

# Aluminium, was nun?

Katrin Kuhnke  
März 2013



# Einführung in die Werkstoffkunde

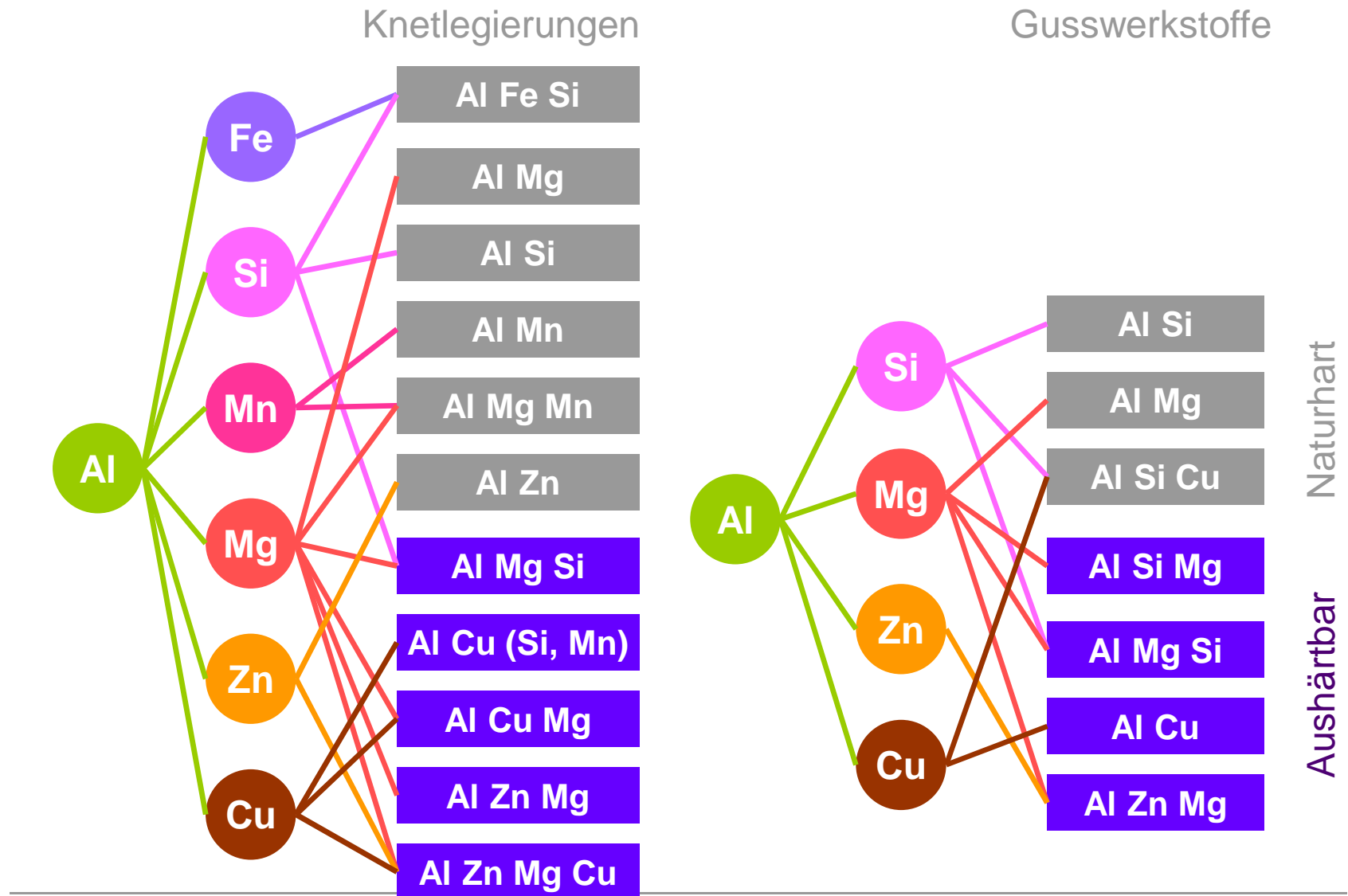
## Aluminium im Vergleich mit anderen Metallen

	Mg	Al	Ti	Fe	Cu
Ordnungszahl	12	13	22	26	29
Schmelztemperatur [ °C ]	650	660	1678	1536	1083
Dichte [g/cm³]	1,7	2,7	4,5	7,8	8,9
Wärmeleitfähigkeit [W/mK ] 20 - 100°C	130	235	30	70	390
Wärmeleitf: Dichte	76	87	7	9	44
Elektr. Leitfähigkeit [ m / Ω x mm² ]	24	37	1,6	10	56
Elektr.Leitf./Dichte	14	14	0,4	1,2	6,3
E - Modul [M Pa]	45 000	72 000	111 000	210 000	130 000
E - Modul / Dichte	26 600	25 860	24 600	26 900	14 600

# Vorteilhafte Gebrauchseigenschaften und Fertigungstechnologien von Aluminium

<b>geringes spezifisches Gewicht</b>	<b>1/3 so hoch wie Stahl (Fe)</b>
<b>zahlreiche unterschiedliche Herstellungsmöglichkeiten mit bestimmten Vorteilen</b>	<b>Gießen, Walzen (bis zu 6 µm = 6/1000 mm Dicke), Strangpressen, Schmieden, Fließpressen, Ziehen</b>
<b>Formgebungsmöglichkeiten</b>	<b>Spanen, Tiefziehen, Streckziehen, Biegen, Stanzen, Fügen, u.v.a.</b>
<b>Korrosionsbeständigkeit</b>	<b>sehr gut, durch Anodisieren und Beschichten noch zu verbessern</b>
<b>großes Festigkeitsspektrum</b>	<b>von 40 bis 700 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>ungiftig</b>	<b>verwendbar als Verpackung für Lebensmittel (Haushaltsfolie)</b>
<b>elektrische Leitfähigkeit</b>	<b>gut, doppelt so hoch wie Kupfer, bezogen auf das gleiche Gewicht</b>
<b>Wärmeleitfähigkeit</b>	<b>3 x so hoch wie Fe, 55% von Kupfer</b>

# Aluminium-Legierungselemente und -klassen





# Aluminium Knetlegierungsklassen und Zustände

Legierungs- klasse (CEN)	Haupt- Legierungselement	Gehalts- spektrum
<b>1xxx</b>	<b>keins</b>	<b>(min. 99,00%)</b>
<b>3xxx</b>	<b>Mangan (Mn)</b>	<b>0,5-1,5%</b>
<b>4xxx</b>	<b>Silizium (Si)</b>	<b>0,8-1,7 %</b>
<b>5xxx</b>	<b>Magnesium (Mg)</b>	<b>0,5-6%</b>
<b>2xxx</b>	<b>Kupfer (Cu)</b>	<b>2-6%</b>
<b>6xxx</b>	<b>Magensium+Silizium</b>	<b>0,5-1,5%</b>
<b>7xxx</b>	<b>Zink (Zn)</b>	<b>5-7%</b>
<b>8xxx</b>	<b>andere (z.B. Eisen)</b>	<b>0,5-2%</b>
<b>naturhart</b>	<b>aushärtbar /*</b>	

## **/\* Zustände aushärtbarer Legierungen :**

**T4** = lösungsgeglüht, kalt ausgelagert

**T3** = lösungsgeglüht, kalt ausgelagert und kaltverformt

**T6** = lösungsgeglüht, warm ausgelagert

**T8** = lösungsgeglüht, umgeformt und warmausgelagert

# Einfluss von einigen Legierungselementen

Magnesium	Mg	Festigkeit Gießbarkeit Korrosionsbeständigkeit Schweißbarkeit	↑ ↑ ↑	↓ ↓
Mangan	Mn	Festigkeit Zähigkeit Verformbarkeit	↑ ↑ ↑	
Silizium	Si	Festigkeit Schmelzpunkt Verschleißfestigkeit Gießbarkeit	↑ ↑ ↑	↓
Kupfer	Cu	Festigkeit Gießbarkeit Korrosionsbeständigkeit Schweißbarkeit	↑	↓ ↓ ↓
Zink	Zn	Schweißbarkeit (in Kombination mit Mg, Cu) Korrosionsbeständigkeit	↑	↓

**Achtung!**

**Dies ist nur ein grober Leitfaden!**

**Viele Eigenschaften hängen von der genauen Zusammensetzung und Mischung einzelner Elemente ab und vor allem von der Halbzeugfertigung und anschließendem processing!**

# Präparation: Einbetten

- 2 Komponenten Einbettmaterial für Kalteinbettung  
(Aushärtetemperatur max. 70°C)

Product	Content	Colour	Cure time	Properties	Supplier
EpoFix	Resin + Hardener	transparent	8 hours	shrinkproof / spaltarm	Struers
Epoxy 1000 Plus	Resin + Hardener	transparent	8 hours	shrinkproof / spaltarm	Cloeren
Technovit 4002	Resin + Hardener	transparent	8 hours	shrinkproof / spaltarm	Heraeus
Demotec 15 Plus	Pulver + Hardener	blue	12 minutes	abrasion resistant	Demotec

**Bemerkung:** Vorsicht bei Warmeinbettungen, abhängig von der Temperatur und dem Druck kann es bei Aluminium Legierungen zu Gefügeveränderungen kommen (Rekristallisation, Auslagerung usw.)

# Präparation: Schleifen und Polieren (Vorschlag)

- Schneiden: Discotom-5
- Einbetten: Kalteinbettung mit Epoxidharz
- Schleifen: Manuell

Underlay	Grain	Lubricant	Time
SiC-Paper	320	Water	Until flat
„	500	„	10-20 sec.
„	800	„	„
„	1000	„	„
Micro cut <sup>1)</sup>	ca. 2400	„	„

- Polieren: TegraPol-31/ TegraForce-5/ TegraDose-5 / Druck: 20-35N / U: 150/min.

Underlay	Grain	Lubricant	Time
DP-Moltuch <sup>2)</sup>	6µm DP-Suspension	Lubricant blue *	Ca.5-6 Min.
DP-Moltuch	3µm DP-Suspension	Lubricant red **	Ca.5-6 Min.
OP-Chem	OPS-Suspension	without lubricant	Ca.1-3 Min.

\* = Alkohol Basis \*\* = Öl Basis

1) = Schleifvlies

2) = Wolltuch

# Präparation: Ätzungen

MIKROÄTZTABELLE					
Bezeichnung	Zusammensetzung	Ätztemperatur	Ätzzeit	Ätzeffekt	Legierung
Kaliumbichromatlsg.	100cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 0,5cm <sup>3</sup> HF 2cm <sup>3</sup> HCl 20cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> +50cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 5g K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RT	2-5 min	Sekundärausscheidungen, Kornflächen, Korngrenzen	AlZnMg, AlZnMgCu
Barker	950cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 50cm <sup>3</sup> HBF <sub>4</sub>	RT	1-2 min	Kornflächen pol. Licht	für fast alle Al-Legierungen geeignet
Ätzfiguren	25-30cm <sup>3</sup> Methanol 25cm <sup>3</sup> HCl 25cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 1cm <sup>3</sup> HF	RT	10s-2 min	Ätzfiguren	Al99,99 - Al98, AlMg AlMgSi
NaOH	100cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 1g NaOH	70°C	1-2 min	Kristallseigerungen	Al99,9- Al98, AlMg, Al Mn, AlMgMn
Kaliumferrizyanid Murakami	60 ml dest. H <sub>2</sub> O 10g NaOH 5g K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	RT	1-2 min	Korngrenzen SA	AlMg1SiCu AlCuMgFeNi AlCuMg auch für andere Legierungen geeignet

# Präparation: Ätzungen

MIKROÄTZTABELLE					
Bezeichnung	Zusammensetzung	Ätztemperatur	Ätzzeit	Ätzeffekt	Legierung
Salpetersäure	80cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 20cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub>	RT	1-2h	Sekundärausscheidungen	AlZnMg1
heiße HNO <sub>3</sub>	75cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 25cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub>	70°C	40s	AlCu- + AlCuMg-Phasen Sekundärausscheidungen	AlCuMg, AlZnMg
heiße H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 20cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	70°C	30s-3min	Al-Fe- u. AlFeSi-Phasen Sekundärausscheidungen	Al97-Al99,9
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> / oder heiße H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 50°C	90cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 10cm <sup>3</sup> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	RT / 50°C	30-45min/ 1min	Sekundärausscheidungen	AlMg3, AlMg5, AlMgMn
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -HF <b>! Standard</b>	90cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O, 10cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +95cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 5cm <sup>3</sup> HF	RT	1-5min	Sekundärausscheidungen, Kornflächen, Kristall- seigerungen	AlMgSi, AlMgMn Al98, Al99,9
Kellerlsg. Hydro	97cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 1cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 2cm <sup>3</sup> HCl 0,5cm <sup>3</sup> NaF	RT	1-5min	Kornflächen	AlCu, AlCuMg AlCuMgSi, AlZnMgCu
Kellerlsg.	190cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 5cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 3cm <sup>3</sup> HCl 2cm <sup>3</sup> HF	RT	5-25 sec.	Kornflächen	AlCu, AlCuMg AlCuMgSi, AlZnMgCu

# Präparation: Ätzungen

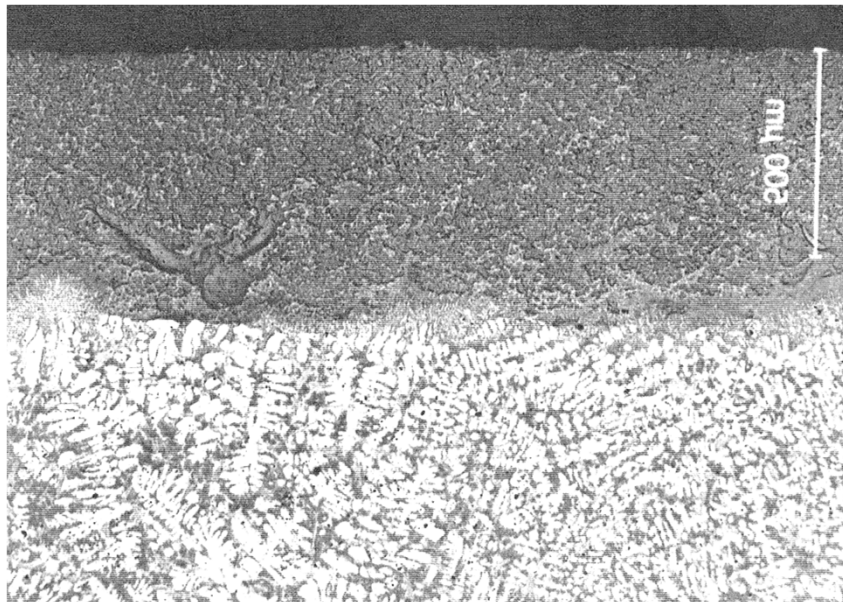
MAKROÄTZTABELLE					
Bezeichnung	Zusammensetzung	Ätztemperatur	Ätzzeit	Ätzeffekt	Legierung
Makrolösung	1500cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 1125cm <sup>3</sup> HCl 560cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 200cm <sup>3</sup> HF	RT	30s-2min	Kornätzung	Al99,99-98, AlMn, AlMg, AlMgMn, AlMgSi
NaOH	100cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 1-3g NaOH im Wechsel mit Makrolösung	RT	versch.	Kornätzung, Flächenätzung	AlCuMg, AlZnMg, AlZnMgCu, AlSi
Salpetersäure-Klärung	100cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> konz.	RT	30s-1min	Lsg. von Niederschlägen * (z.B. Cu-haltige)	AlCuMg, AlZnMgCu, AlZnMg
Salpetersäure-Flusssäure	200cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 50cm <sup>3</sup> HF	RT	30s-1min	Lsg. des Si-Niederschlages	AlSi, Si-reiche Legierungen
Makroätzung für AlSi-Gussleg.*	100cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O 15g CuCl <sub>2</sub>	RT	7-10s	Kornätzung	AlSi-Gussleg.
Aufheller	200cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> 10-100cm <sup>3</sup> HF	RT	versch.	hellte Krongrenzen auf	alle Leg.

