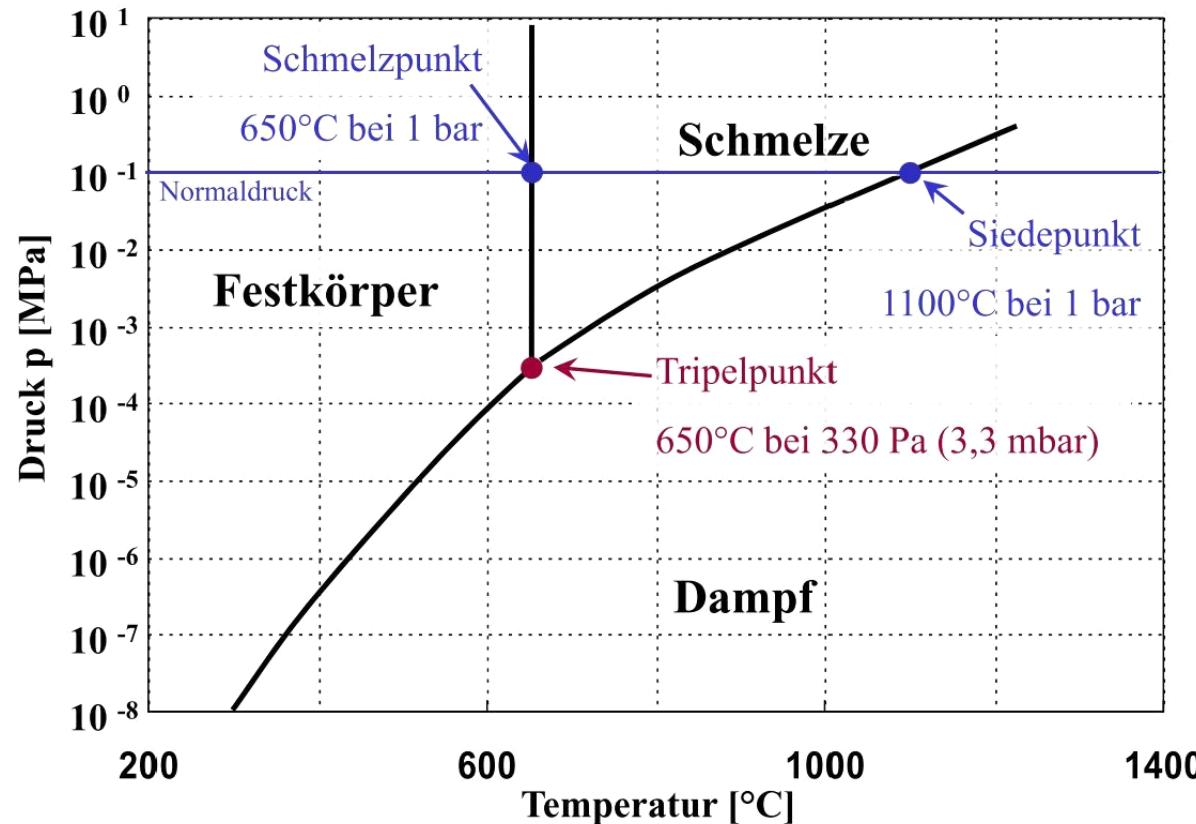
Mechanismus der Erstarrung

Vorlesung



Mechanismus der Erstarrung

Aggregatzustände am Beispiel von Magnesium



Gibbsche Phasenregel:

$$F = K + 2 - P$$

F: Anzahl der Freiheitsgrade des Systems

K: Anzahl der Komponenten

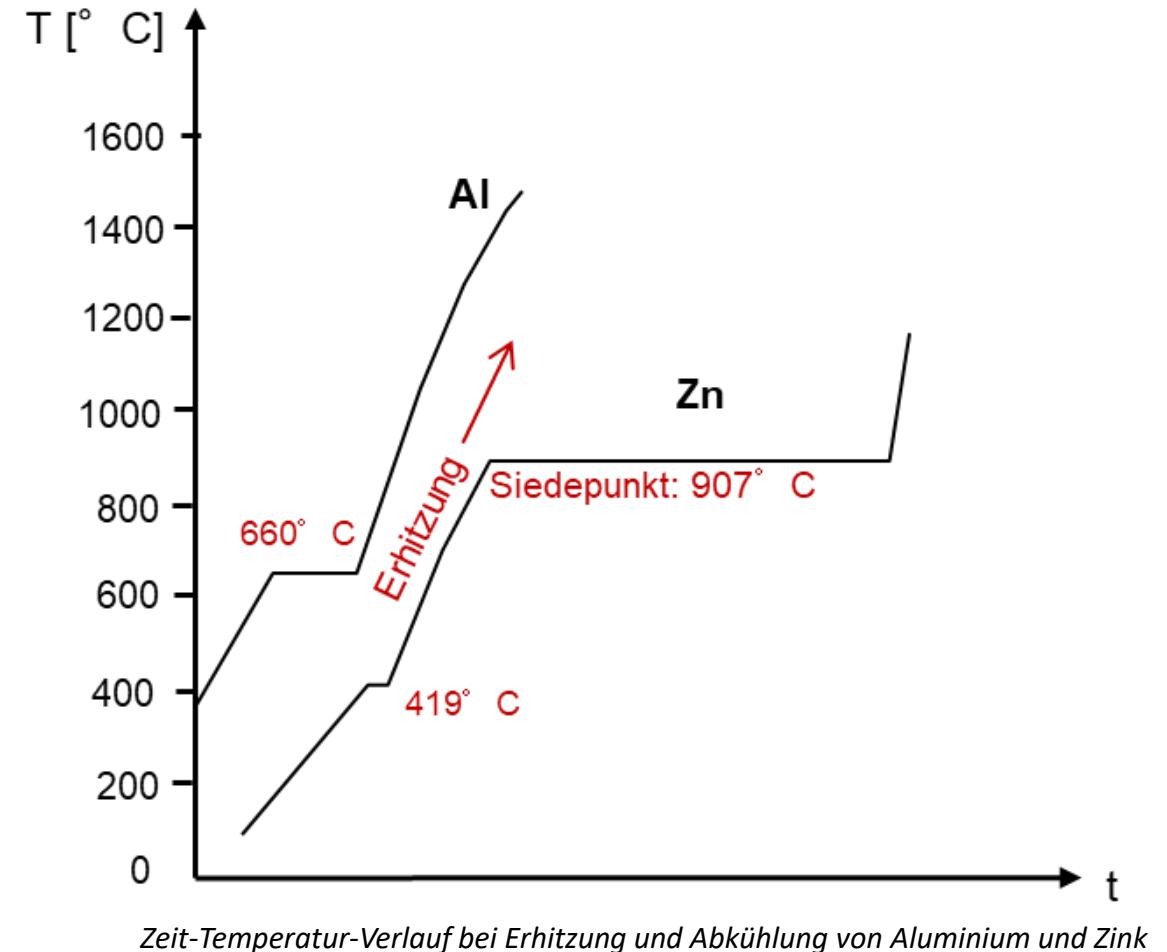
P: Anzahl der Phasen

In der Werkstofftechnik gilt: $F = K + 1 - P$, da der Druck konstant ist.

Mechanismus der Erstarrung

Erstarrung von metallischen Schmelzen

- Die Erstarrung von Schmelzen sowie Phasenumwandlungen sind bei reinen Metallen durch Haltepunkte im Temperatur-Zeit-Verlauf gekennzeichnet.
- Die Haltepunkte basieren auf der freiwerdenden Kristallisationswärme (exotherm) während des Abkühlens
 - oder
- auf der aufzuwendenden Schmelzwärme (endotherm) während des Aufwärmens.



Mechanismus der Erstarrung

Erstarrung von metallischen Schmelzen

Welche Wärmeenergie wird benötigt, um 10 kg Aluminium von Raumtemperatur in den schmelzflüssigen Zustand zu überführen?

