

Heißrissanfälligkeit von Aluminiumlegierungen

DI Dr. Salar Bozorgi

DI Dr. Thomas Pabel

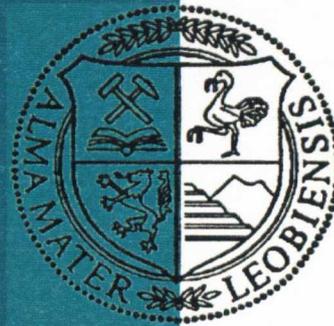
DI Christian Kneißl

DI Katharina Haberl

BA Simon Staggl

Univ. Prof. DI Dr. Peter Schumacher

Stuttgart, 25.10.2011



ÖGI 
Österreichisches
Gießerei-Institut

Inhalt

- ◆ Einleitung
- ◆ Einflüsse auf Heissrissneigung
- ◆ Thermodynamische Berechnung mit ThermoCalc:
 - Gleichgewichtszustand, Ungleichgewichtszustand Gulliver-Scheil
 - Terminal Freezing Range, Erstarrungsintervall
 - Massenanteil eutektische Phase
- ◆ Heissrissanfälligkeitskoeffizient
- ◆ Technologische Heissrissprobe:
 - Bewertung Heissrisse
 - Berechnung Warmrisszahl und Warmrissempfindlichkeit
- ◆ Ergebnisse:
 - Vergleich mathematischer Modelle und empirischer Modelle
 - Gefügeuntersuchungen
- ◆ Zusammenfassung
- ◆ Ausblick



Heissrisse – Granulares Material

◆ Gefüge

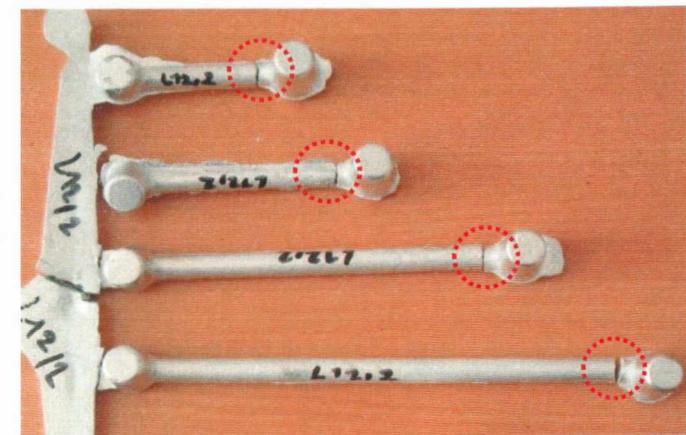
- Chemische Zusammensetzung (Q, P)
- Korngröße (Q, N(d))
- Überhitzung der Schmelze (N(d), dT/dt)
- Erstarrungsintervall (P Morphologie)
- Terminal Freezing Range (TFR)
- Eutektischer Anteil im Gefüge („Schmierung“)
- Volumenausdehnung (Si, Graphit)
- Intermetallische Phasen („Sand im Getriebe“)



