



Aluminium, was nun?

Katrin Kuhnke
März 2013



Einführung in die Werkstoffkunde

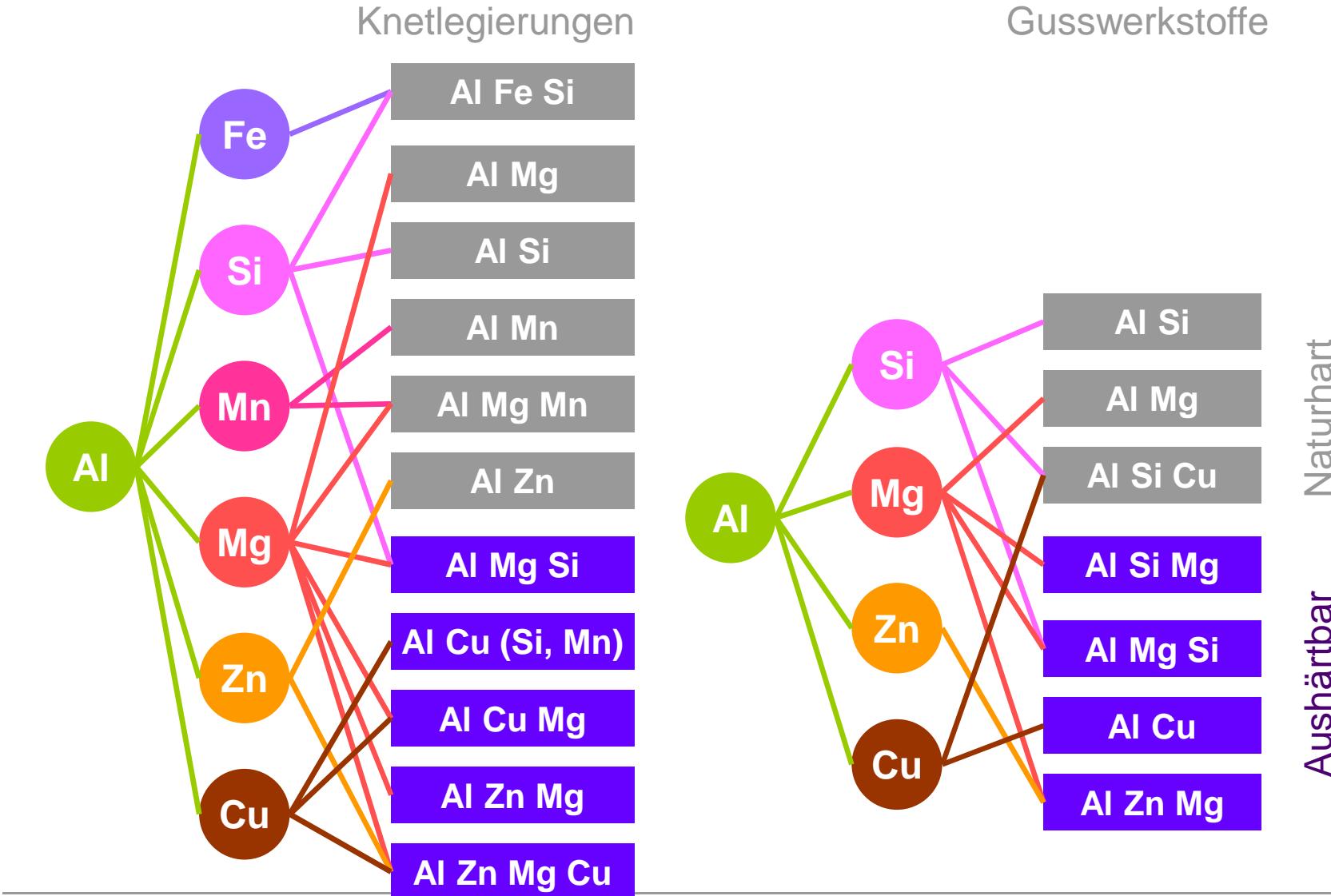
Aluminium im Vergleich mit anderen Metallen

	Mg	Al	Ti	Fe	Cu
Ordnungszahl	12	13	22	26	29
Schmelztemperatur [°C]	650	660	1678	1536	1083
Dichte [g/cm ³]	1,7	2,7	4,5	7,8	8,9
Wärmleitfähigkeit [W/mK] 20 - 100°C	130	235	30	70	390
Wärmeleitf: Dichte	76	87	7	9	44
Elektr. Leitfähigkeit [m / Ω x mm ²]	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

geringes spezifisches Gewicht	1/3 so hoch wie Stahl (Fe)
zahlreiche unterschiedliche Herstellungsmöglichkeiten mit bestimmten Vorteilen	Gießen, Walzen (bis zu 6 µm = 6/1000 mm Dicke), Strangpressen, Schmieden, Fließpressen, Ziehen
Formgebungsmöglichkeiten	Spanen, Tiefziehen, Streckziehen, Biegen, Stanzen, Fügen, u.v.a.
Korrosionsbeständigkeit	sehr gut, durch Anodisieren und Beschichten noch zu verbessern
großes Festigkeitsspektrum	von 40 bis 700 N/mm²
ungiftig	verwendbar als Verpackung für Lebensmittel (Haushaltsfolie)
elektrische Leitfähigkeit	gut, doppelt so hoch wie Kupfer, bezogen auf das gleiche Gewicht
Wärmeleitfähigkeit	3 x so hoch wie Fe, 55% von Kupfer

Aluminium-Legierungselemente und -klassen



Aluminium Knetlegierungsklassen und Zustände

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

/ 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 ¹⁾	ca. 2400	„	„

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

Underlay	Grain	Lubricant	Time
DP-Moltuch ²⁾	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 lubricnt	Ca.1-3 Min.

* = Alkohol Basis ** = Öl Basis

1) = Schleifvlies

2) = Wolltuch

Präparation: Ätzungen

MIKROÄTZTABELLE					
Bezeichnung	Zusammensetzung	Ätztemperatur	Ätzzeit	Ätzeffekt	Legierung
Kaliumbichromatsg.	100cm ³ H ₂ O 0,5cm ³ HF 2cm ³ HCl 20cm ³ HNO ₃ +50cm ³ H ₂ O 5g K ₂ Cr ₂ O ₇	RT	2-5 min	Sekundärausscheidungen, Kornflächen, Korngrenzen	AlZnMg, AlZnMgCu
Barker	950cm ³ H ₂ O 50cm ³ HBF ₄	RT	1-2 min	Kornflächen pol. Licht	für fast alle Al-Legierungen geeignet
Ätzfiguren	25-30cm ³ Methanol 25cm ³ HCl 25cm ³ HNO ₃ 1cm ³ HF	RT	10s-2 min	Ätzfiguren	Al99,99 - Al98, AlMg AlMgSi
NaOH	100cm ³ H ₂ O 1g NaOH	70°C	1-2 min	Kristallseigerungen	Al99,9- Al98, AlMg, Al Mn, AlMgMn
Kaliumferrizyanid Murakami	60 ml dest. H ₂ O 10g NaOH 5g K ₃ [Fe(Cn) ₆]	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 ³ H ₂ O 20cm ³ HNO ₃	RT	1-2h	Sekundärausscheidungen	AlZnMg1
heißer HNO ₃	75cm ³ H ₂ O 25cm ³ HNO ₃	70°C	40s	AlCu- + AlCuMg-Phasen Sekundärausscheidungen	AlCuMg, AlZnMg
heißer H ₂ SO ₄	80cm ³ H ₂ O 20cm ³ H ₂ SO ₄	70°C	30s-3min	Al-Fe- u. AlFeSi-Phasen Sekundärausscheidungen	Al97-Al99,9
H ₃ PO ₄ / oder heißer H ₃ PO ₄ 50°C	90cm ³ H ₂ O 10cm ³ H ₃ PO ₄	RT / 50°C	30-45min/ 1min	Sekundärausscheidungen	AlMg3, AlMg5, AlMgMn
H ₂ SO ₄ -HF ! Standard	90cm ³ H ₂ O, 10cm ³ H ₂ SO ₄ +95cm ³ H ₂ O 5cm ³ HF	RT	1-5min	Sekundärausscheidungen, Kornflächen, Kristall- seigerungen	AlMgSi, AlMgMn Al98, Al99,9
Kellerlsg. Hydro	97cm ³ H ₂ O 1cm ³ HNO ₃ 2cm ³ HCl 0,5cm ³ NaF	RT	1-5min	Kornflächen	AlCu, AlCuMg AlCuMgSi, AlZnMgCu
Kellerlsg.	190cm ³ H ₂ O 5cm ³ HNO ₃ 3cm ³ HCl 2cm ³ HF	RT	5-25 sec.	Kornflächen	AlCu, AlCuMg AlCuMgSi, AlZnMgCu

Präparation: Ätzungen

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

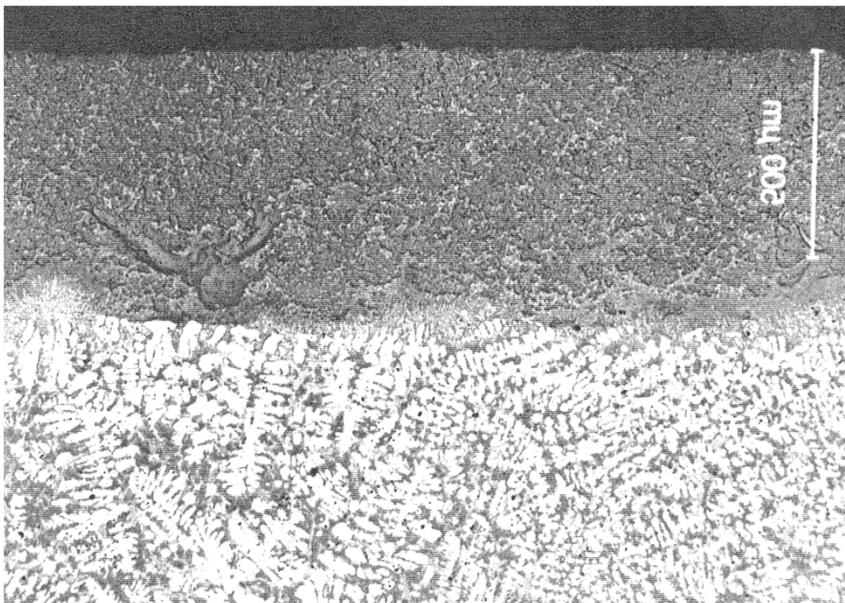
* Niederschlag abbürsten, Ätzung mehrmals wiederholen, Probe zuletzt in Aufheller klären.

x falls dunkler Niederschlag auftritt Probe in konz. HNO₃ klären evtl. Vorgang wiederholen

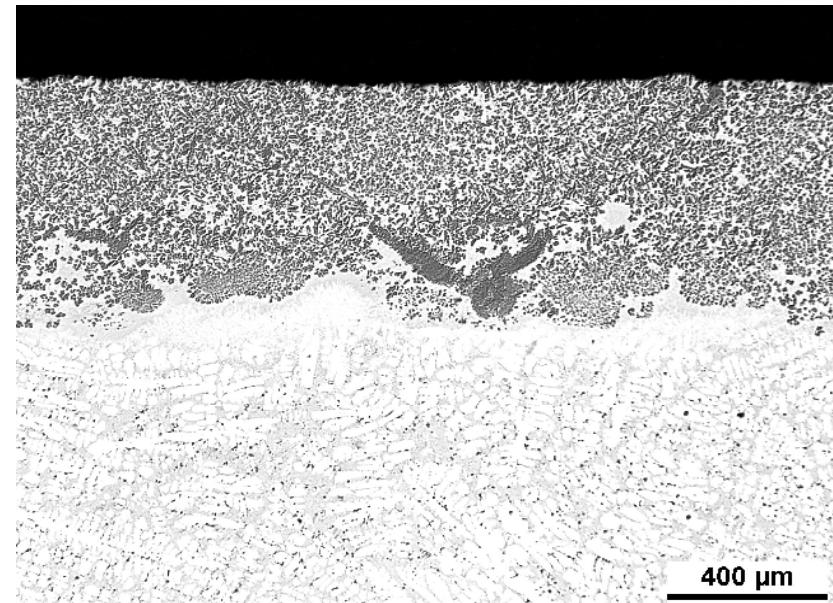
Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 1:
Si-Partikel in laserlegierten Oberflächen

Flächenanteil = 85 %



Korrekter Flächenanteil Si = 45%



Ergebnis:

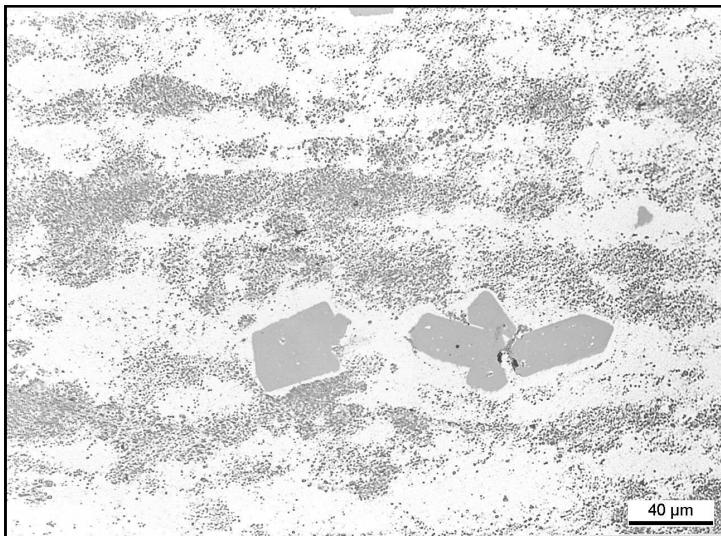
Der Anteil des primären Si in der umgeschmolzenen Schicht hat einen großen Einfluss auf die Verschleißfestigkeit der Zylinderlaufläche und ist daher von signifikanter Bedeutung.

