

# Aluminiumlegierungen für Strukturteile und deren Wärmebehandlung

Dr.-Ing. Hubert Koch, TRIMET Aluminium SE Essen



# TRIMET Gruppe

Seit mehr als 30 Jahren ist TRIMET ein unabhängiges Familienunternehmen

1985

Gegründet

8

Standorte

3100

Mitarbeiter

150

Auszubildende

1,9Mrd.€

Umsatz

131Mio.€

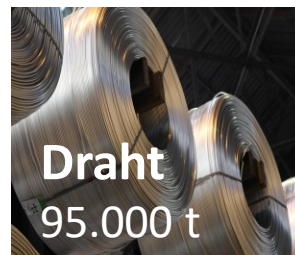
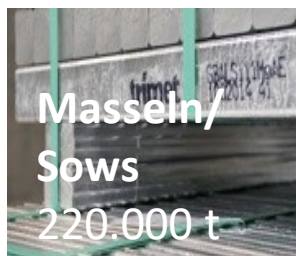
Investitionen

56%

Eigenkapitalquote

775Tsd.t

Produktion



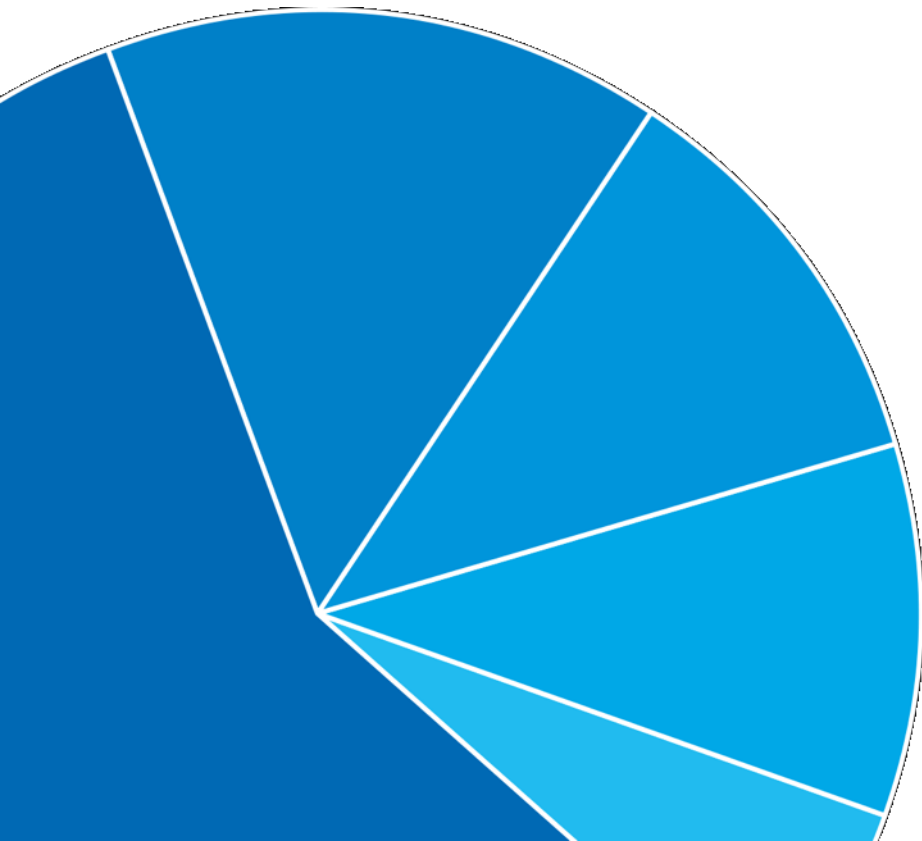
\*Geschäftsjahr 2017/18

\*inkl. Joint Venture TRIMET Automotive

Vortrag AMAP, Aachen Mai 2019

# Branchenverteilung

TRIMET Aluminium macht Autos sparsamer, Bauwerke moderner, Verpackungen umweltfreundlicher und Maschinen effizienter



**58%** Verkehr

**15%** Verpackung

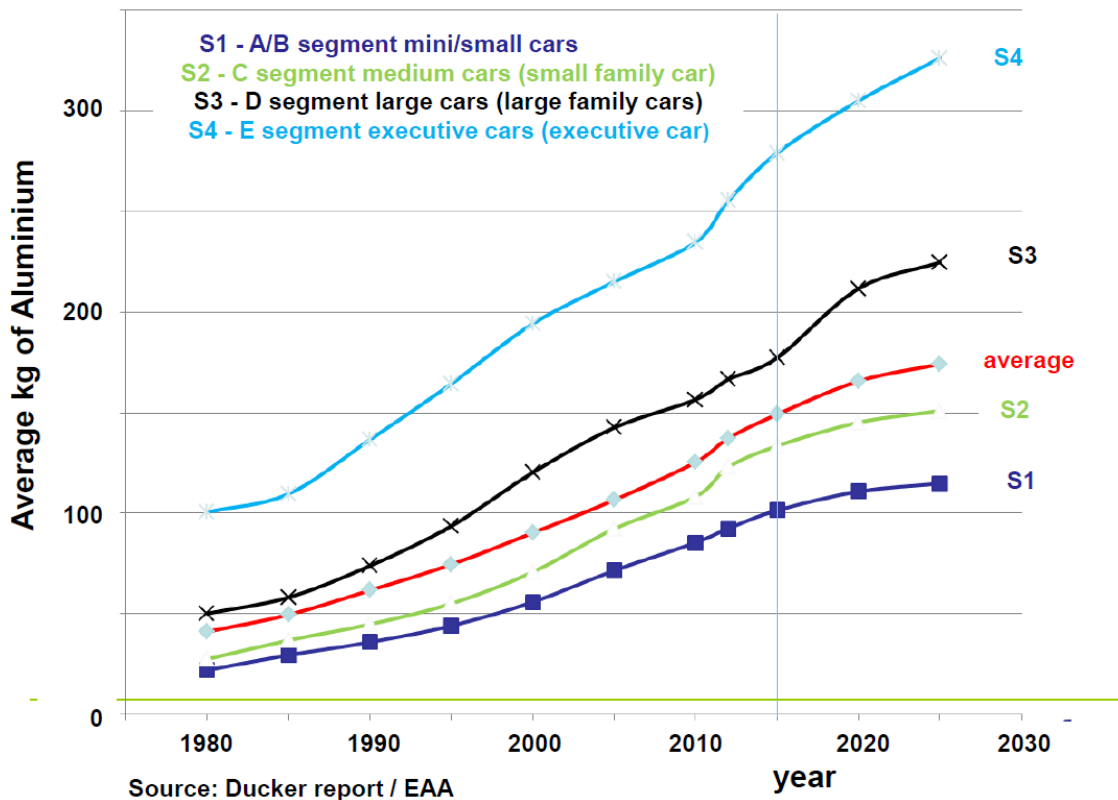
**11%** Bau

**10%** Energie

**6%** Maschinenbau



# Aluminium content per car



# Aluminiumformguss

Mit Aluminiumformguss werden Fertigbauteile hergestellt, die je nach Produkt, Seriengröße und Maßgenauigkeit mit verschiedenen Gießverfahren, wie Sand-, Druck- und Kokillenguss hergestellt werden. Die Automobilindustrie ist der bedeutendste Kundenkreis für Formgießer. Die

Erzeugung von Aluminiumformguss (Druck-, Kokillen- und Sandguss) belief sich im Jahr 2015 auf insgesamt 1.065.500 Tonnen. Im Vorjahr 2014 wurden 992.800 Tonnen Aluminiumformguss produziert. Dies bedeutet in 2015 ein Produktionsplus von rund 7%.