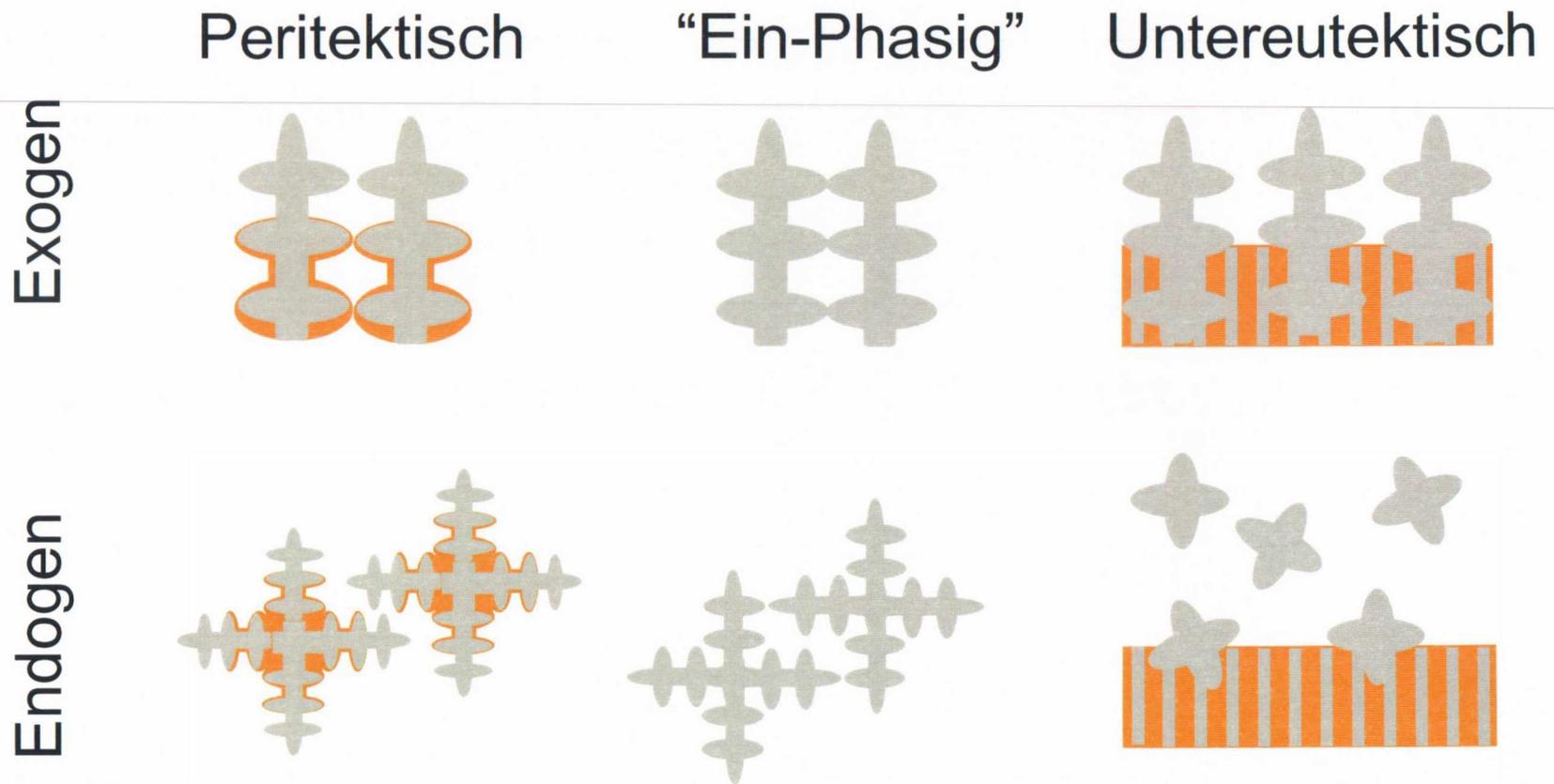
◆ Geometrie - Isothermen

◆ Verfahren

- Abkühlrate ,Temperaturgradient
- Nachgiebigkeit der Form (Lagerung und Steifigkeit der Kerne)
- Forcierte Speisung (Nachdruck)



Heissrisse - Erstarrungsgefüge



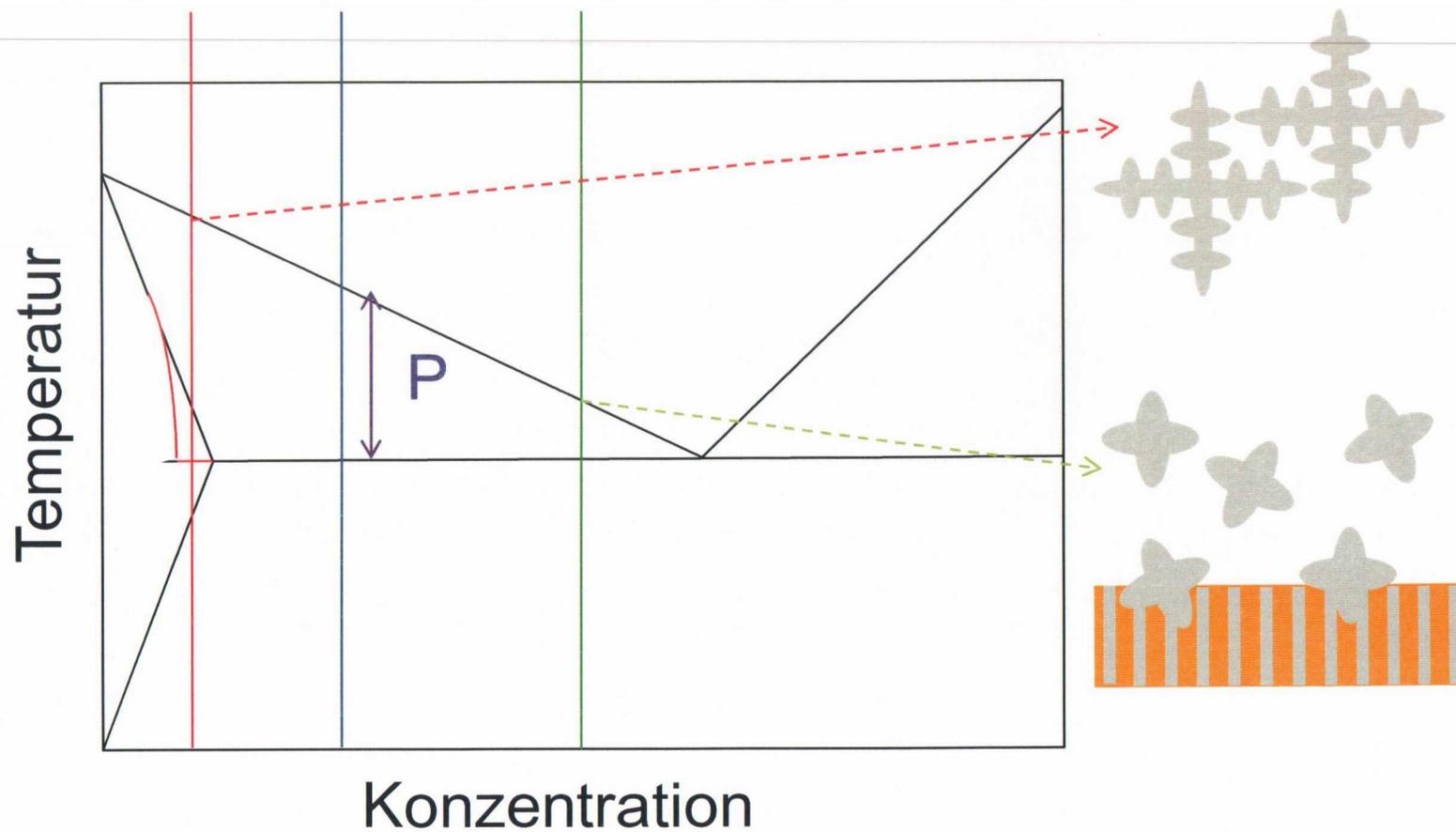
Speisungsungleichgewicht: ΔV bzw. $d\Delta V/dt$ | Extern