\* Niederschlag abbürsten, Ätzung mehrmals wiederholen, Probe zuletzt in Aufheller klären.  
x: falls dunkler Niederschlag auftritt Probe in konz. HNO<sub>3</sub> klären evtl. Vorgang wiederholen

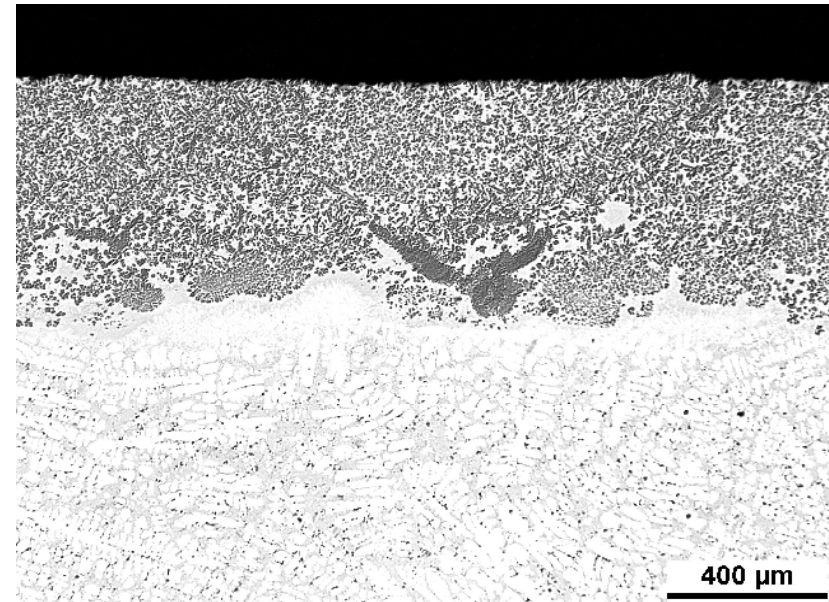
# Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 1:  
Si-Partikel in laserlegierten Oberflächen

Flächenanteil = 85 %



Korrekturer Flächenanteil Si = 45%



## Ergebnis:

Der Anteil des primären Si in der umgeschmolzenen Schicht hat einen großen Einfluss auf die Verschleißfestigkeit der Zylinderlauffläche und ist daher von signifikanter Bedeutung.

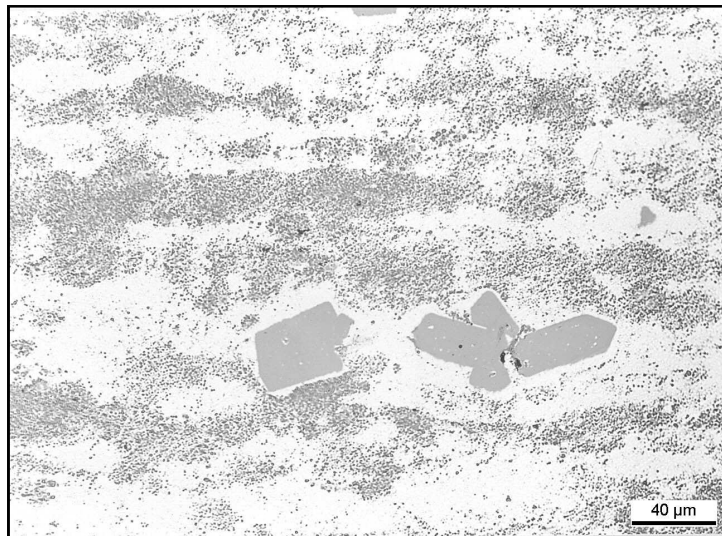
Eine unzureichende Endpolitur täuscht einen viel zu hohen Anteil an primärem Silizium vor. Die Partikel sind nicht sauber auspräpariert und vermischen sich mit Polierabrieb.



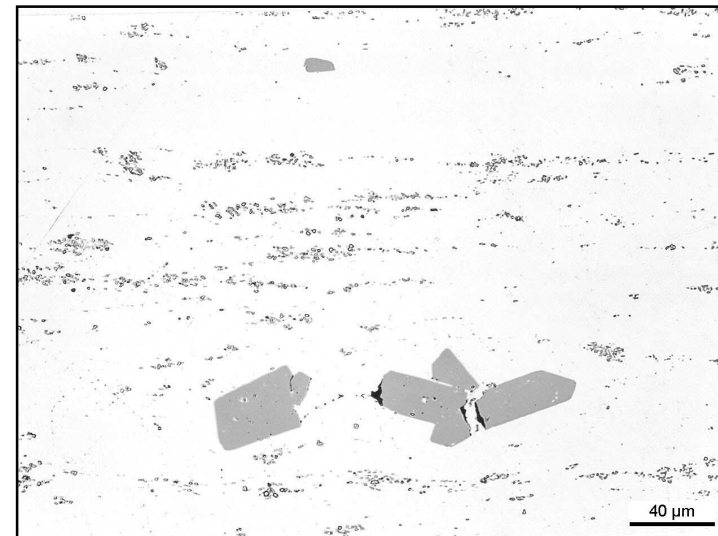
# Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 2:  
Beurteilung von Kornfeinungsdrähten

nach 2 Minuten Endpolitur



nach 20 Minuten Endpolitur



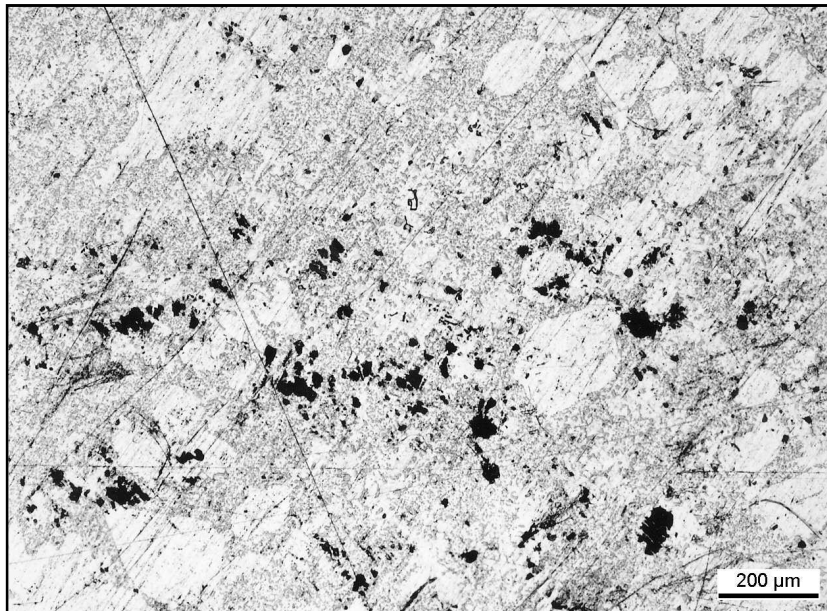
## Ergebnis:

Eine zu kurze Endpolitur führt dazu, dass noch in der Schlieffläche verbliebener Polierabrieb vorhanden ist. Es wird ein viel zu hoher Anteil an  $\text{TiB}_2$ -Partikeln vorgetäuscht. Eine korrekte Größenauswertung ist erst nach ausreichend langer Endpolitur möglich. Erst wenn die Endpolitur über 20 Minuten hinaus ausgedehnt wird, bleibt das Gefüge unverändert, das heißt, der korrekte Zustand ist erreicht.

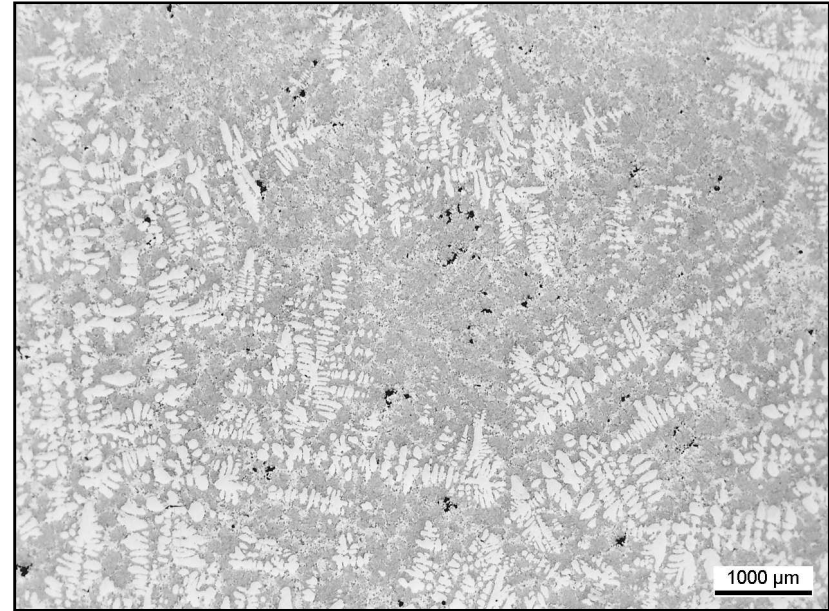
# Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 3:  
Beurteilung von Porositäten

„unzureichende Präparation“



„gute Präparation“

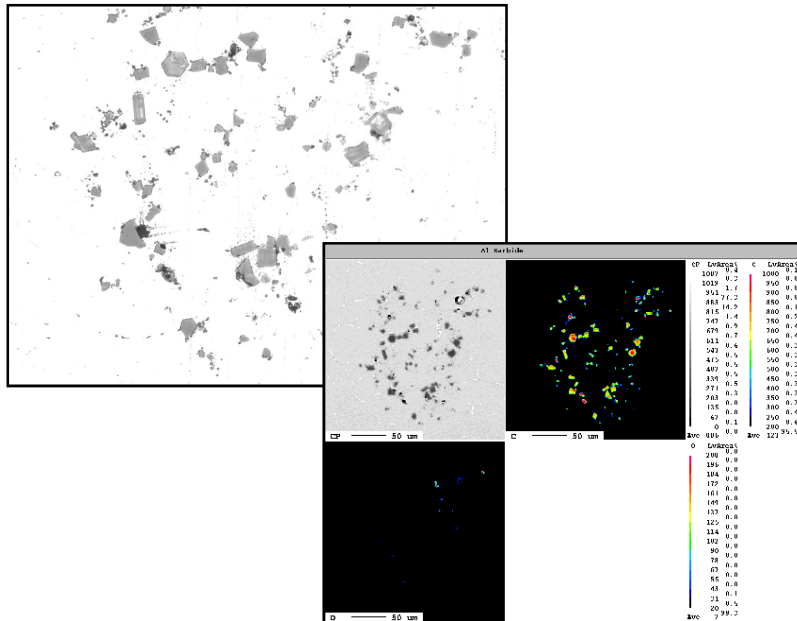


**Ergebnis:** Bei der quantitativen Porositätsauswertung ist die Präparation von besonderer Bedeutung. Eine „schlechte Präparation“ führt häufig zu einem erhöhten Porositätsanteil, da Kratzer und andere Artefakte mitgemessen werden. Wird die Probe nach dem Fräsen nicht ausreichend geschliffen, wird dagegen zumeist ein zu geringer Porositätsanteil ermittelt, da einige Poren zugeschmiert bleiben und so nicht alle Fehlstellen sichtbar sind. Selbst bei ausreichend guter Präparation ist noch die Gefahr einer Fehlmessung gegeben. Insbesondere bei Legierungen, in denen sich dunkle Phasen wie  $Mg_2Si$  oder  $Al_2Cu$  ausscheiden, muss auf eine sehr sorgfältig durchgeführte Messung geachtet werden, um zwischen Phasen und tatsächlichen Poren sicher zu unterscheiden.