In Tonnen	2015	2016	2017
Druckguss	615.000	631.000	664.000
Kokillenguss	332.000	344.000	347.000
Sandguss	111.000	110.000	99.000
sonstige	8.000	11.000	12.000
<b>Gesamt</b>	<b>1.066.000</b>	<b>1.096.000</b>	<b>1.122.000</b>

Quelle: Gesamtverband der deutschen Aluminiumindustrie, (GDA)

Aluminiumguss ist **ein begehrter Konstruktionswerkstoff** und wird heute in allen Bereichen der Technik eingesetzt. Dabei spielen natürlich die hervorragenden Eigenschaften der Aluminiumgusswerkstoffe eine entscheidende Rolle. Neben der sehr **guten Vergiessbarkeit** und den **hohen mechanischen und dynamischen Eigenschaften** sind hier zu nennen:

- Geringe Dichte
- hoher Korrosionswiderstand
- hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit
- keine Versprödung bei tiefsten Temperaturen
- schweißgeeignet mit allen gängigen Verfahren
- dekorative Gussoberflächen (Polieren, Anodisieren)
- gute Spanbarkeit
- unendlich recycelbar und damit absolut nachhaltig

Gusslegierungen und deren Anwendungspotential

## Die Definition

Gegossene Strukturbauteile sind (große) stabilitätsgebende Bauteile, welche dem Leichtbaugedanken durch Maßgenauigkeit und Funktionsintegration gerecht werden. Im Crash-Fall wird von ihnen ein hohes Energieabsorptionsvermögen abgefordert.

Ralf Klos, Hubert Koch, Brainstorming 2017

Aluminium ist hier der Werkstoff der Wahl

## Anforderungen an Strukturguss

- Wanddickenbereiche von ca. 1 – 4 mm
- Komplexe Geometrie mit Verrippungen, Wanddickenübergängen und Durchbrüchen
- Streckgrenzen von 100MPa bis 250MPa (und mehr)
- Zugfestigkeit von 200 – 350MPa (oder mehr)
- Dehnung > 7%
- Stabile Eigenschaften über die Lebensdauer
- Ermüdung größer 80MPa bei  $10^6$  Zyklen
- Zähigkeit größer 90KJ/m<sup>2</sup> oder Biegewinkel >50°
- Verbindungen mittels Schweißen, Nieten, Durchsetzfügen und Kleben
- Keine Neigung zu Spannungsrisskorrosion

Hieraus folgt, dass der Druckgussprozess das Verfahren der Wahl ist





21 Aktenzeichen: P 30 41 340.2-24  
22 Anmeldetag: 3. 11. 80  
23 Offenlegungstag: 13. 5. 82  
25 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 6. 87

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Maschinenfabrik Müller-Weingarten AG, 7987  
Weingarten, DE; Vereinigte Aluminium-Werke AG,  
1000 Berlin und 5309 Bonn, DE

30 Teil in: P 30 50 628.6

72 Erfinder:

Lossack, Edgar, Dr.-Ing., 5300 Bonn, DE;  
Spriestersbach, Jochen, Dr.-Ing., 5305 Alfter, DE;  
Baur, Josef; Schwab, Wilfried, 7987 Weingarten, DE

55 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene  
Druckschriften nach § 44 PatG:

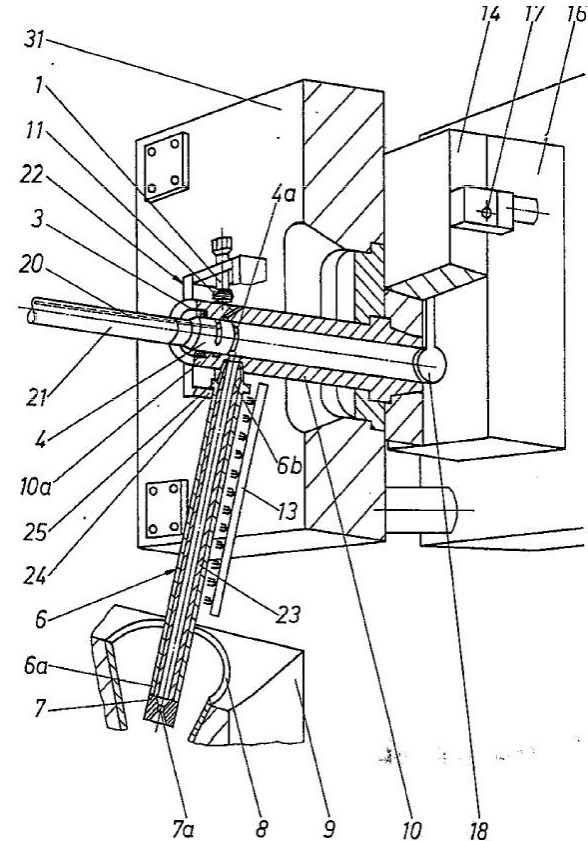
DE-PS 15 58 261  
DE-OS 14 83 608  
DE-OS 14 58 151  
US 30 09 218

DE-Z.: Gießerei, 64 (1977) 9, S. 236-240;  
DE-Z.: Gießerei, 62 (1975), S. 257-262;  
DE-Z.: Gießerei-Praxis, 20(1969), S. 365-371;  
DE-B.: TROMMER/LIEBY, Druckgieß-Technik, Bd. I,  
1985, S. 75-79, 112, 113;  
DE-B.: BRUNHUBER, Moderne Druckgußfertigung,  
1971, S. 62-61;

54 Druckgussverfahren zur Herstellung gasarmer, porenarmer und oxydarter Gußstücke mittels einer  
Kaltkammer-Druckgießmaschine