Intern



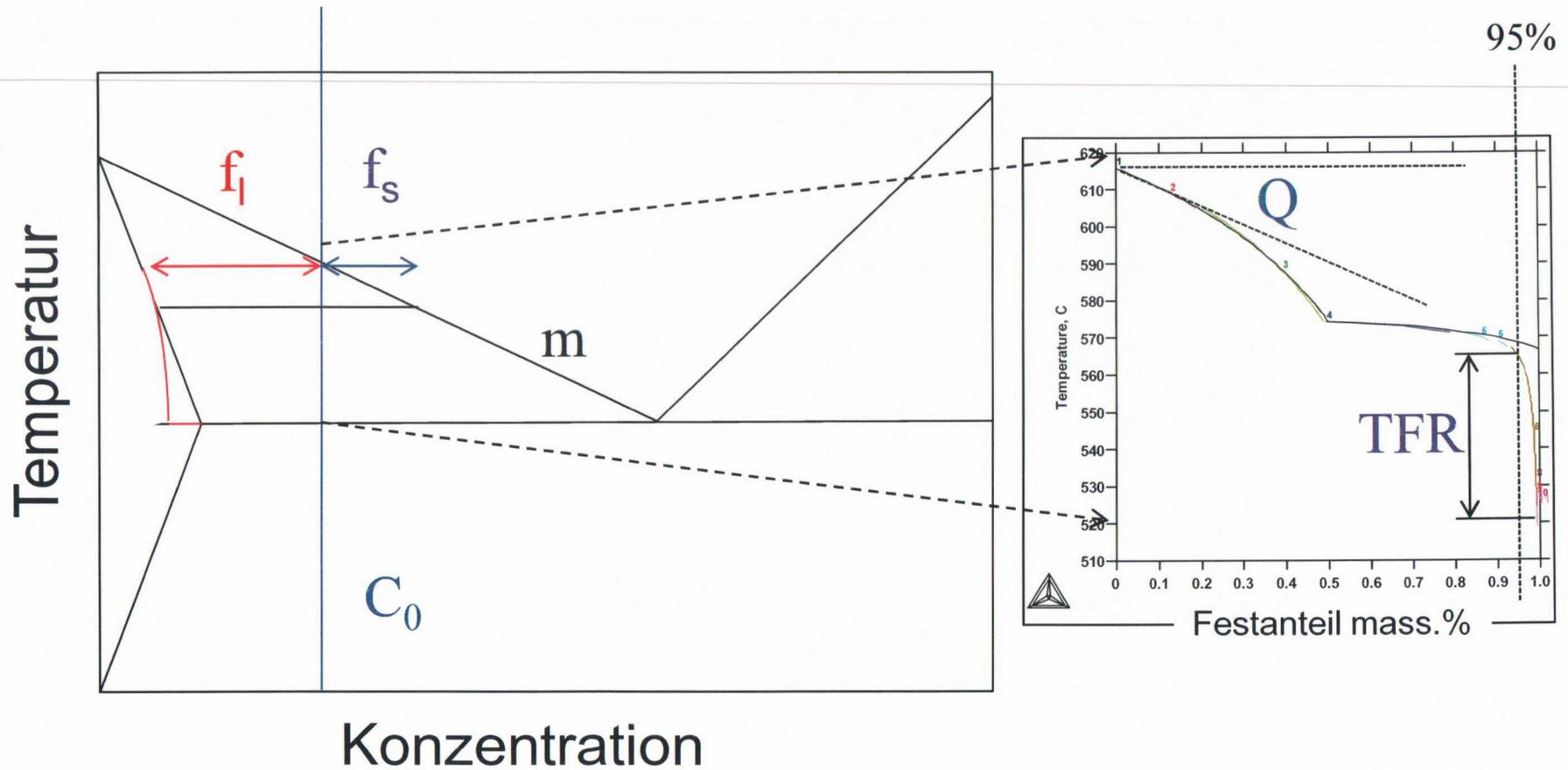
Heissrisse – Granulares Material

Erstarrungsintervall, P , und Gefüge



Warmrisse – Granulares Material

Erstarrungsverlauf – Festanteil – TFR



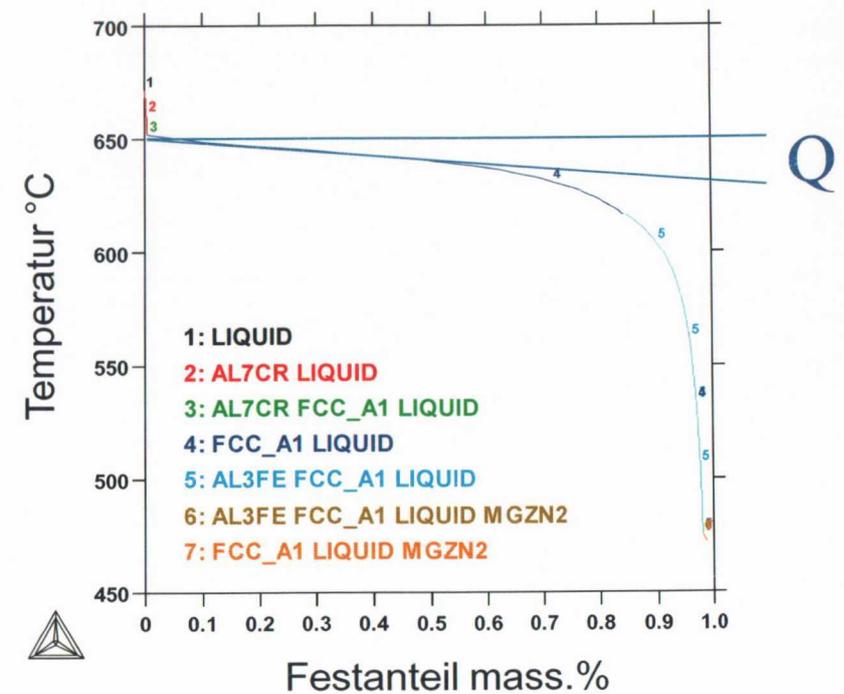
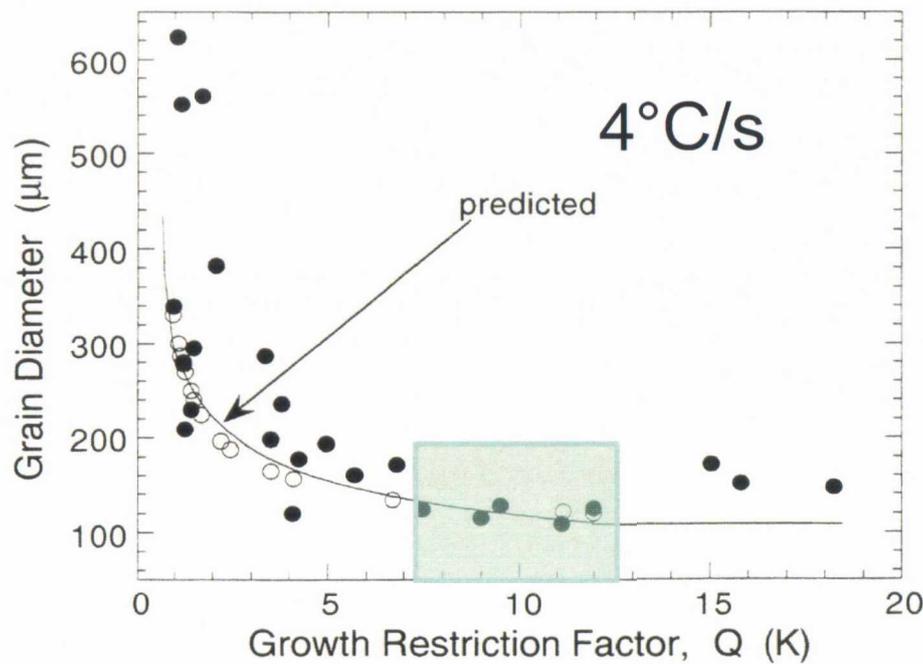
Kornfeinung

Aktive Keimbildner (TiB_2 , TiC)

Kritische Wachstumsbedingung (Partikelgröße bzw. Verteilung)

Wachstumsbehinderung $Q \propto \partial f_s / \partial T$ $\Sigma Q = \Sigma m (k-1) C_o$