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



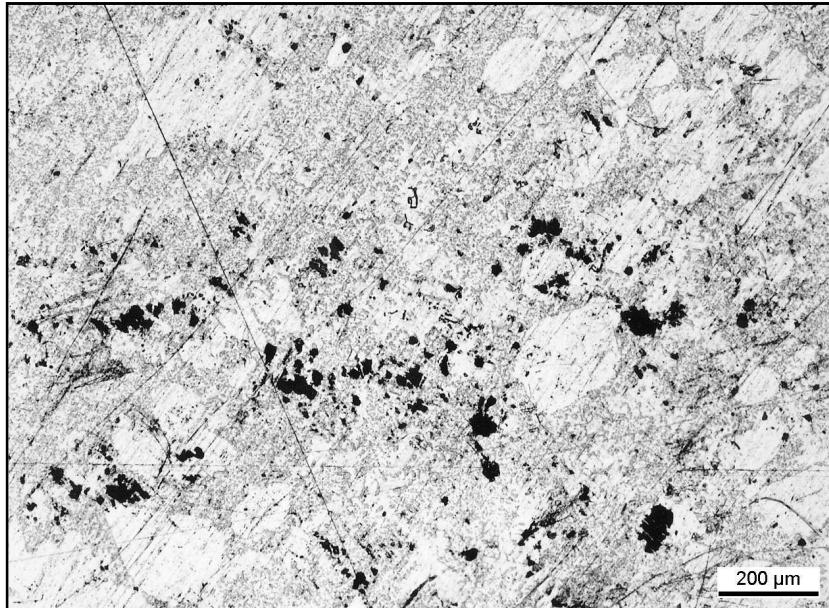
Ergebnis:

Eine zu kurze Endpolitur führt dazu, dass noch in der Schlifffläche verbliebener Polierabrieb vorhanden ist. Es wird ein viel zu hoher Anteil an 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.

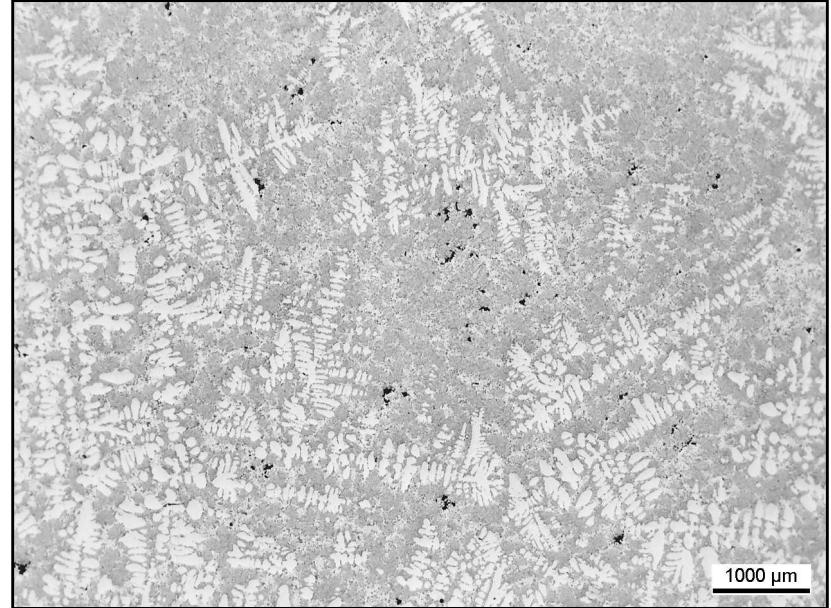
Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 3:
Beurteilung von Porositäten

„unzureichende Präparation“



„gute Präparation“

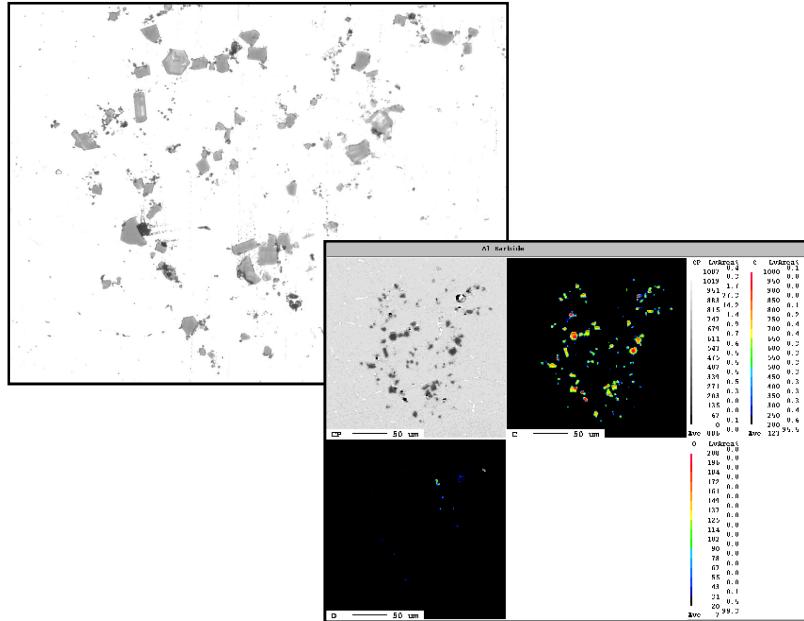


Ergebnis: Bei der quantitativen Porositätsauswertung ist die Präparation von besonderer Bedeutung. Eine „schlechte Präparation“ führt häufig zu einem erhöhten Porositätsanteil, da Kratzer und andere Artefakte mitgemessen werden. Wird die Probe nach dem Fräsen nicht ausreichend geschliffen, wird dagegen 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.

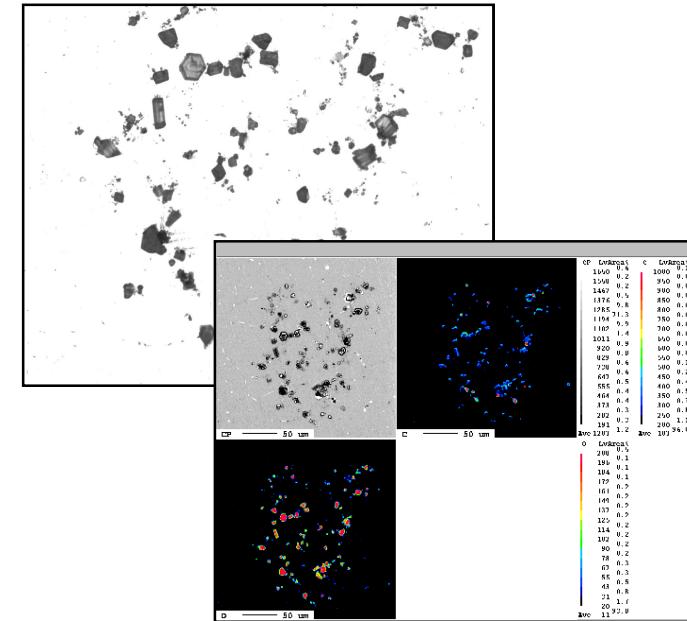
Präparation: Fehlermöglichkeiten

Beispiel 4:
Beurteilung von Verunreinigungen

Al-Karbide frisch präpariert



Al-Karbide nach 8 Tagen Lagerung



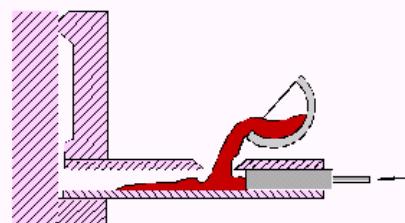
Ergebnis:

Die Karbide sind stark hygrokopisch 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 (Massel) 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

