

# Metallografische Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

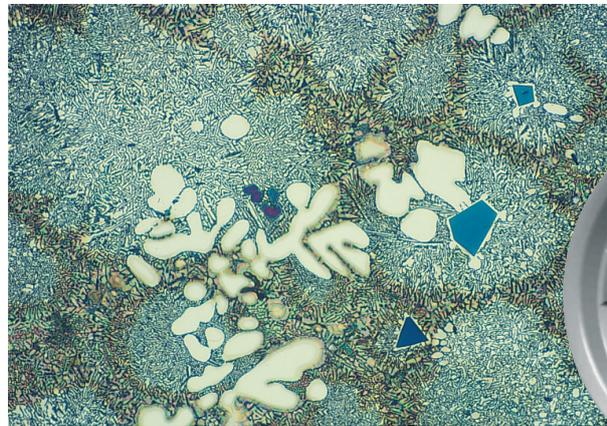
## Application Notes

Im Gegensatz zu anderen bekannten Metallen wie Eisen oder Kupfer ist Aluminium noch relativ jung und erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts bekannt. 1886 wurde ein Verfahren zur Herstellung von Aluminium entwickelt, das bis heute noch verwendet wird: der Hall-Heroult-Prozess.

Aluminium ist silbrig weiß, sehr leicht, und findet als reines Metall und legiert vielfältige Verwendung. Schon mit geringen Mengen von Legierungszusätzen wird eine Festigkeitssteigerung erreicht. Wegen ihrer geringen Dichte sind Aluminiumlegierungen besonders geeignet für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt. Auch im Automobilbau werden vermehrt Aluminiumlegierungen eingesetzt, um Gewichtsreduzierungen zu erzielen.

Die gute Korrosionsbeständigkeit des Aluminiums beruht auf einem passiven Film aus Aluminiumoxid, der fest mit der Oberfläche verbunden ist und sich bei einer Oberflächenverletzung spontan erneuert. Dadurch eignet sich Aluminium für polierte oder gebürstete Oberflächen in verschiedenen Farben (Eloxieren) und es wird dadurch u.a. zu einem interessanten Werkstoff für die Bauindustrie.

Zusätzlich ist Aluminium sehr wärmeleitfähig, gut gießbar, warm- und kalt verformbar und es ist gut spanabhebend zu bearbeiten. Aluminium ist ungiftig und geschmacksneutral und wird deswegen in der Lebensmittel- und Verpackungsindustrie verwendet, u.a. für Dosen und Folien oder in Bäckereimaschinen und Getränkepumpen.



Aluminium-Silizium-Guss, Farbätzung mit Molybdänsäure, 200x.

Auf pulvermetallurgischem Weg werden neue Legierungen wie z.B. Al-Li und Ti-Al hergestellt und Aluminium wird als Matrixmaterial für Verbundwerkstoffe verwendet. Es wird auch in Zukunft als vielseitiger Werkstoff noch weitere Anwendungsgebiete eröffnen.

Die Metallografie wird in der Qualitätskontrolle zur Korngrößenbestimmung und zum Nachweis von Gefügefehlern (Anschmelzungen) am polierten und geätzten Schliff eingesetzt. Zusätzlich werden Verunreinigungen wie Oxide und Zirkonaluminide bestimmt (Abb. 2). Bei Knetlegierungen werden Proben auch auf Materialfehler durch den Walz- oder Pressvorgang untersucht und Plattierungsdicken gemessen. Bei Gussmaterial werden die Phasenausbildung und Verteilung sowie Porosität beurteilt.



### Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

- Reines Aluminium ist sehr weich und neigt zu Verformung und Kratzern.
- Siliziumkarbid- und Diamantkörner können sich in die Oberfläche eindrücken (Abb.1).

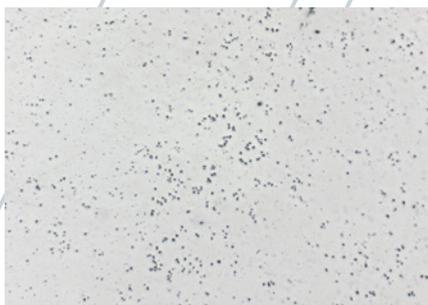


Abb. 1: Eingedrückte Diamantkörner in Reinaluminium nach dem Polieren mit 3 µm, 200x.

- Stark verformte Knetlegierungen sind schwer zu kontrastieren.



Abb. 2: Oxid an der Oberfläche eines Aluminium-Druckgussteils, 50x.

### Lösung

- Das Planschleifen möglichst mit der feinsten SiC-Körnung beginnen.
- So lange diamantpolieren und/oder endpolieren bis eingedrückte Körner entfernt sind.
- Endpolitur mit Siliziumdioxidsuspension.
- Anodisieren mit Ätzmittel nach Barker

# Produktion und Verwendung von Aluminium

Aluminium ist eines der häufigsten Metalle in der Erdkruste, tritt aber nicht gediegen auf, sondern nur in chemischen Verbindungen. Eine wirtschaftliche Gewinnung ist nur aus Bauxit möglich, das aus 60% Aluminiumoxid in hydroxidischer Form besteht ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) und der Rest aus Metalloxiden ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ). Der Produktionsvorgang ist komplex und energieintensiv und besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

## Gewinnung reiner Tonerde (Aluminiumoxid, $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) aus Bauxit

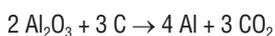
Zunächst wird das Bauxit aufbereitet. Dazu wird es fein vermahlen und mit Natronlauge unter Druck erhitzt. Dabei bilden sich ein wasserlösliches Natriumaluminat und unlösliche Verbindungen von Eisen, Titan und Silizium, der sogenannte Rotschlamm, der abgetrennt wird. Die stark verdünnte Aluminatlauge wird mit frischem Aluminiumhydroxid als Kristallisationskeim geimpft, um reines Aluminiumhydroxid ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) aus der Lauge auszufällen. Dieses wird entwässert und bei  $1200^\circ\text{C}$  gebrannt, wobei reine Tonerde (Aluminiumoxid) entsteht.