DE 3041340 C2

## VACURAL™ Patent von 1980



# Legierungen für Strukturteile

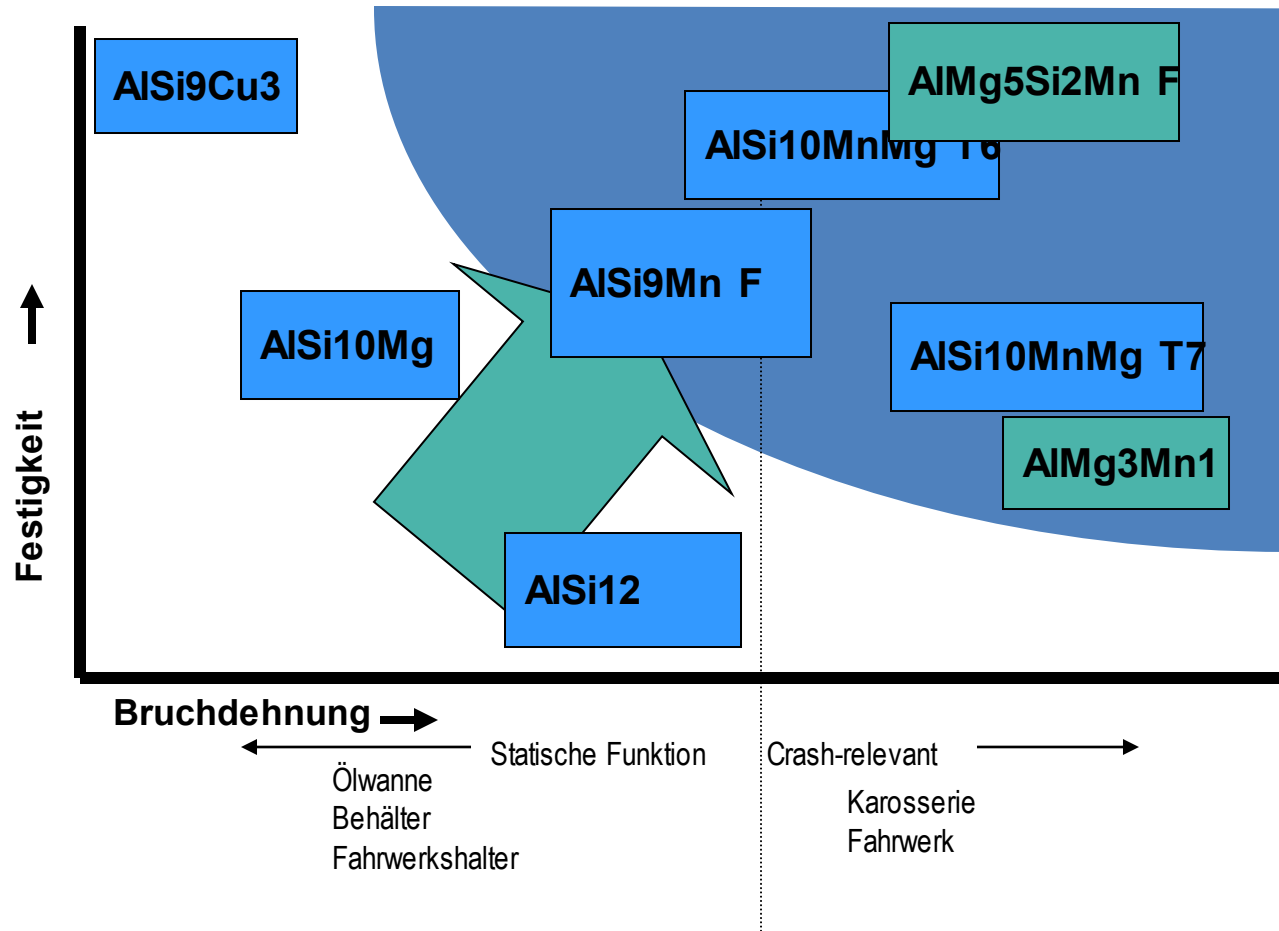
AlSi10MnMg

AlMg5Si2Mn

AlSi9Mn

AlSi10MnMgZnZr

(AlMg3Mn)



EN AB-Al Si10MnMg  
EN AB-43500

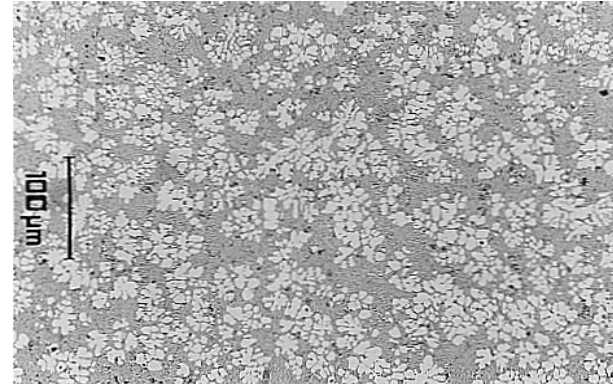
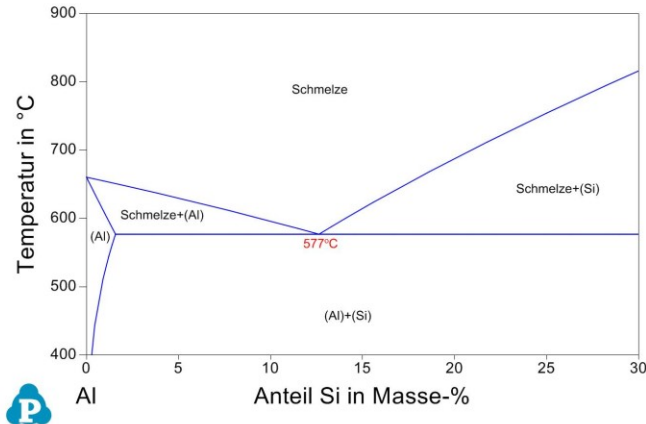
Si 10,5 Fe <0,20 Cu <0,03 Mn 0,6 Zn <0,07 Sr 0,015

Silizium: Gießbarkeit, Festigkeit

Mangan: kein Kleben in der Form, ersetzt Eisen

Magnesium: Festigkeit, Aushärtungsverhalten

Strontium: Gießbarkeit, Dehnung

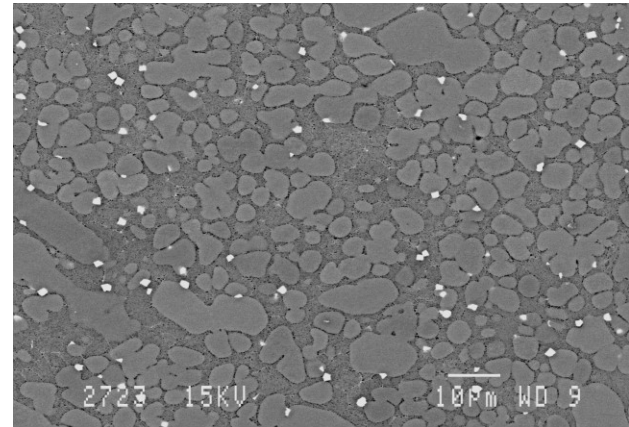
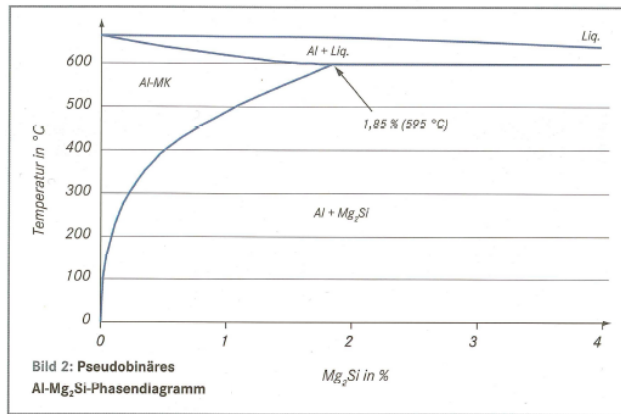


EN AB-Al Mg5Si2Mn  
EN AB-51500

Si 2,2 Fe <0,20 Cu<0,08 Mn 0,6 Mg 5,5 Zn 0,07 Be 0,001

Silizium/Magnesium: Gießbarkeit, Festigkeit

Mangan: wenig Kleben in der Form, ersetzt Eisen



## Al Si9Mn (Mo, Zr, V, Ti, Cu) Nicht genormt

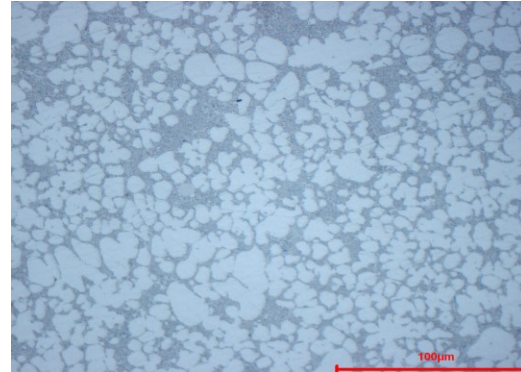
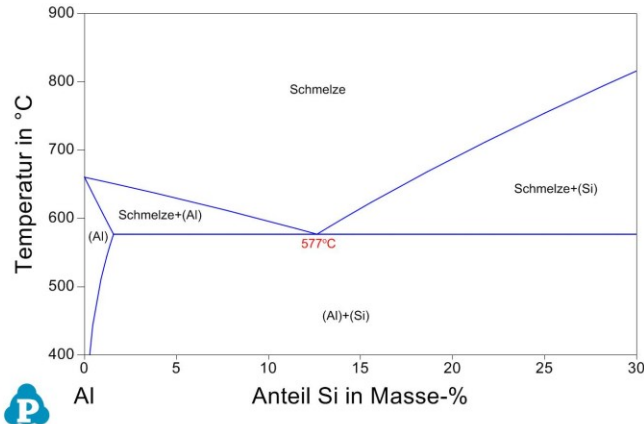
Si 9,0 Fe <0,12 Cu <0,06 Mn 0,5 Mg <0,08 Zn <0,06 Sr 0,015