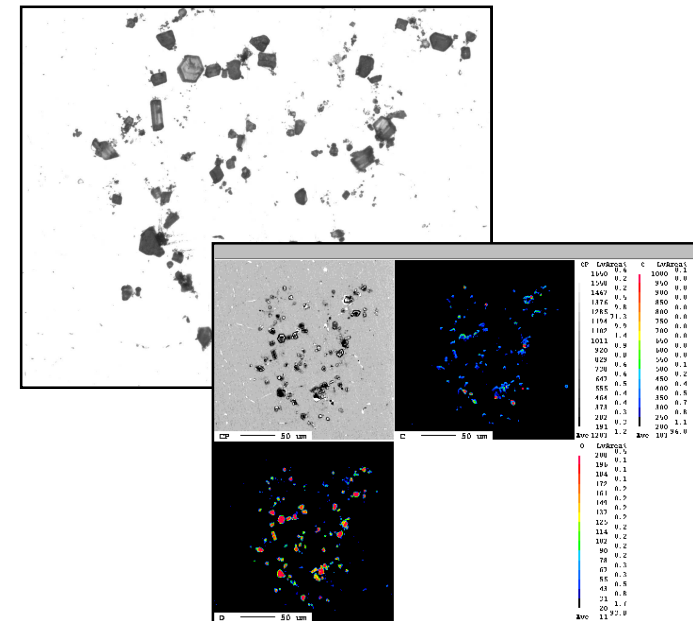
# Präparation: Fehlermöglichkeiten

## Beispiel 4: Beurteilung von Verunreinigungen

Al-Karbide frisch präpariert



Al-Karbide nach 8 Tagen Lagerung



## Ergebnis:

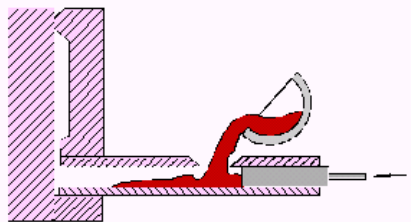
Die Karbide sind stark hygroskopisch und wandeln sich mit Feuchtigkeit aus der umgebenden Luft in Al-Oxid um. Beide Einschlussformen haben jedoch einen unterschiedlichen Ursprung. Die Karbide entstehen bei der Elektrolyse, sind also bereits in dem Metall (Masse) vorhanden. Die Oxide hingegen entstehen während des Schmelzprozesses und können vom Gießer durch geeignete Maßnahmen vermieden werden.

$$2 \text{Al}_4\text{C}_3 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{CH}_4 + 4 \text{Al}_2\text{O}_3$$

# Fertigungsschritte von Aluminium

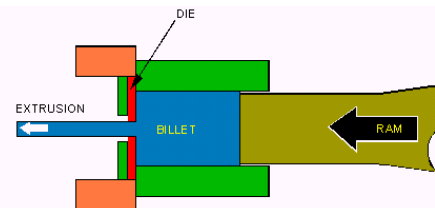
## Formguß

1. Giessen
2. Wärmebehandlung
3. Aushärtung



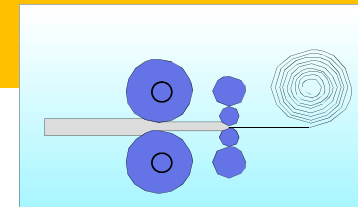
## Strangpressen

1. Giessen
2. Homogenisierung
3. Strangpressen
4. Wärmebehandlung
5. Aushärtung



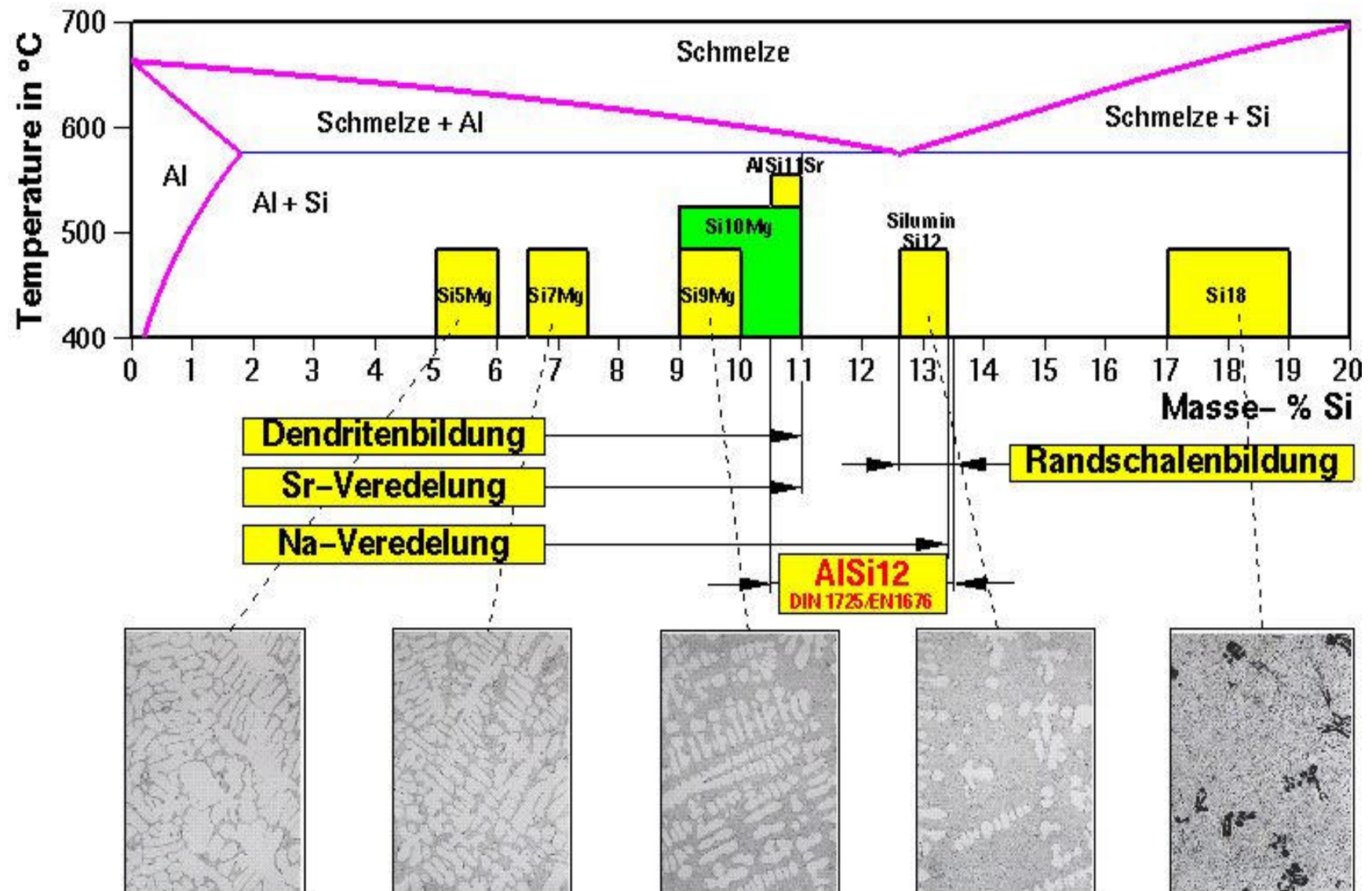
## Walzen

1. Giessen
2. Homogenisierung
3. Warmwalzen
4. Kaltwalzen
5. Wärmebehandlung





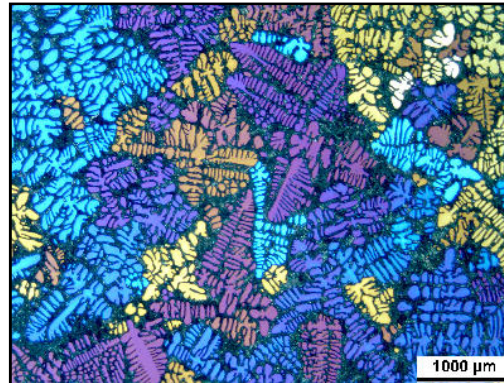
# Gefügebeurteilung Gusslegierung



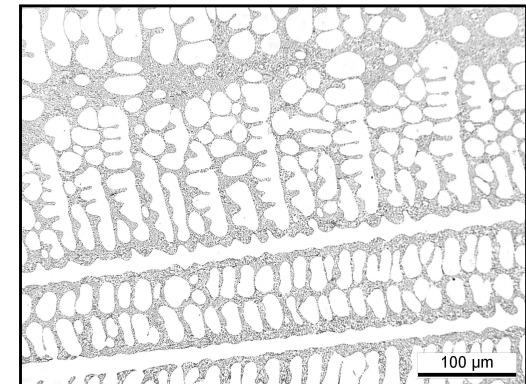
# Gefügebeurteilung Gusslegierung / Korn und DAS

- Barker Anodisation / polarisiertes Licht = **Korngefüge**
- Ungeätzt / Hellfeld = **Dendriten Armabstand (DAS)** – Abkühlrate

Korngefüge



DAS

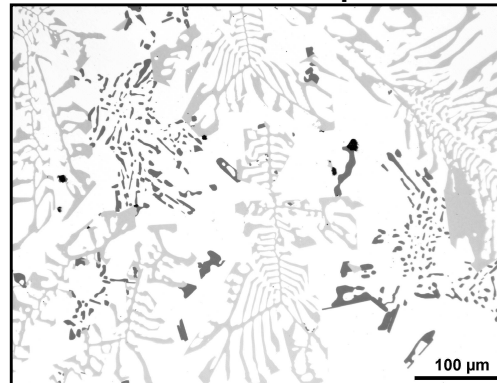


Dendriten Armabstand (DAS) / Gusslegierung = Zelle / Knetlegierung

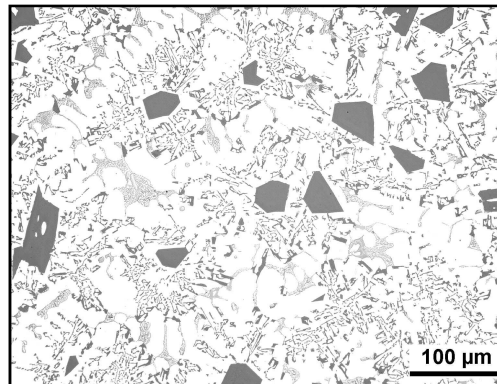
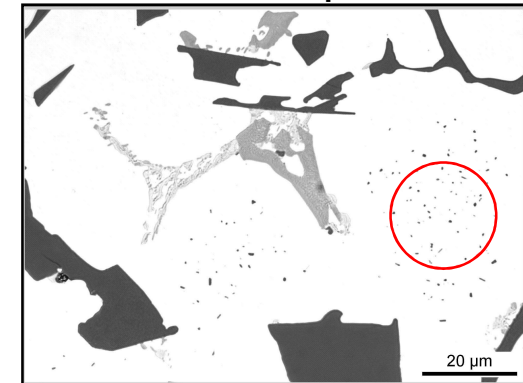
# Gefügebeurteilung Gusslegierung / Ausscheidungsgefüge

- Polierter Zustand = **Gussphasen** und **Primärphasen**
- Geätzter Zustand = **Sekundärphasen (SA)**

Guss- / Primärphasen



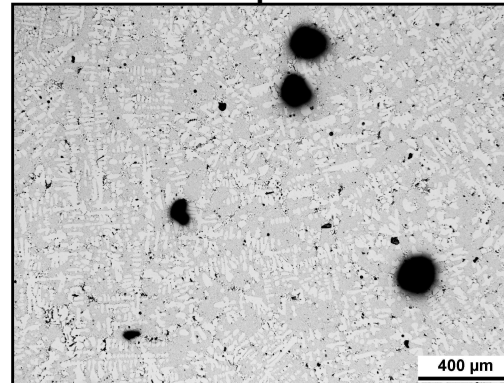
Sekundärphasen



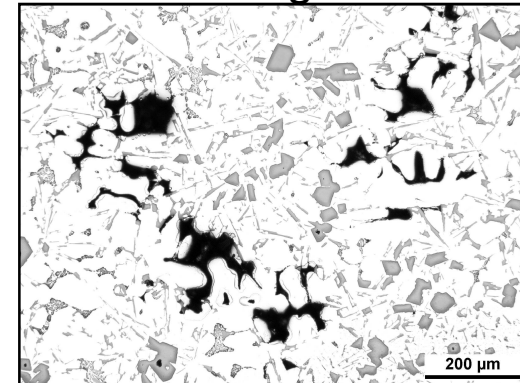
# Gefügebeurteilung Knet- + Gusslegierung / Porositäten

- Polierter Zustand = **Porositäten**

Gasporen



Erstarrungslunker



## Gasporen:

- Hervorgerufen durch die Ausscheidungen von Wasserstoff, während der Erstarrung.
- Durch Einschließen von Luft und Kerngas während der Formfüllung.

## Lunker:

- Hervorgerufen durch den Volumenverlust (Erstarrungsschrumpfung), unregelmäßige und zerklüftete Hohlräume.

Wenn Lunker und Poren mit dem normalsichtigen Auge festgestellt werden können, spricht man von Makroporosität, andernfalls handelt es sich um Mikroporosität.

Lunker sind Keimstellen für Wasserstoffausscheidung

**Eine Unterscheidung auf Grund des Aussehens dieser beiden Arten ist im Schliff jedoch nur in wenigen Fällen möglich!**



# Gefügebeurteilung Gusslegierung

Legierung AlSixx

## Beeinflussung des eutektischen Si

1. Veredelung mit Natrium oder Strontium
2. Abkühlgeschwindigkeit
3. Wärmebehandlung
4. Feinung mit Sb

### 1. Veredelung mit Natrium oder Strontium

- Na-Zugabe meist in Tablettenform als Natrium abgebendes Salz
- Zielgröße ca. 60 ppm Na (erforderliche Zugabemengen bewegen sich in einer Größenordnung von 0,1 bis 0,2% Salz)
- Einsatz überwiegend bei Sandguss
- Na starkes Abbrandverhalten
- Sr-Zugabe meist als Vorlegierung (metallische Form)
- Vorteil Dauerveredelung / Sehr schwaches Abbrandverhalten
- Einsatz überwiegend bei Kokillenguss
- Zielgröße ca. 150 ppm Sr

**Im Sandguss lässt sich auch bei sehr hohen Sr-Zugaben keine mit Natrium vergleichbare Veredelungswirkung erzielen.**

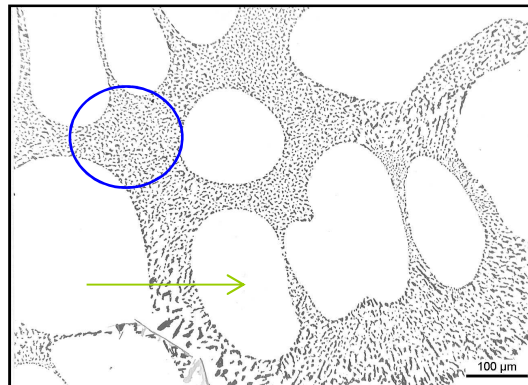
# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSi10Mg

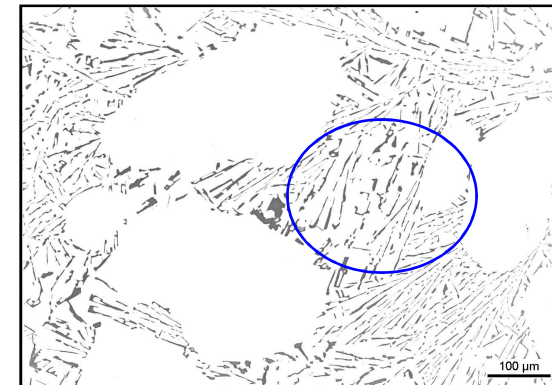
- AlSi-Eutektikum (körnig, veredelt und lamellar)
- $\alpha$ -Mischkristalle