Abkühlbedingungen



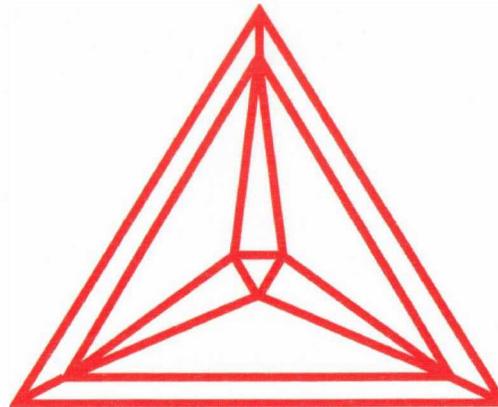
Motivation

- ◆ Vermeidung von Heissrissen in hochfesten AlSiMg-Legierung mit Cu
- ◆ Geeignetes Modell für Heissrisse auch für andere Legierungen
- ◆ Einflüsse von Mg und Cu sollen simuliert werden (TC)
- ◆ Abgleich technologischer Proben mit theoretischen Modellen zur Berechnung der Heissrissempfindlichkeit (Davies und Clyne Modell) und Gegenüberstellung verschiedener Berechnungsmethoden
- ◆ Al Si7Mg0,1Cu0,05 Legierungen:
 - Al Si7Mg0,1Cu0,5
 - Al Si7Mg0,3Cu0,05
 - Al Si7Mg0,6Cu0,05
 - Al Si7Mg0,6Cu0,5
- ◆ Al Zn6MgCu Legierungen
- ◆ Mg Al Zn etc



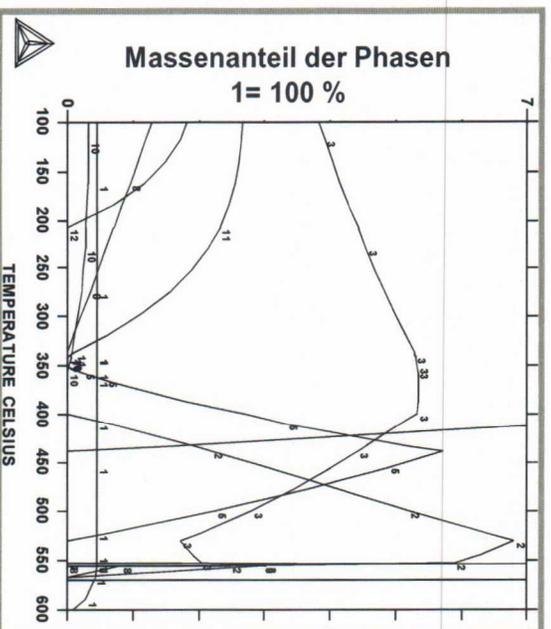
Thermo-Calc Simulation

- ◆ Berechnung von Phasendiagrammen (GG)
- ◆ Erstarrungssimulationen auf Basis des Scheil-Gulliver Modells (UGG)
- ◆ Verwendete Datenbank TTAI5