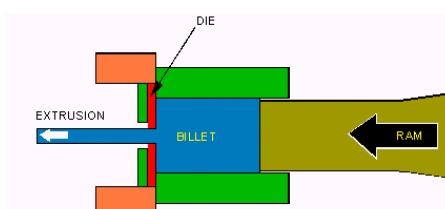
Formguß

1. Giessen
2. Wärmebehandlung
3. Aushärtung



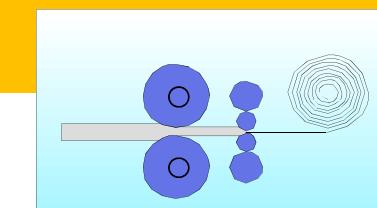
Strangpressen

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

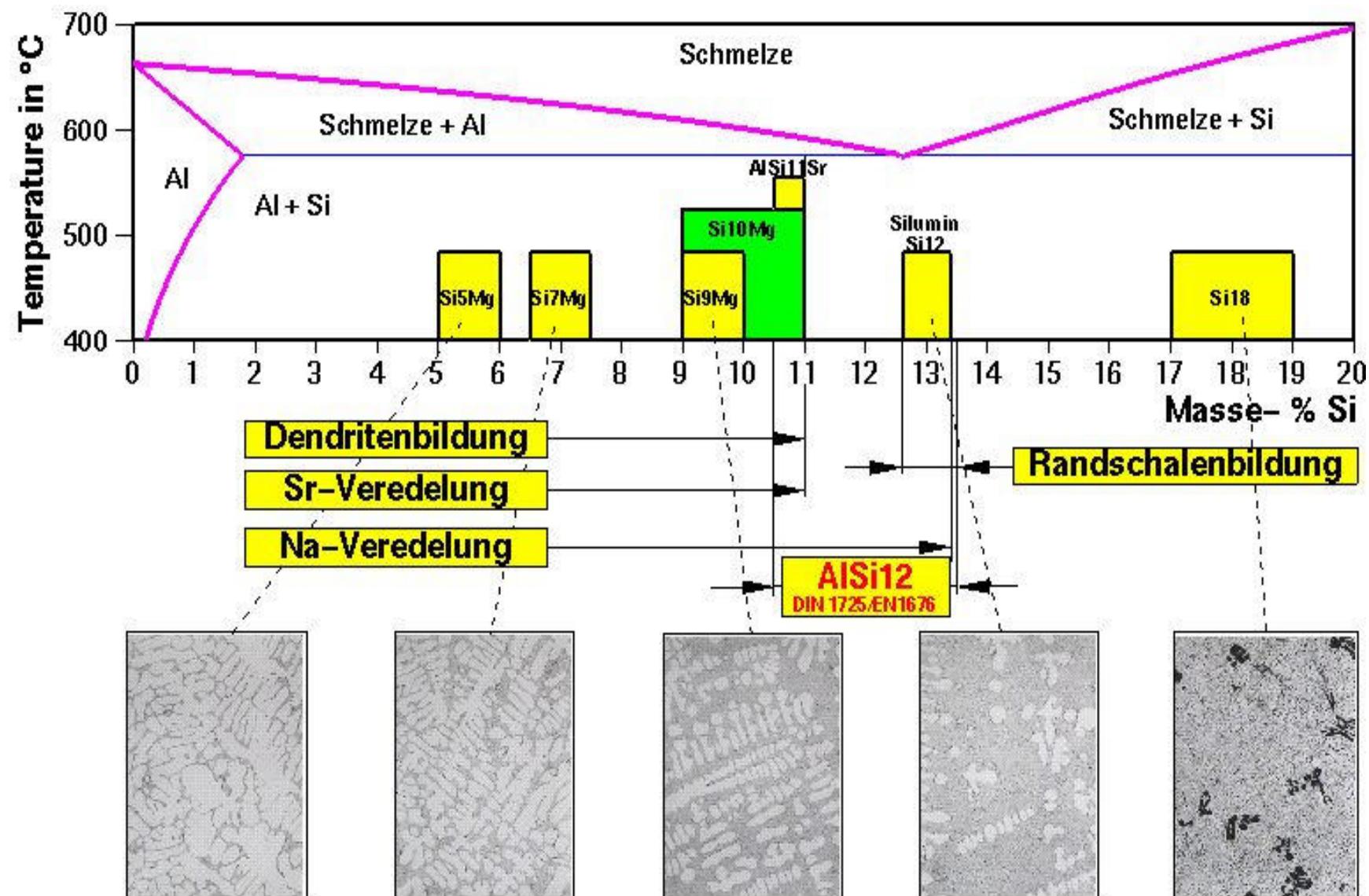


Walzen

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



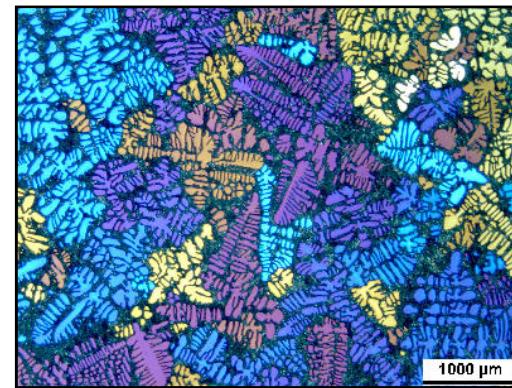
Gefügebeurteilung Gusslegierung



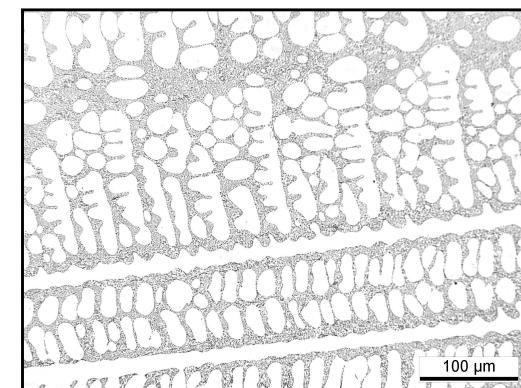
Gefügebeurteilung Gusslegierung / Korn und DAS

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

Korngefüge



DAS

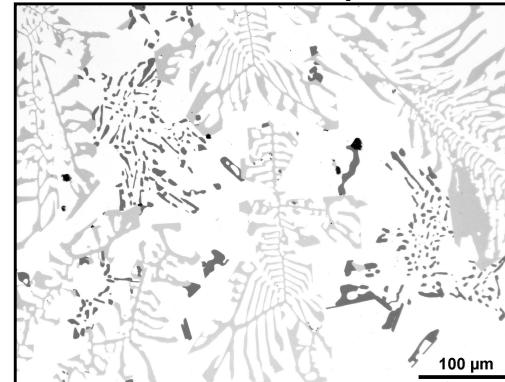


Dendriten Armabstand (DAS) / Gusslegierung = Zelle / Knetlegierung

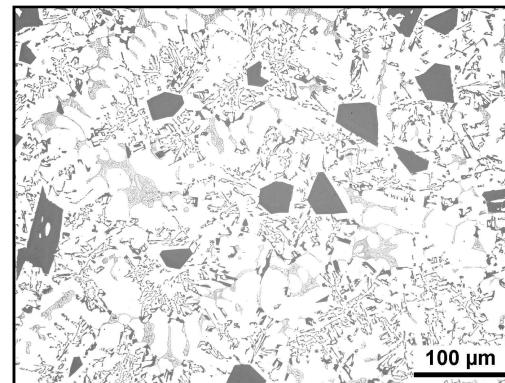
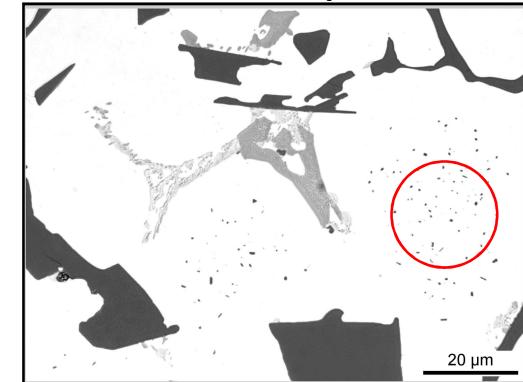
Gefügebeurteilung Gusslegierung / Ausscheidungsgefüge

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

Guss- / Primärphasen



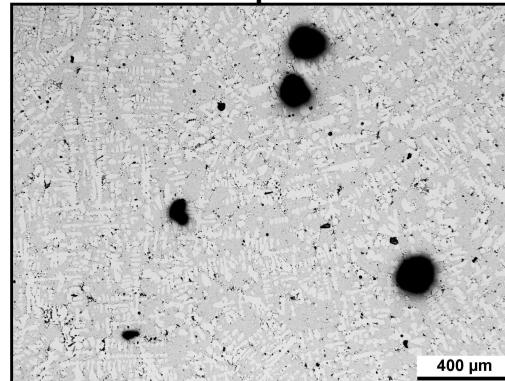
Sekundärphasen



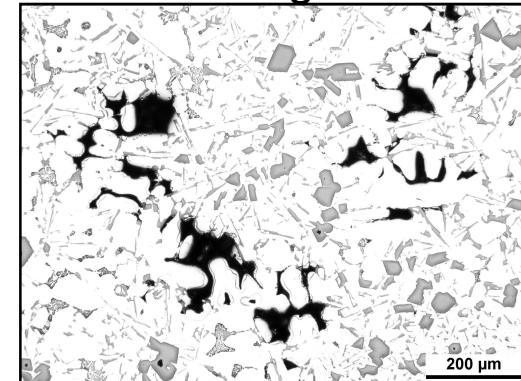
Gefügebeurteilung Knet- + Gusslegierung / Porositäten

- 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 AlSi_{xx}

Beeinflussung des eutektischen Si

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

1. Veredlung mit Natrium oder Strontium

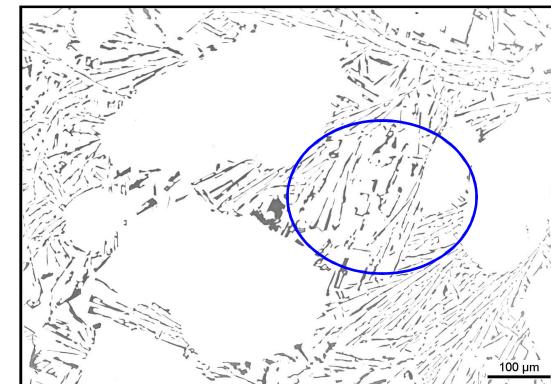
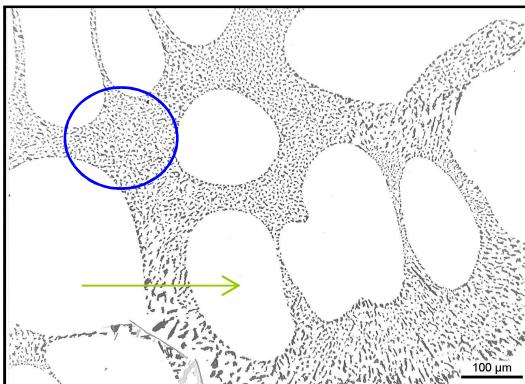
- Na-Zugabe meist in Tablettenform als Natrium abgebendes Salz
- Zielgröße ca. 60 ppm Na (erforderliche Zugabemengen bewegen sich in einer Größenordnung von 0,1 bis 0,2% Salz)
- Einsatz überwiegend bei Sandguss
- Na starkes Abbrandverhalten
- Sr-Zugabe meist als Vorlegierung (metallische Form)
- Vorteil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

Gefügebeurteilung Gusslegierung

Untereutektische Legierung AlSi10Mg

- AlSi-Eutektikum (körnig, veredelt und lamellar)
- α -Mischkristalle



Mittl. Phasenfläche	87 μm^2
Mittl. Phasenlänge	18 μm
Mittl. Formfaktor	3,6
Phasenanzahl pro 1000 μm^2	1,5

Mittl. Phasenfläche	8 μm^2
Mittl. Phasenlänge	4 μm
Mittl. Formfaktor	1,5
Phasenanzahl pro 1000 μm^2	22,0

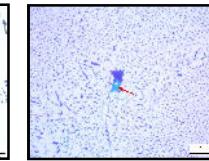
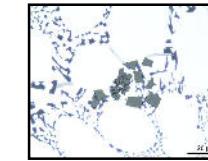
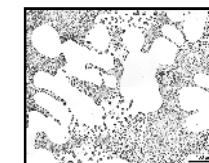
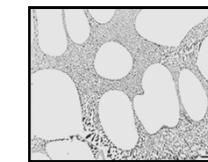
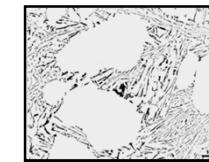
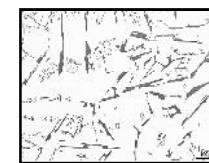
Mittl. Phasenfläche	45 μm^2
Mittl. Phasenlänge	14 μm
Mittl. Formfaktor	2,8
Phasenanzahl pro 1000 μm^2	3,9

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
Überveredlungsadern / -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 AlSi₆X

1. Abkühlgeschwindigkeit

Sandguss:

- Sehr langsame Abkühlgeschwindigkeit → grobe Gefügeausbildung
- Dendritenarmabstand ca. 45-80 µm (abhängig von Wanddicke)
- Na-Zugabe zur Veredelung üblich; Sr-Zugabe erzielt nur geringe Wirkung

Kokillenguss:

- Mittlere Abkühlgeschwindigkeit → feinere Gefügeausbildung als beim Sandguss
- Dendritenarmabstand ca. 15-45 µm (abhängig von Wanddicke)
- Sr-Zugabe zur Veredlung üblich

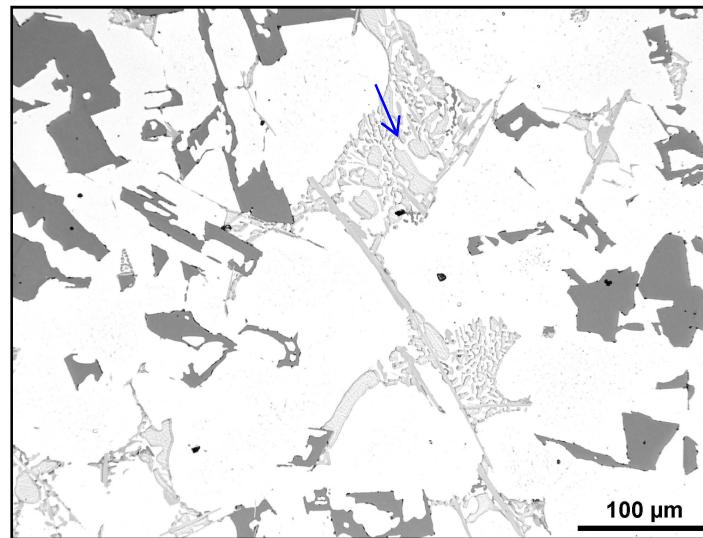
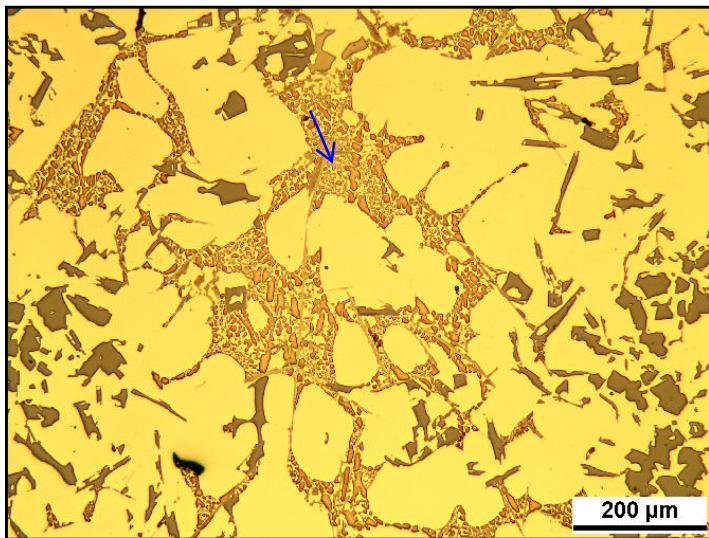
Druckguss:

- Sehr schnelle Abkühlgeschwindigkeit → feine Gefügeausbildung
- Dendritenarmabstand ca. 5-15 µm (abhängig von Wanddicke)
- Sr-Zugabe selten praktiziert, da Gefügeausbildung meist schon sehr fein ist; Na-Zugabe unüblich

Gefügebeurteilung Gusslegierung

Untereutektische Legierung AlSi8Cu3

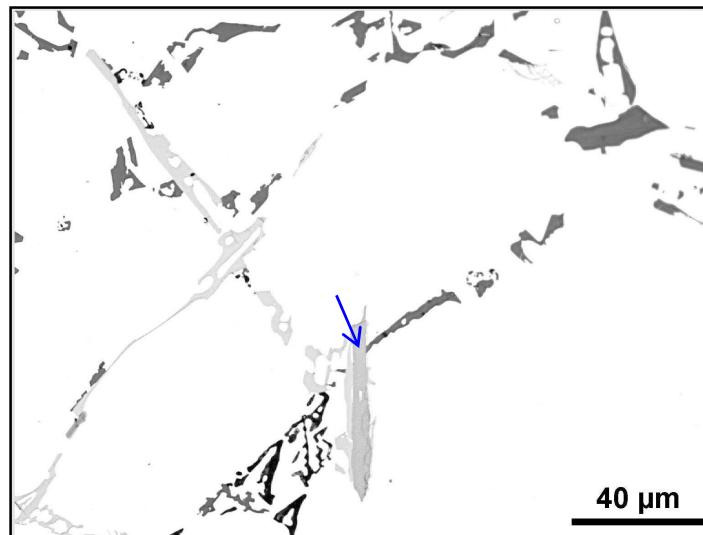
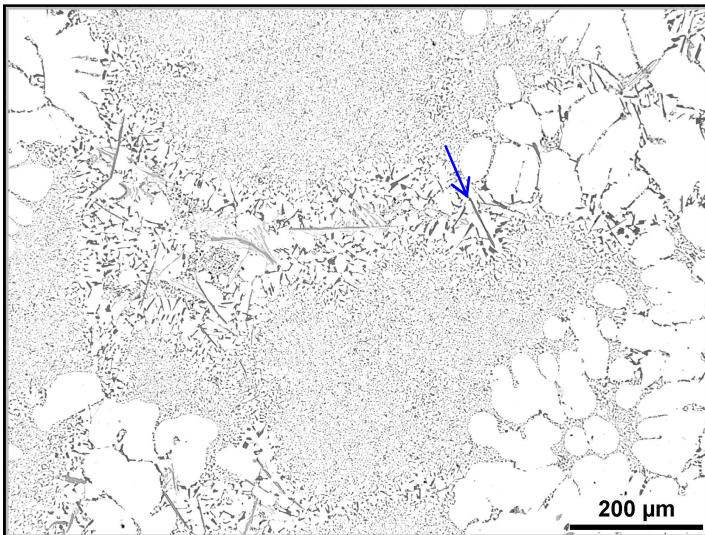
- Cu-Phasen (Al_2Cu)



Gefügebeurteilung Gusslegierung

Untereutektische Legierung AlSi7Mg

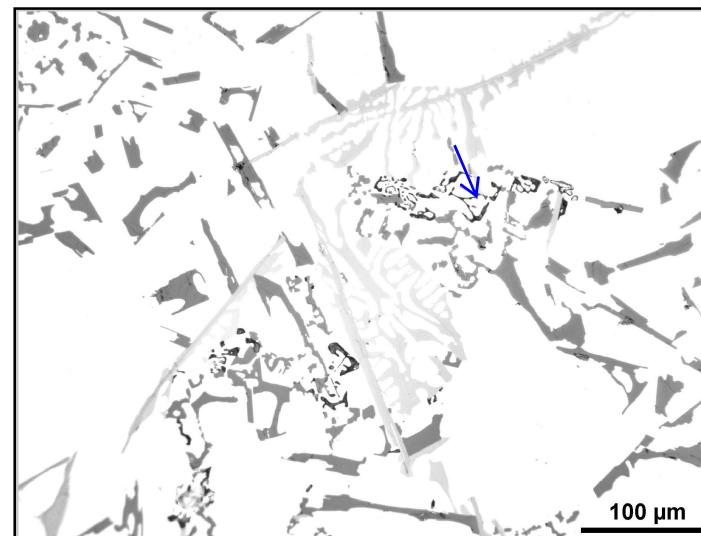
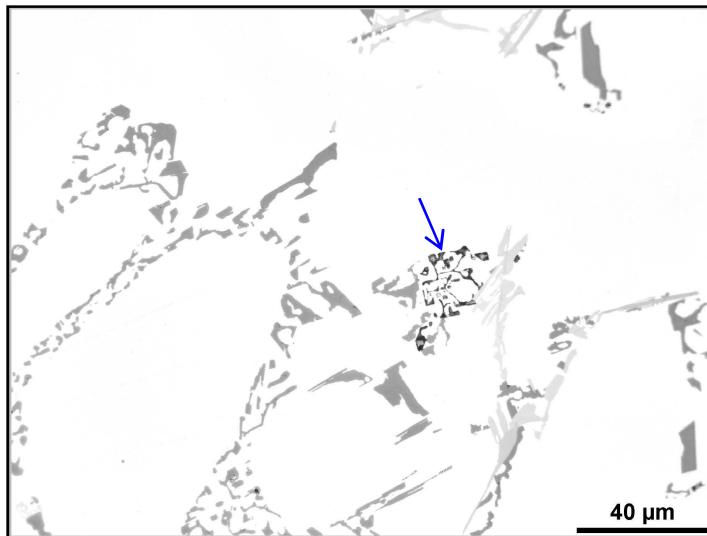
- AlFeSi - Platten (Al_5FeSi)



Gefügebeurteilung Gusslegierung

Untereutektische Legierung AlSi7Mg

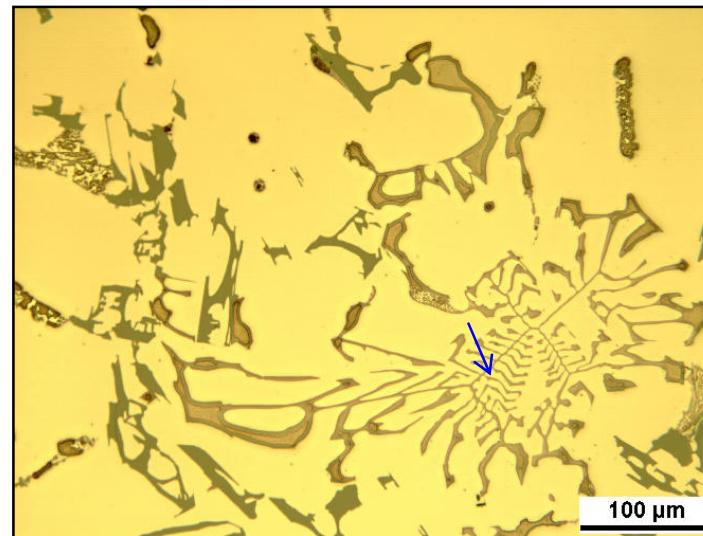
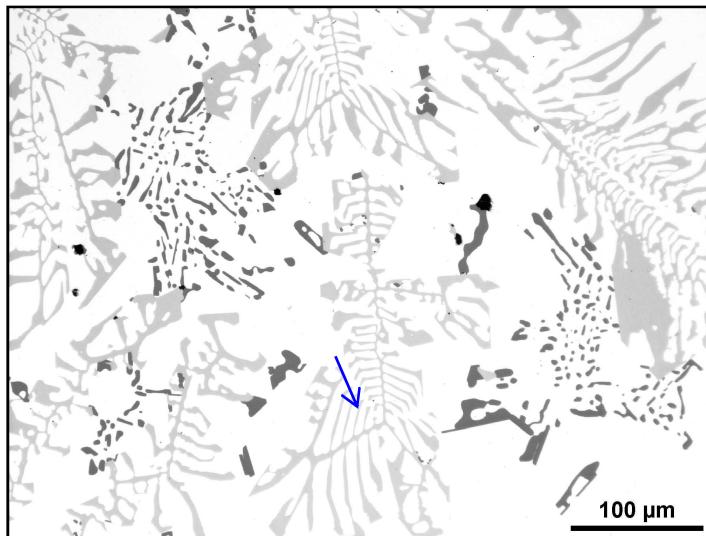
- Mg₂Si-Phasen (frisch poliert = blau schimmernd, nach längerer Lagerungszeit = schwarz)



Gefügebeurteilung Gusslegierung

Untereutektische Legierung AlSi8Cu3

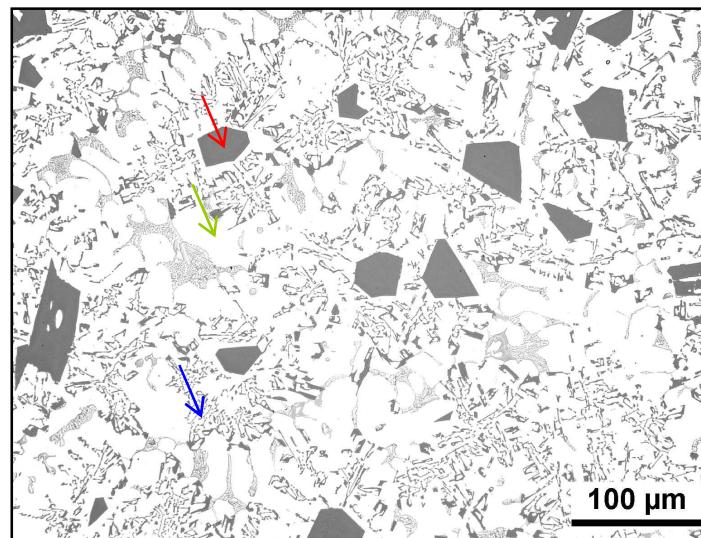
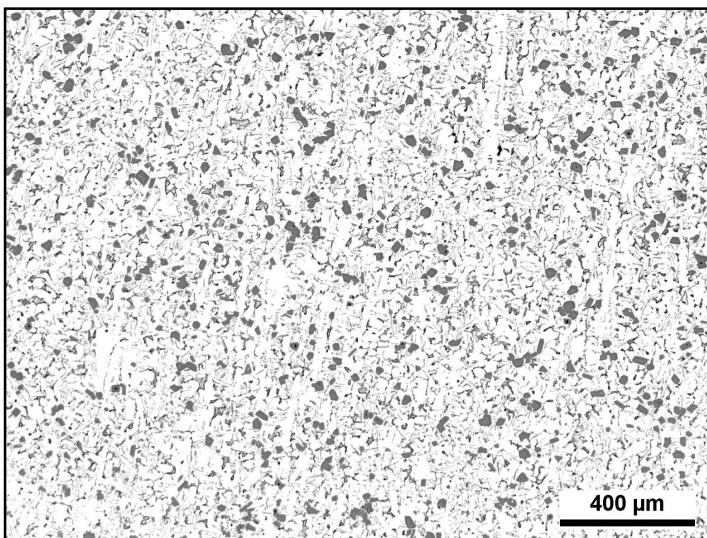
- Mn-Skelette $[\text{Al}_{15}(\text{Mn, Fe})_3\text{Si}_2]$