## Schmelzflusselektrolyse nach Hall-Heroult

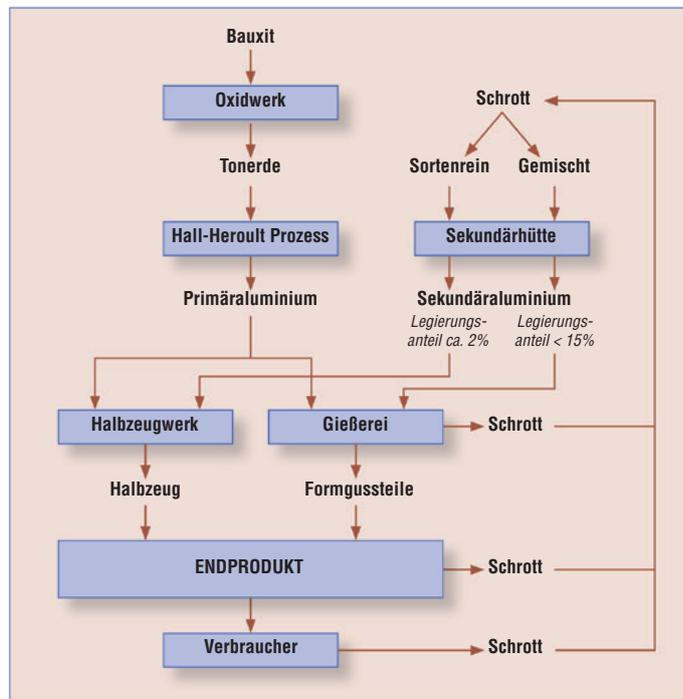
Die Bindungskräfte von reinem Aluminiumoxid sind so stark, dass es chemisch nicht zu Aluminium reduziert werden kann, sondern dazu muss ein elektrochemisches Verfahren angewandt werden. Da der Schmelzpunkt des Aluminiumoxids mit  $2050^\circ\text{C}$  sehr hoch ist, gibt man der Tonerde Kryolith bei, wodurch eine Schmelzpunktsenkung auf  $950^\circ\text{C}$  erreicht wird. Das Kryolith erhöht zusätzlich die Leitfähigkeit und dadurch die Stromausbeute.

Zur Elektrolyse bildet die Aluminiumoxid-Kryolith Schmelze den Elektrolyt in einer Eisenblechwanne, in welche Stahlschienen zur Stromführung eingesetzt sind (siehe Darstellung Schmelzflusselektrolyse).

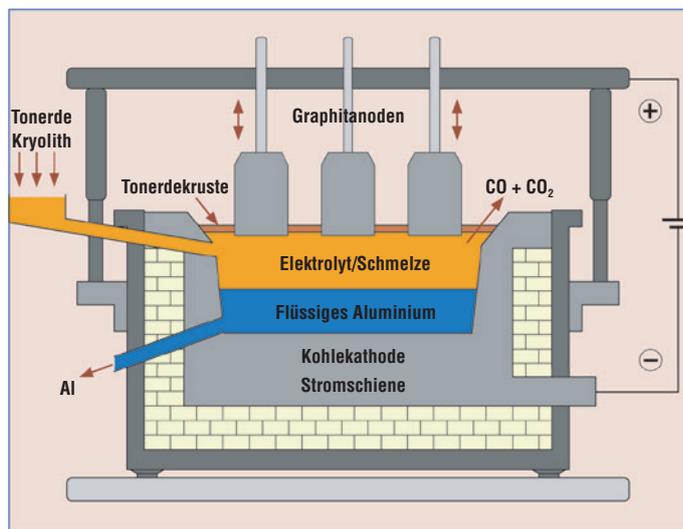
Seitenwände und Boden sind mit Kohle ausgekleidet und bilden die Kathode. Als Anoden dienen kurze Kohlenblöcke, die an einem Gerüst über der Schmelze hängen. Während der Elektrolyse reagiert der Kohlenstoff der Anode mit dem Sauerstoff der Tonerde und in einer sekundären Reaktion entsteht Aluminium unter der Bildung von Kohlendioxid:



Das flüssige Aluminium hat eine größere



Vereinfachtes Diagramm der Aluminiumproduktion.



Schematische Darstellung der Schmelzflusselektrolyse zur Erzeugung von Reinaluminium.

Dichte als die Elektrolyt-Schmelze und sammelt sich daher am Boden der Wanne. Es wird einmal am Tag abgestochen und zu Rohmasseln vergossen. Mit diesem Verfahren wird ein Reinaluminium von 99,0 - 99,9% erzeugt. Der größte Teil des Reinaluminiums wird zu Aluminiumlegierungen verarbeitet.

Durch eine nochmalige Schmelzflusselektrolyse lässt sich der Reinheitsgrad für Reinaluminium steigern, auf 99,98% für Halbzeug und auf 99,99% für Masseln. Reinaluminium hat eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eignet sich besonders gut zum Eloxieren. Es wird daher für Glanzprodukte wie Zierleisten, Reflektoren, Folien für Elektrolytkondensatoren und für Apparate und Rohrleitungen in der chemischen und Lebensmittelindustrie verwendet. Da die Kosten für das Aluminium mit zunehmender Reinheit steigen, richtet sich die Basisreinheit für ein bestimmtes Aluminium nach den Anforderungen an das daraus zu erzeugende Produkt.

Die Hauptprodukte sind Halbzeuge aus Knetlegierungen mit bis zu ca. 2% Legierungsanteilen und Gusslegierungen bis zu 15% Legierungselemente.