Mittl. Phasenfläche	87 $\mu\text{m}^2$
Mittl. Phasenlänge	18 $\mu\text{m}$
Mittl. Formfaktor	3,6
Phasenanzahl pro 1000 $\mu\text{m}^2$	1,5



Mittl. Phasenfläche	8 $\mu\text{m}^2$
Mittl. Phasenlänge	4 $\mu\text{m}$
Mittl. Formfaktor	1,5
Phasenanzahl pro 1000 $\mu\text{m}^2$	22,0



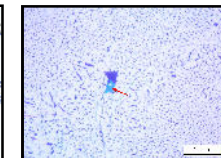
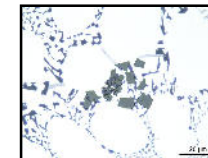
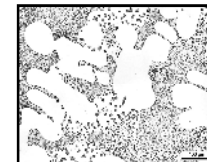
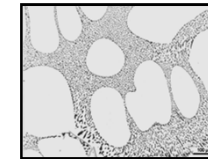
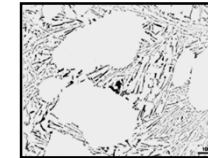
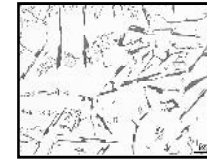
Mittl. Phasenfläche	45 $\mu\text{m}^2$
Mittl. Phasenlänge	14 $\mu\text{m}$
Mittl. Formfaktor	2,8
Phasenanzahl pro 1000 $\mu\text{m}^2$	3,9

# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSiXX

- Qualitative Gefügebeurteilung des Veredelungsgrads

Beschreibung der Si-Ausbildung	Interpretation / Bewertung	Ursache
Relativ große, bizarre, polyederförmige Platten „körnig“	unveredelt	Keine Na- oder Sr-Zugabe bei Sand- und Kokillenguss
Si-Ausscheidungen in lamellarer Anordnung, fächerartig ausgebreitet „lamellar“ *	unveredelt	Keine Na- oder Sr-Zugabe bei Sand- und Kokillenguss oder unwirksame Zugabe von Veredlungsmitteln (z.B. durch P oder Sb)
Bereiche mit Resten von körniger und lamellarer Gefügeausbildung	unterveredelt	Unvollständig veredelt, Na- oder Sr-Zugabemenge ungenügend oder nicht ausreichend wirksam
Si-Ausscheidungen sehr fein, abgerundet und homogen verteilt „veredelt“	veredelt	Na- oder Sr-Zugabe
Überveredelungsadern / -bänder mit vergrößertem Si, aber abgerundet	überveredelt	Na-Zugabe zu hoch
Dunkle, eckige Kristalle (Sr-Silizide)	überveredelt	Sr-Zugabe zu hoch
Si-Ausscheidungen fein, aber nicht so fein wie beim veredelten AlSi-Eutektikum, ohne Abrundung	gefeint	Sb-Zugabe



# Gefügebeurteilung Gusslegierung

Legierung AlSixx

## 1. Abkühlgeschwindigkeit

### Sandguss:

- Sehr langsame Abkühlgeschwindigkeit → grobe Gefügebildung
- Dendritenarmabstand ca. 45-80  $\mu\text{m}$  (abhängig von Wanddicke)
- Na-Zugabe zur Veredelung üblich; Sr-Zugabe erzielt nur geringe Wirkung

### Kokillenguss:

- Mittlere Abkühlgeschwindigkeit → feinere Gefügebildung als beim Sandguss
- Dendritenarmabstand ca. 15-45  $\mu\text{m}$  (abhängig von Wanddicke)
- Sr-Zugabe zur Veredelung üblich

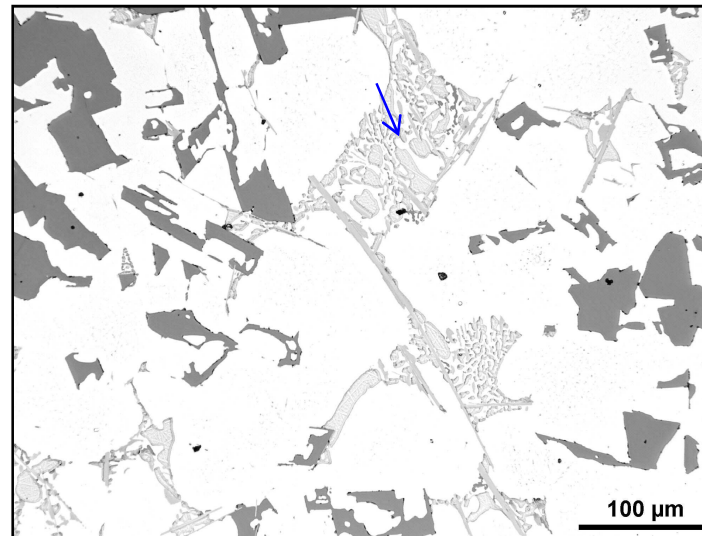
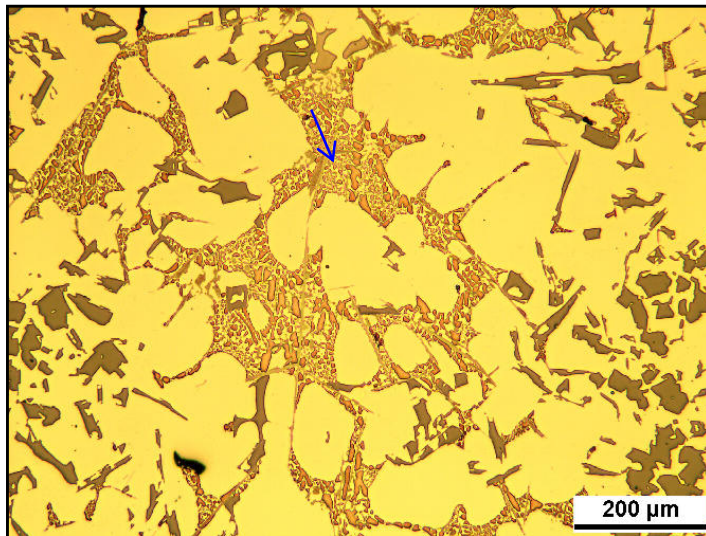
### Druckguss:

- Sehr schnelle Abkühlgeschwindigkeit → feine Gefügebildung
- Dendritenarmabstand ca. 5-15  $\mu\text{m}$  (abhängig von Wanddicke)
- Sr-Zugabe selten praktiziert, da Gefügebildung meist schon sehr fein ist; Na-Zugabe unüblich

# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSi8Cu3

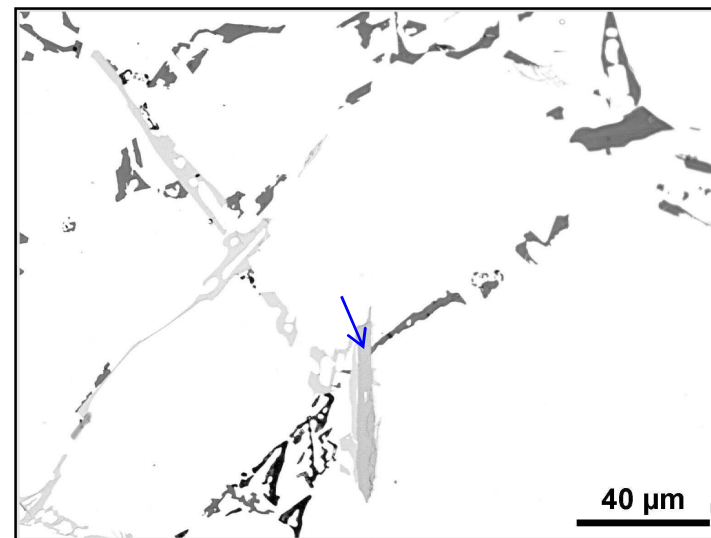
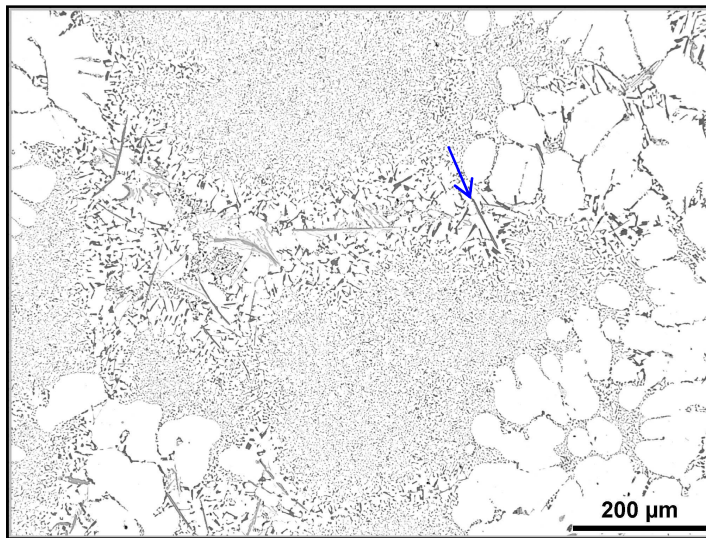
- Cu-Phasen ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ )



# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSi7Mg

- AlFeSi - Platten ( $\text{Al}_5\text{FeSi}$ )

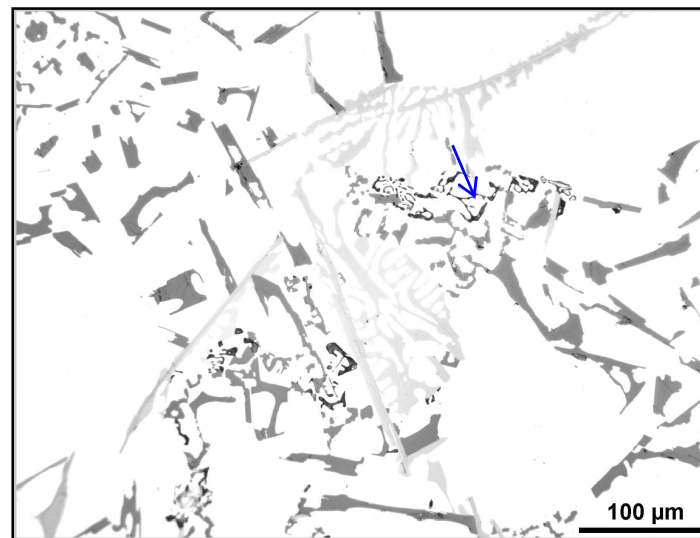




# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSi7Mg

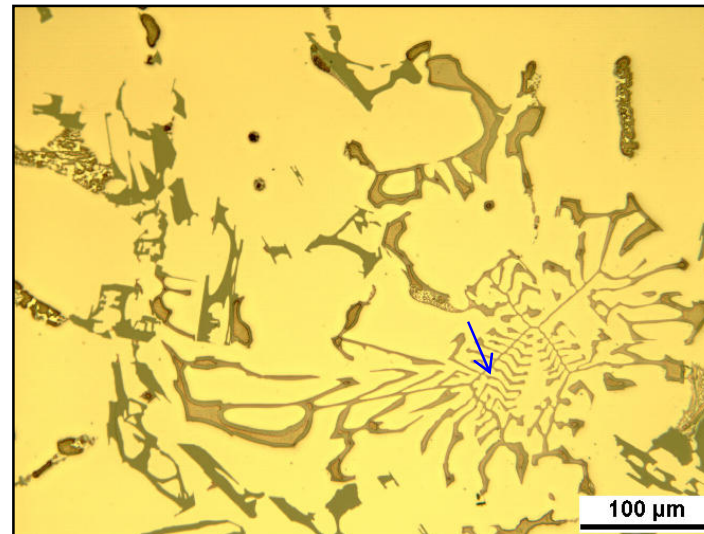
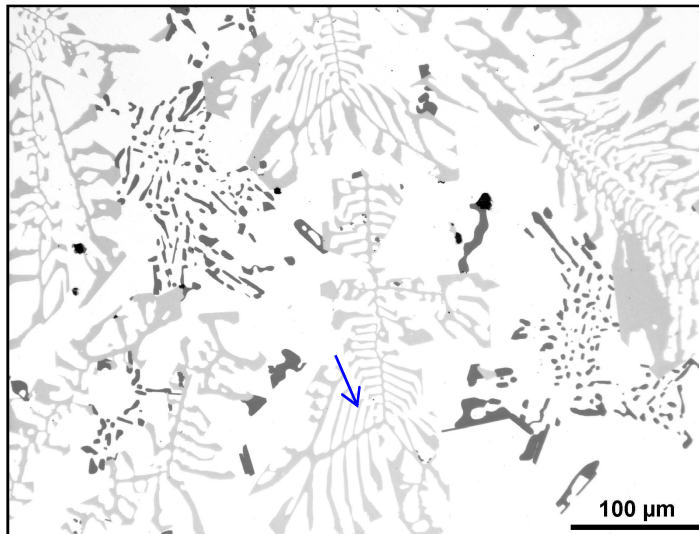
- $\text{Mg}_2\text{Si}$ -Phasen (frisch poliert = blau schimmernd, nach längerer Lagerungszeit = schwarz)



# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Untereutektische Legierung AlSi8Cu3