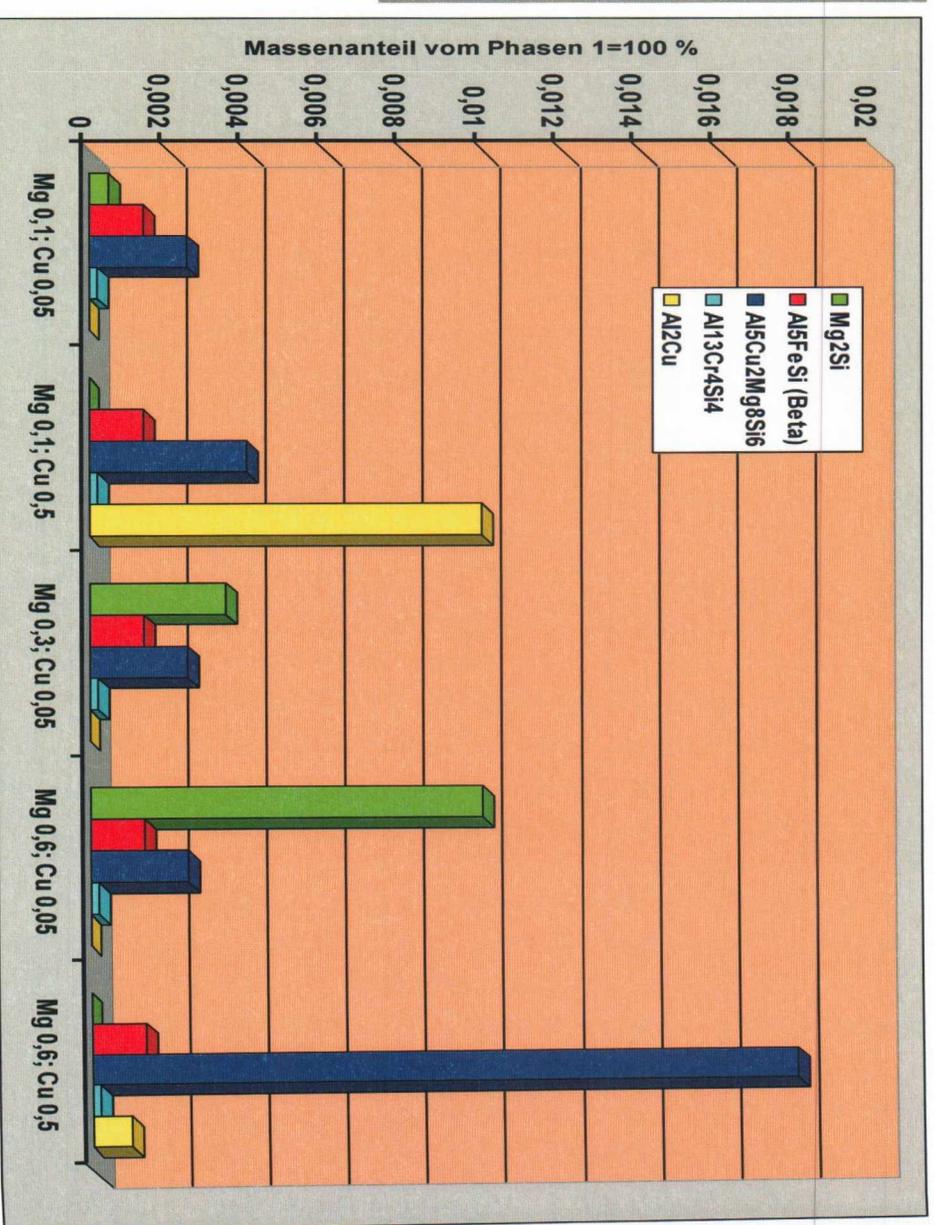


Thermo-Calc Simulation

Berechnung der Phasen im GG