Es gibt eine Vielzahl von **Aluminiumlegierungen** und sie werden je nach Weiterverarbeitung in Knet- und Gusslegierungen unterteilt. In diesen beiden Gruppen unterscheiden sich wiederum aushärtbare und nicht aushärtbare (naturharte) Legierungen. Schon durch geringe Zusätze von Legierungselementen erhöht sich gegenüber dem Reinaluminium die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte. Die wichtigsten Legierungselemente sind Si, Mg, Cu, Zn und Mn. Verbindungen der Legierungselemente mit Aluminium oder untereinander (z.B.  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{MgZn}_2$  und  $\text{Al-Fe-Si}$  Verbindungen) beeinflussen die Verformbarkeit. Diese zumeist eutektischen Gefügebestandteile müssen erst durch eine Warmverformung fein verteilt werden, bevor die Legierungen weiter kalt verformt werden können.



Lampen mit Reflektoren aus hochglänzendem Aluminium.

Das wichtigste Verfahren zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Aluminiumlegierungen ist die Aushärtung. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von Mischkristallen mit abnehmender Löslichkeit des Legierungselements bei sinkender Temperatur, z.B. AlCuMg und AlMgSi.

**Kaltaushärten** (Beispiel: AlCuMg) Nach dem Lösungsglühen wird das Werkstück abgeschreckt und anschließend bei Raumtemperatur ausgelagert. Durch das Abschrecken wird die Ausscheidung der Al<sub>2</sub>Cu-Phase unterdrückt. Während des Kaltauslagerns ist das Aluminiumgitter bestrebt, nachträglich das in übersättigter Lösung gehaltene Kupfer auszuscheiden. Dadurch wird das Aluminiumgitter verspannt und es kommt zu einer Festigkeits- und Härtesteigerung. Die Kaltaushärtung dauert ca. 5-8 Tage.

Bei der **Warmaushärtung** (Beispiel: AlMgSi) wird das Werkstück nach dem Lösungsglühen und Abschrecken zwischen 4-48 Std. bei 120-175°C ausgelagert. Dabei blockiert die Ausscheidung der Mg<sub>2</sub>Si-Phase die Gleitebenen des Aluminiumgitters und es kommt zu einem Anstieg der Festigkeit und Härte.

### Knetlegierungen

Walzenbarren und Pressblöcke werden im Stranggussverfahren hergestellt. In vielen Fällen erfolgt nach dem Gießen ein Homogenisierungsglühen. Die Umwandlung des Gussgefüges in ein Knetgefüge erfolgt durch Warmwalzen, Strangpressen oder Schmieden. Erst nach dieser Warmumformung, bei der das verspröde eutektische Korn- bzw. Zellgrenzgerüst zertrümmert wird, ist eine Kaltumformung der Knetlegierungen möglich (Abb. 3-5).

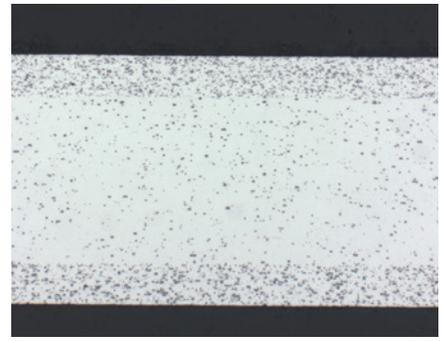


Abb. 3: Al-Legierung 2024, Gusszustand, eutektisches Korngrenzengerüst, ungeätzt, 200x.

Hauptlegierungselemente von Aluminium sind für Knetlegierungen Kupfer, Magnesium, Zink und Mangan. Silizium und Eisen beeinflussen die mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit und können je nach gewünschtem Reinheitsgrad oder Verwendungszweck Verunreinigung oder Legierungselement darstellen.

Knetlegierungen werden u.a. für Platten im Maschinen- und Formenbau verwendet; für Walzprodukte wie Bleche und Bänder und für lotplattierte Produkte wie Kühler und Wärmetauscher. Plattierte Bleche, die bestimmte mechanische Eigenschaften mit hohem Korrosionsschutz kombinieren, haben als Kern einen Barren aus einer Aluminiumlegierung der auf beiden Seiten mit z.B. reinem Aluminium belegt und ausgewalzt wird. Diese plattierten Bleche werden für spezifische Halbzeuge im Flugzeugbau verwendet, oder auch für dekorative Anwendungen, wie z.B. für Reflektoren und Zierteile.

Hochfeste Aluminium Knetlegierungen werden u.a. im Maschinenbau, der Fördertechnik, Elektrotechnik und in der Freizeit- und



Lotplattiertes Blech, Kern: Al-Legierung 3503, Plattierung: Al-Legierung 4104, ungeätzt, 100x.



Plattiertes Blech, Kern Al-Legierung 2024, Plattierung: Aluminium 99,5%, geätzt mit Dix und Keller, 50x.

Sportgeräteindustrie eingesetzt, z.B. Snowboardbindungen, Skistöcke, Zahnkränze für Mountainbikes etc.

Aluminium wird vermehrt als Matrix für Verbundwerkstoffe verwendet, wobei hier besonders die Verwendung von faserverstärktem Aluminium in der Luft- und Raumfahrt zu erwähnen ist.