- Mn-Skelette  $[\text{Al}_{15}(\text{Mn, Fe})_3\text{Si}_2]$

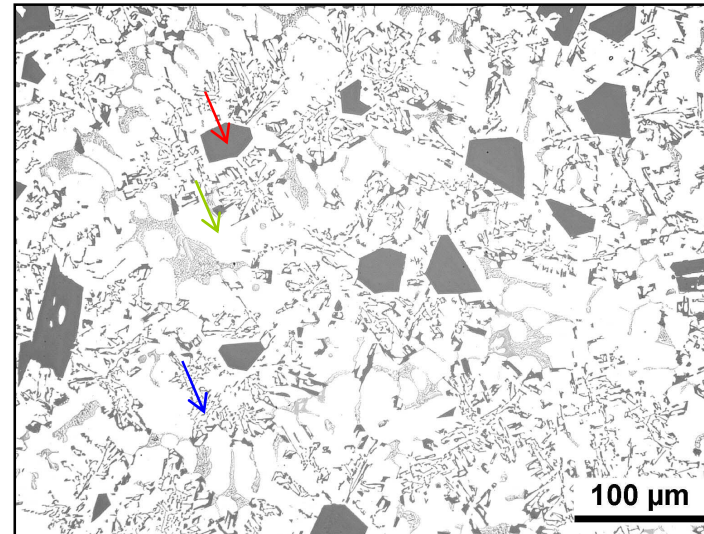
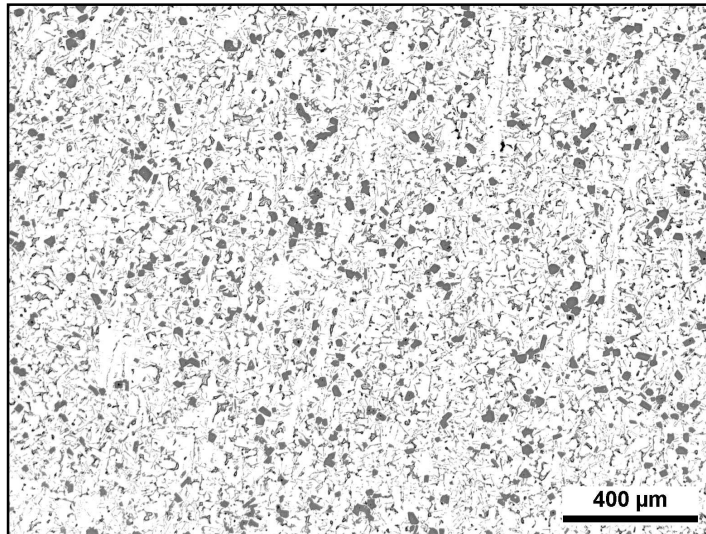




# Gefügebeurteilung Gusslegierung

## Übereutektische Legierung AlSi12

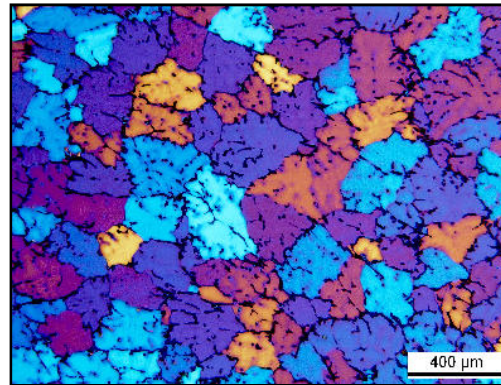
- prim. Si-Kristalle
- AlSi-Eutektikum
- $\alpha$ -Mischkristalle



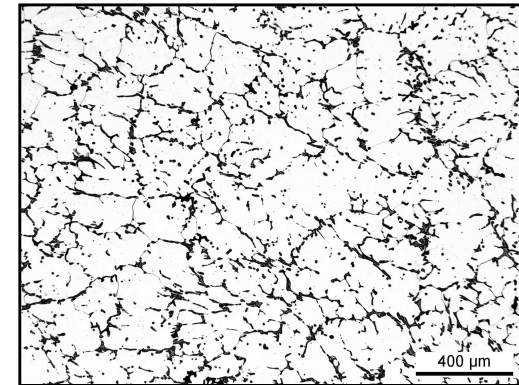
# Gefügebeurteilung Knetlegierung / Korn und Zelle

- Barker Anodisation / polarisiertes Licht = **Korngefüge**
- Barker Anodisation / Hellfeld = **Zellgefüge** – Abkühlrate
- Barker Anodisation / Hellfeld = **Randseigerung bei Walz- und Pressbarren**

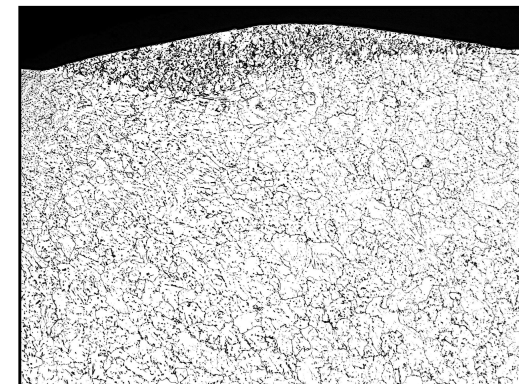
Korngefüge



Zellgefüge

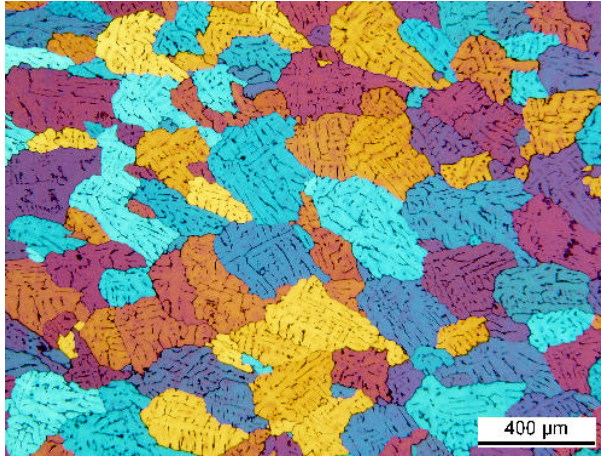


Randseigerung

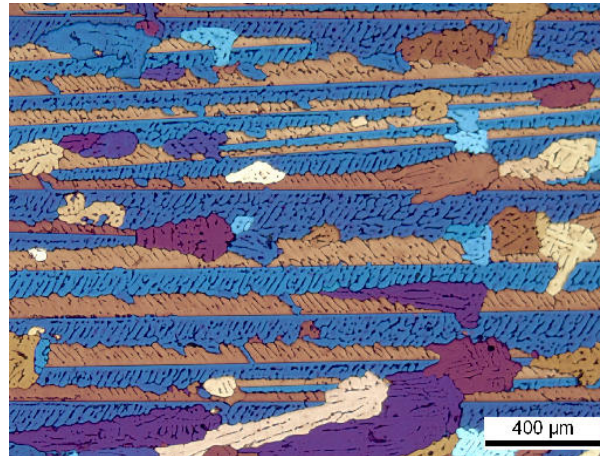




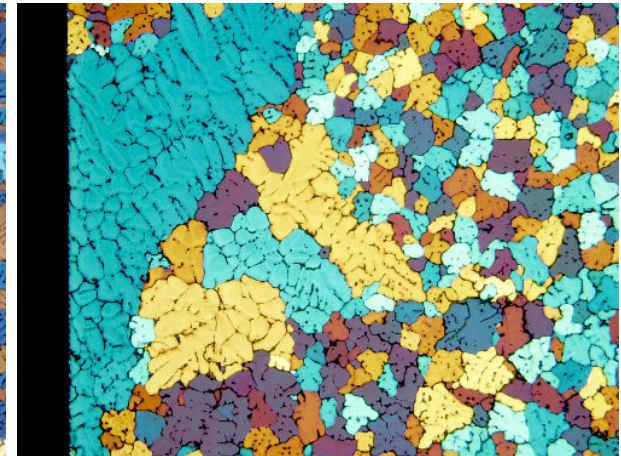
# Ausbildungsformen Korngefüge im Guss



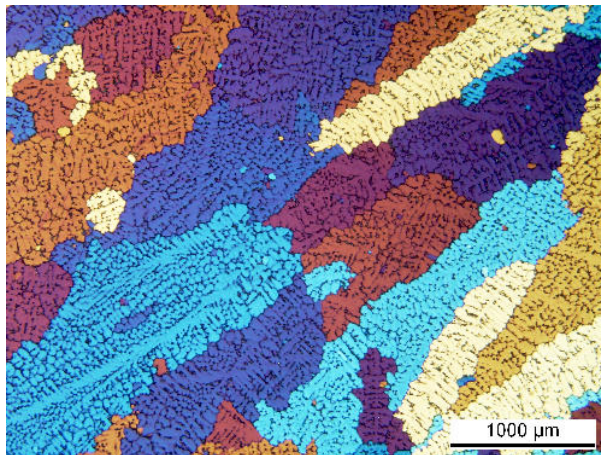
Globulitisches Korngefüge



Fiederkristalle



Schwebekristalle

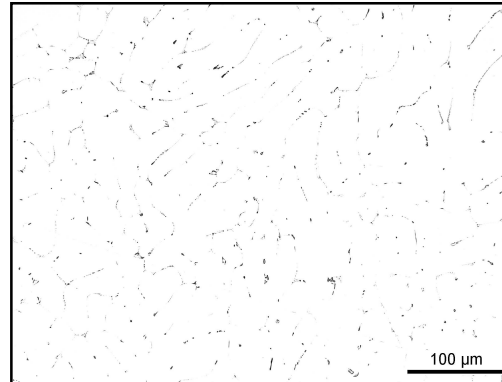


Stengelkristalle

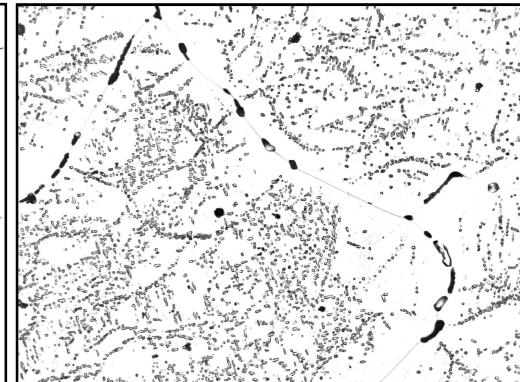
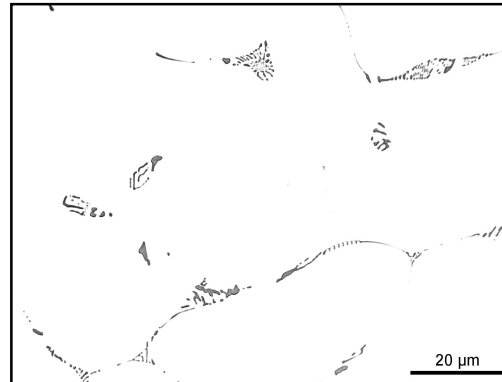
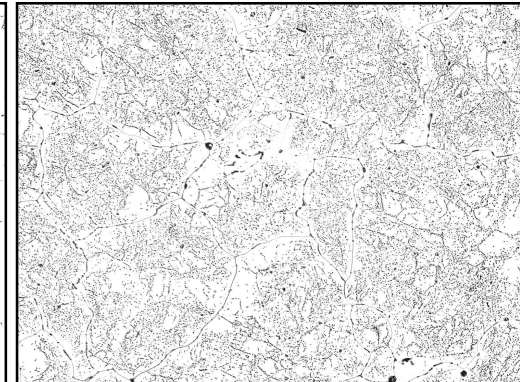
# Gefügebeurteilung Knetlegierung / Ausscheidungsgefüge

- Polierter Zustand = **Gussphasen** oder **Primärphasen (PA)**
- Polierter Zustand = **Verunreinigungen / Einschlüsse und Porositäten**
- Geätzter Zustand = **Sekundärphasen (SA)**