Wärmemenge

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

mit c_{Al} (spez. Wärmekapazität) = 0,945 kJ/(kg K)

Schmelzwärme

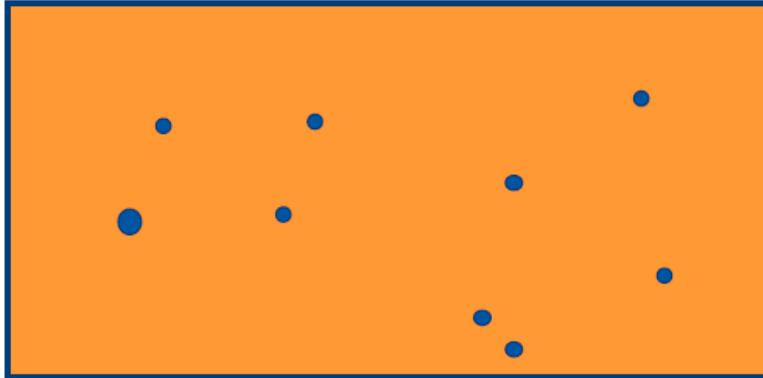
$$Q = m \cdot q$$

mit q_{Al} (spez. Schmelzwärme) = 404 kJ/kg

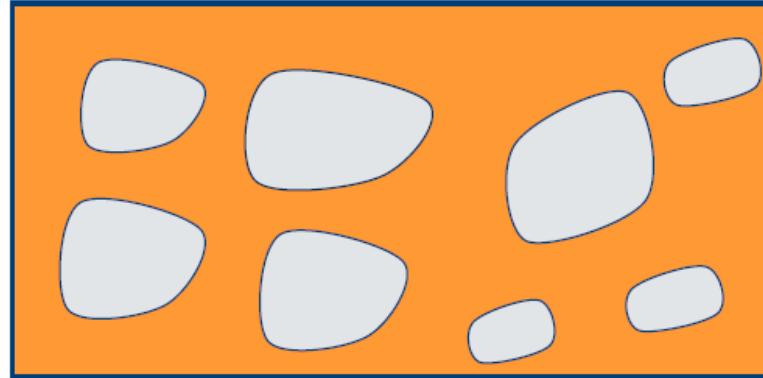
Mechanismus der Erstarrung

Mechanismus der Erstarrung – Keimbildung und Kristallwachstum

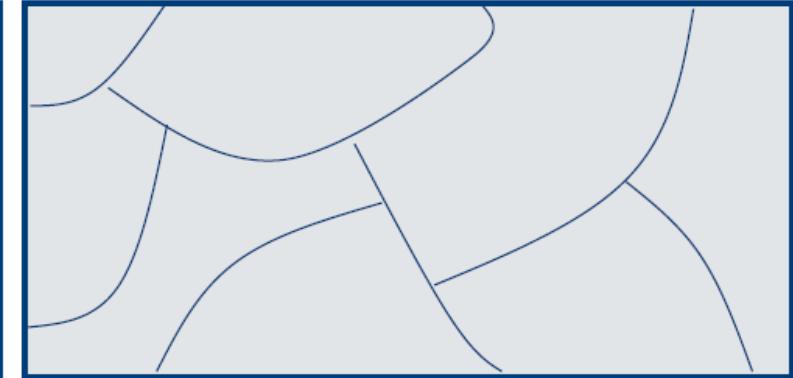
Wenige stabile Keime in der Schmelze



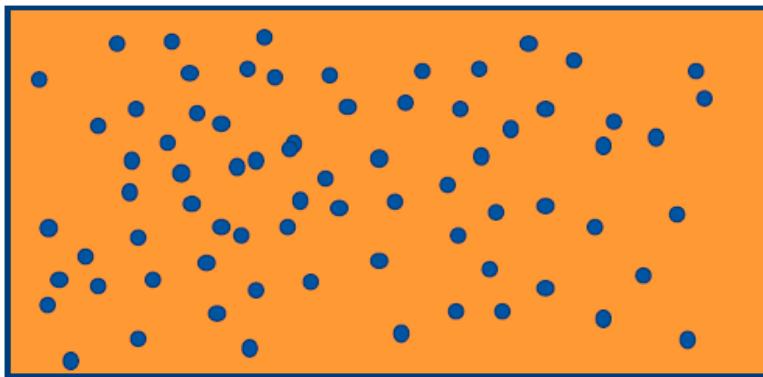
Geringe Anzahl wachsender Kristalle



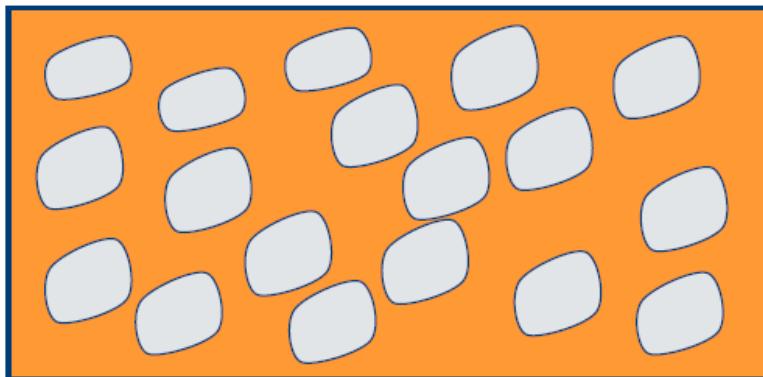