### Nicht aushärtbare oder naturharte Legierungen werden durch Kaltverformung verfestigt

Hauptlegierungselement	Seriennummer	Legierungsbeispiele
Mehr als 99% rein, mit Spuren von Cu, Fe, Si	1xxx	Al 99,0; Al 99,5; Al 99,85
Mn	3xxx	Al-Mn; Al-Cu-Mn-Mg
Mg	5xxx	AlMg3; Al-Mg-Mn-Cr
Andere Elemente	8xxx	Al-Fe-Si; Al-Li-Mg-Cu

### Aushärtbare Legierungen werden durch Kalt- oder Warmaushärtung verfestigt

Cu	2xxx	Al-Cu-Si-Mg
Si	4xxx	Al-Si-Mg
Mg, Si	6xxx	Al-Mg-Si
Zn	7xxx	Al-Zn-Mg-Cu

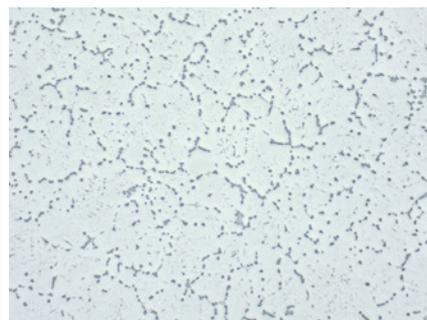


Abb. 4: Wie Abb. 3, homogenisiert, ungeätzt, 200x.



Abb. 5: Wie Abb. 4, warmgewalzt, ungeätzt, 200x.

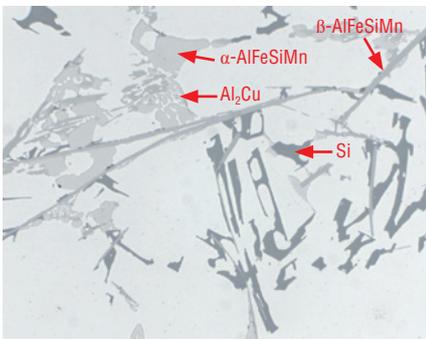


Abb. 6: AlSi6Cu4 Guss, die verschiedenen Phasen sind durch ihre Eigenfarbe zu identifizieren.

### Gusslegierungen

Aluminium wird in erster Linie zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften legiert. Die Legierungen unterscheiden sich durch ihre Hauptlegierungselemente Silizium, Magnesium und Kupfer. Legierungsmengen, die über die Mischkristallsättigung hinausgehen, werden entweder als reine Elemente ausgeschieden, z.B. Silizium oder in Form von Eutektika und intermetallischen Phasen. Silizium erhöht die Gießbarkeit des Aluminiums und eutektischen Legierungen, wie z.B. AlSi12, werden zur Verfeinerung des Eutektikums vor dem Abgießen kleine Mengen von Natrium zugegeben. Durch diese „Veredelung“ scheidet sich das Silizium nicht in groben Platten und Nadeln aus (Abb.7), sondern bildet mit dem  $\alpha$ -Mischkristall ein feines Eutektikum (Abb. 8). Bei diesen Legierungen ist die Aushärtungswirkung sehr gering, weshalb man Magnesium zulegiert, um sie aushärtbar zu machen.

Gusslegierungen werden im Sand-, Kokillen- und Druckguss hergestellt. Es gibt Legierungen mit besonderen Eigenschaften für zahlreiche Produktgruppen wie z.B. Kolben, Gleitlager, Maschinenteile, Zylinderköpfe, Bremsbacken usw.

#### Einige der wichtigsten Gusslegierungen und ihre Eigenschaften

AlSi10Mg	Aushärtbar, schwingungsfest, korrosionsbeständig
AlSi5Cu1	Aushärtbar, gut gieß- und schweißbar, für dünnwandige Gussstücke
AlMg3	Beständig gegen Seewasser
AlSi25 + Cu Ni	Sonderlegierung, Kolbenlegierung, aushärtbar, durch hohen Si-Gehalt verschleißfest
AlMgSiPb	Gut spanabhebend zu bearbeiten
AlSi9Cu3	Sehr gut gießbare Universalliegierung, wichtigste Druckgusslegierung

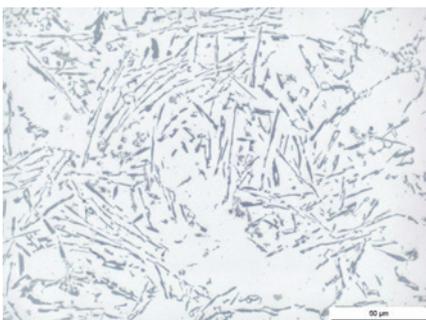


Abb. 7: Aluminium-Silizium-Guss, unveredelt, 500x.

## Schwierigkeiten bei der Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Mit zunehmendem Reinheitsgrad wird das Aluminium weicher und somit anfälliger für mechanische Verformung und Kratzer. Für die Präparation hat dies zur Folge, dass hochreine Aluminiumsorten während des Schleifens schon tief verformt werden. Schleif- und Diamantkörner können sich in die Schliifoberfläche eindrücken. Mit steigendem Legierungsgehalt wird das Aluminium härter und Aluminium-Gusslegierungen sind problemlos und relativ schnell zu präparieren. Es wird jedoch auch hier darauf hingewiesen, dass die Aluminiummatrix gut auspoliert werden muss, um Fehlinterpretationen zu vermeiden (Abb. 9 und 10).

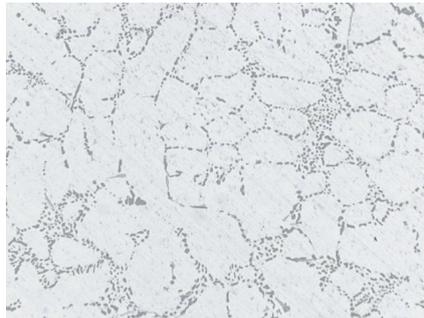


Abb. 9: Aluminium-Silizium-Guss, nach der Politur mit 3 µm Diamant sind noch feine Kratzer sichtbar, 200x.



Abb. 10: Wie Gefüge Abb. 9, jedoch feingepoliert mit OP-U Suspension, Grundgefüge ist gut auspoliert und Eutektikum ist deutlich kontrastreicher, 200x.