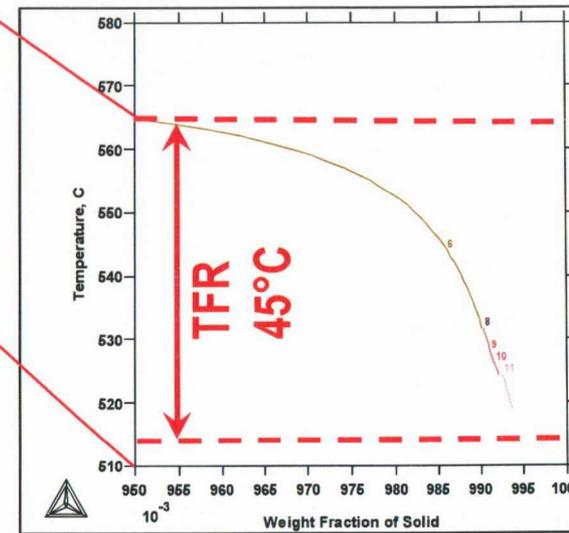
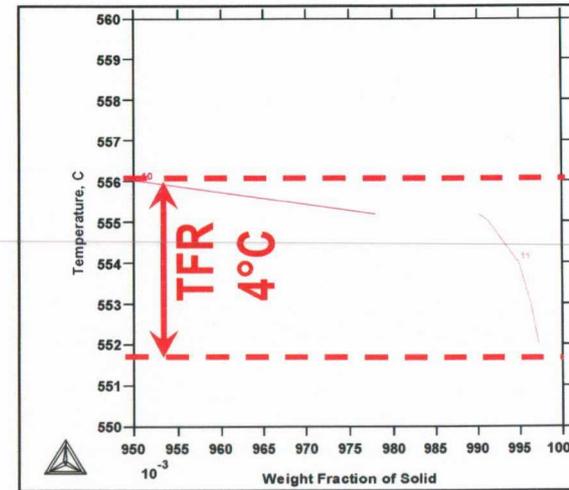
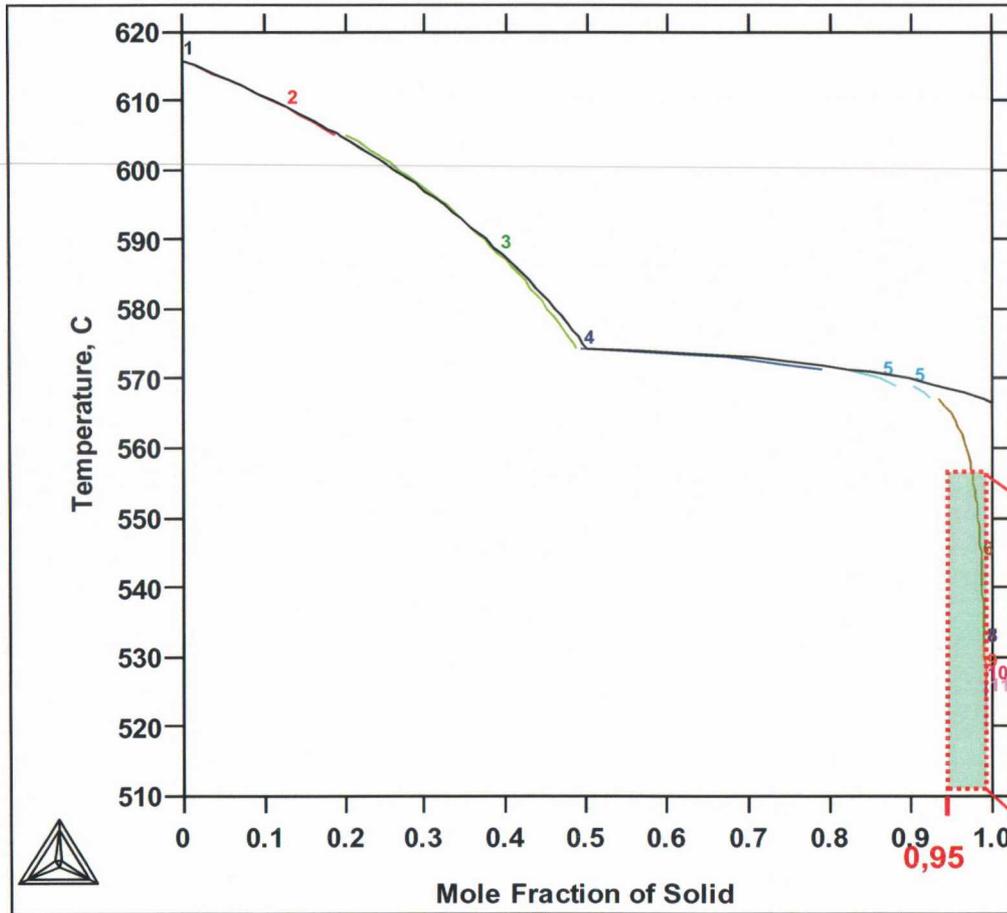