Grobkörniges Gefüge



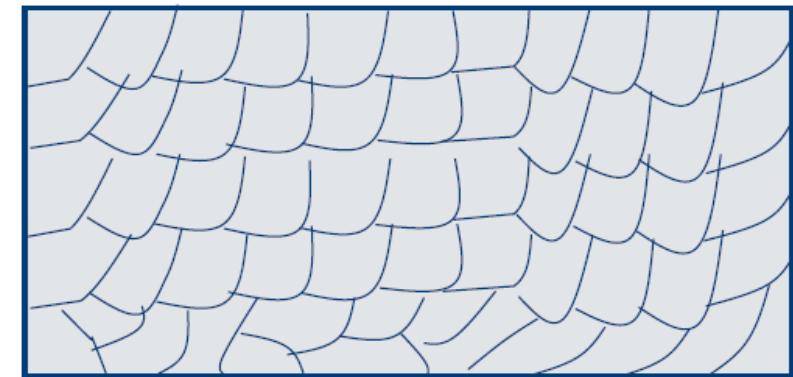
Viele stabile Keime in der Schmelze



Hohe Anzahl wachsender Kristalle



Feinkörniges Gefüge

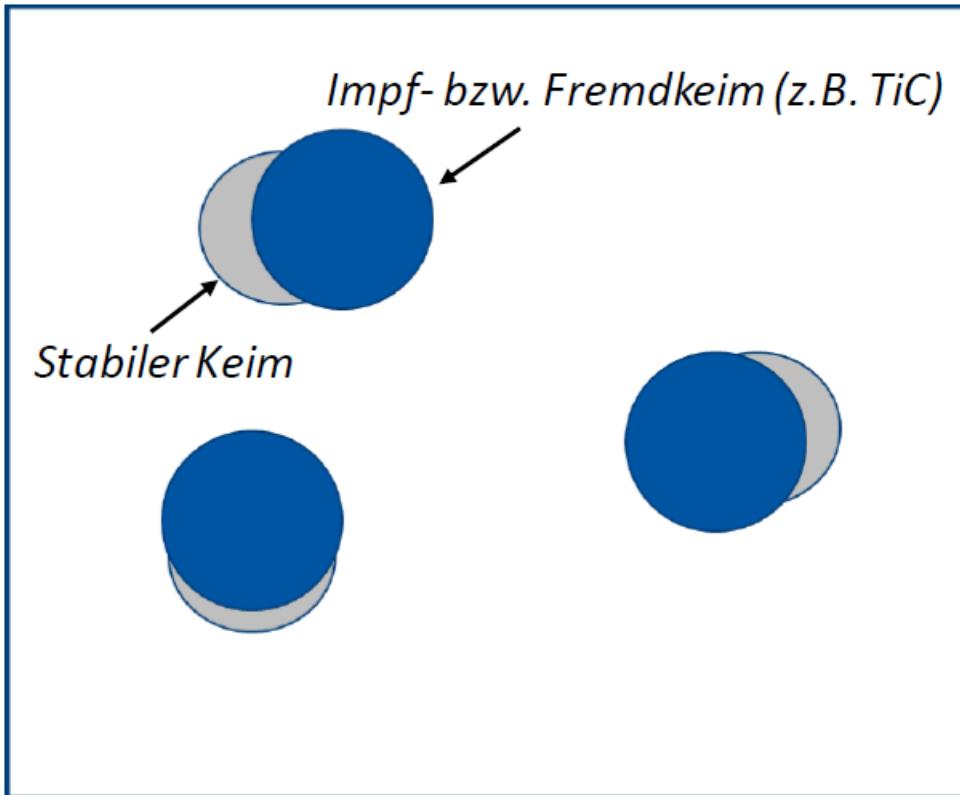


Mechanismus der Erstarrung

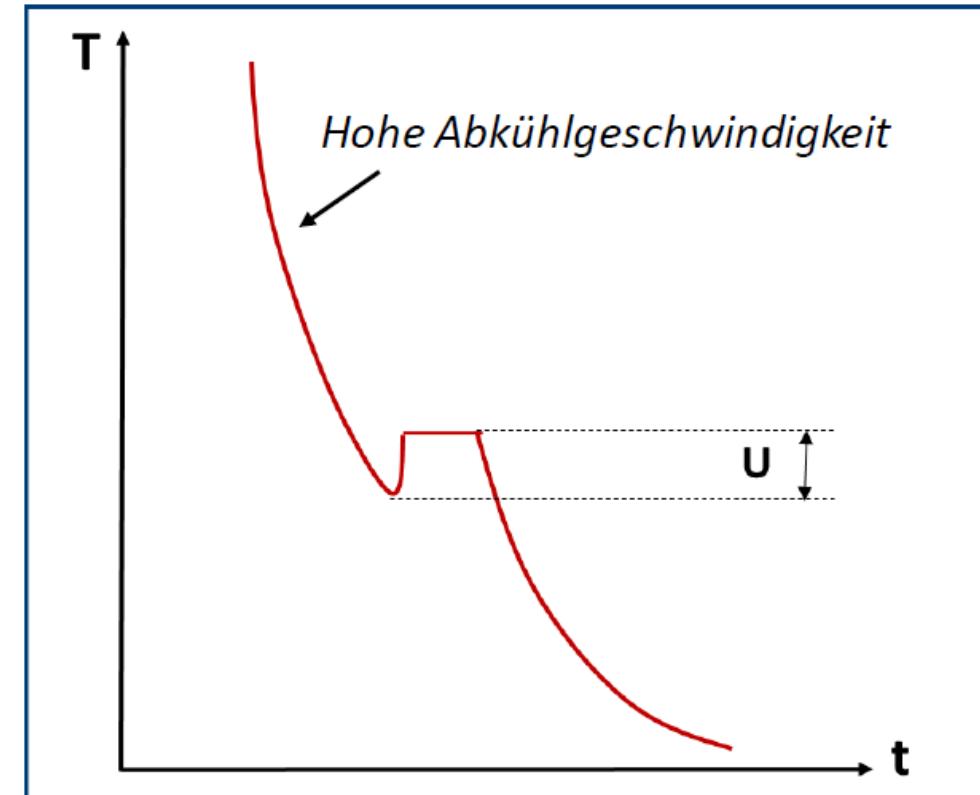
Mechanismus der Erstarrung – Keimbildung und Kristallwachstum

Die Bildung stabiler Keime – und damit eines feinkörnigen Gefüges – wird gefördert durch:

Heterogene Keimbildung

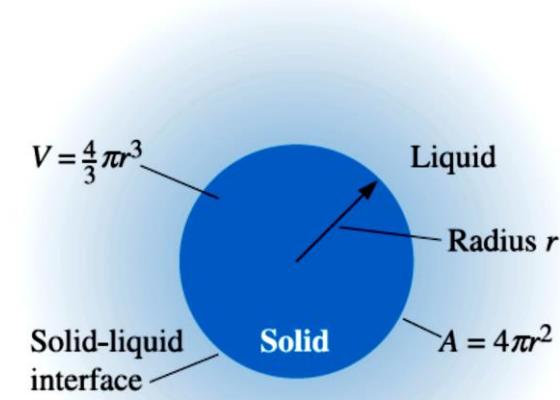
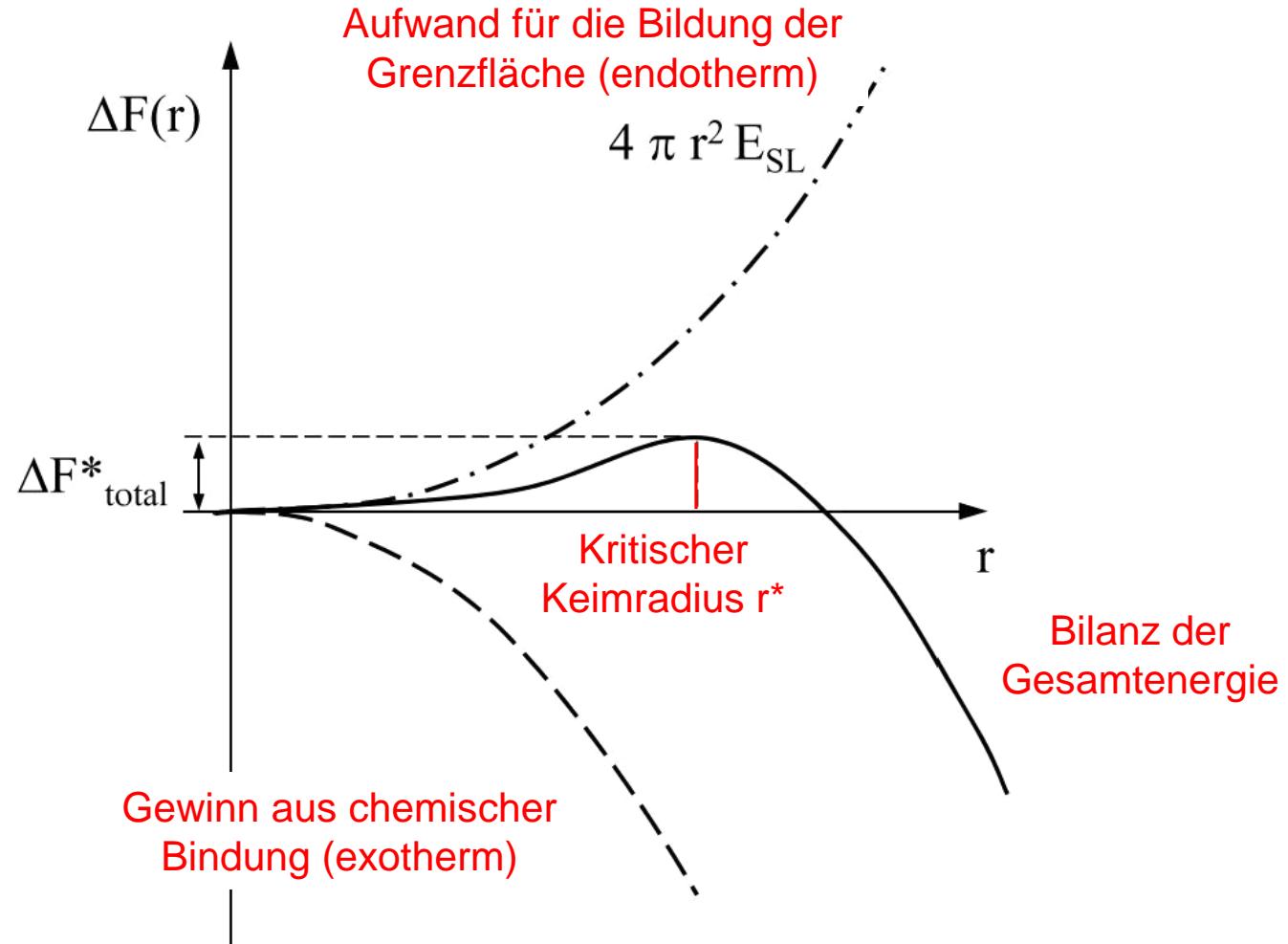