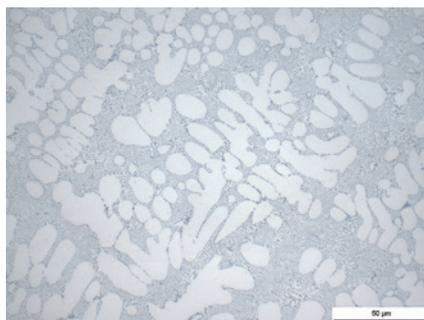


Abb. 8: Aluminium-Silizium-Guss, veredelt, mit fein ausgebildetem Eutektikum, 500x.

## Empfehlungen für die Präparation von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Zum **Trennen** von Aluminium verwendet man eine harte Siliziumkarbid-Trennscheibe, die generell für Nichteisenmetalle geeignet ist. Als **Einbettmittel** reicht in den meisten Fällen ein Phenolharz aus. Dünne Bleche, Folien und Proben die anodisiert werden, bettet man am besten in Epoxydharz ein. Dabei lässt man beim Eingießen die Proben als Kontakte auf der Rückseite überstehen.

### Mechanisches Schleifen und Polieren

Um die Verformung während des Schleifens so gering wie möglich zu halten wird empfohlen, grundsätzlich das Planschleifen mit der feinsten Körnung zu beginnen. Dabei müssen Härte, Größe und Menge der Schlitze in Betracht gezogen werden. Doch selbst bei größeren Proben aus reinem Aluminium reicht meistens Körnung 500 zum Planschleifen schon aus. Große Proben aus Gussteilen können mit Körnung 220 oder 320 geschliffen werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass der Anpressdruck ebenfalls sehr niedrig sein soll. Dadurch werden tiefe Verformungen verhindert und die Friktion zwischen Schleifpapier und Probenoberfläche reduziert, die besonders bei reinem Aluminium relativ hoch ist.

Das Diamantpolieren muss so lange durchgeführt werden, bis alle tiefen Kratzer vom Schleifen verschwunden sind. Falls wasserlösliche Gefügebestandteile identifiziert werden sollen, wird das Polieren mit wasserfreier Diamantsuspension und Schmiermittel empfohlen. Wenn während des Polierens Diamantkörner in die Probenoberfläche eingedrückt werden, kann das Endpolieren mit Siliziumdioxid relativ lange dauern (siehe Abb.1). Oft ist mit dem bloßen Auge schon zu erkennen, dass die Oberfläche an manchen Stellen matt und an anderen glänzend ist. Das deutet darauf hin, dass noch nicht ausreichend endpoliert ist. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese eingedrückten Körner zu Fehlinterpretationen des Gefüges führen können.



Ausschnitt eines Konstruktionsteils mit Aluminiumgussteilen.

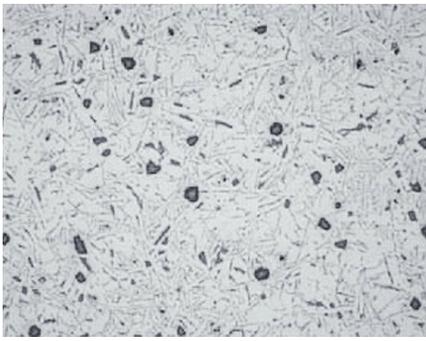


Abb.11: Aluminium-Silizium-Guss, zu lange mit OP-S Suspension poliert, Siliziumausscheidungen stehen im Relief, 100x.

Es empfiehlt sich zunächst 1 Minute mit Siliziumdioxidsuspension OP-U zu polieren und dann das Ergebnis im Mikroskop zu prüfen. Falls notwendig, nochmals 1 Minute polieren und erneut prüfen. Man kann dieses Polieren mit Siliziumdioxid so lange wiederholen bis die gewünschte Schliffqualität erzielt ist.

(Ca. 30 Sekunden vor Ende des Poliervorgangs lässt man Wasser auf das Poliertuch laufen und spült damit den Schliff und das Poliertuch ab. Danach die Probe unter fließendem Wasser nochmals gründlich reinigen und anschließend trocknen. Hinweis: Zu langes Polieren mit Siliziumoxidsuspension OP-S erzeugt ein ausgeprägtes Relief, siehe Abb.11).

Die folgenden Angaben beziehen sich auf die automatische Präparation von 6 eingebetteten Proben, 30 mm, in einem Halter eingespannt.

### Aluminium - Silizium Guss Schleifen

Stufe	PG	FG
<b>Unterlage</b>	MD-Molto	MD-Largo
<b>Abrasiv</b>	Type: Diamond Größe: #220	Diamond 9 µm
<b>Suspension / Lubrikant</b>	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9
<b>U/Min</b>	300	150
<b>Kraft (N)/ Proben</b>	25	30
<b>Zeit (Min.)</b>	Bis plan	4

### Polieren

Stufe	DP	OP
<b>Unterlage</b>	MD-Mol*	MD-Chem
<b>Abrasiv</b>	Type: Diamond Größe: 3 µm	Colloidal Silica 0.04 µm
<b>Suspension / Lubrikant</b>	DiaPro Mol R3	OP-U NonDry
<b>U/Min</b>	150	150
<b>Kraft (N)/ Proben</b>	25	15
<b>Zeit (Min.)</b>	3	1

**Elektrolytisches Polieren** eignet sich besonders für reines Aluminium und Knetlegierungen. Es ergibt eine kratzerfreie Oberfläche und wird häufig in der Qualitätskontrolle

wegen der schnellen und reproduzierbaren Ergebnisse eingesetzt. Für routinemäßige Korngrößenbestimmungen mit 100x Vergrößerung genügt das Vorschleifen mit

### Reines Aluminium Schleifen

Step	PG	FG 1	FG 2	FG 3
<b>Unterlage</b>	Foil/Paper*	Foil/Paper*	Foil/Paper*	Foil/Paper*
<b>Abrasiv</b>	Type: SiC Größe: #320/500	SiC #800	SiC #1200	SiC #4000
<b>Suspension / Lubrikant</b>	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
<b>U/Min</b>	300	300	300	300
<b>Kraft (N)/ Proben</b>	25	25	25	25
<b>Zeit (Min.)</b>	Bis plan	0.5	0.5	0.5