Gussphasen

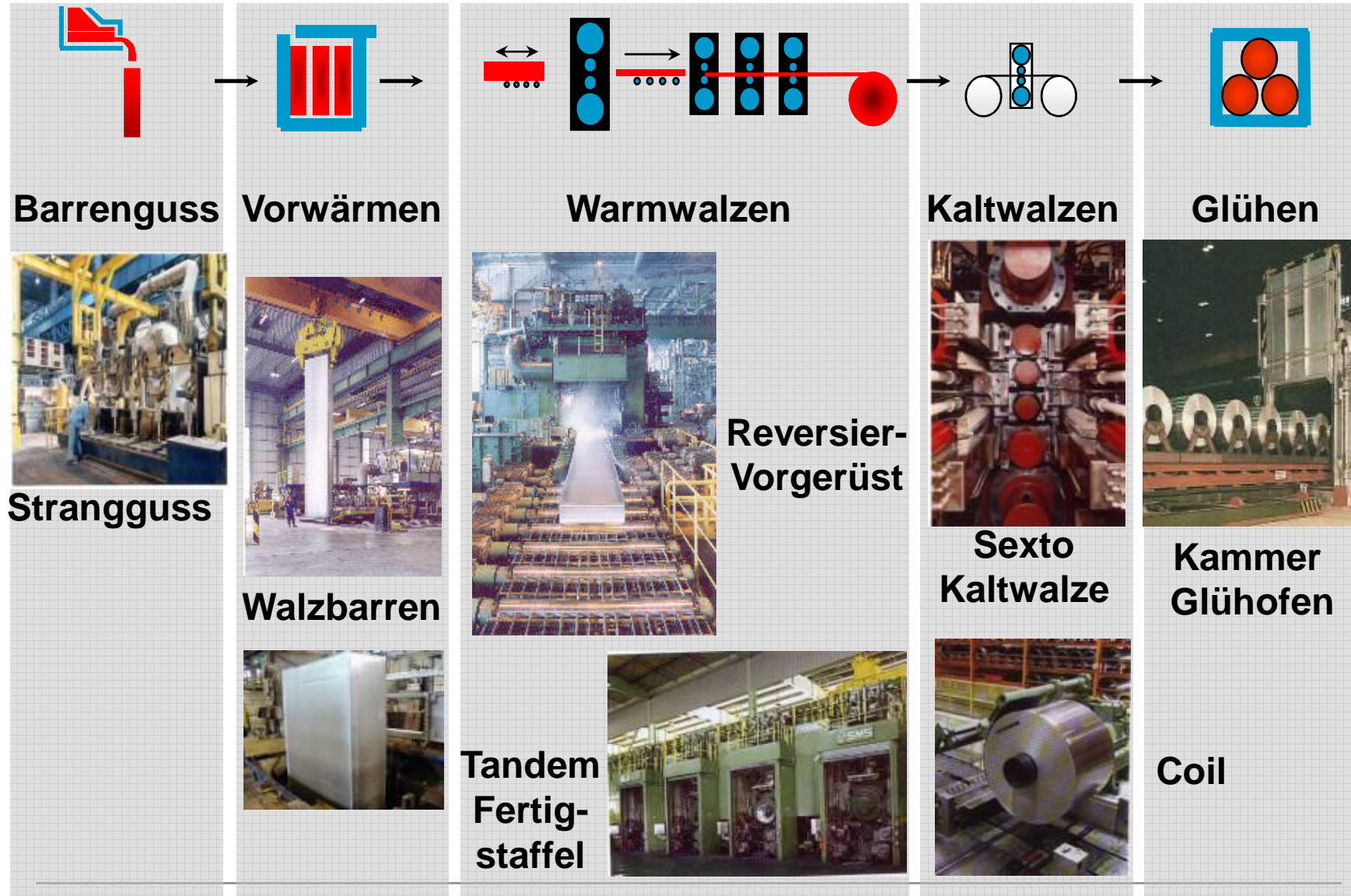


Sekundärphasen

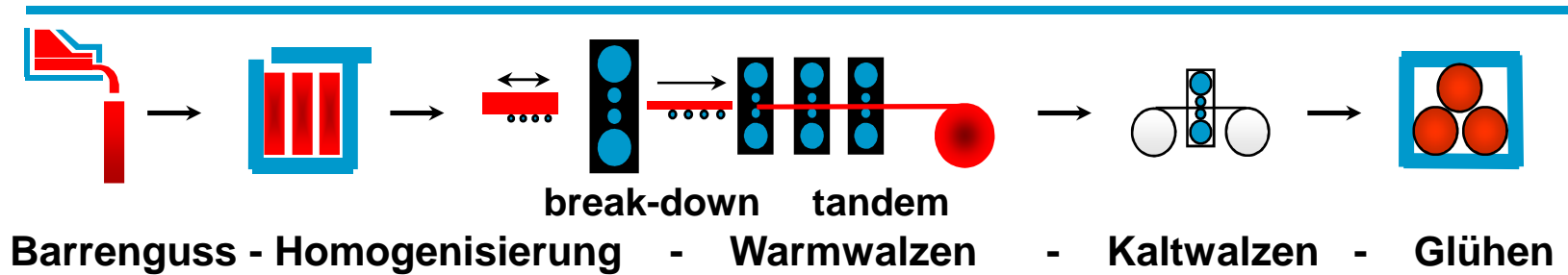




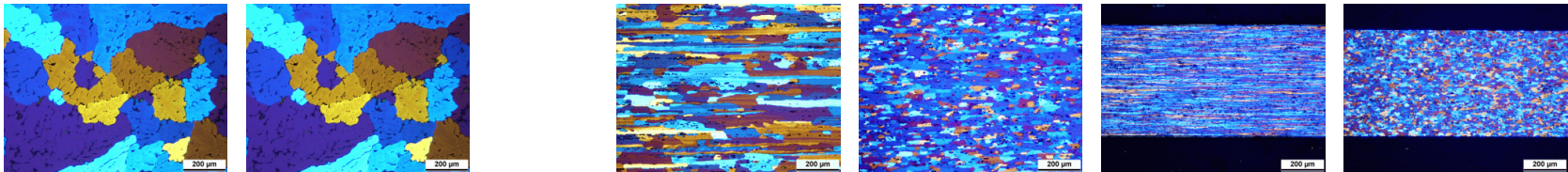
# Großtechnische Walzbandfertigung (AluNorf - Neuss)



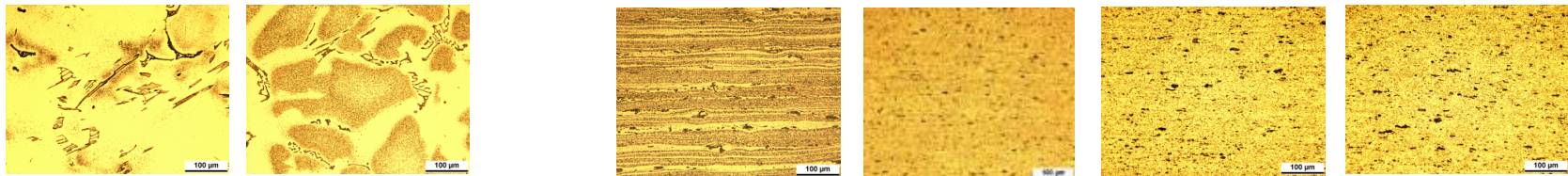
# Gefügeentwicklung Knetlegierung / Bandfertigung



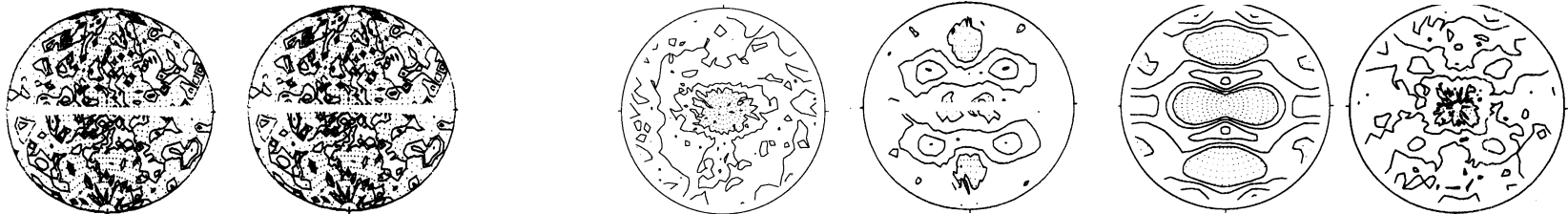
**Korn-  
gefüge :**



## Teilchen 2.Phase :

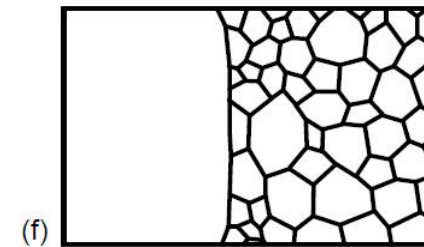
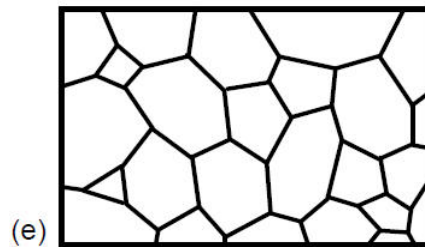
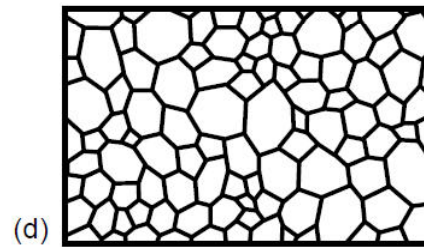
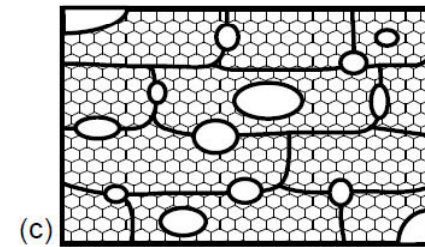
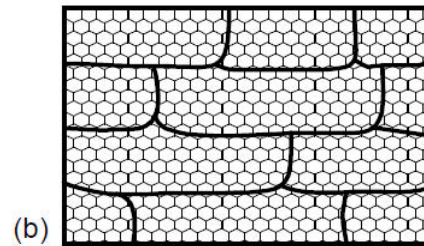
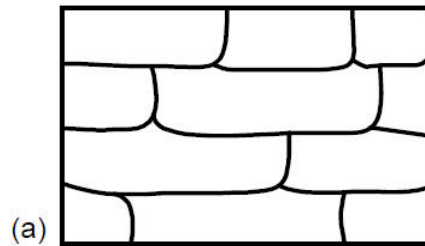


**Textur :**



# Gefügebeurteilung Knetlegierung / Korngefüge

## Schema der Gefügeänderungen



a) verformte Struktur

b) erholte Subkornstruktur

c) teil-rekristallisiertes Gefüge

d) voll-rekristallisiertes Gefüge

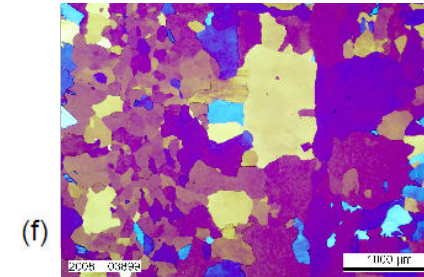
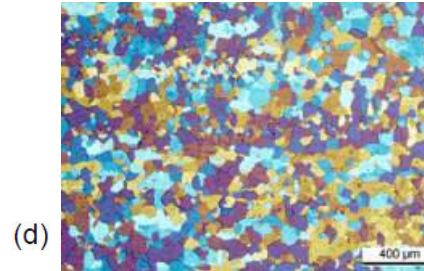
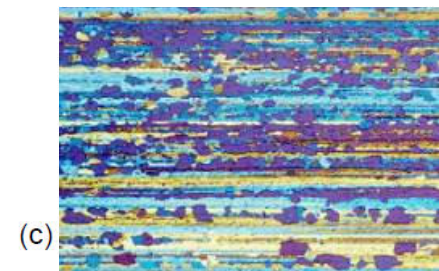
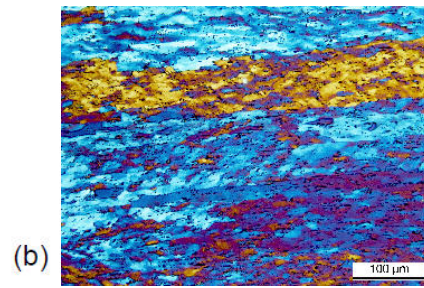
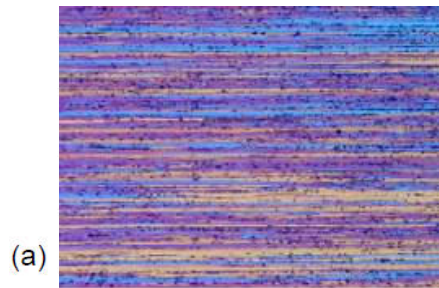
e) stetige Kornvergrößerung

f) unstetige Kornvergrößerung



# Veränderung Korngefüge

## Schema der Gefügeänderungen



a) verformte Struktur

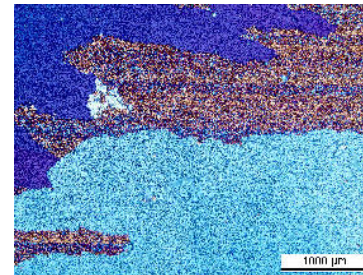
b) erholte Subkornstruktur

c) teil-rekristallisiertes Gefüge

d) voll-rekristallisiertes Gefüge

e) stetige Kornvergrößerung

f) unstetige Kornvergrößerung





# Korngefüge nach Walzen und Glühen

## Legierung AlMg4.5Mn0.4

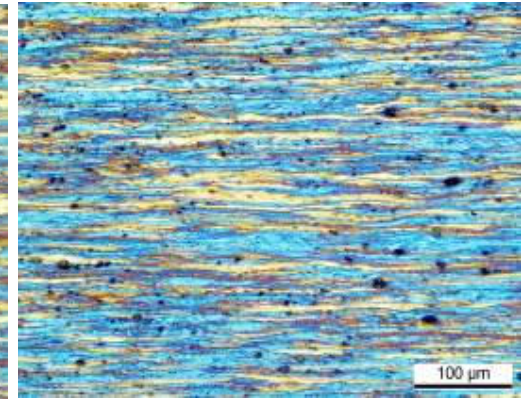
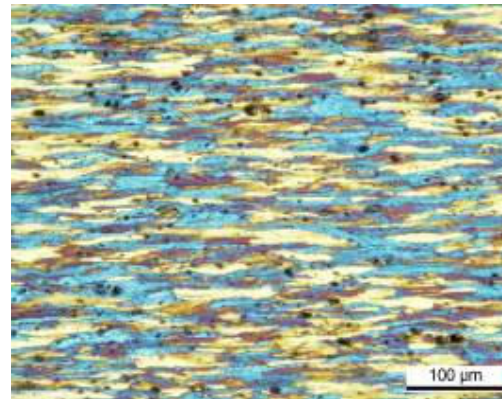
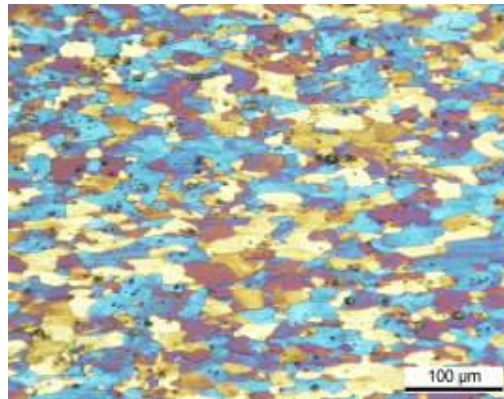
**Walzgrad**

**24 %**

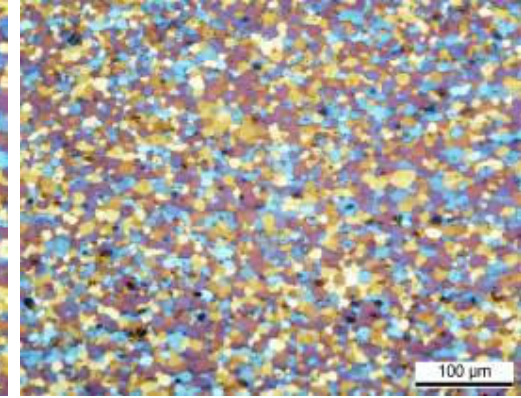
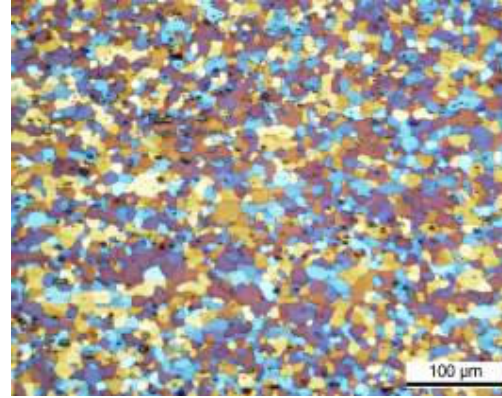
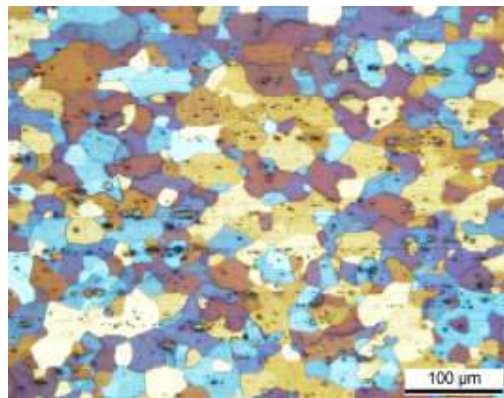
**65%**