Gefügebeurteilung Gusslegierung

Übereutektische Legierung AlSi12

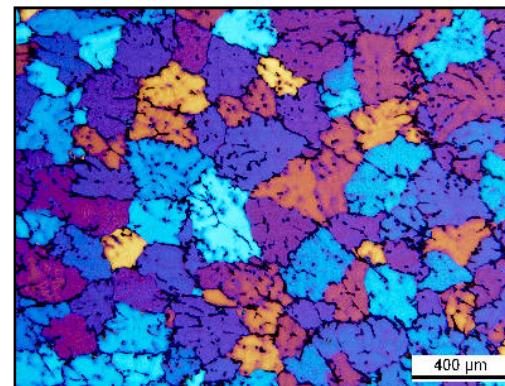
- prim. Si-Kristalle
- AlSi-Eutektikum
- α -Mischkristalle



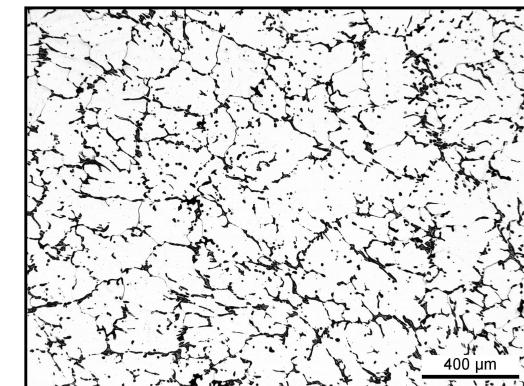
Gefügebeurteilung Knetlegierung / Korn und Zelle

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

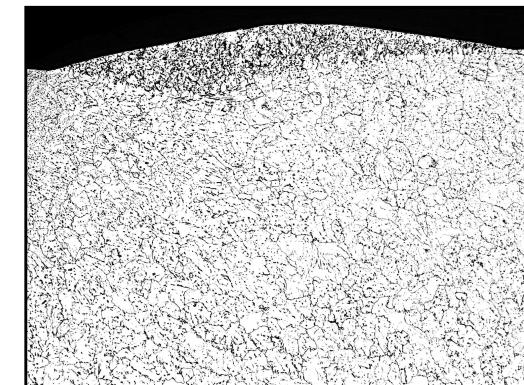
Korngefüge



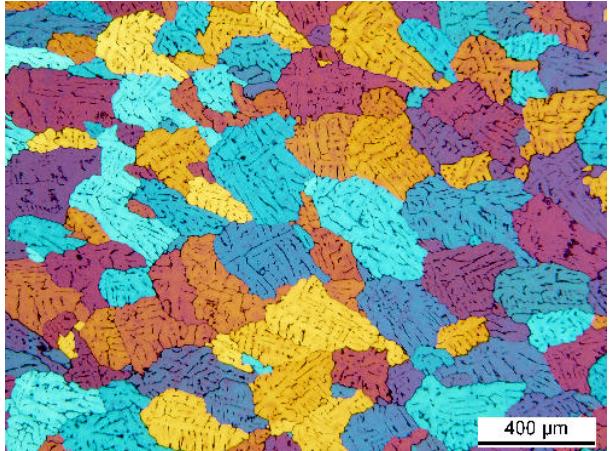
Zellgefüge



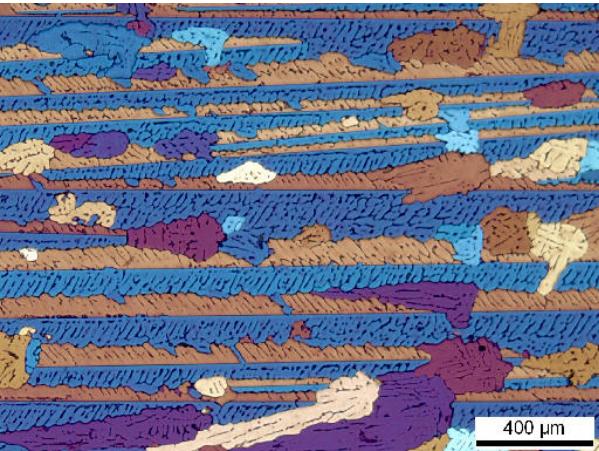
Randseigerung



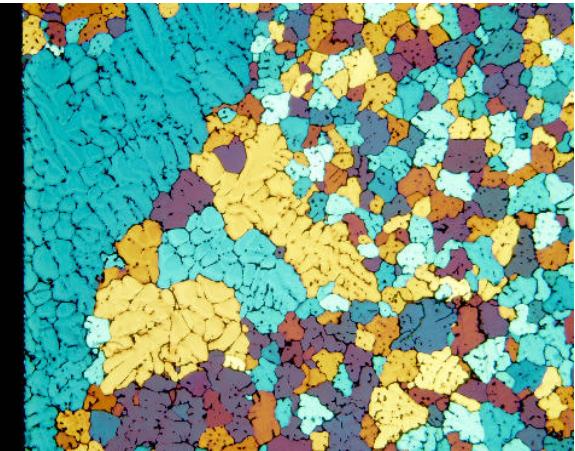
Ausbildungsformen Korngefüge im Guss



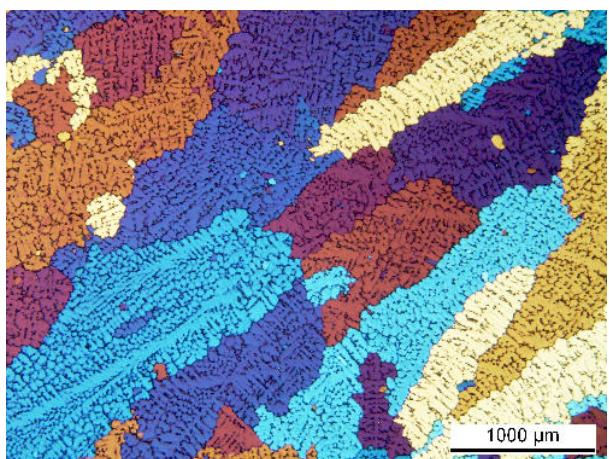
Globulitisches Korngefüge



Fiederkristalle



Schwebekristalle

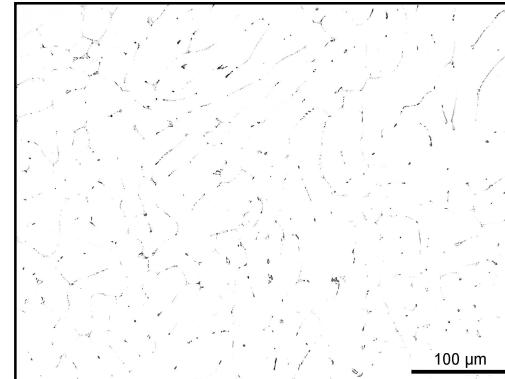


Stengelkristalle

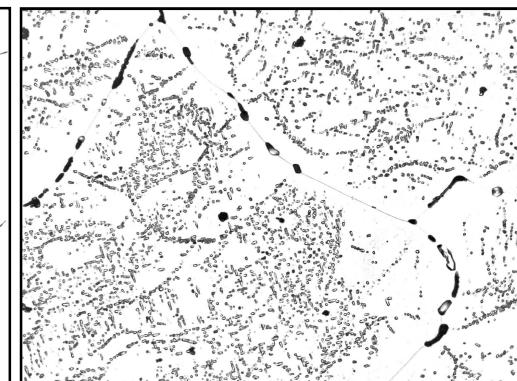
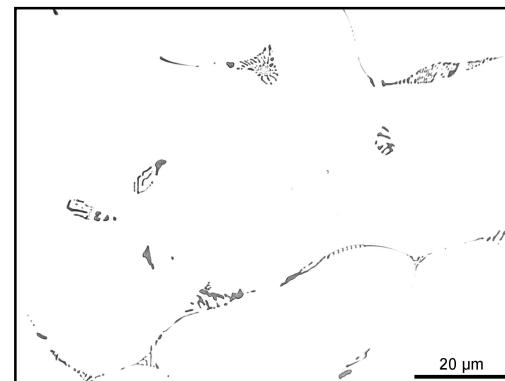
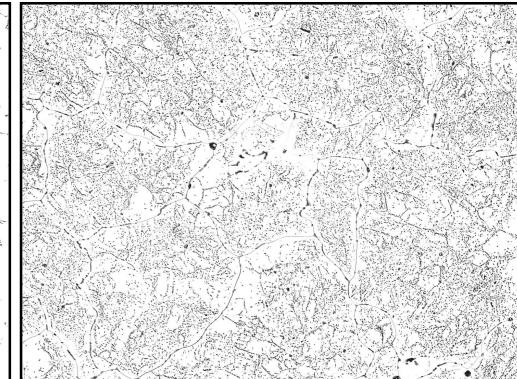
Gefügebeurteilung Knetlegierung / Ausscheidungsgefüge