### Polieren

Step	DP	OP	*Um grobe Kratzer zu vermeiden kann das SiC-Papier vor dem Schleifen mit Wachs eingerieben werden. **Alternativ MD-Dac
<b>Unterlage</b>	MD-Mol**	MD-Chem	
<b>Abrasiv</b>	Type: Diamond Größe: 3 µm	Colloidal Silica 0.04 µm	
<b>Suspension / Lubrikant</b>	DiaPro Mol R3	OP-U or OP-S	
<b>Rpm</b>	150	150	
<b>Force (N)/ specimen</b>	25	15	
<b>Time (min)</b>	4	2-5	

### Reines Aluminium, alternative Methode Schleife

Stufe	PG	FG
<b>Unterlage</b>	Foil/Paper*	MD-Pan
<b>Abrasiv</b>	Type: SiC Größe: #320	Diamond 15 µm
<b>Suspension / Lubrikant</b>	Wasser	DiaPro Pan 15
<b>U/Min</b>	300	150
<b>Kraft (N)/ Proben</b>	25	25
<b>Zeit (Min.)</b>	Bis plan	5

### Polishing

Step	DP	OP
<b>Unterlage</b>	MD-Dac 3 or MD/Dur 3	MD-Chem
<b>Abrasiv</b>	Type: Diamond Größe: 3 µm	Colloidal Silica 0.04 µm
<b>Suspension / Lubrikant</b>	DiaPro Dac 3/Dur 3	OP-U or OP-S
<b>U/Min</b>	150	150
<b>Kraft (N)/ Proben</b>	25	15
<b>Zeit (Min.)</b>	4	2-5

\*Um grobe Kratzer zu vermeiden kann das SiC-Papier vor dem Schleifen mit Wachs eingerieben werden.

SiC-Papier Körnung 1000. Für Walz- und Profilerflächen kann ganz auf das Schleifen und/oder Polieren verzichtet werden. Für reines Aluminium und genaue Bestimmung der Kornform müssen die Proben vor dem elektrolytischen Polieren bis Körnung 2000 und manchmal sogar bis 4000 fein geschliffen werden. Gusslegierungen eignen sich wegen der Vielfalt der unterschiedlichen Phasen nicht zum elektrolytischen Polieren.

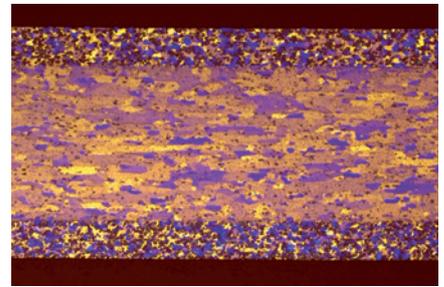


Abb.12: Lotplattiertes Blech, anodisiert, Kornflächen sind gut zu sehen und für automatische Korngrößenbestimmung geeignet, polarisiertes Licht mit  $\lambda/4$ -Plättchen, 100x.

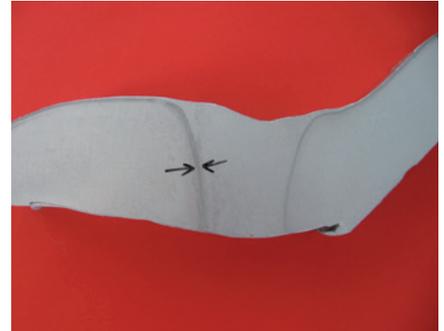


Abb.13: Pressstück, durch NaOH Ätzung sichtbar gemachte Primärausscheidungen und Heterogenitäten, die sich nachteilig auf die Oberfläche des Fertigprodukts auswirken können.

Elektrolyt:	A2
Maske:	2 cm <sup>2</sup>
Spannung:	39 V
Fließrate:	10
Zeit:	20 sec

Ein anschließendes Anodisieren mit dem Barker-Ätzmittel ergibt eine Farbätzung, die sich besonders gut zur Korngrößenbestimmung eignet. Um den Farbeffekt zu erzielen wird polarisiertes Licht mit einem  $\lambda/4$ -Plättchen verwendet (Abb.12).

Elektrolyt:	200 ml Wasser 10 ml Fluorborwasserstoffsäure (35%) (Barker)
Maske:	2 cm <sup>2</sup>
Spannung:	24 V
Fließrate:	8
Zeit:	1-2 Min.

### Ätzen und Gefüge

Makroätzungen werden z.B. für Korngrößenbestimmungen, Fließverhalten beim Strangpressen (Abb.13) und zum Sichtbarmachen von Schweißnähten angewandt. Für Makroätzungen wird die Probe bis zur Körnung 1200 oder 4000 geschliffen.

Durch die zahlreichen Legierungsmöglichkeiten des Aluminiums ergeben sich eine Vielfalt unterschiedlicher Phasen, die bei Mehrstofflegierungen oft nicht eindeutig zu unterscheiden sind. Einige der bekanntesten Phasen haben die folgenden Eigenfarben (siehe auch Abb. 6):

Si	Grau
Mg <sub>2</sub> Si	Läuft beim Polieren dunkelblau an (im Guss: Chinesenschrift)
Al <sub>2</sub> Cu	Rosa, kupferfarben
Al <sub>6</sub> Mn	Hellgrau

**Struers ApS**

 Pederstrupvej 84  
 DK-2750 Ballerup, Denmark  
 Phone +45 44 600 800  
 Fax +45 44 600 801  
 struers@struers.dk  
 www.struers.com