Unterkühlung



Mechanismus der Erstarrung

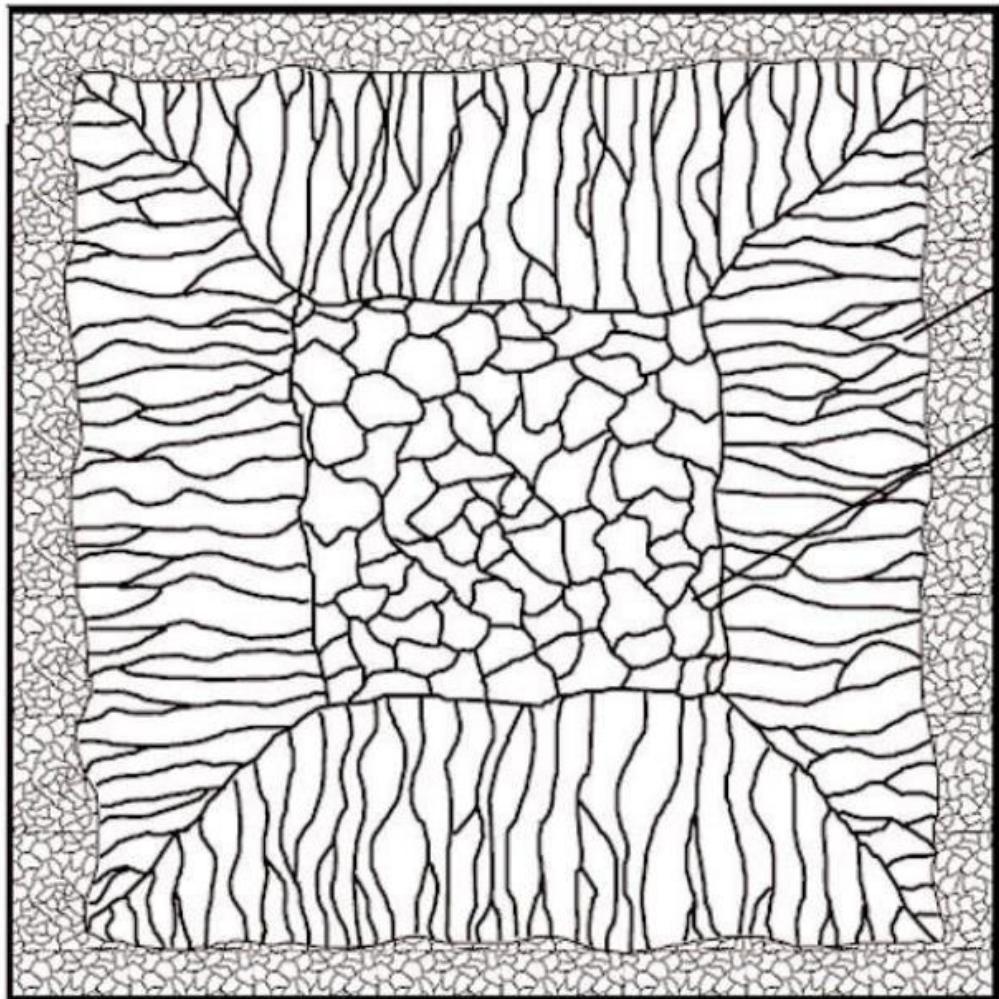
Mechanismus der Keimbildung



$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \sigma_{sl}$$

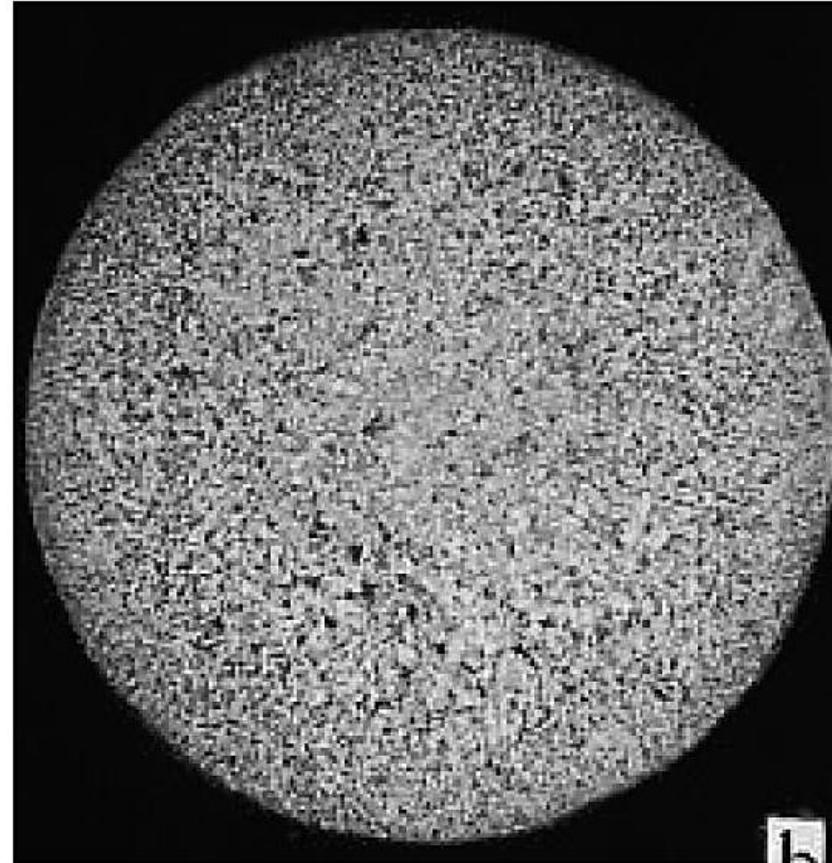
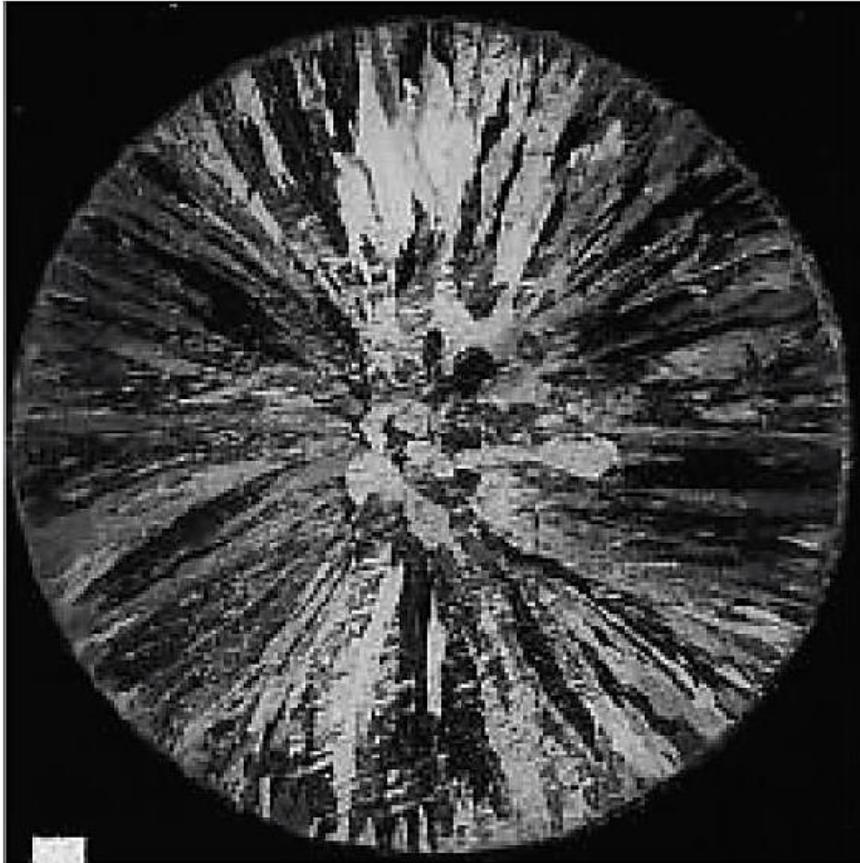
Mechanismus der Erstarrung

Querschnitt durch einen Gussblock - Schema



Mechanismus der Erstarrung

Kornfeinung in einem Aluminium-Gussblock; Beispiel 1

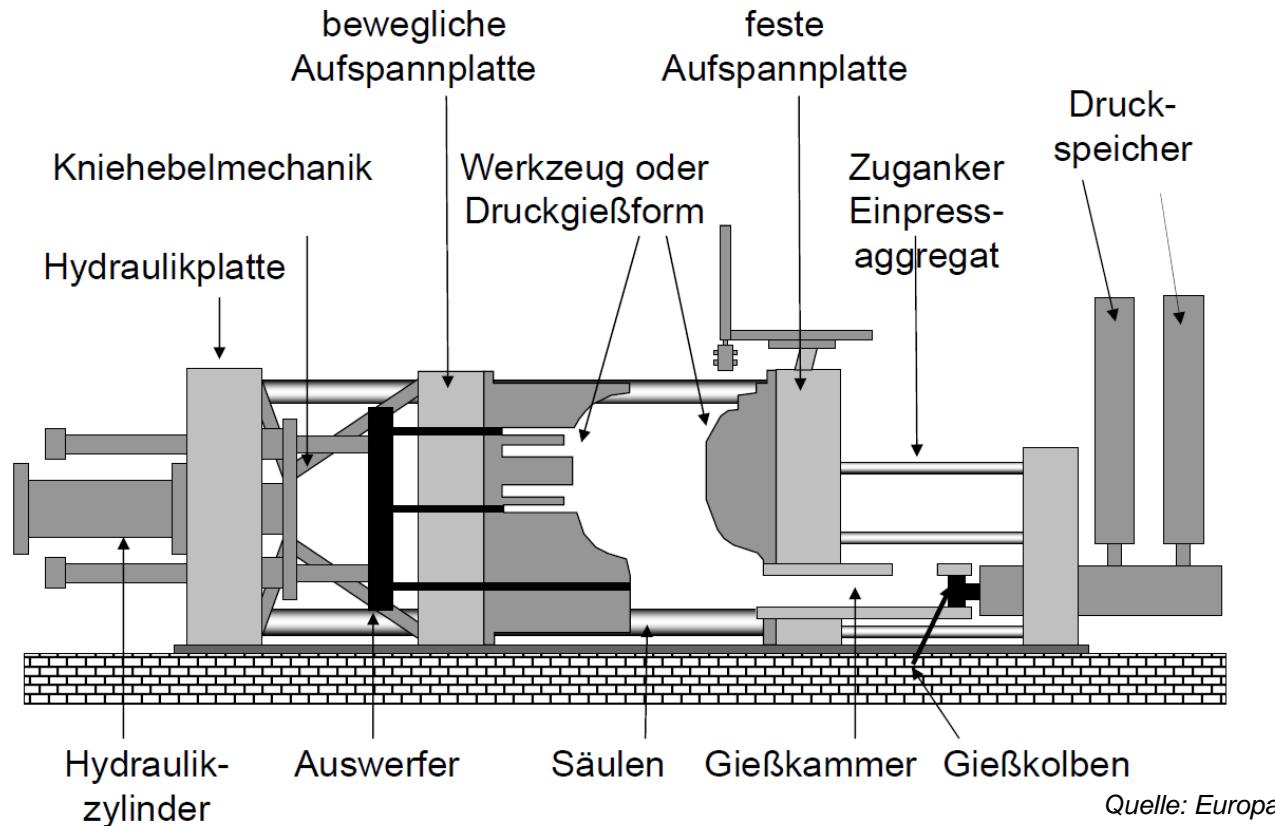


Gefüge von Reinaluminium ohne Kornfeinung (links) und mit Kornfeinung durch Hinzugabe von Fremdkeimen Al5TiB1 (rechts), Quelle: BIAS