**82%**

gewalzt



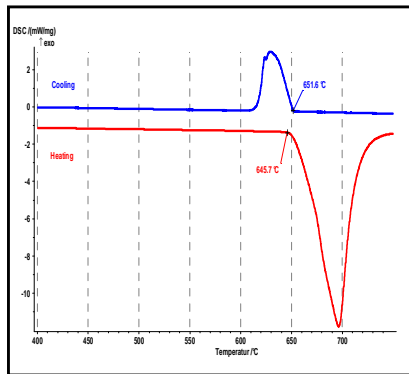
geglüht  
30' bei  
350°C



## Legierung Al99,5

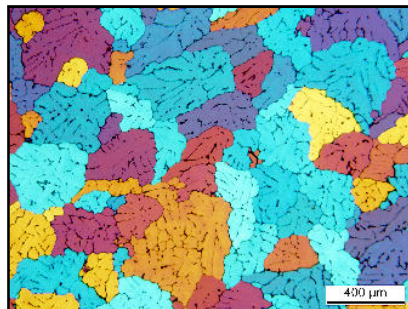
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



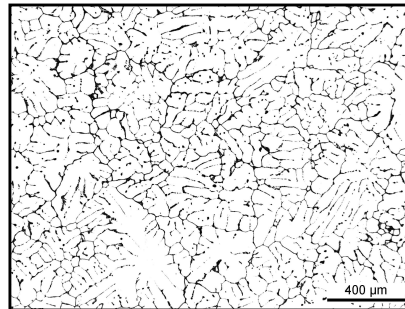
Liquidus	= 652°C
Solidus	= 646°C

Grain structure



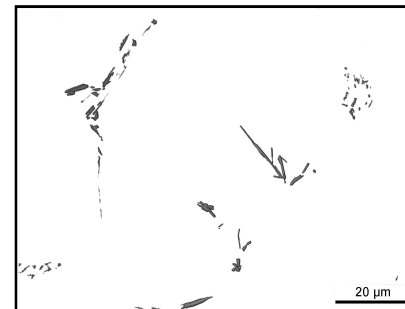
Grain diameter 267 µm

Cell structure



Cell diameter 38 µm

Constituent phases

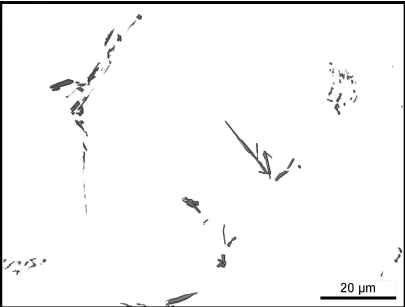


Phase area 1 µm<sup>2</sup>

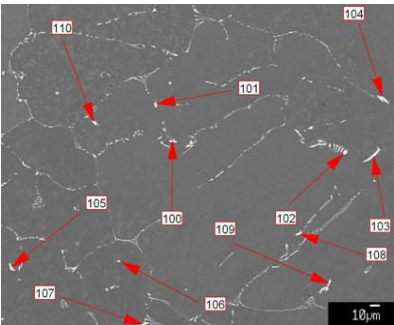
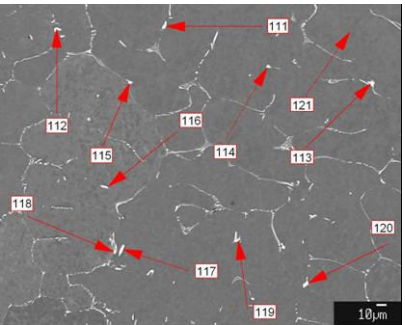
Legierung Al99,5

Sheet Ingot – D/4 / as cast

Constituent phases



1. Al<sub>3</sub>Fe



Pos.	Si	Fe	Ni
100	0.9	26.9	0.3
102	0.1	16.9	0.1
103	0.8	25.5	0.1
104	0.9	34.5	0.4
106	0.6	31.0	0.2
107	0.5	24.5	0.4
108	1.0	25.5	0.1
109	1.0	24.5	0.3

Pos.	Si	Fe	Ni
111	0.9	33.5	0.3
112	0.7	33.4	0.4
113	1.1	33.7	0.7
114	1.1	34.1	0.7
116	0.9	29.7	0.5
117	0.5	16.9	0.1
118	0.5	13.1	0.1
120	1.1	25.8	0.3

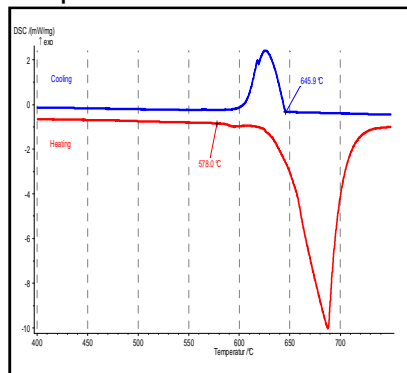
121 **	0,1
--------	-----

Quantitative Analyse  
(Angaben in Gewicht%)  
Die Positionen 101, 105, 110, 115 und 119 wurden nur qualitativ gemessen.  
\*\* Matrix

# Legierung AlMn1Mg1Cu

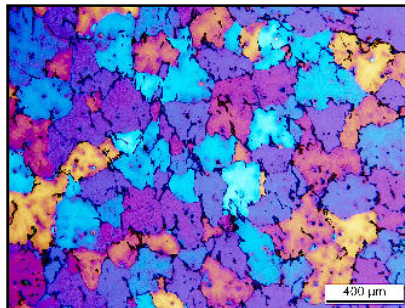
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



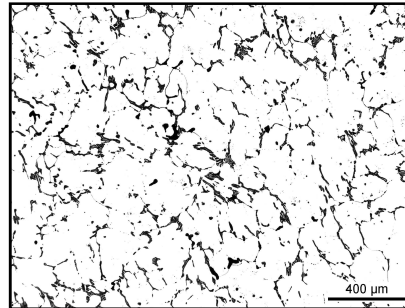
Liquidus	= 646°C
Solidus	= 578°C

Grain structure



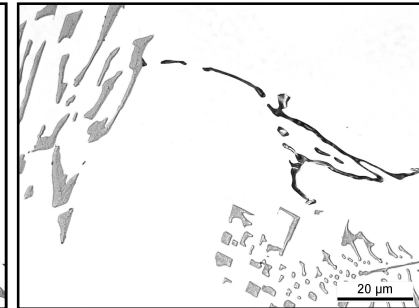
Grain diameter 183 µm

Cell structure



Cell diameter 59 µm

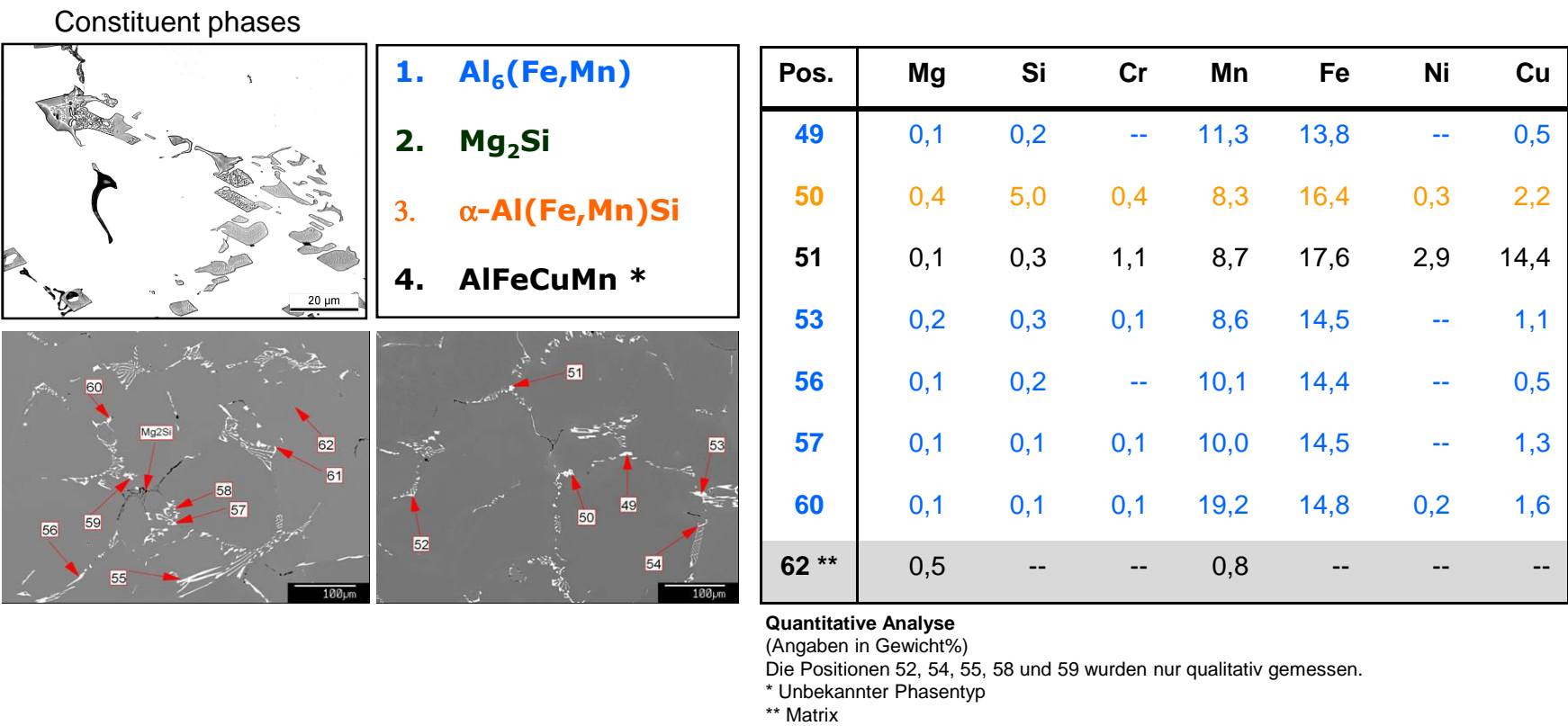
Constituent phases





Legierung AlMn1Mg1Cu

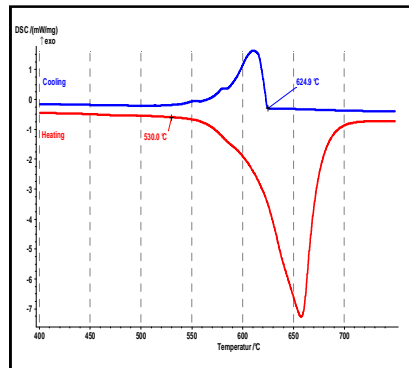
Sheet Ingot – D/4 / as cast



# Legierung AlMg4.5Mn0.4

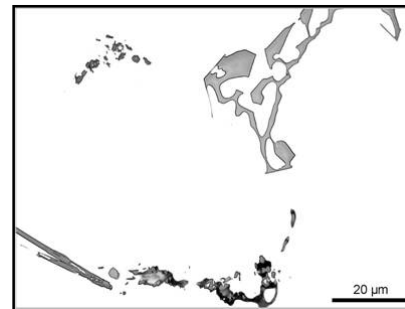
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus

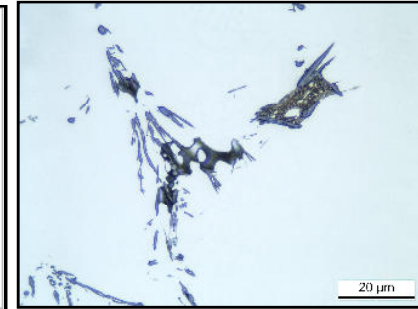


Liquidus = 652°C  
Solidus = 646°C

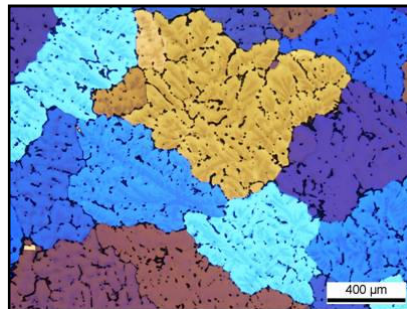
Constituent phases



Phase area 13 μm<sup>2</sup>

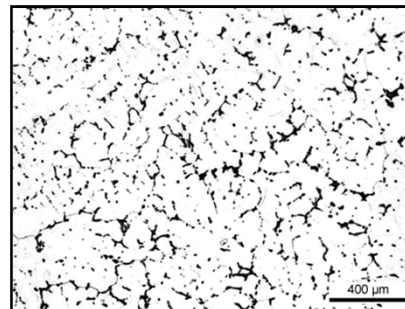


Grain structure

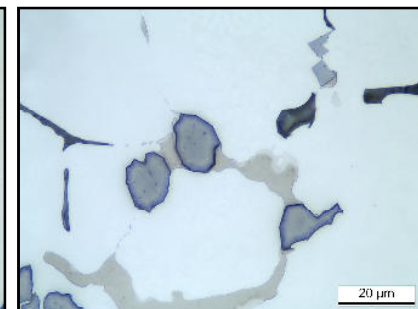
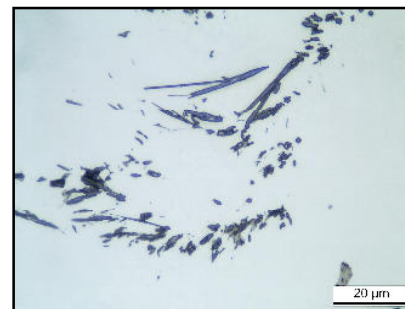