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

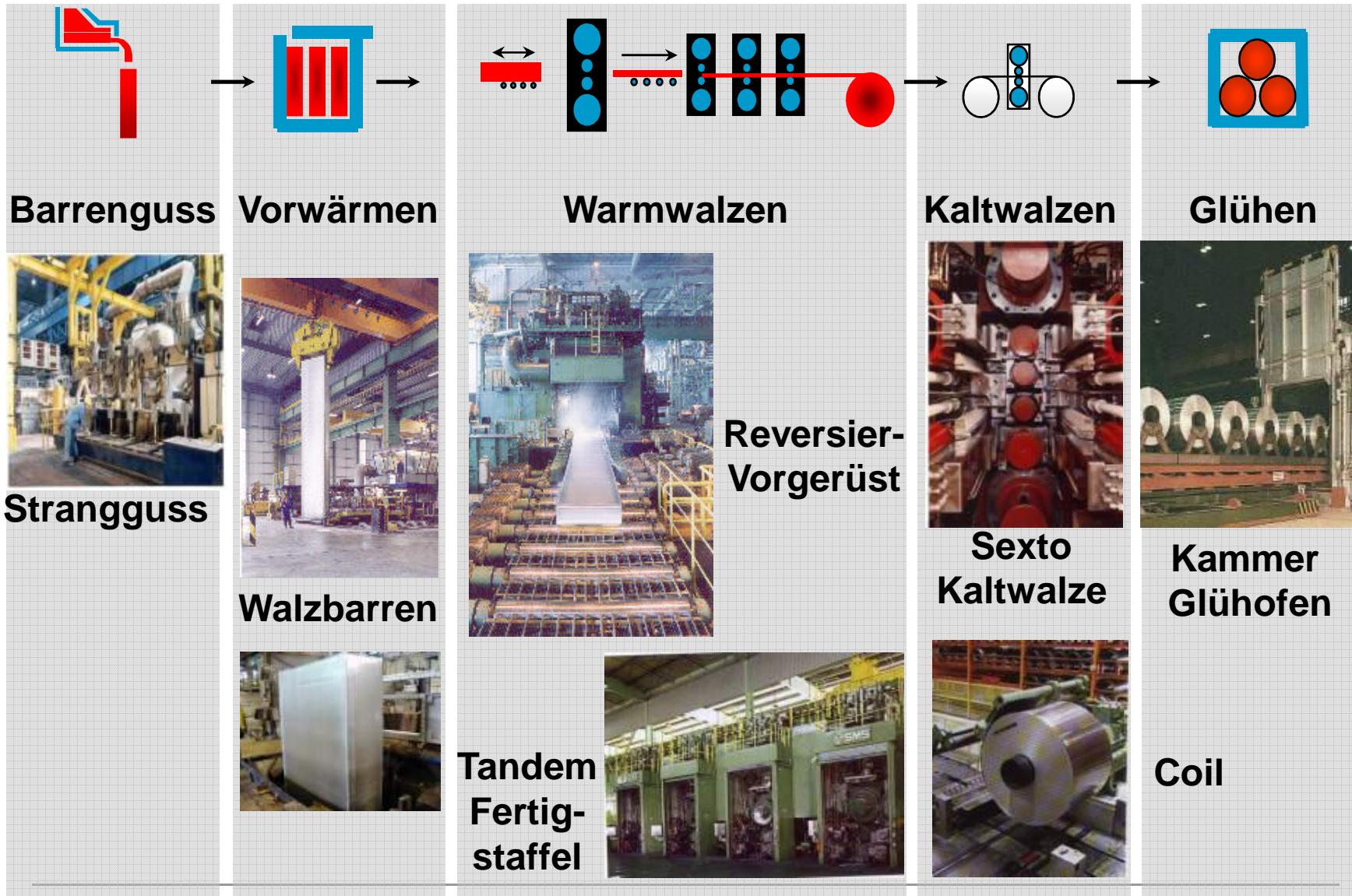
Gussphasen



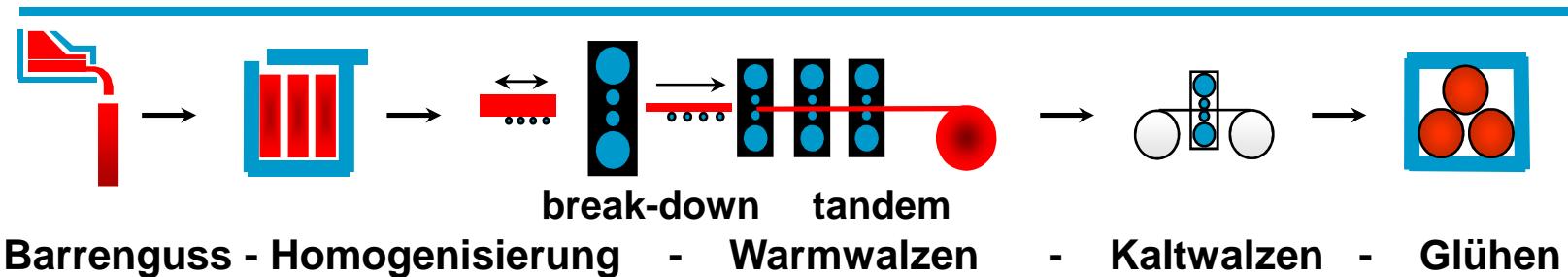
Sekundärphasen



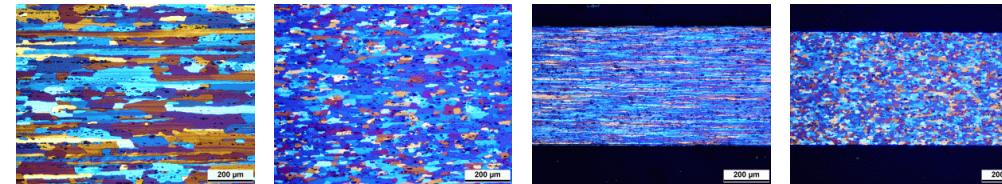
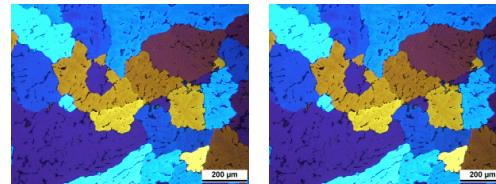
Großtechnische Walzbandfertigung (AluNorf - Neuss)



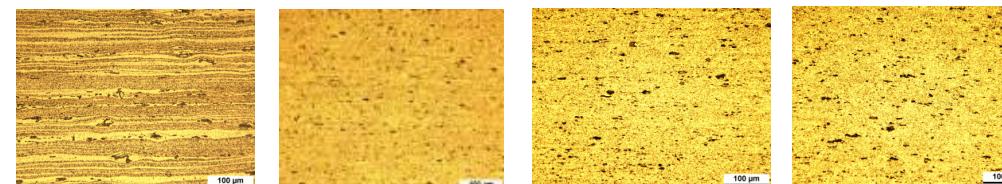
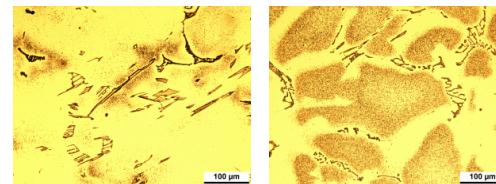
Gefügeentwicklung Knetlegierung / Bandfertigung



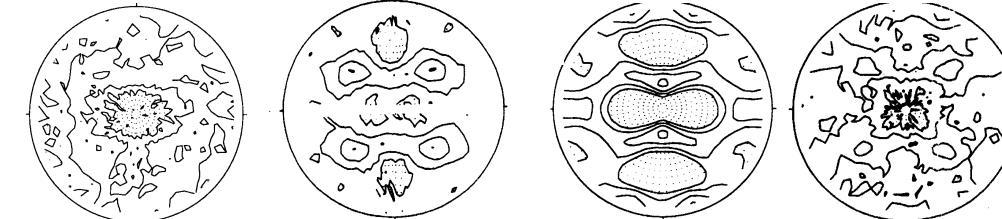
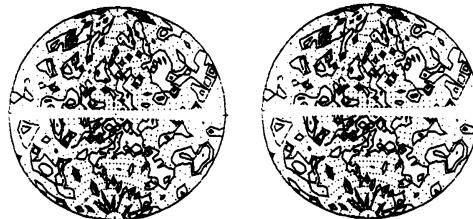
Korn-
gefüge :



Teilchen
2.Phase :

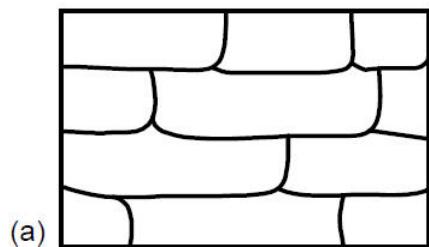


Textur :

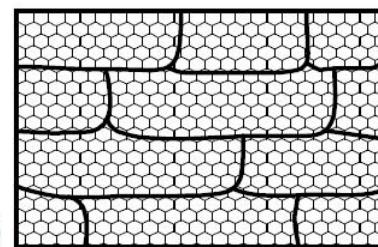


Gefügebeurteilung Knetlegierung / Korngefüge

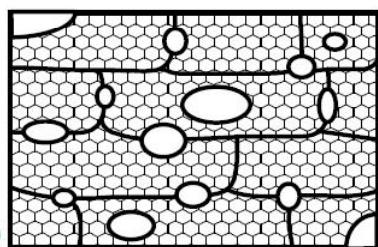
Schema der Gefügeänderungen



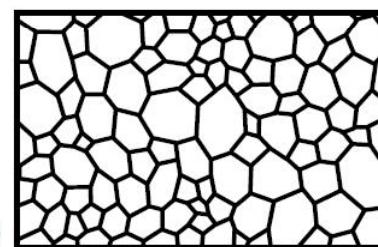
(a)



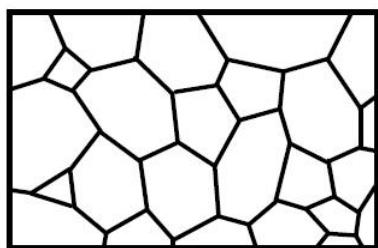
(b)



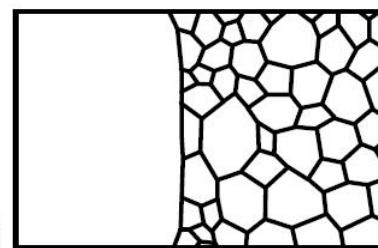
(c)



(d)



(e)



(f)

a) verformte Struktur

b) erholte Subkornstruktur

c) teil-rekrystallisiertes Gefüge

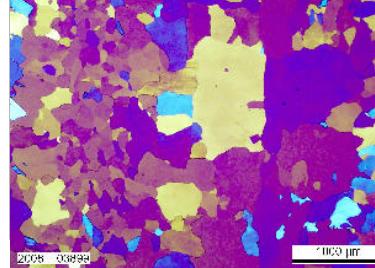
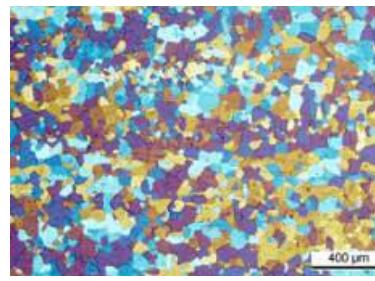
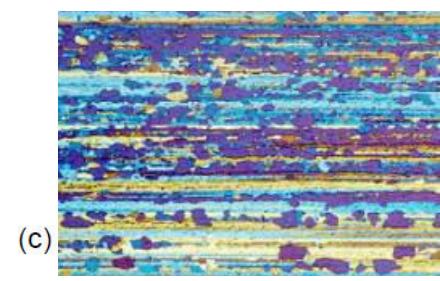
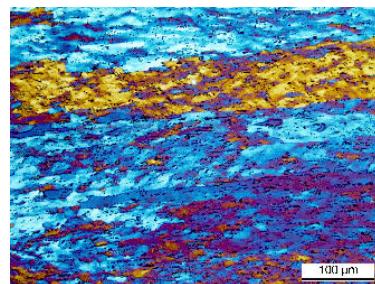
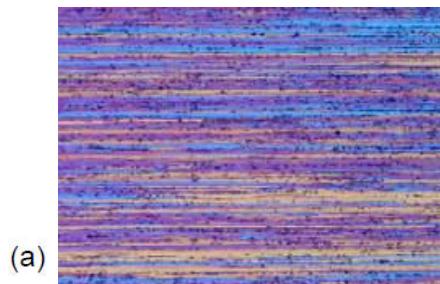
d) voll-rekrystallisiertes Gefüge

e) stetige Kornvergrößerung

f) unstetige Kornvergrößerung

Veränderung Korngefüge

Schema der Gefügeänderungen



a) verformte Struktur

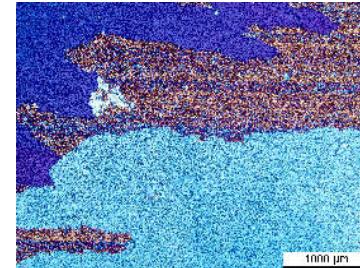
b) erholte Subkornstruktur

c) teil-rekrystallisiertes Gefüge

d) voll-rekrystallisiertes Gefüge

e) stetige Kornvergrößerung

f) unstetige Kornvergrößerung



Korngefüge nach Walzen und Glühen

Legierung AlMg4.5Mn0.4

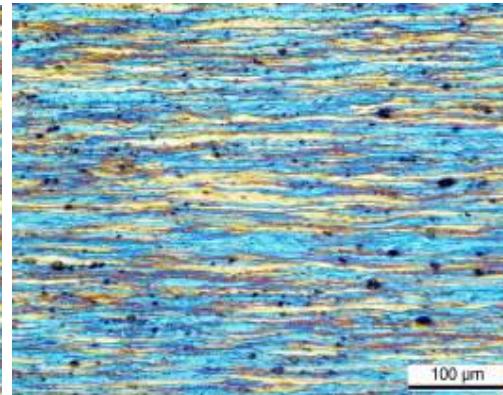
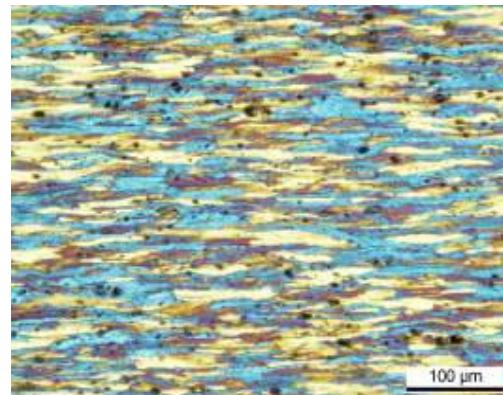
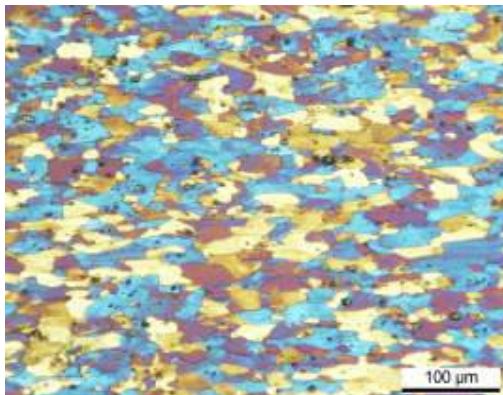
Walzgrad