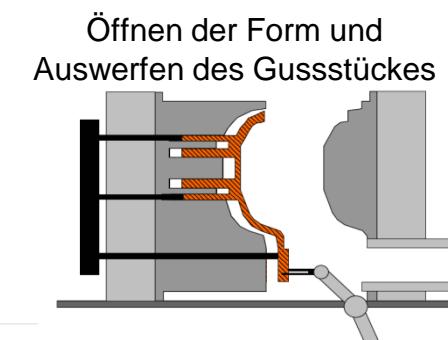
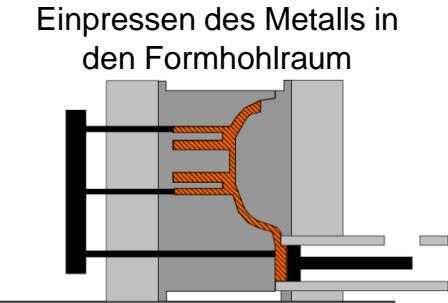
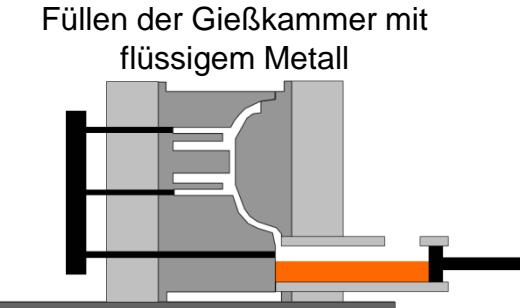
Mechanismus der Erstarrung

Kurzer Einschub zur Fertigungstechnik: Gießen mit Dauerformen - Druckguss

Kaltkammer-Druckguss: Gießofen zur Warmhaltung des gießfertigen Materials ist nicht Bestandteil der Druckgießmaschine.

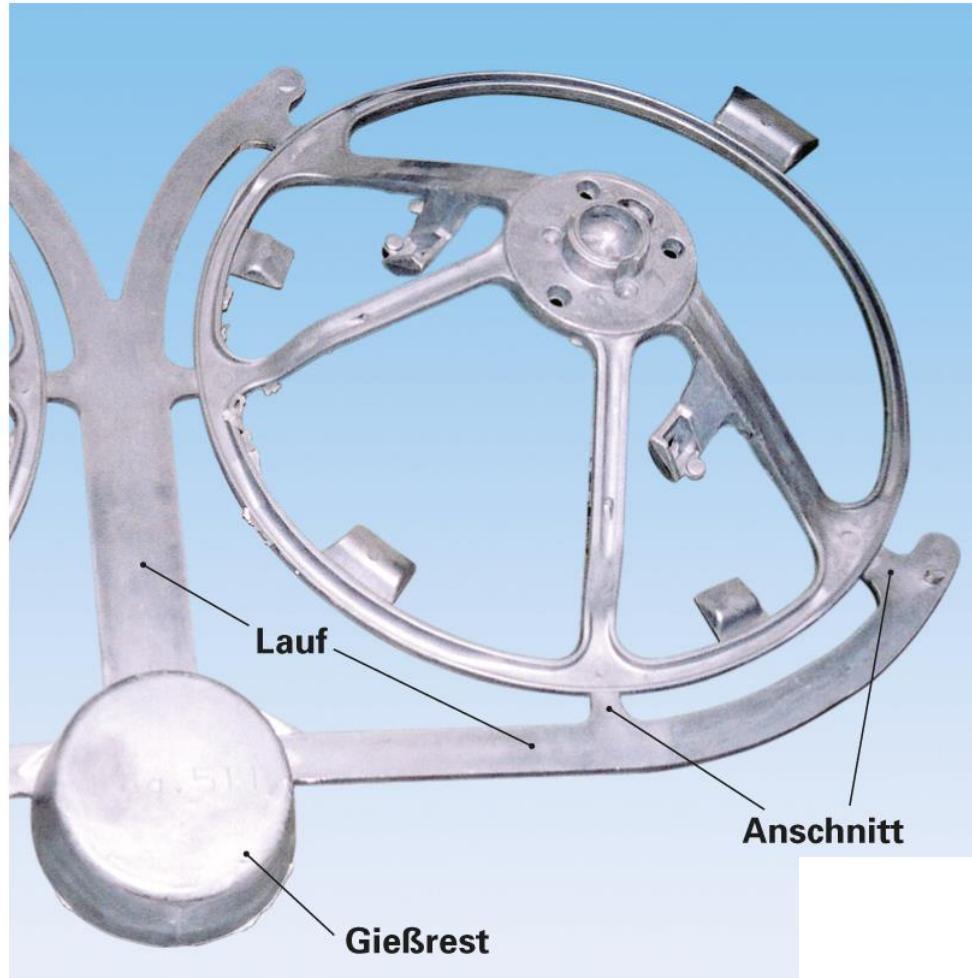


Quelle: Europa Lehrmittel



Mechanismus der Erstarrung

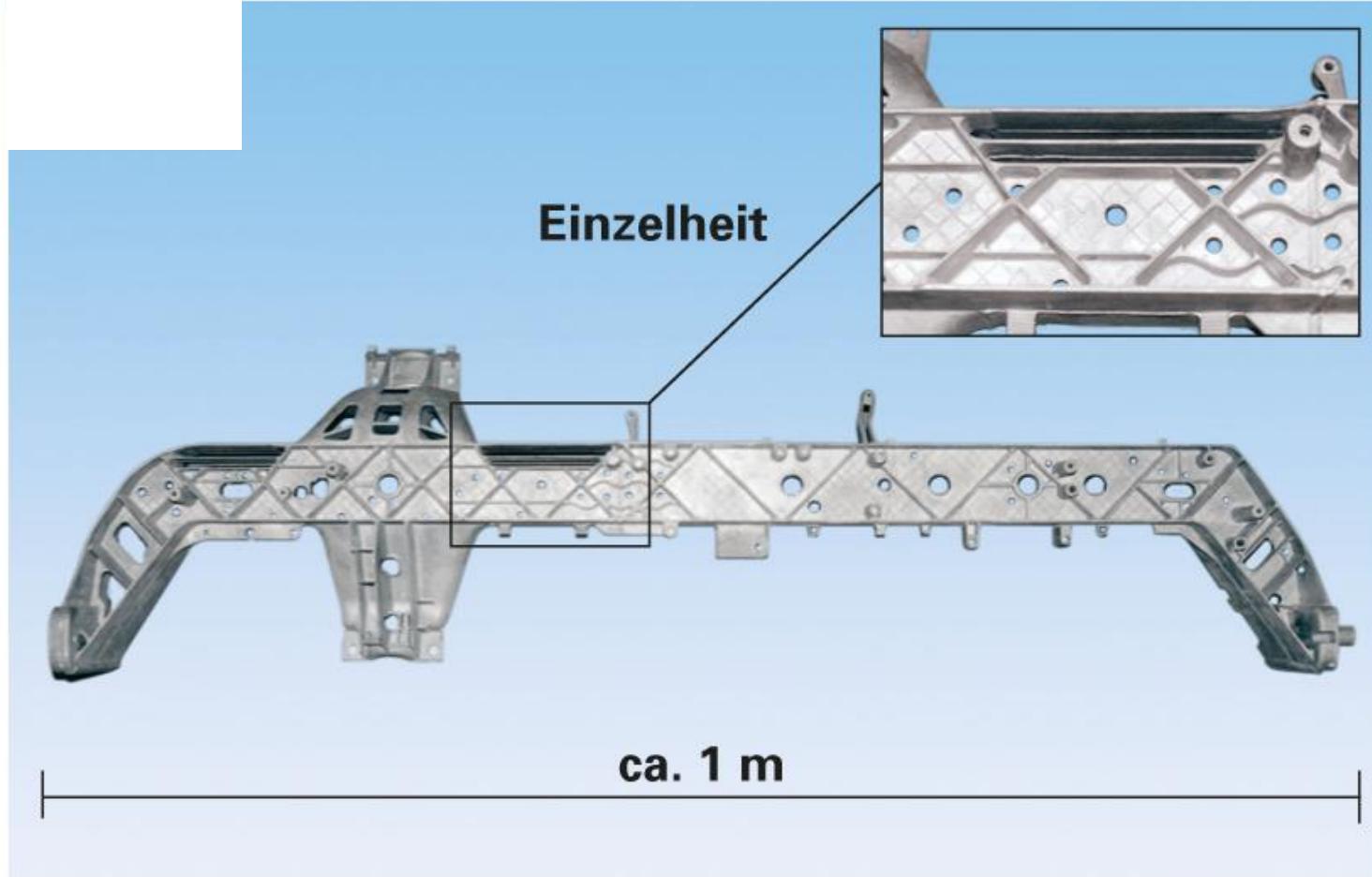
Kurzer Einschub zur Fertigungstechnik: Gießen mit Dauerformen - Druckguss