Silizium: Gießbarkeit, Festigkeit

Mangan: kein Kleben in der Form, ersetzt Eisen

Mo, Zr, V, Cu: Streckgrenze

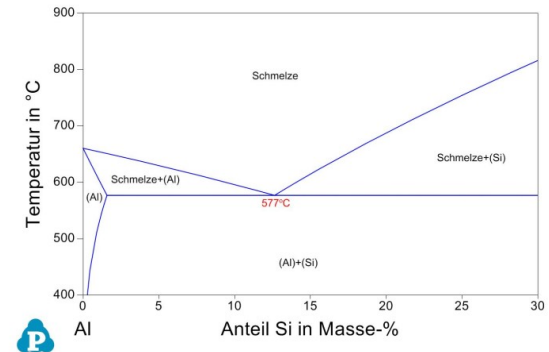
Strontium: Gießbarkeit, Dehnung



Al Si10MnMgZnZr  
Nicht genormt

Si 10,0 Fe <0,15 Cu <0,05 Mn 0,6 Mg 0,4 Zn 0,2 Sr 0,016

- Silizium: Gießbarkeit,
- Mangan: kein Kleben in der Form, ersetzt Eisen
- Zirkon: Festigkeit
- Zink: Formfüllung
- Strontium: Gießbarkeit, Dehnung

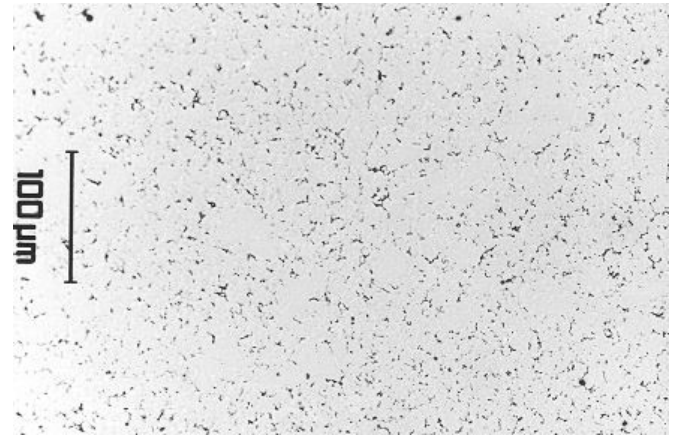
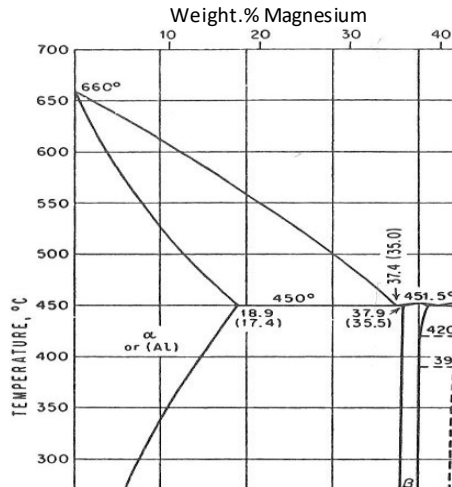


# Al Mg3Mn1 Nicht genormt

Si <0,1 Fe <0,20 Cu < 0,03 Mn 1,0 Mg 3,0 Zn <0,07

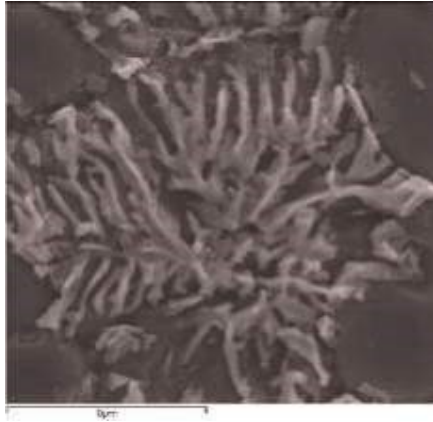
Magnesium: Festigkeit

Mangan: wenig Kleben in der Form, Festigkeit

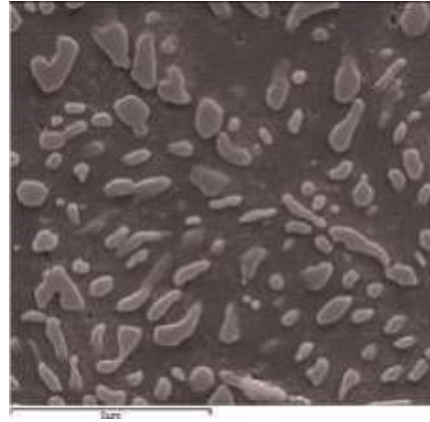




## Die Wärmebehandlung

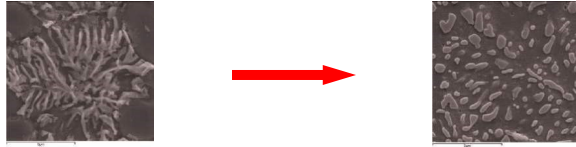


F



T6

Die Lösungsglühtemperatur bewirkt eine Einformung der Gussphasen

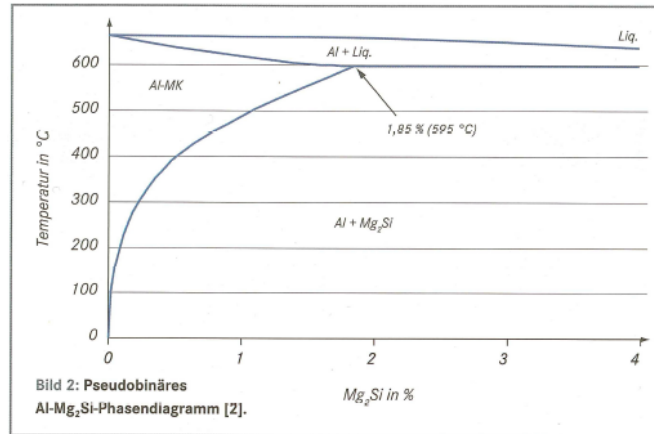


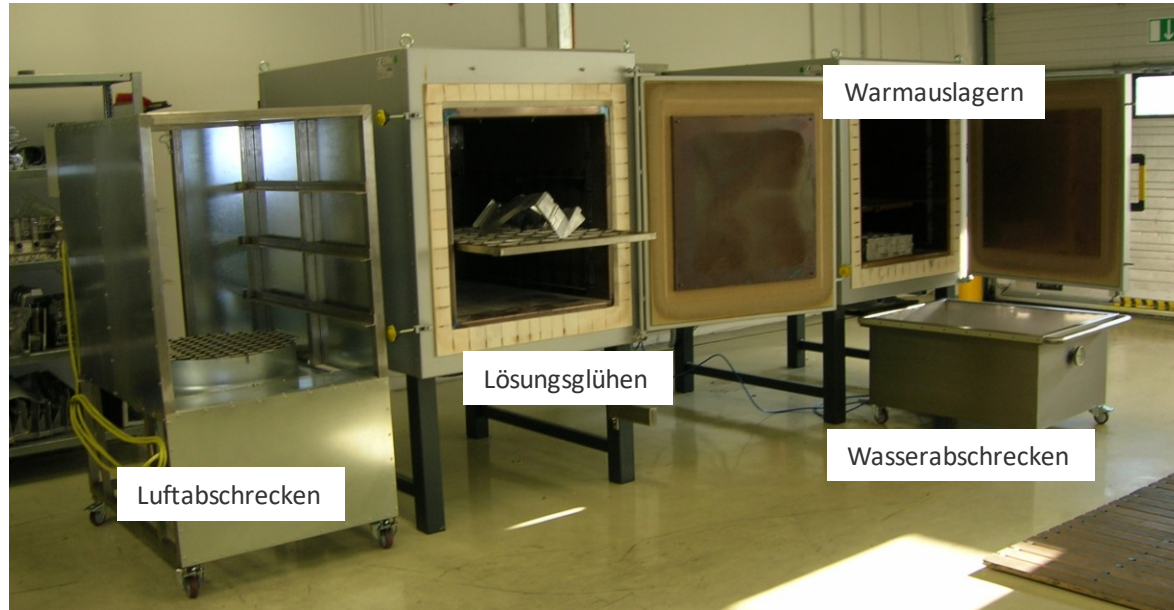
Durch eine schnelle Abkühlung von hoher Temperatur bis Raumtemperatur bleiben bestimmte Elemente in Lösung.