24 %

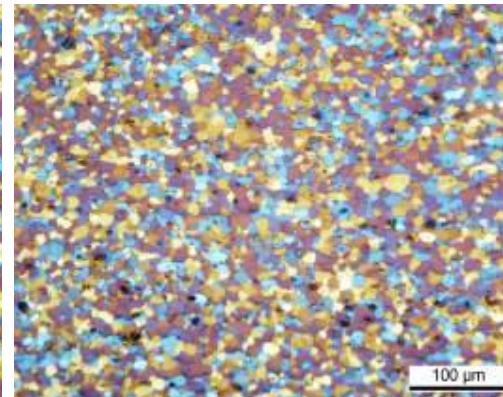
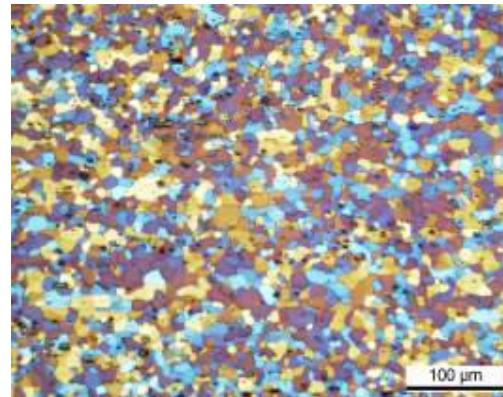
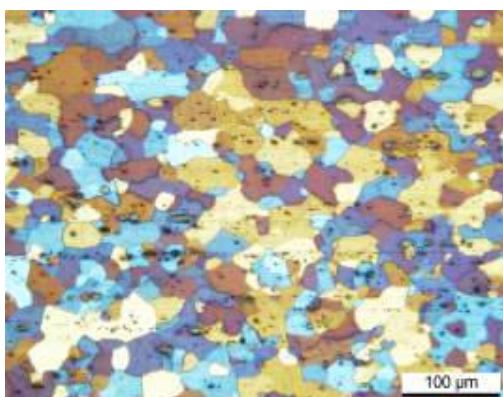
65%

82%

gewalzt



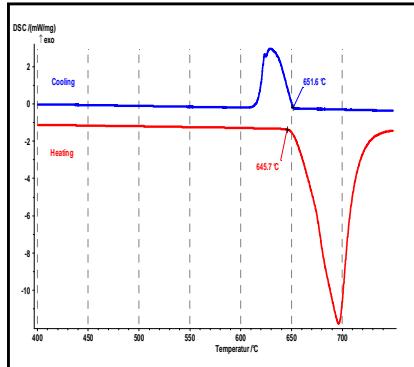
geglüht
30' bei
350°C



Legierung Al99,5

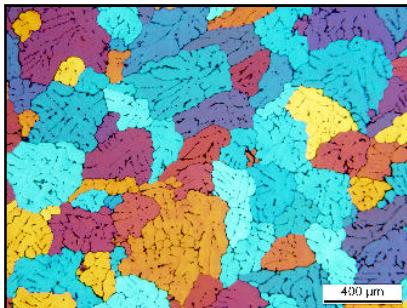
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



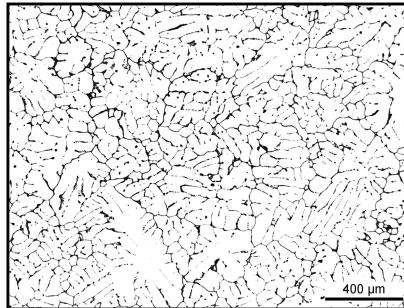
Liquidus = 652°C
Solidus = 646°C

Grain structure



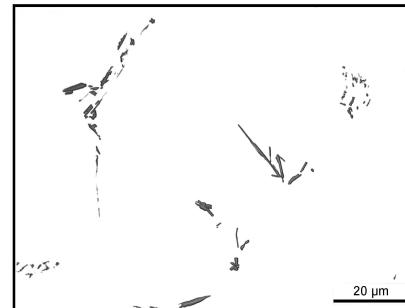
Grain diameter 267 µm

Cell structure



Cell diameter 38 µm

Constituent phases

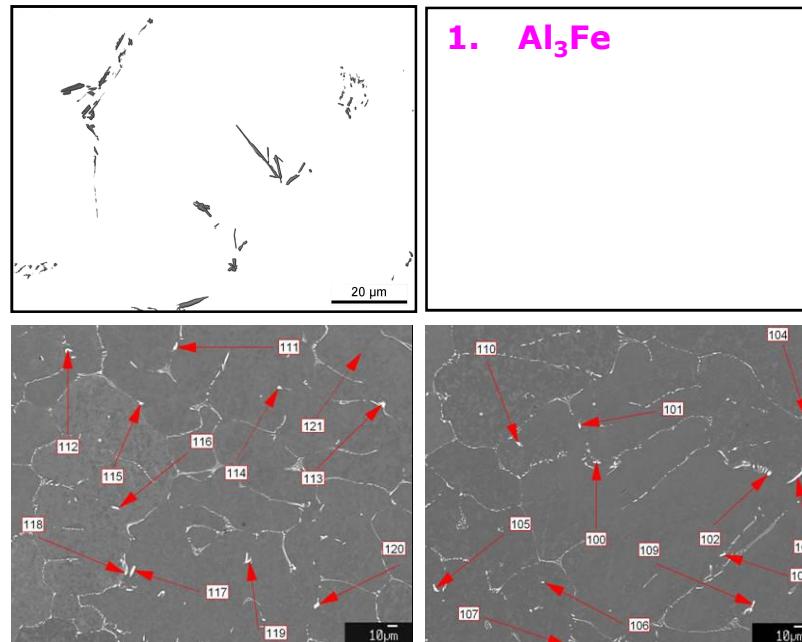


Phase area 1 µm²

Legierung Al99,5

Sheet Ingot – D/4 / as cast

Constituent phases



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%)

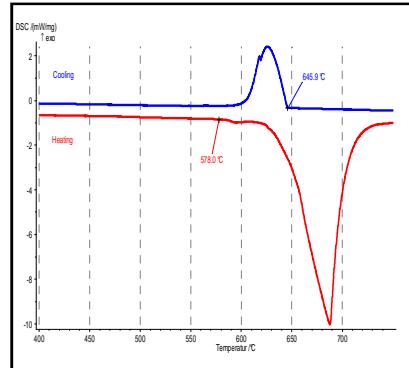
Die Positionen 101, 105, 110, 115 und 119 wurden nur qualitativ gemessen.

** Matrix

Legierung AlMn1Mg1Cu

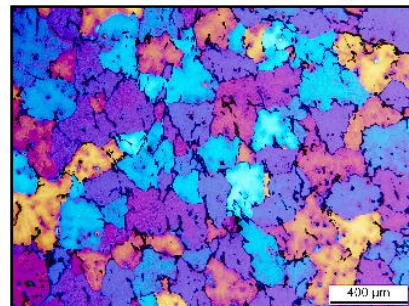
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



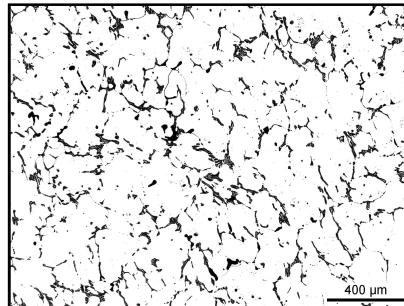
Liquidus = 646°C
Solidus = 578°C

Grain structure



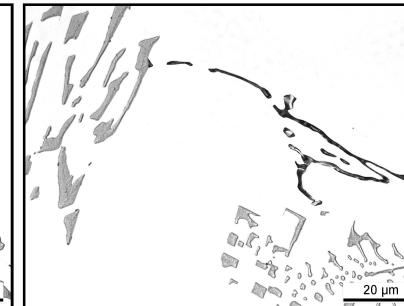
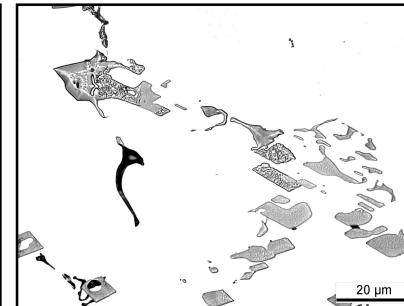
Grain diameter 183 µm

Cell structure



Cell diameter 59 µm

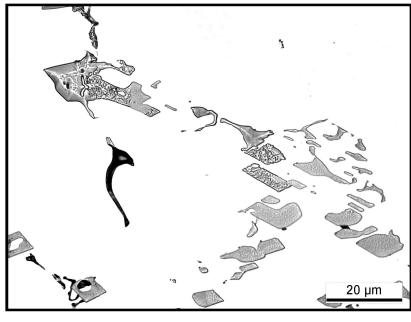
Constituent phases



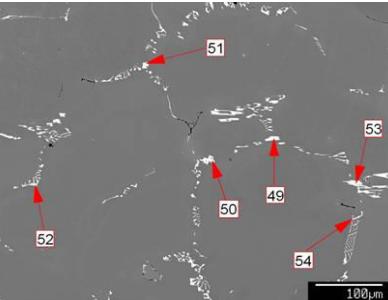
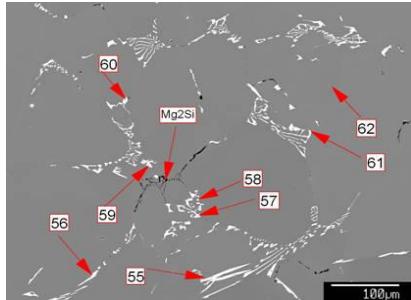
Legierung AlMn1Mg1Cu

Sheet Ingot – D/4 / as cast

Constituent phases



1. $\text{Al}_6(\text{Fe,Mn})$
2. Mg_2Si
3. $\alpha\text{-Al}(\text{Fe,Mn})\text{Si}$
4. $\text{AlFeCuMn} *$



Pos.	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
49	0,1	0,2	--	11,3	13,8	--	0,5
50	0,4	5,0	0,4	8,3	16,4	0,3	2,2
51	0,1	0,3	1,1	8,7	17,6	2,9	14,4
53	0,2	0,3	0,1	8,6	14,5	--	1,1
56	0,1	0,2	--	10,1	14,4	--	0,5
57	0,1	0,1	0,1	10,0	14,5	--	1,3
60	0,1	0,1	0,1	19,2	14,8	0,2	1,6
62 **	0,5	--	--	0,8	--	--	--

Quantitative Analyse

(Angaben in Gewicht%)

Die Positionen 52, 54, 55, 58 und 59 wurden nur qualitativ gemessen.

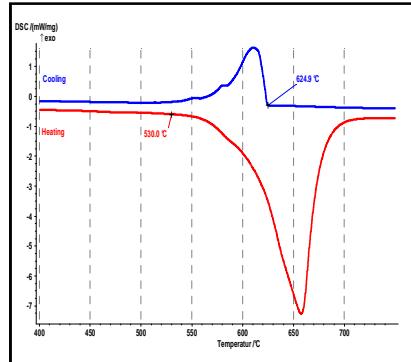
* Unbekannter Phasentyp

** Matrix

Legierung AlMg4.5Mn0.4

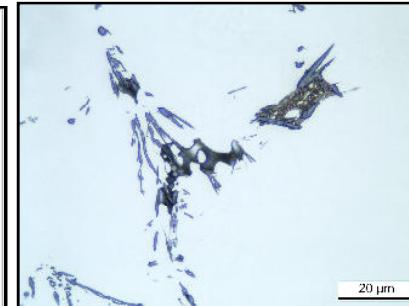
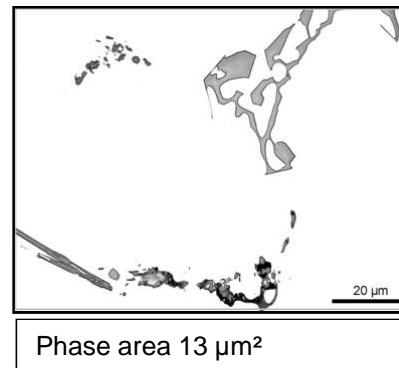
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