Quelle: Europa Lehrmittel

Mechanismus der Erstarrung

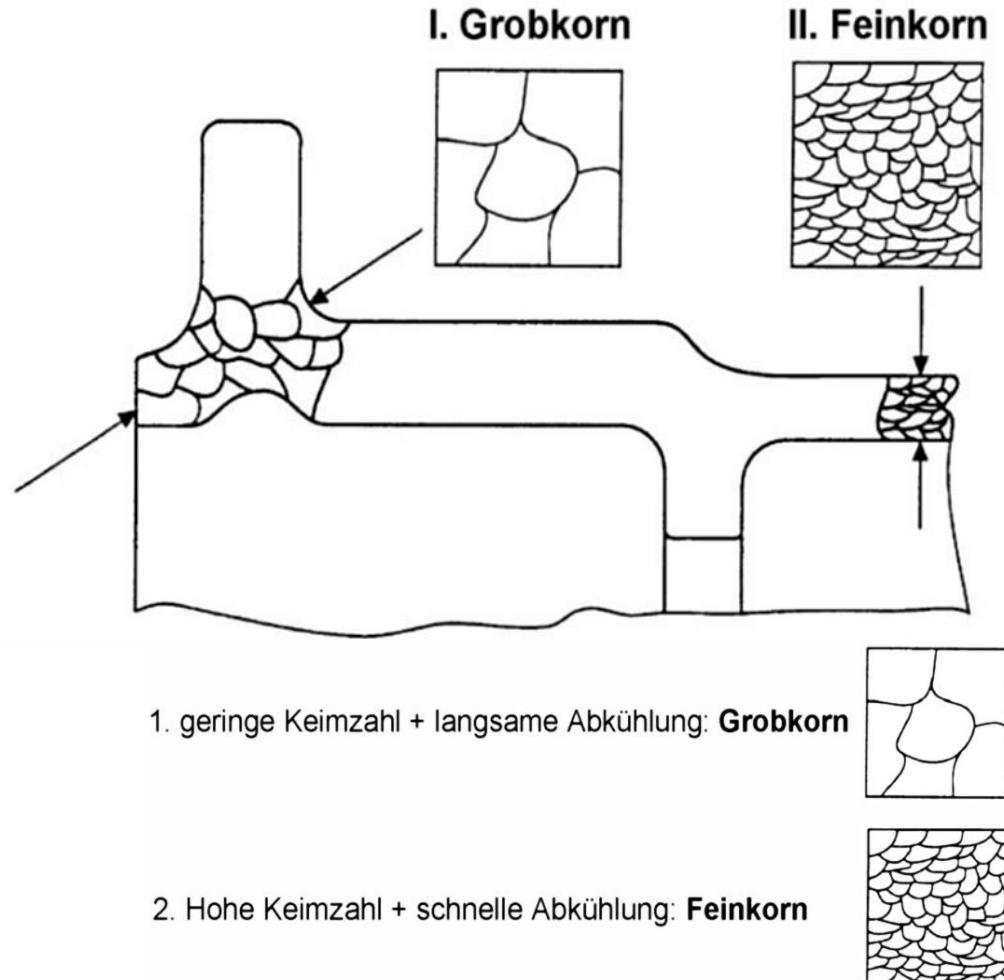
Kurzer Einschub zur Fertigungstechnik: Gießen mit Dauerformen - Druckguss



Quelle: Europa Lehrmittel

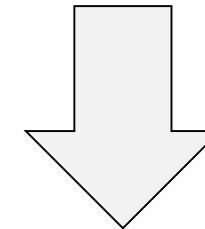
Mechanismus der Erstarrung

Werkstoffkunde beim Gießen



Die Korngröße des Gussgefüges ist von der Keimanzahl und der Erstarrungsgeschwindigkeit abhängig.

Diese wird maßgeblich durch die Wanddicke des Gussteils beeinflusst



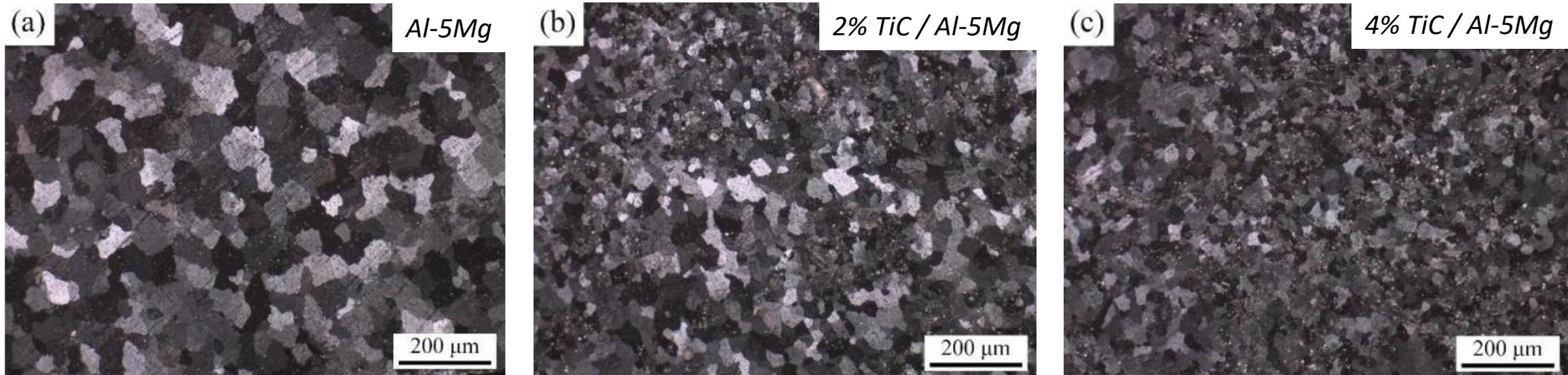
Regel:

Konstruiere Gussstücke mit annähernd gleichen Wanddicken.