Bei einer anschließenden Auslagerung (kalt oder warm) können diese

Elemente sich in der Matrix anordnen  
und so das Aluminium-Gitter weiter  
verspannen.

→ Der Werkstoff härtet aus.

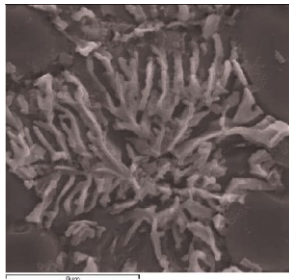




Testanlage für Wärmebehandlungen

Einfluss der Lösungsglüh­temperatur  
auf die Silizium-Morphologie  
AlSi10MnMg

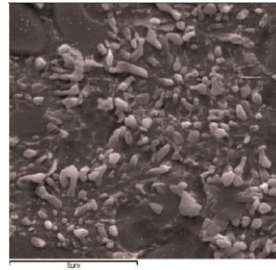
Temper F



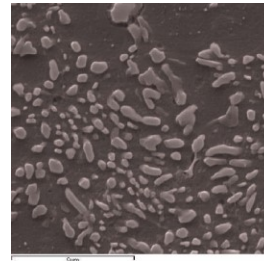
340°C



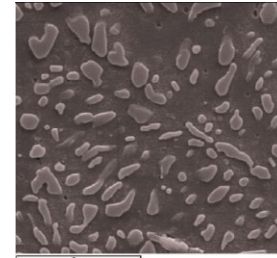
360°C

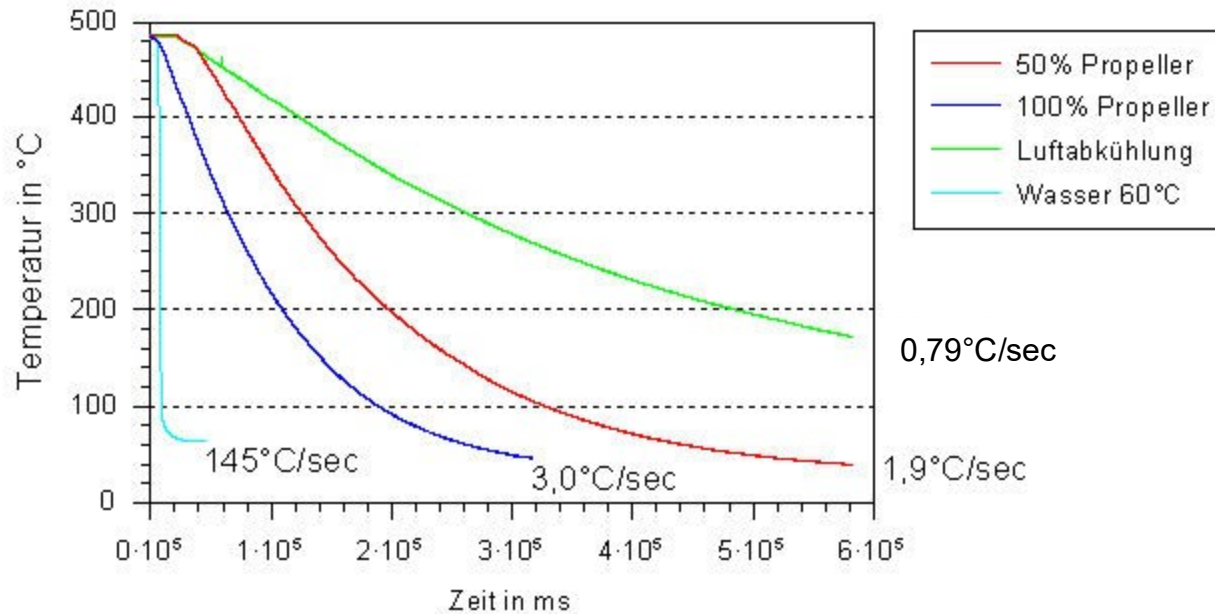


380°C

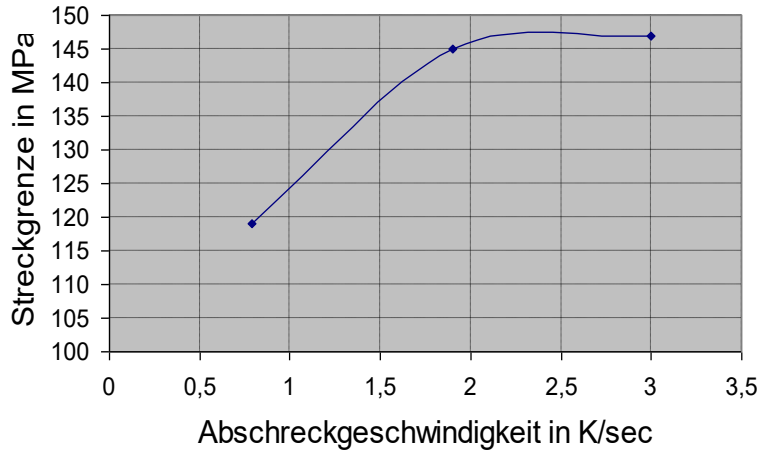


400°C

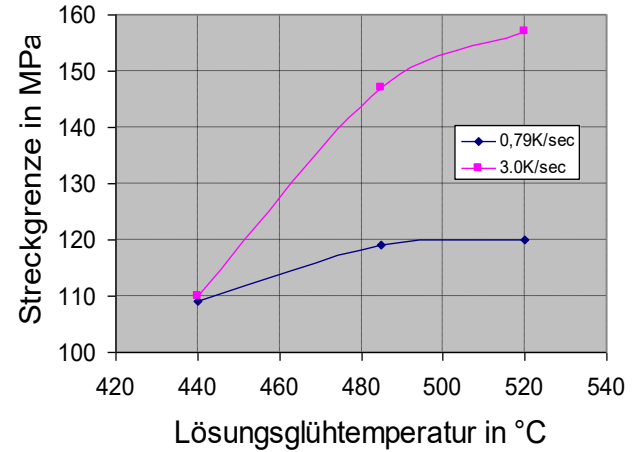




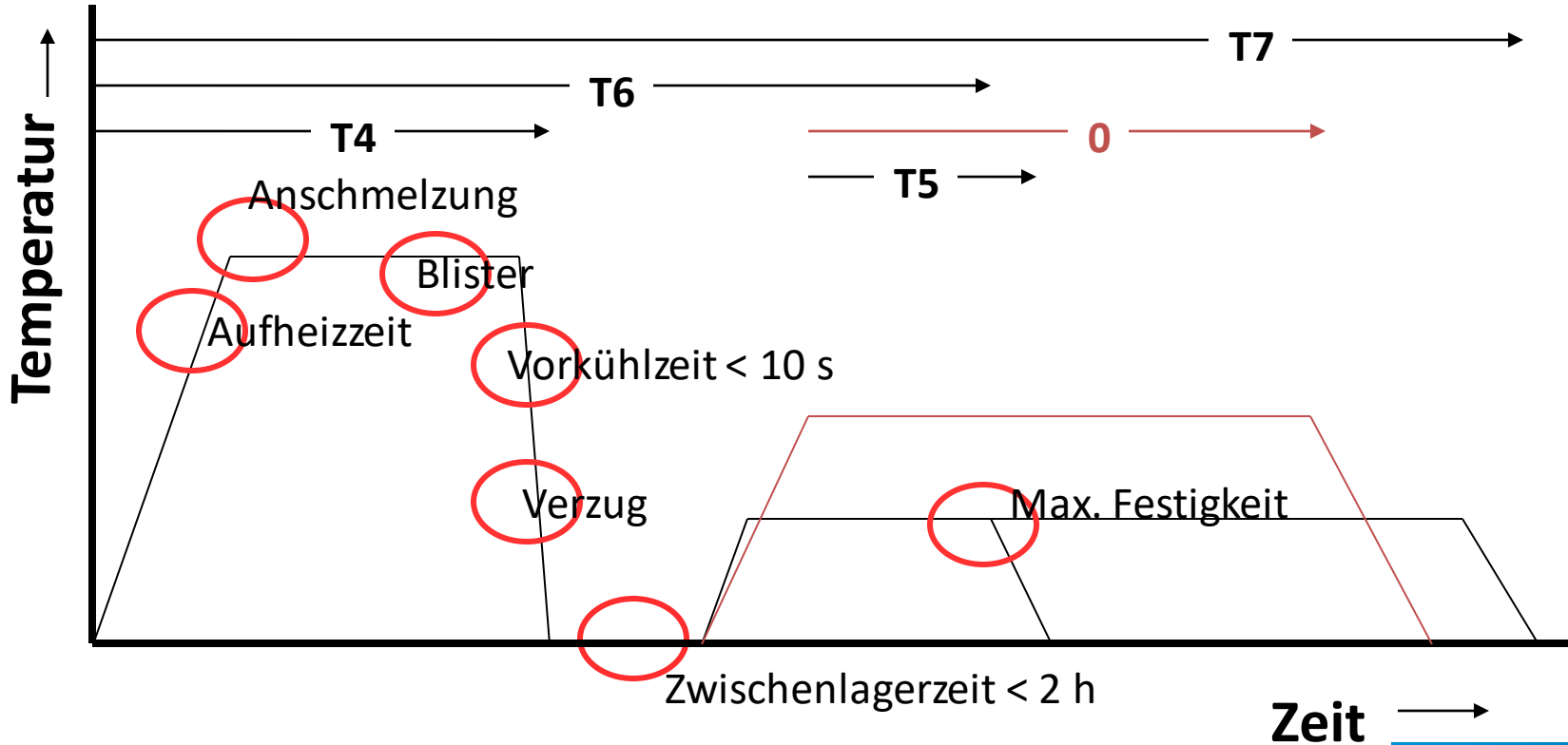
Testanlage für Wärmebehandlungen,  
Abkühlungskurven




Einfluss der WB Parameter  
auf die Streckgrenze  
AlSi10MnMg



# Problemstellung bei der Wärmebehandlung





Eine Wärmebehandlung von Aluminium-Struktur-Guss beeinflusst:

die mechanischen Eigenschaften

die Langzeitfestigkeit