**NETHERLANDS**
**Struers GmbH Nederland**  
 Zomerdijk 34 A  
 3143 CT Maassluis  
 Telefoon +31 (10) 599 7209  
 Fax +31 (10) 5997201  
 netherlands@struers.de

**NORWAY**
**Struers ApS, Norge**  
 Sjeskogenvieien 44C  
 1407 Vinterbro  
 Telefon +47 970 94 285  
 info@struers.no

**AUSTRIA**
**Struers GmbH**  
 Zweigniederlassung Österreich  
 Betriebsgebiet Puch Nord 8  
 5412 Puch  
 Telefon +43 6245 70567  
 Fax +43 6245 70567-78  
 austria@struers.de

**POLAND**
**Struers Sp. z o.o.**  
 Oddział w Polsce  
 ul. Jasnogórska 44  
 31-358 Kraków  
 Phone +48 12 661 20 60  
 Fax +48 12 626 01 46  
 poland@struers.de

**ROMANIA**
**Struers GmbH, Sucursala Bucuresti**  
 Str. Preciziei nr. 6R  
 062203 sector 6, Bucuresti  
 Phone +40 (31) 101 9548  
 Fax +40 (31) 101 9549  
 romania@struers.de

**SWITZERLAND**
**Struers GmbH**  
 Zweigniederlassung Schweiz  
 Weissenbrunnstraße 41  
 CH-8903 Birrensdorf  
 Telefon +41 44 777 63 07  
 Fax +41 44 777 63 09  
 switzerland@struers.de

**SINGAPORE**
**Struers Singapore**  
 627A Aljunied Road,  
 #07-08 BizTech Centre  
 Singapore 389842  
 Phone +65 6299 2268  
 Fax +65 6299 2661  
 struers.sg@struers.dk

**SPAIN**
**Struers España**  
 Camino Cerro de los Gamos 1  
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón  
 CP 28224 Madrid  
 Teléfono +34 917 901 204  
 Fax +34 917 901 112  
 struers.es@struers.es

**FINLAND**
**Struers ApS, Suomi**  
 Hietalahdenranta 13  
 00180 Helsinki  
 Puhelin +358 (0)207 919 430  
 Faksi +358 (0)207 919 431  
 finland@struers.fi

**SWEDEN**
**Struers Sverige**  
 Box 20038  
 161 02 Bromma  
 Telefon +46 (0)8 447 53 90  
 Telefax +46 (0)8 447 53 99  
 info@struers.se

**UNITED KINGDOM**
**Struers Ltd.**  
 Unit 11 Evolution @ AMP  
 Whittle Way, Catcliffe  
 Rotherham S60 5BL  
 Tel. +44 0845 604 6664  
 Fax +44 0845 604 6651  
 info@struers.co.uk

**USA**
**Struers Inc.**  
 24766 Detroit Road  
 Westlake, OH 44145-1598  
 Phone +1 440 871 0071  
 Fax +1 440 871 8188  
 info@struers.com

08.03.2019 / 62240407

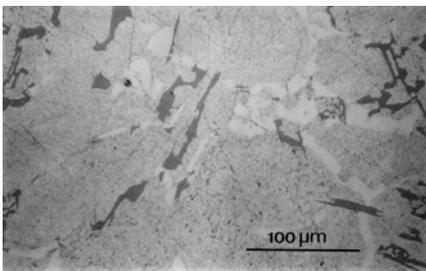
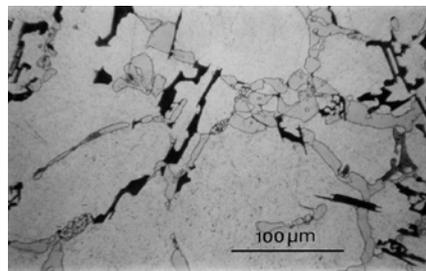


Abb. 15: Experimentelle Al-Legierung mit 6% Si und 10% Kupfer, ungeätzt.


 Abb. 16: Wie Abb. 15, 30 Sekunden geätzt mit 1g Ammonium-heptamolybdat in 200 ml Wasser + 6 g Ammonium-chlorid. Das dunkelblau gefärbte Silizium hebt sich deutlich von dem gräulichen-gelben CuAl<sub>2</sub> ab.

Je nach Legierungsgehalt sind diese eutektischen Phasen manchmal auch an der typischen Ausbildung ihres Eutektikums zu erkennen. In der Literatur sind Ätzmittel angegeben, mit denen verschiedene Phasen identifiziert werden können (Abb. 15 und 16).

Knetlegierungen mit sehr stark verformtem Gefüge, z.B. von Folien und dünnen Blechen, lassen sich nur schwer durch chemisches Ätzen kontrastieren, wodurch die automatische Bildanalyse erschwert wird. Es empfiehlt sich mit Barker zu ätzen und anschließend den Schliff am Mikroskop auszuwerten, da selbst mit Barker oft der Kontrast für eine automatische Bildanalyse nicht ausreicht. Hier ist darauf hinzuweisen, dass bestimmte Spezifikationen für Knetlegierungen eine händische Korngrößenbestimmung vorschreiben, da eine Bildanalyse zu ungenau ist.

**Ätzmittel**

*Hinweis:* Beim Umgang mit Chemikalien müssen immer die empfohlenen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden.

**Makroätzmittel**

Für Reinaluminium	90 ml Wasser
	15 ml Salzsäure
	10 ml Flusssäure

Tiefenätzung zum Nachweis des dendritischen Gefüges im Primärguss

	100 ml Wasser
	10-25g Natriumhydroxid

**Mikroätzmittel**

*Flick:*  
Korngrenzenätzung für die meisten Al-Sorten und Legierungen

	90-100 ml Wasser
	0.1-10 ml Flusssäure

Dix und Keller:  
Kornflächenätzung für kupferhaltige Al-Legierungen, eignet sich auch für Reinaluminium

	190 ml Wasser
	5 ml Salpetersäure
	10 ml Salzsäure
	2 ml Flusssäure

Farbätzung: Molybdänsäure-Ätzmittel nach Klemm oder Weck.