Mechanismus der Erstarrung

Kornfeinung in einem Aluminium-Gussblock; Beispiel 2

Bildung eines feinkörnigen Gefüges durch Zugabe von TiC Impfkeimen

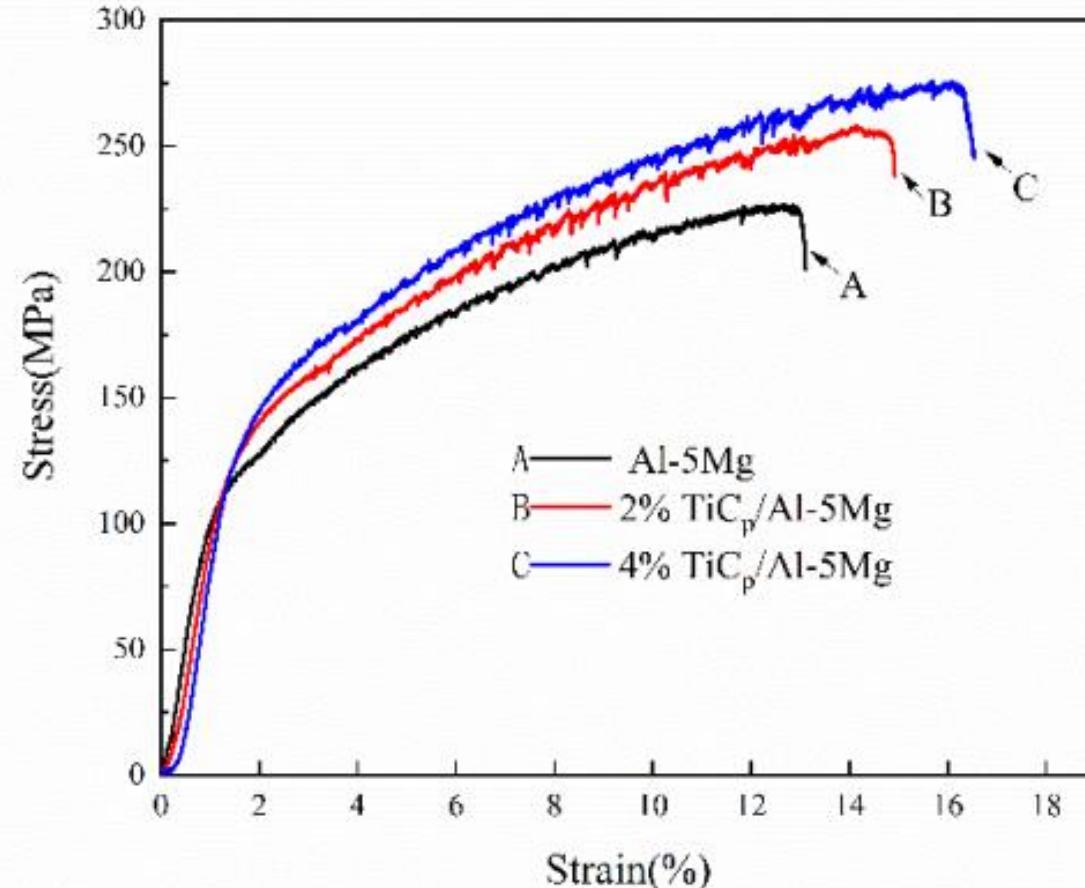


Feinkörniges Gefüge

Mechanismus der Erstarrung

Kornfeinung in einem Aluminium-Gussblock; Beispiel 2

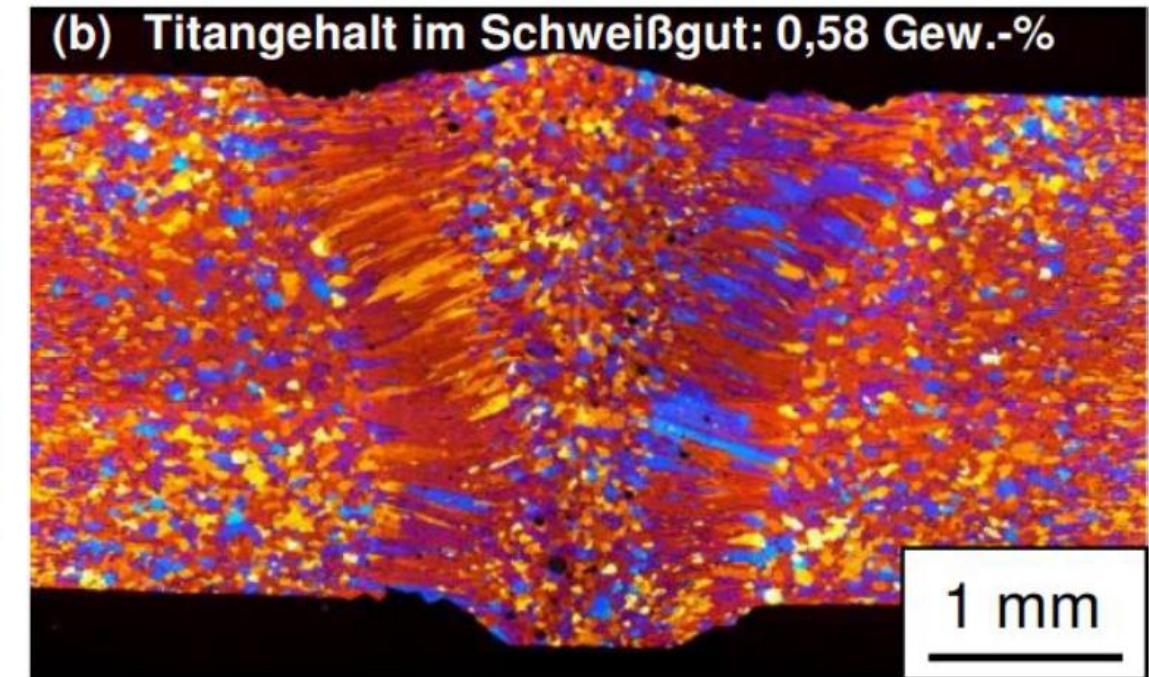
Verbesserung der mechanischen Eigenschaften eines Aluminium-Gussblocks durch Zugabe von TiC Impfkeimen



Mechanismus der Erstarrung

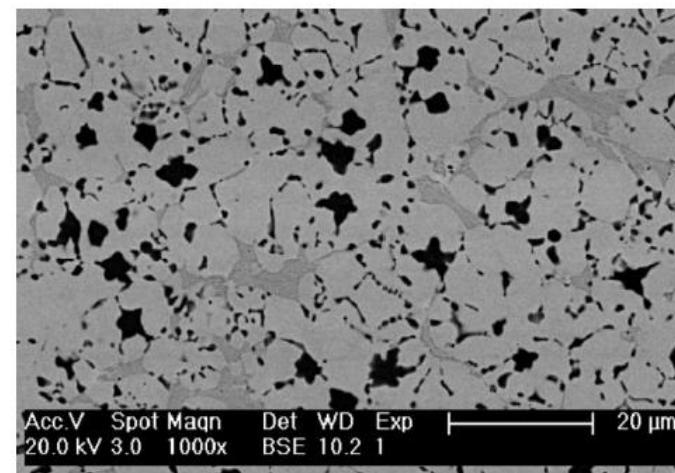
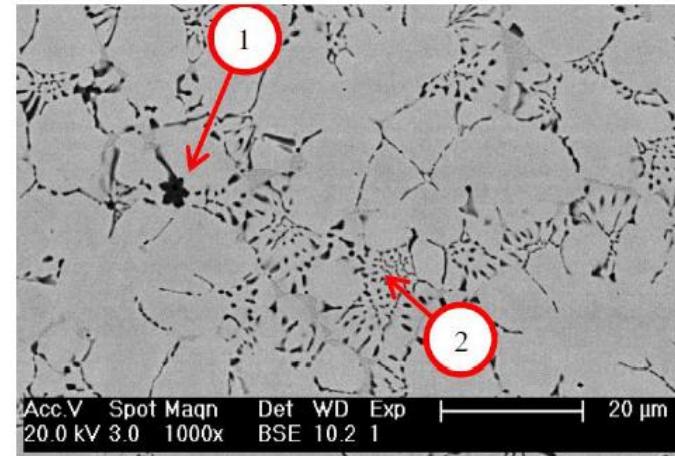
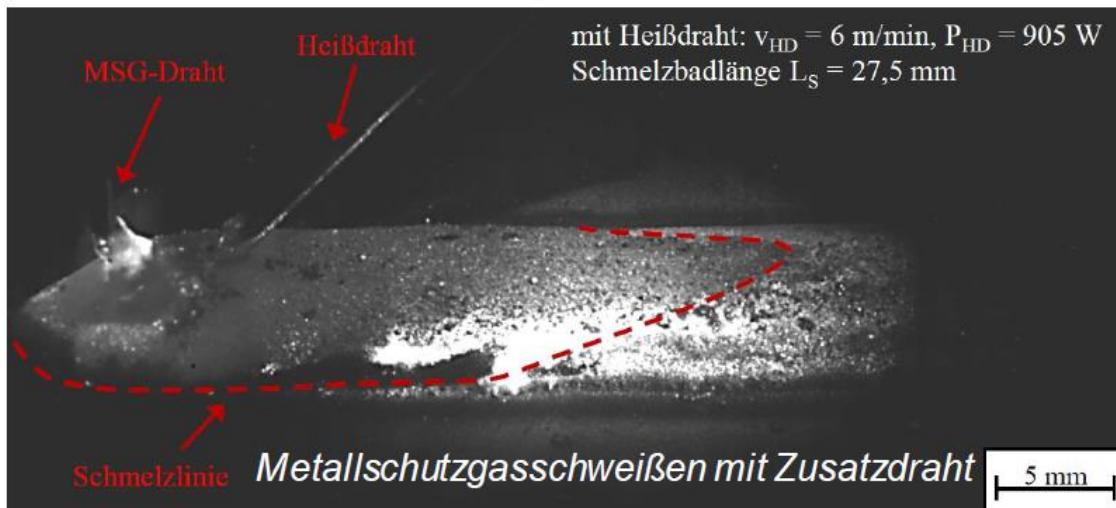
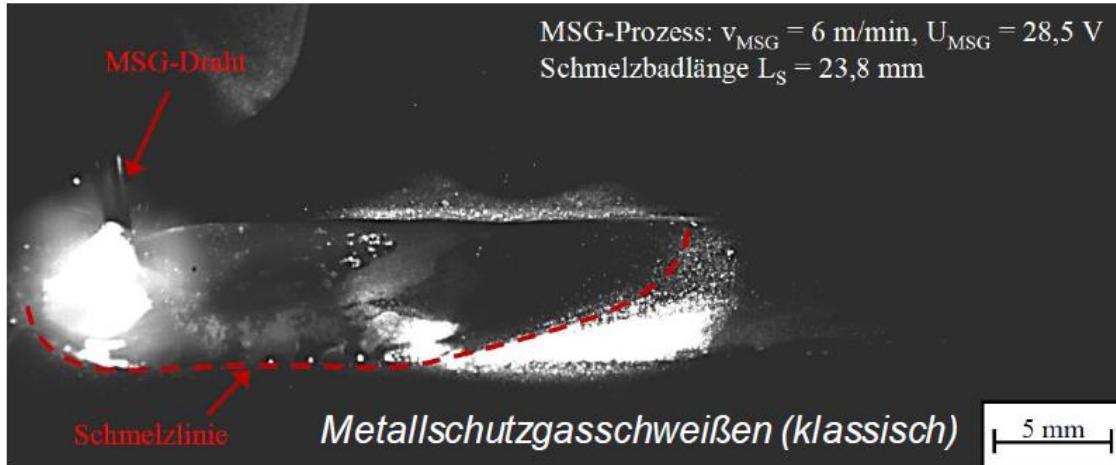
Kornfeinung in einer Aluminiumschweißung; Beispiel 3