die Korrosionseigenschaften

die el. Leitfähigkeit

die Bearbeitbarkeit

In der Hauptsache wird die Wärmebehandlung zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften angewendet.

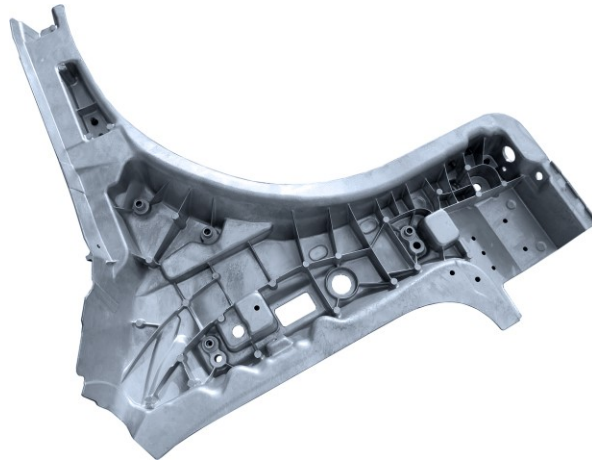




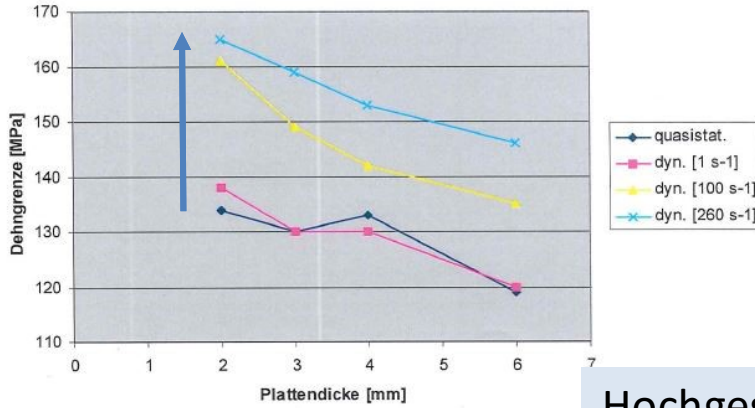
Die Werkstoffzustände /Behandlungen sind genormt und haben folgende Bezeichnungen:

- F Gußzustand
- O weichgeglüht
- T1 kontrollierte Abkühlung nach dem Guß und Kaltauslagerung
- T4 Lösungsglühen, Abschrecken und Kaltauslagerung
- T5 Kontrollierte (schnelle) Abkühlung nach dem Guß und Warmauslagerung
- T64 Lösungsglühung, Abschrecken und Warmauslagerung bis **vor** dem Punkt der maximalen Festigkeit
- T6 Lösungsglühung, Abschrecken und Warmauslagerung bis zur maximalen Festigkeit
- T7 Lösungsglühen, Abschrecken und Warmauslagerung **über den** Punkt der maximalen Festigkeit hinaus

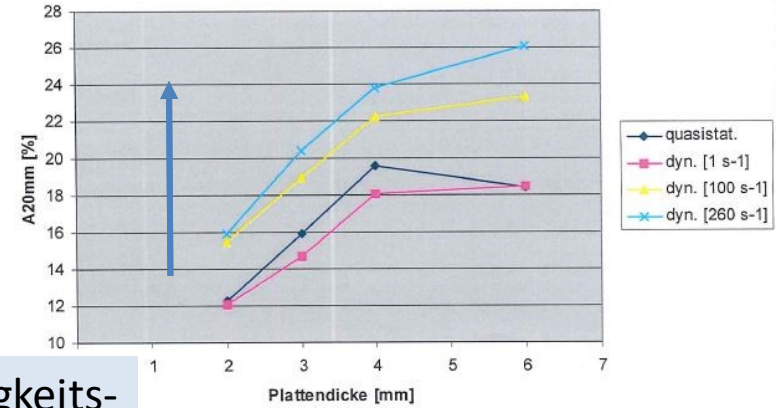
## Weiter Eigenschaften



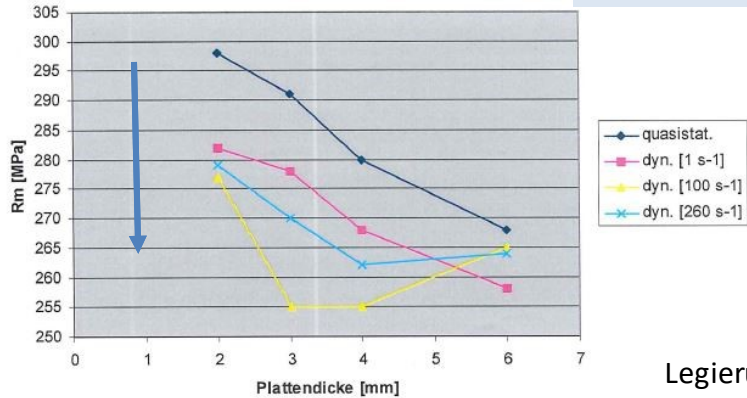
Dehngrenze Rp0,2 [MPa]