**Zusammenfassung**

Aluminium und seine Legierungen finden wegen der geringen Dichte, guter Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit vielfältige Anwendung u.a. im Automobilbau, in der Luft- und Raumfahrt und in der Verpackungsindustrie. Die Metallografie wird in der Qualitätskontrolle zur Korngrößenbestimmung und zur

Beurteilung von Phasen, Verunreinigungen und mechanischen Materialfehlern eingesetzt. Reines Aluminium neigt stark zu mechanischer Verformung und das Schleifen sollte deshalb nicht mit groben Körnungen erfolgen. Beim Polieren ist darauf zu achten, dass eingedrückte Diamantkörner durch sorgfältiges Endpolieren mit Siliziumdioxid vollständig entfernt werden. Aluminiumlegierungen sind relativ schnell und einfach zu polieren. Zur Korngrößenbestimmung ist das Anodisieren mit dem Barker Ätzmittel besonders geeignet, da diese Methode einen besseren Kontrast ergibt als chemisches Ätzen. Unterschiedliche Phasen in Gusslegierungen können entweder durch ihre Eigenfarbe oder durch gezielten Einsatz von spezifischen Ätzmitteln identifiziert werden.

**Autorinnen**

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier  
 Struers A/S Kopenhagen, Dänemark

**Danksagung**

Wir bedanken uns bei der Fa. AMAG rolling GmbH, Ranshofen, Österreich, für die Abbildung der Lampen auf Seite 3 und für Probenmaterial. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dr. Reinhardt Rachlitz und Frau Petra Mersch für ihre Unterstützung.

Wir bedanken uns bei der Fa. Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen, Österreich, für die Aufnahme der Alu-Felge auf Seite 1.

Wir bedanken uns bei Thomas Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Dänemark, für die Erlaubnis zur Wiedergabe der Abb.17.

**Bibliographie**

Structure 38, Thomas, Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Dänemark, A universal method for the mechanical preparation of aluminium alloy specimens with high edge retention and their subsequent colour etching.

Structure 8, Etching of aluminium alloys, Dr. Philippe Lienard, Prof. Clement Pacque, Faculte Polytechnique de Mons, Belgien.

ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004.

Metals Handbook, Desk Edition, ASM, 1997.

Informationsmaterial des Gesamtverbands Deutscher Metallgießereien e.V., Düsseldorf.



Abb. 17: Grat an einer Lotverbindung eines Wärmetauschers, vorgeätzt mit Natriumhydroxid, geätzt mit Kaliumpermanganat-Farbätzung nach Weck.

**AUSTRALIA & NEW ZEALAND**
**Struers Australia**  
 27 Mayneview Street  
 Milton QLD 4064  
 Australia  
 Phone +61 7 3512 9600  
 Fax +61 7 3369 8200  
 info.au@struers.dk

**BELGIUM (Wallonie)**
**Struers S.A.S.**  
 370, rue du Marché Rollay  
 F- 94507 Champigny  
 sur Marne Cedex  
 Téléphone +33 1 5509 1430  
 Télécopie +33 1 5509 1449  
 struers@struers.fr

**BELGIUM (Flanders)**
**Struers GmbH Nederland**  
 Zomerdijk 34 A  
 3143 CT Maassluis  
 Telefoon +31 (10) 599 7209  
 Fax +31 (10) 5997201  
 netherlands@struers.de

**CANADA**
**Struers Ltd.**  
 7275 West Credit Avenue  
 Mississauga, Ontario L5M 5M9  
 Phone +1 905-814-8855  
 Fax +1 905-814-1440  
 info@struers.com

**CHINA**
**Struers Ltd.**  
 No. 1696 Zhang Heng Road  
 Zhang Jiang Hi-Tech Park  
 Shanghai 201203, P.R. China  
 Phone +86 (21) 6035 3900  
 Fax +86 (21) 6035 3999  
 struers@struers.cn

**CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA**
**Struers GmbH Organizační složka vědeckotechnický park**  
 Pilspešská 1920,  
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy  
 Phone +420 233 312 625  
 Fax +420 233 312 640  
 czechrepublic@struers.de  
 slovakia@struers.de

**GERMANY**
**Struers GmbH**  
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5  
 D- 47877 Willich  
 Telefon +49 (0) 2154 486-0  
 Fax +49 (0) 2154 486-222  
 verkauf@struers.de

**FRANCE**
**Struers S.A.S.**  
 370, rue du Marché Rollay  
 F-94507 Champigny  
 sur Marne Cedex  
 Téléphone +33 1 5509 1430  
 Télécopie +33 1 5509 1449  
 struers@struers.fr

**HUNGARY**
**Struers GmbH**  
 Magyarországi Fióktelepe  
 2040 Budaörs  
 Szabadság utca 117  
 Phone +36 2380 6090  
 Fax +36 2380 6091  
 Email: hungary@struers.de

**IRELAND**
**Struers Ltd.**  
 Unit 11 Evolution @ AMP  
 Whittle Way, Catcliffe  
 Rotherham S60 5BL  
 Tel. +44 0845 604 6664  
 Fax +44 0845 604 6651  
 info@struers.co.uk

**ITALY**
**Struers Italia**  
 Via Monte Grappa 80/4  
 20020 Arese (MI)  
 Tel. +39-02/38236281  
 Fax +39-02/38236274  
 struers.it@struers.it

**JAPAN**
**Marumoto Struers K.K.**  
 Takanawa Muse Bldg. 1F  
 3-14-13 Higashi-Gotanda,  
 Shinagawa  
 Tokyo  
 141-0022 Japan  
 Phone +81 3 5488 6207  
 Fax +81 3 5488 6237  
 struers@struers.co.jp