Erzielung einer feinkörnigen Al-Schweißung (AlMg5 Schweißgut) durch Ti/B Zugabe



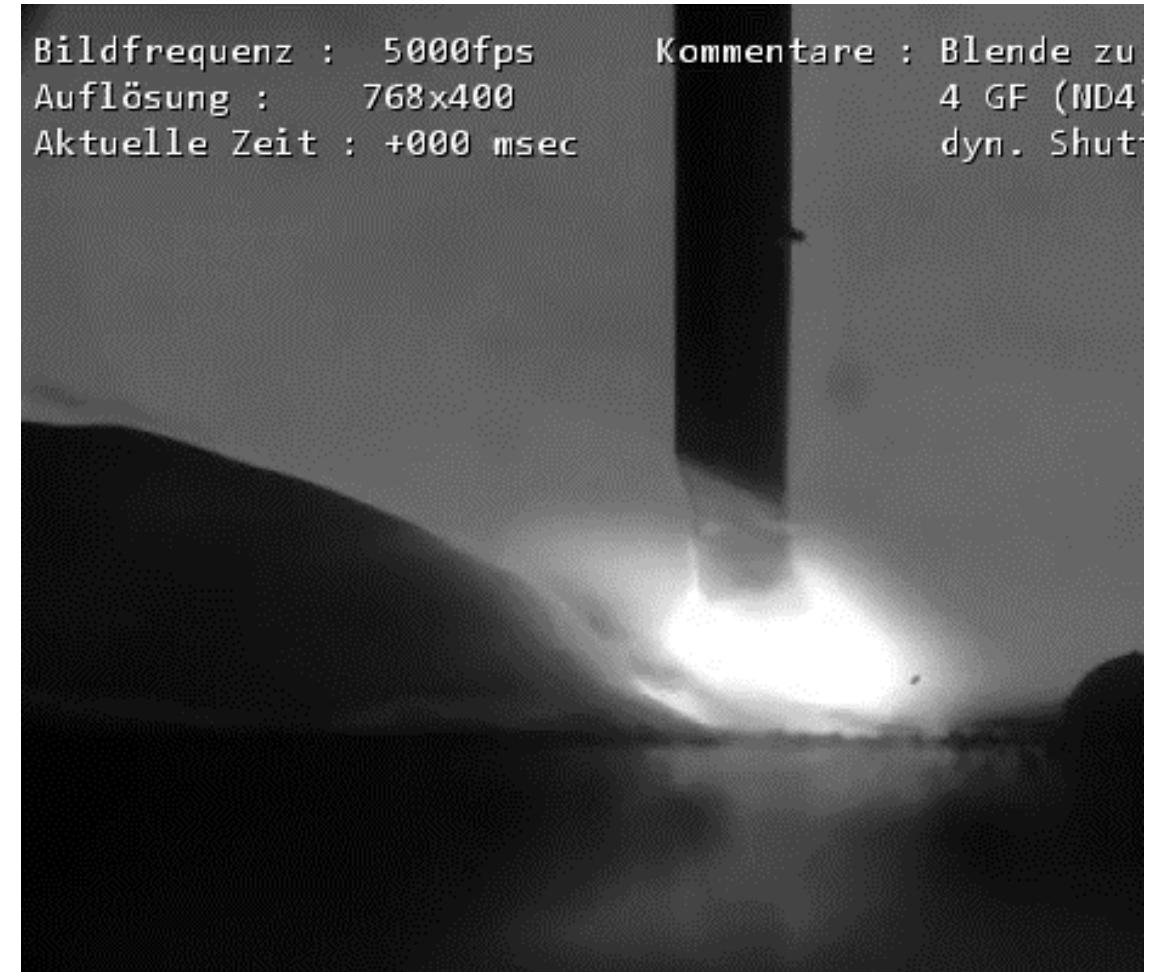
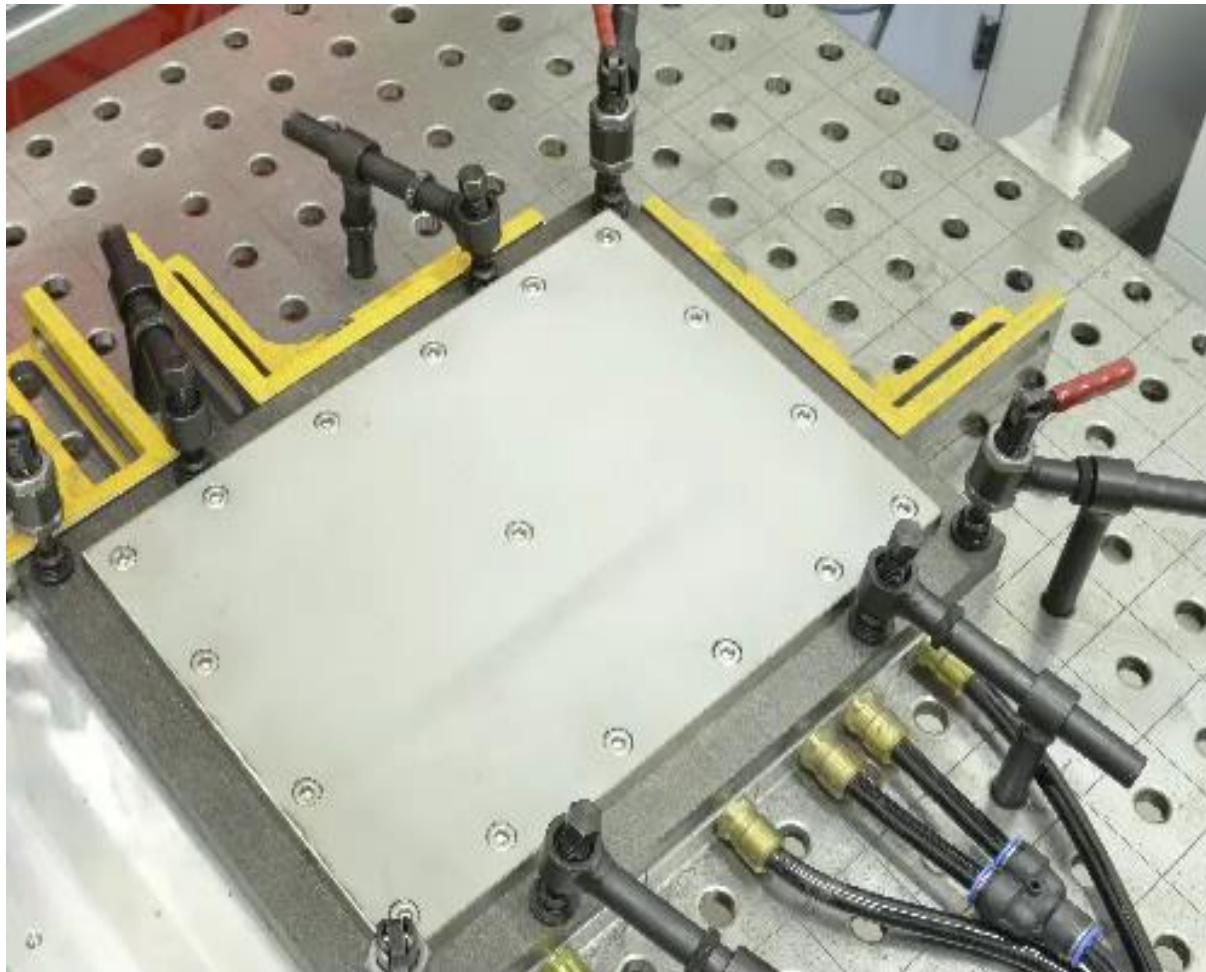
Mechanismus der Erstarrung

Ein Beispiel aus der Forschung



Mechanismus der Erstarrung

Ein Beispiel aus der Forschung



Mechanismus der Erstarrung

Zusammenfassung

- Keime sind Kristallisationskerne, die homogen oder heterogen als Eigen- oder Fremdkeime erzeugt werden.
- Stabil nur, wen $r > r_0$.
- Größere Abkühlgeschwindigkeit und / oder zugesetzte Fremdkeime erhöhen Keimzahl und führen zu feinkörnigem Gefüge.
- Die Erstarrung beginnt an den Keimen.
- Bei kubisch kristallisierenden Metallen erfolgt Wachstum in bevorzugten Richtungen.