Bruchdehnung A20mm [%]



Zugfestigkeit Rm [MPa]



## Hochgeschwindigkeitsverformung

Prüfparameter:

Prüfart	Abzugsgeschwindigkeit $V_0$	nominale Dehnrates ( $de/dt = V_0/L_0$ )
quasistatisch	$5 \cdot 10^{-6}$ m/s	$2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
dynamisch (Hochgeschwindigkeit)	25 mm/s	$1 \text{ s}^{-1}$
dynamisch (Hochgeschwindigkeit)	2,5 m/s	$100 \text{ s}^{-1}$
dynamisch (Hochgeschwindigkeit)	6,5 m/s	$260 \text{ s}^{-1}$

1 km/h

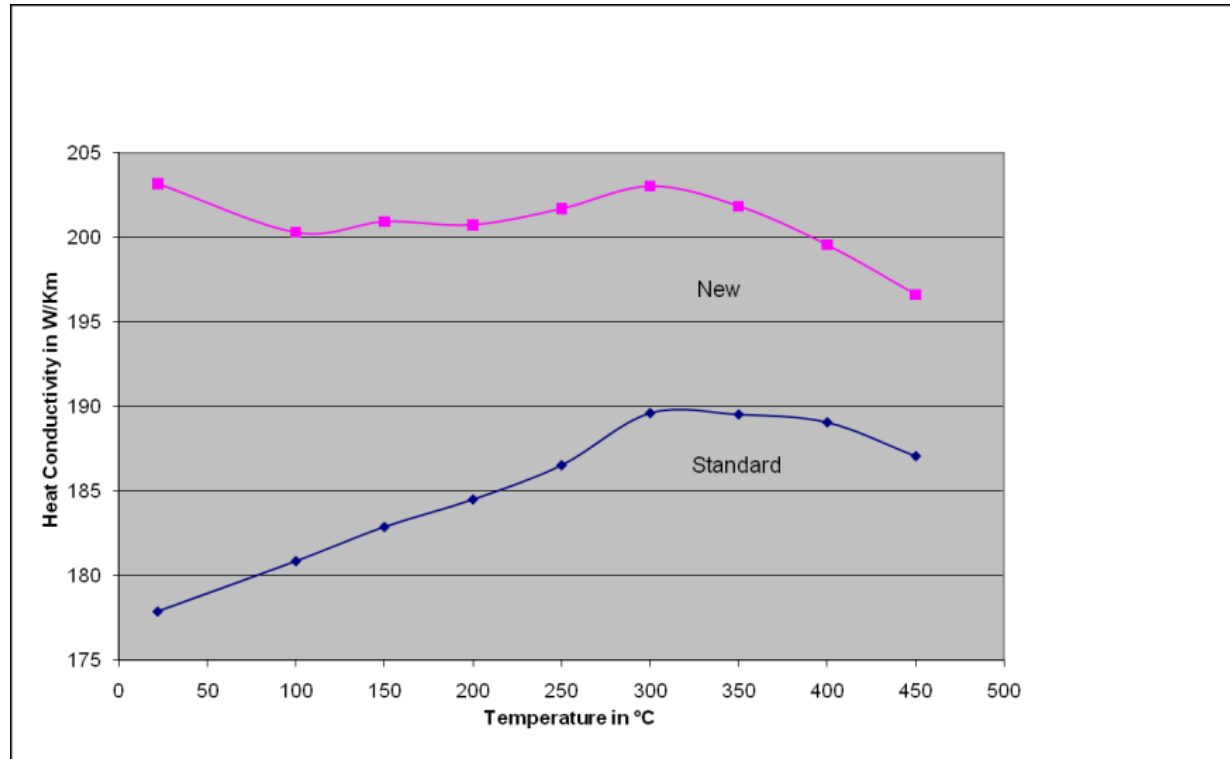
9

24

Legierung: AlSi9Mn, F  
Druckguss

Quelle: tri met, Fraunhofer Freiburg

## Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur AlSi7Mg T6, Kokillenguss



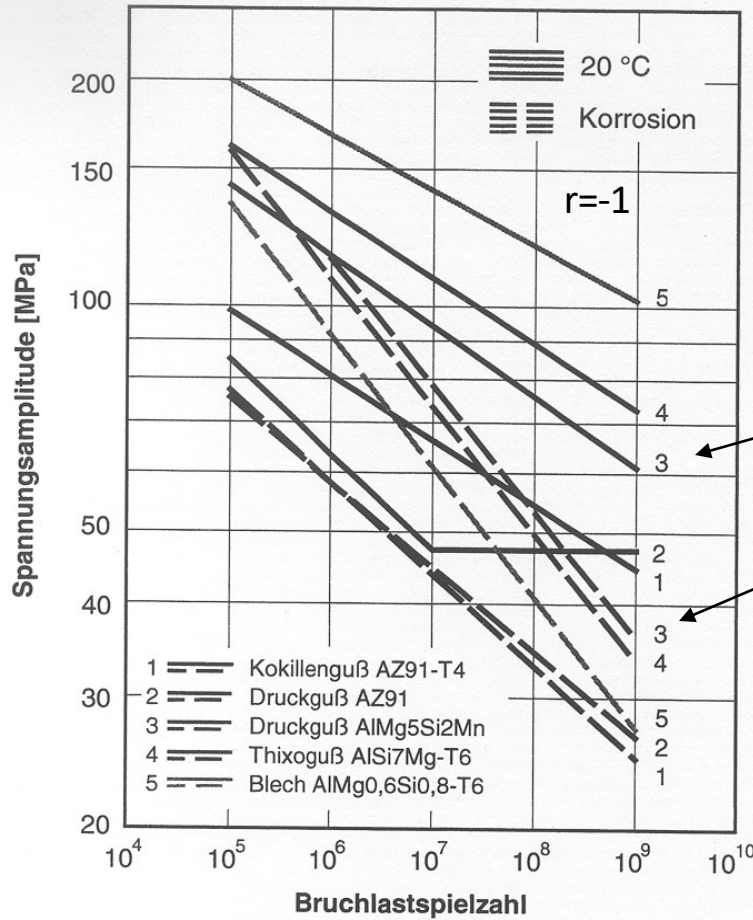


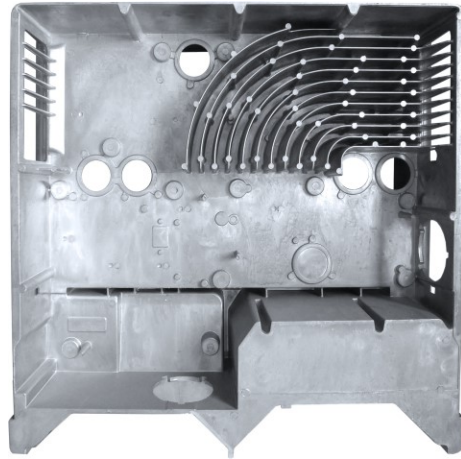
Abb. 9:  
Einfluß von Korrosion auf die Ermüdungseigenschaften von Aluminium- und Magnesiumlegierungen