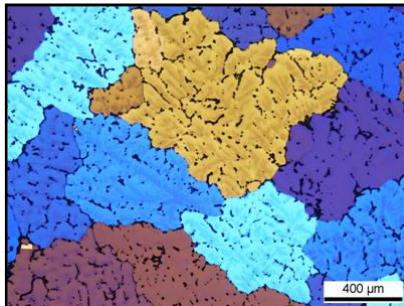
Liquidus = 652°C
Solidus = 646°C

Constituent phases



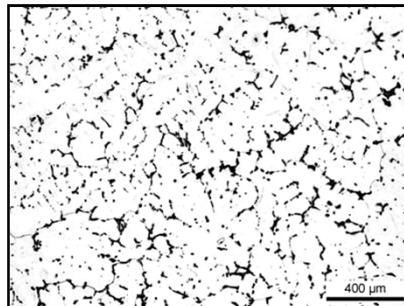
Phase area 13 μm^2

Grain structure

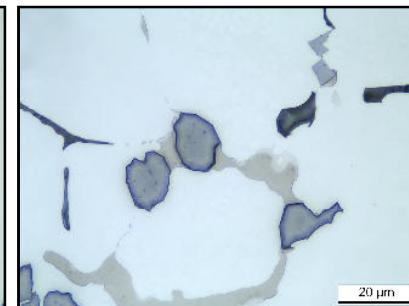


Grain diameter 417 μm

Cell structure



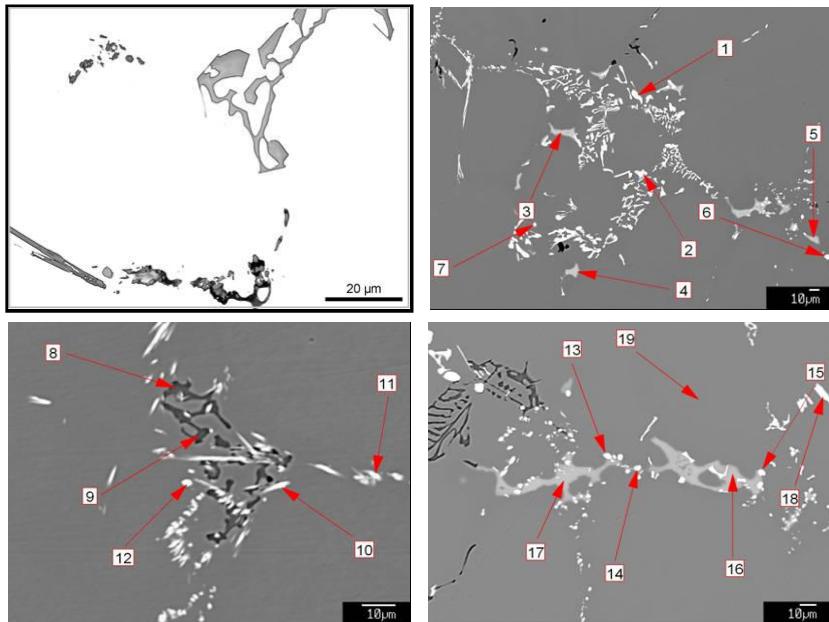
Cell diameter 55 μm



Legierung AlMg4.5Mn0.4

Sheet Ingot – D/4 / as cast

Constituent phases



- 1. $\text{Al}_6(\text{Mn, Fe})$**
- 2. Mg_2Si**
- 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%)

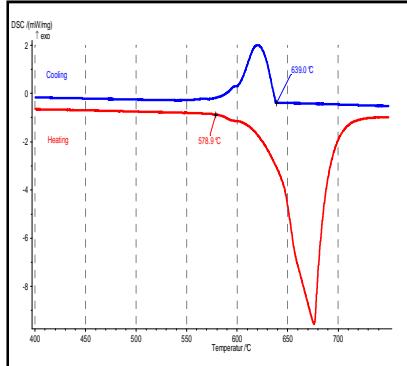
Die Positionen 8 und 9 wurden nur qualitativ gemessen.

** Matrix

Legierung AlMg3Mn

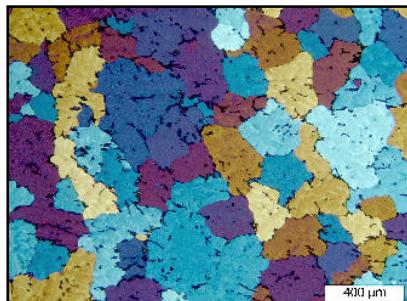
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



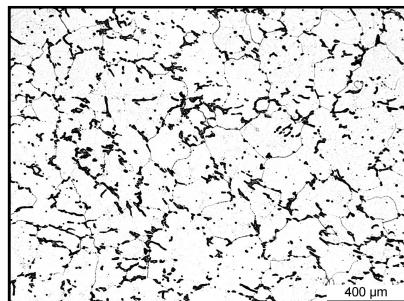
Liquidus = 639°C
Solidus = 579°C

Grain structure



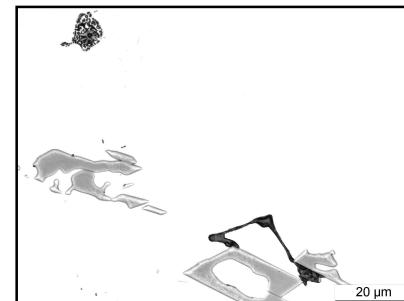
Grain diameter 222 µm

Cell structure



Cell diameter 71 µm

Constituent phases

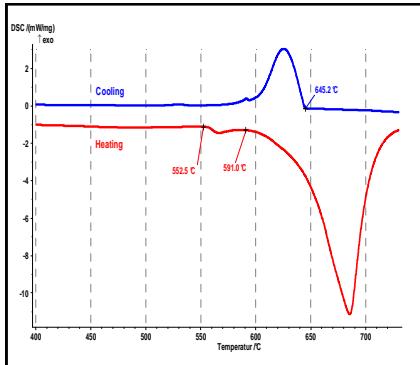


Phase area 28 µm²

Legierung AlMg0.4Si1.2

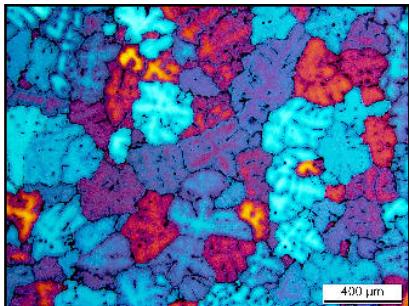
Sheet Ingot - center / as cast

Liquidus / Solidus



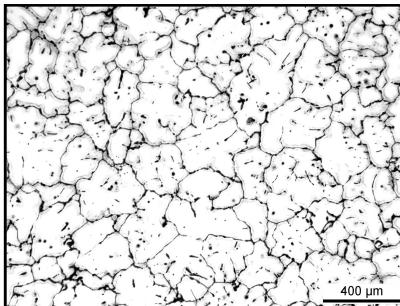
Liquidus = 645°C
Solidus = 591°C

Grain structure



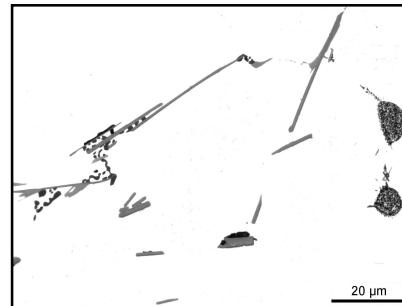
Grain diameter 205 μm

Cell structure



Cell diameter 55 μm

Constituent phases

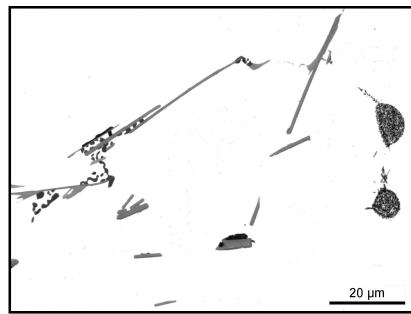


Phase area 7 μm²

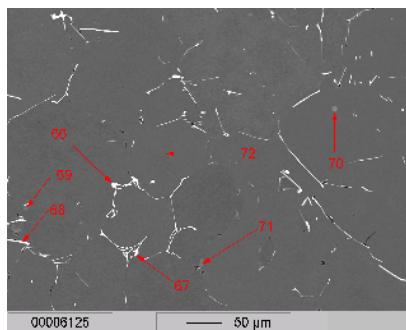
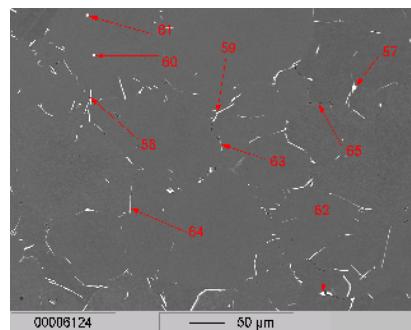
Legierung AlMg0.4Si1.2

Sheet Ingot - center / as cast

Constituent phases



- 1. AlFeSi**
- 2. Mg₂Si**
- 3. α-Al(Fe,Mn)Si**
- 4. Al₈FeMg₃Si₆ 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 ₂ 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%)

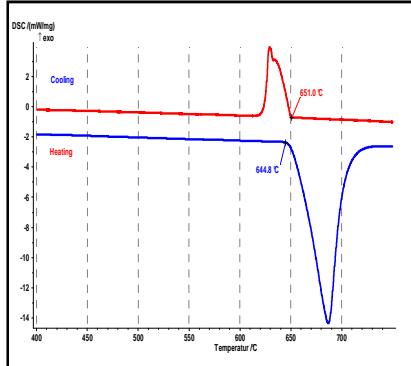
Die Positionen 63, 64, 69-71 wurden nur qualitativ gemessen.

** Matrix

Legierung AlFe1Si

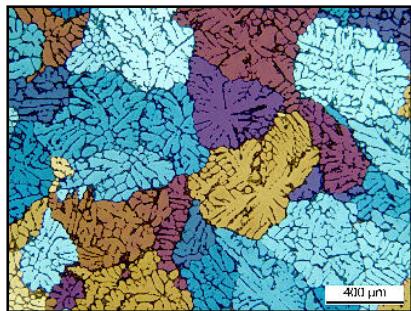
Sheet Ingot – D/4 / as cast

Liquidus / Solidus



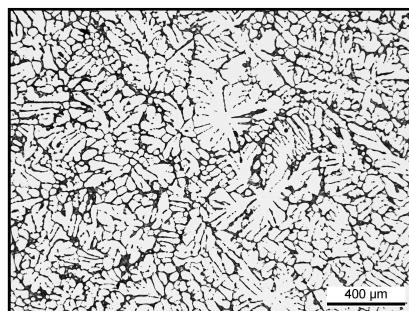
Liquidus = 651°C
Solidus = 645°C

Grain structure



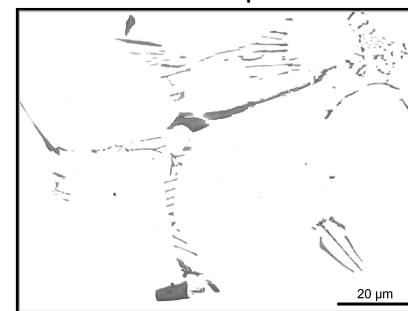
Grain diameter 157 μm

Cell structure



Cell diameter 33 μm

Constituent phases

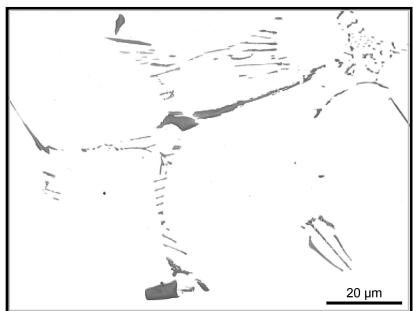


Phase area 1.4 μm²

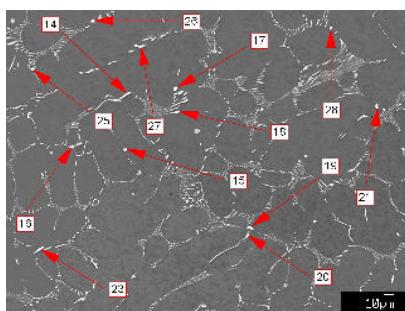
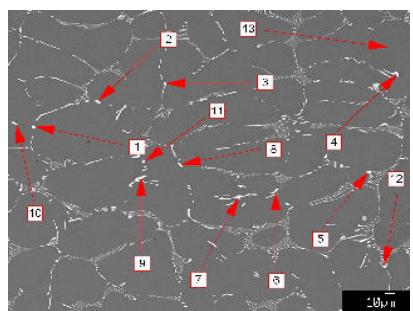
Legierung AlFe1Si

Hot rolling strip (28 mm)

Constituent phases



1. Al_3Fe



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