Grain diameter 417 μm

Cell structure



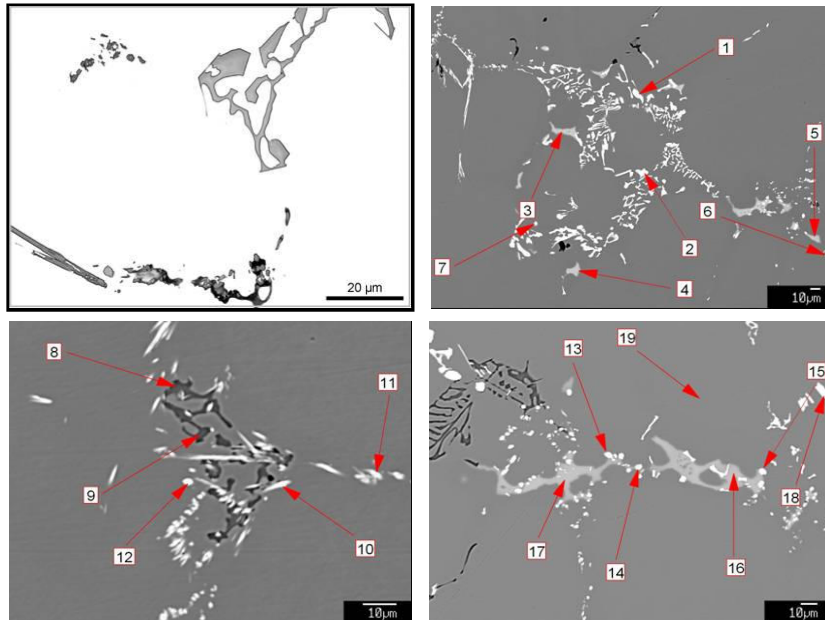
Cell diameter 55 μm



# Legierung AlMg4.5Mn0.4

Sheet Ingot – D/4 / as cast

Constituent phases



**1. Al<sub>6</sub>(Mn, Fe)**

**2. Mg<sub>2</sub>Si**

**3. AlMgCu**

**4. AlFeMnMg**

Pos.	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	0.1	0.5	0.1	6.4	29.3	0.3	0.5
2	0.1	0.5	0.1	6.2	29.9	0.3	0.6
3	29.7	--	--	0.1	0.1	0.2	9.9
4	28.3	1.2	--	0.1	--	0.1	9.1
5	30.6	--	--	0.1	--	0.1	9.5
6	0.4	0.4	0.1	6.3	28.7	0.3	0.7
7	25.3	0.9	--	0.2	0.1	0.3	17.2
10	4.1	0.8	0.1	4.7	21.9	0.2	0.7
11	4.3	0.2	0.1	3.3	14.4	0.2	0.5
12	2.4	0.3	0.1	4.7	23.6	0.2	0.7
13	3.9	0.3	0.1	5.4	24.9	0.3	1.8
14	2.6	0.2	0.1	4.4	20.4	0.3	1.2
15	0.3	0.5	0.1	6.7	29.5	0.3	0.7
16	28.4	--	--	0.1	0.1	0.1	11.0
17	29.8	--	--	0.1	0.1	0.1	12.4
18	0.1	0.5	0.1	7.0	29.2	0.3	0.6
19**	6.2	--	--	0.2	--	--	0.1

## Quantitative Analyse

(Angaben in Gewicht%)

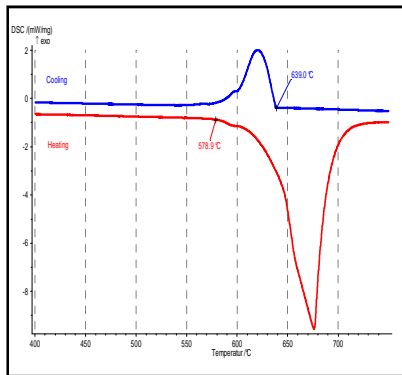
Die Positionen 8 und 9 wurden nur qualitativ gemessen.

\*\* Matrix

# Legierung AlMg3Mn

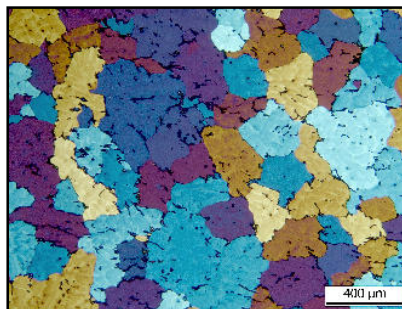
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



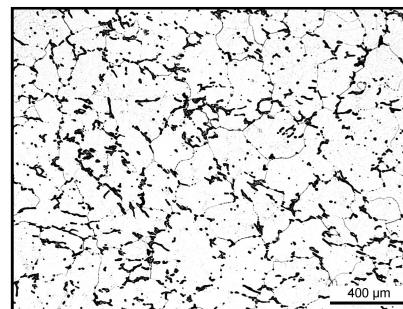
Liquidus	= 639°C
Solidus	= 579°C

Grain structure



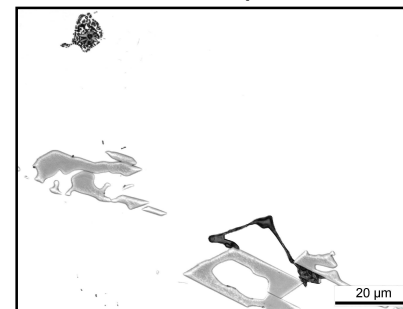
Grain diameter 222 µm

Cell structure



Cell diameter 71 µm

Constituent phases



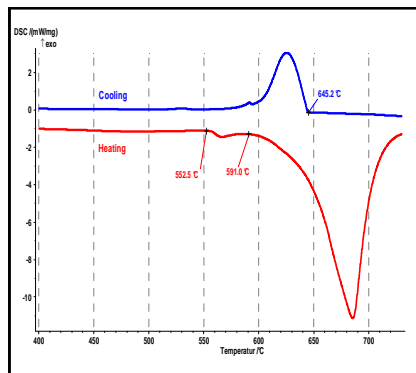
Phase area 28 µm²



# Legierung AlMg0.4Si1.2

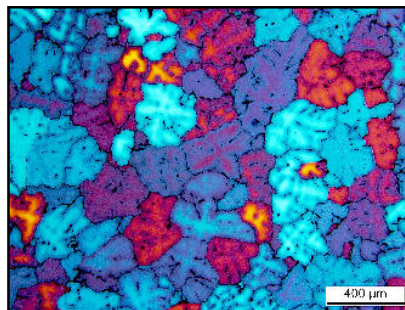
Sheet Ingot - center / as cast

Liquidus / Solidus



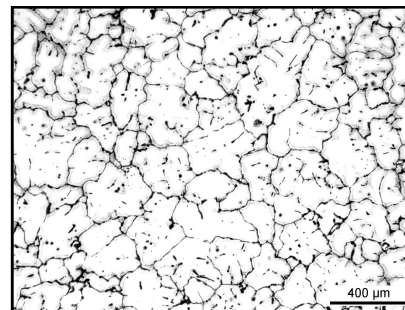
Liquidus	= 645°C
Solidus	= 591°C

Grain structure



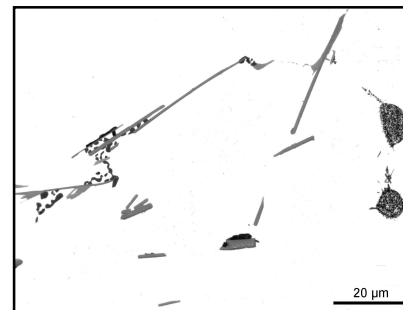
Grain diameter 205 µm

Cell structure



Cell diameter 55 µm

Constituent phases

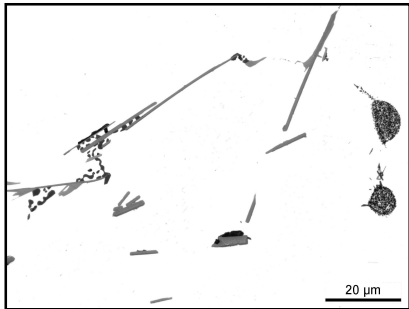


Phase area 7 µm²

Legierung AlMg0.4Si1.2

Sheet Ingot - center / as cast

Constituent phases

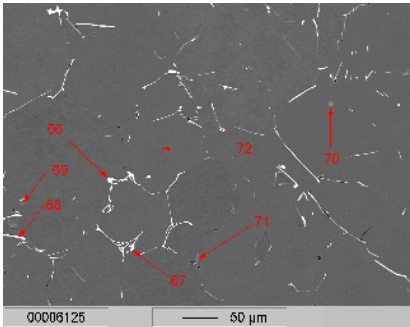
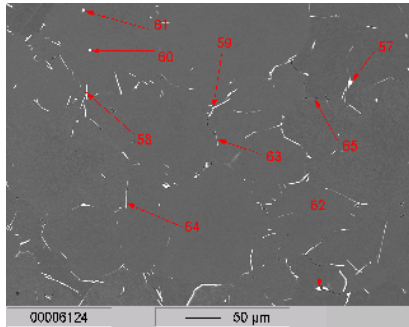


1. AlFeSi

2. Mg<sub>2</sub>Si

3. α-Al(Fe,Mn)Si

4. Al<sub>8</sub>FeMg<sub>3</sub>Si<sub>6</sub> Pos.60



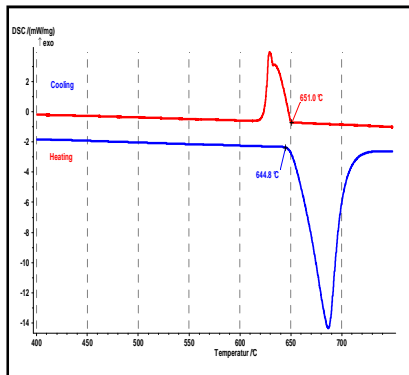
Pos.	Mg	Si	Mn	Fe	Ni	Cu	Rest Al
57	--	14,8	1,0	24,9	--	0,6	
58	0,1	20,1	0,9	22,7	0,3	0,5	
59	--	17,2	0,9	22,1	0,1	0,5	
60	2,7	14,5	1,7	21,3	0,3	1,3	
61	0,2	11,5	2,8	25,1	0,3	1,3	
62	0,1	29,1	6,1	18,8	0,2	0,5	
65	Mg <sub>2</sub> Si-Phase						
66	--	9,6	2,7	26,2	--	0,5	
67	0,1	9,1	2,4	25,1	--	0,1	
68	1,1	17,0	1,0	23,0	0,1	0,2	
69	rundliches Agglomerat						
70	rundliches Agglomerat						
72 **	0,5	1,1	--	--	--	--	

Quantitative Analyse  
(Angaben in Gewicht%)  
Die Positionen 63, 64, 69-71 wurden nur qualitativ gemessen.  
\*\* Matrix

# Legierung AlFe1Si

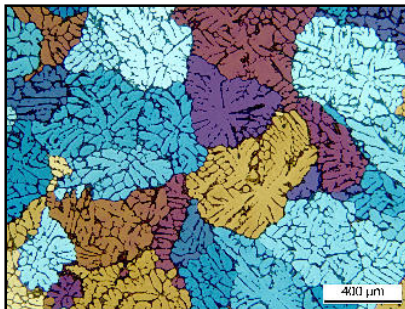
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



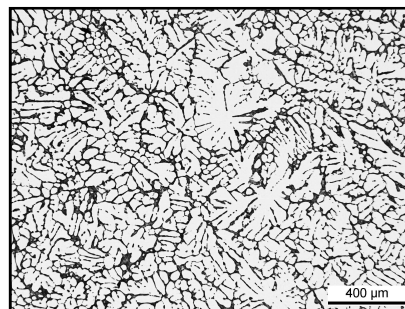
Liquidus = 651 °C  
Solidus = 645 °C

Grain structure



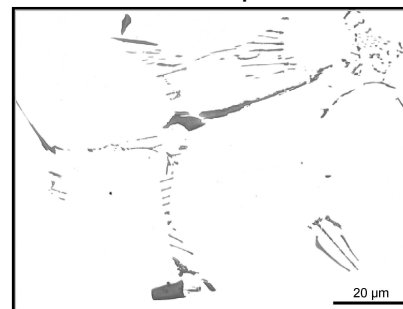
Grain diameter 157 µm

Cell structure



Cell diameter 33 µm

Constituent phases

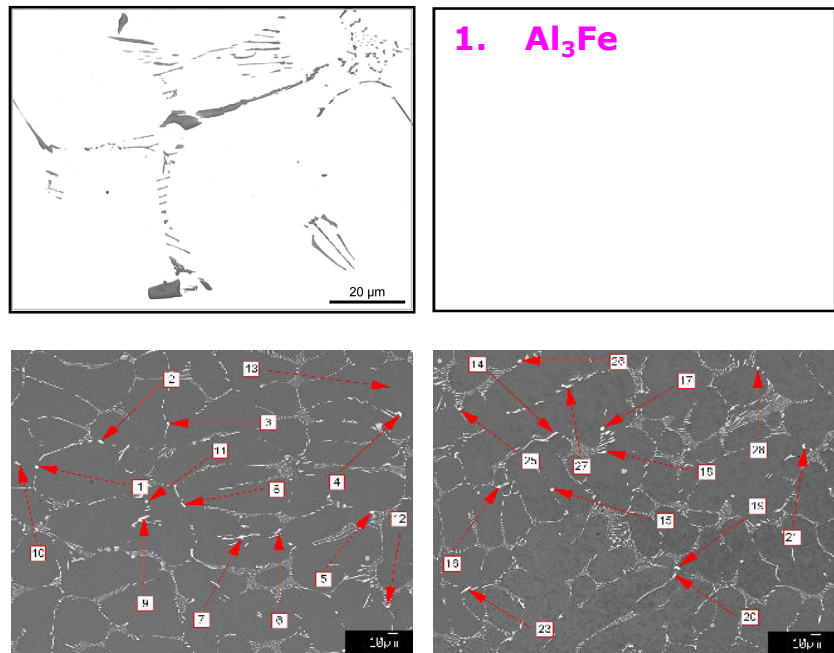


Phase area 1.4 µm<sup>2</sup>

Legierung AlFe1Si

Hot rolling strip (28 mm)

Constituent phases



Pos.	Si	Fe	Ni	Cu
1	0.4	33.0	0.2	0.2
3	0.4	25.3	0.1	0.1
4	1.1	34.6	1.4	0.3
5	0.3	33.9	0.4	0.3
6	0.4	20.7	--	--
7	0.4	23.4	0.2	0.1
8	0.4	24.3	--	--
9	0.3	19.9	0.3	0.1
12	0.4	29.5	0.2	0.1
13 **	0.1	0.1	--	--
14	0.3	32.2	--	--
15	0.6	33.3	0.8	--
16	0.3	17.7	0.2	--
17	0.5	30.6	0.2	0.3
18	0.5	24.8	0.1	--
19	0.4	30.4	0.2	0.1
22	0.5	31.2	0.6	0.1
23	0.7	35.1	0.6	0.2
24	0.1	25.0	0.1	0.1
25	0.4	29.9	0.1	--
28	0.4	34.4	0.3	0.1

**Quantitative Analyse**  
(Angaben in Gewicht%)  
Die Positionen 2, 10, 11, 20, 21, 26, 27 wurden nur qualitativ gemessen.  
\*\* Matrix