Ermüdung

Korrosionsermüdung

Quelle: Prof. Haldenwanger,  
Seminar Werkstoffvielfalt im Automobil, Feb. 2000

# Anwendungsbeispiele



## AlSi10MnMg



Trimet Automotive Holding GmbH,

**Hochvoltbatteriegehäuse T7**

**Abmessungen:** 760 x 485 x 220 mm

**Gewicht:** 12,5 kg



Georg Fischer Druckguss GmbH,  
Herzogenburg

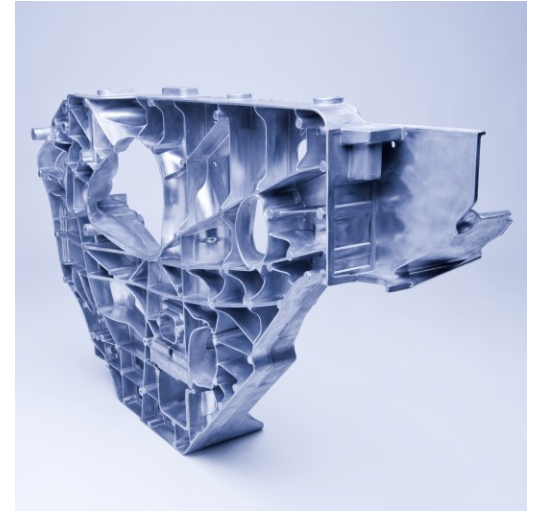
**Auto-Batteriegehäuse F**

**Ober-und Unterteil**

**Abmessungen:** 780 x 508 x 115 mm

774x581x117mm

**Gewicht:** 6,4kg und 9,14



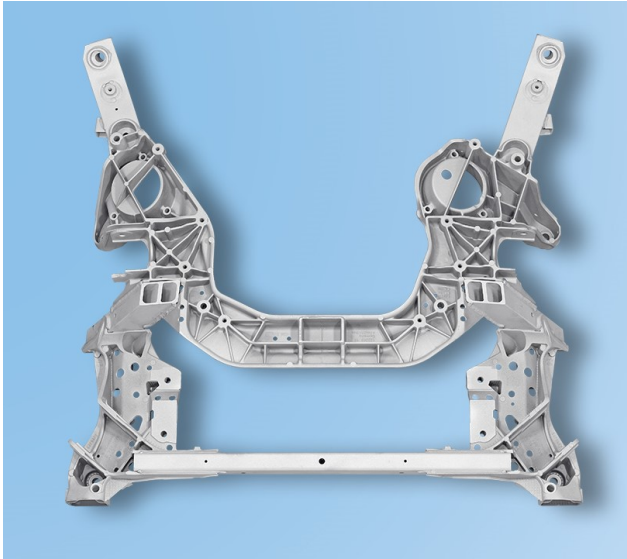
BMW, Landshut

**Gussteil**

**Abmessungen:** 900 x 560 x 220 mm

**Gewicht:** 12,8 kg

AlMg5Si2Mn



*KSM Castings Group GmbH*

**Integralträger** mit angeschweißten Profilen

Abmessungen: 900x400x200mm, F

Gewicht: 7,8kg



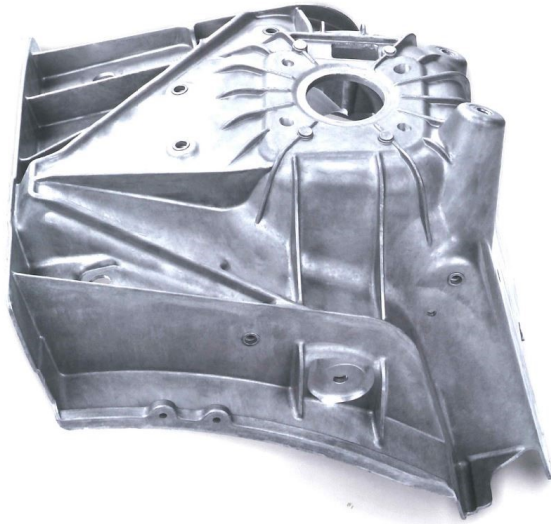
BMW AG, Landshut

**Türinnenteile F**

Abmessungen: 1400x500mm und 1000x240mm

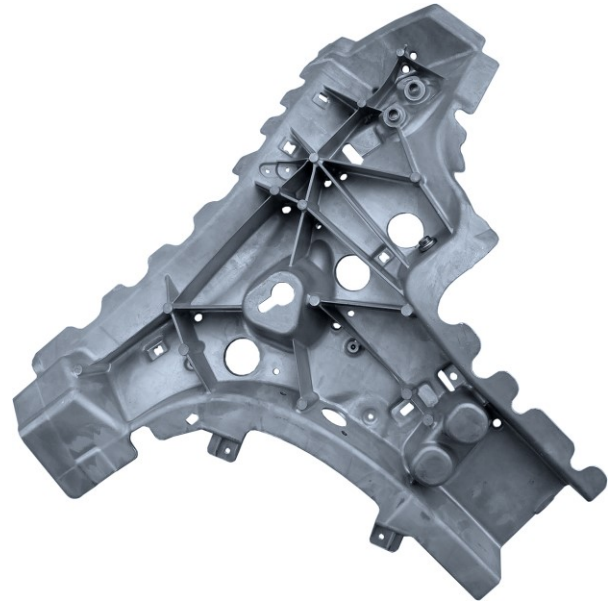
Gewicht: 2 kg,





JVM Castings, GB  
**Federbeindom, F**  
**Abmessungen:** 430 x 330 x 340 mm  
**Gewicht:** 4,4 kg

AlSi9Mn



Trimet Automotive Holding GmbH,  
**Scharnieraufnahme, F**  
**Abmessungen:** 630 x 530 x 70 mm  
**Gewicht:** 3,4 kg

## AlSi10MnMgZnZr

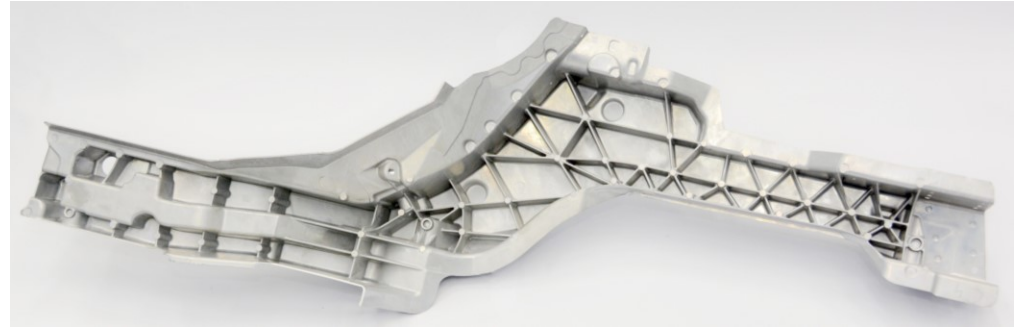


DGS, Winkeln CH

**Verbindungsteil CD, T6**

**Abmessungen:** 797 x 436 x 304 mm

**Gewicht:** 3 kg



AUDI AG, Münchsmünster

**Verbindungsteil Schweller Längsträger, T6**

**Abmessungen:** 1432 x 379 x 498 mm

**Gewicht:** 10,5 kg

## Ausblick

Gewichtseinsparung kann erreicht werden durch:

- Reduzierung der Wanddicken
- mehr Funktionsintegration
- bionische Strukturen

Der Einsatz einphasiger Legierungen sollte geprüft werden  
(Wegfall der Wärmebehandlung)

Die Druckgießtechnik (Prozess und Form) muss weiterentwickelt werden

Mittelfristig ist eine additive Fertigung vorstellbar



# TRIMET – Aluminium macht viele leichter