- 1: T-273.15, BPW(AL2SI2M)
- 2: T-273.15, BPW(AL8FEMG3SI6)
- 3: T-273.15, BPW(ALPHA)
- 4: T-273.15, BPW(FCC_A1#2)
- 5: T-273.15, BPW(MG2SI)
- 6: T-273.15, BPW(SILICON)
- 7: T-273.15, BPW(LIQUID)
- 8: T-273.15, BPW(ALFESI_BETA)
- 9: T-273.15, BPW(AL5CU2Mg8SI6)
- 10: T-273.15, BPW(AL13CR4SI4)
- 11: T-273.15, BPW(AL3M_DO22)
- 12: T-273.15, BPW(AL2CU)



Thermo-Calc Simulation

Berechnung der Phasen im UGG



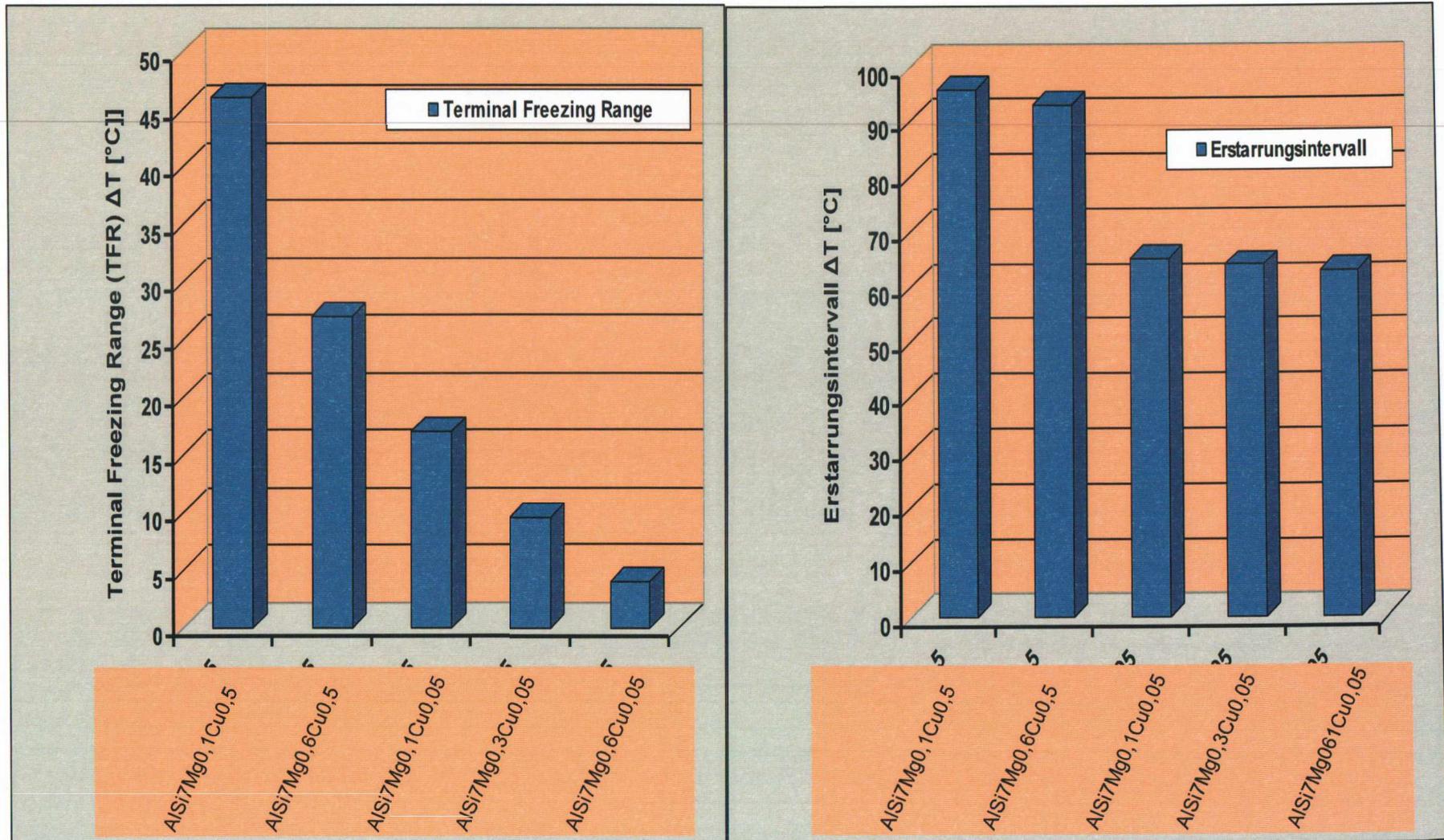
Al Si7Mg0,6Cu0,05

Al Si7Mg0,1Cu0,5



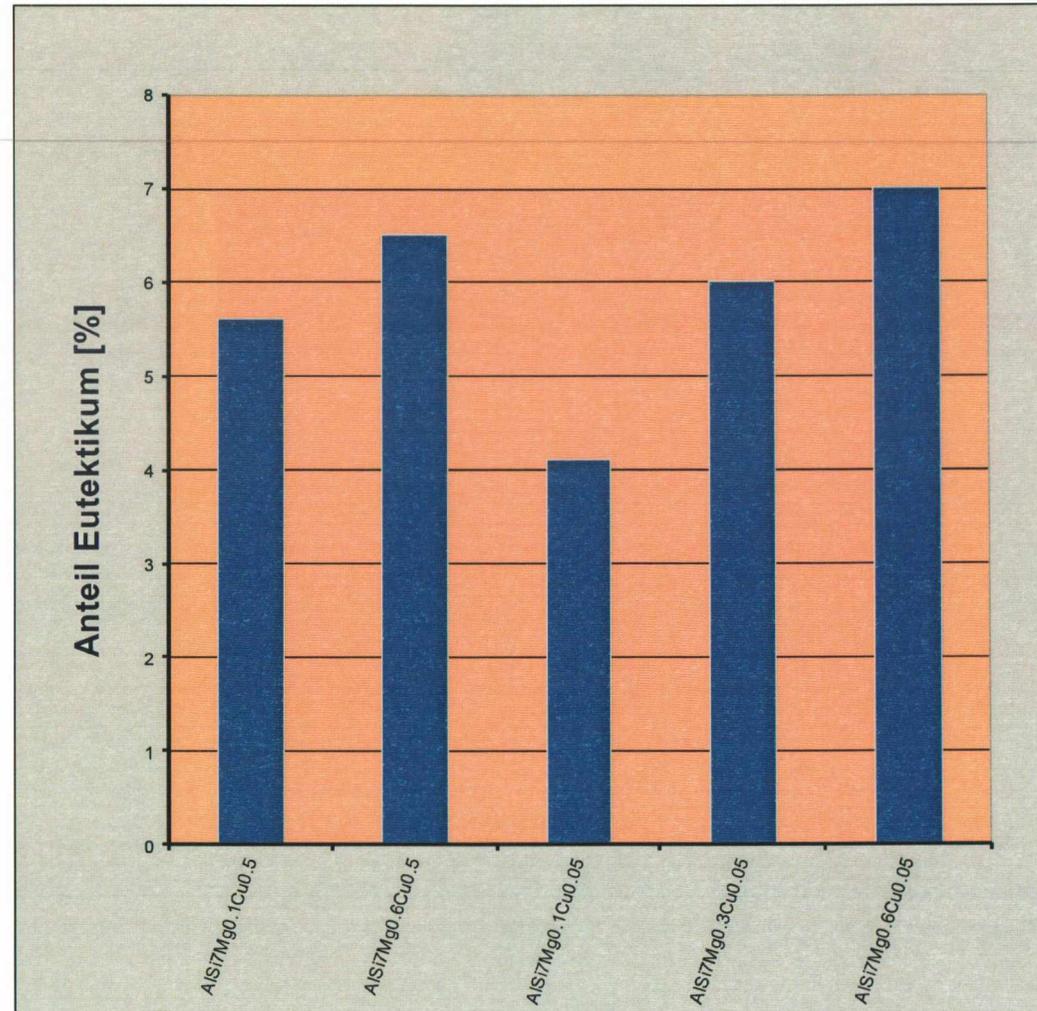
Thermo-Calc Simulation

TFR und
Erstarrungsintervall



Thermo-Calc Simulation

Eutektischer Phasenanteil



Heissrissanfälligkeitskoeffizient (CSC)

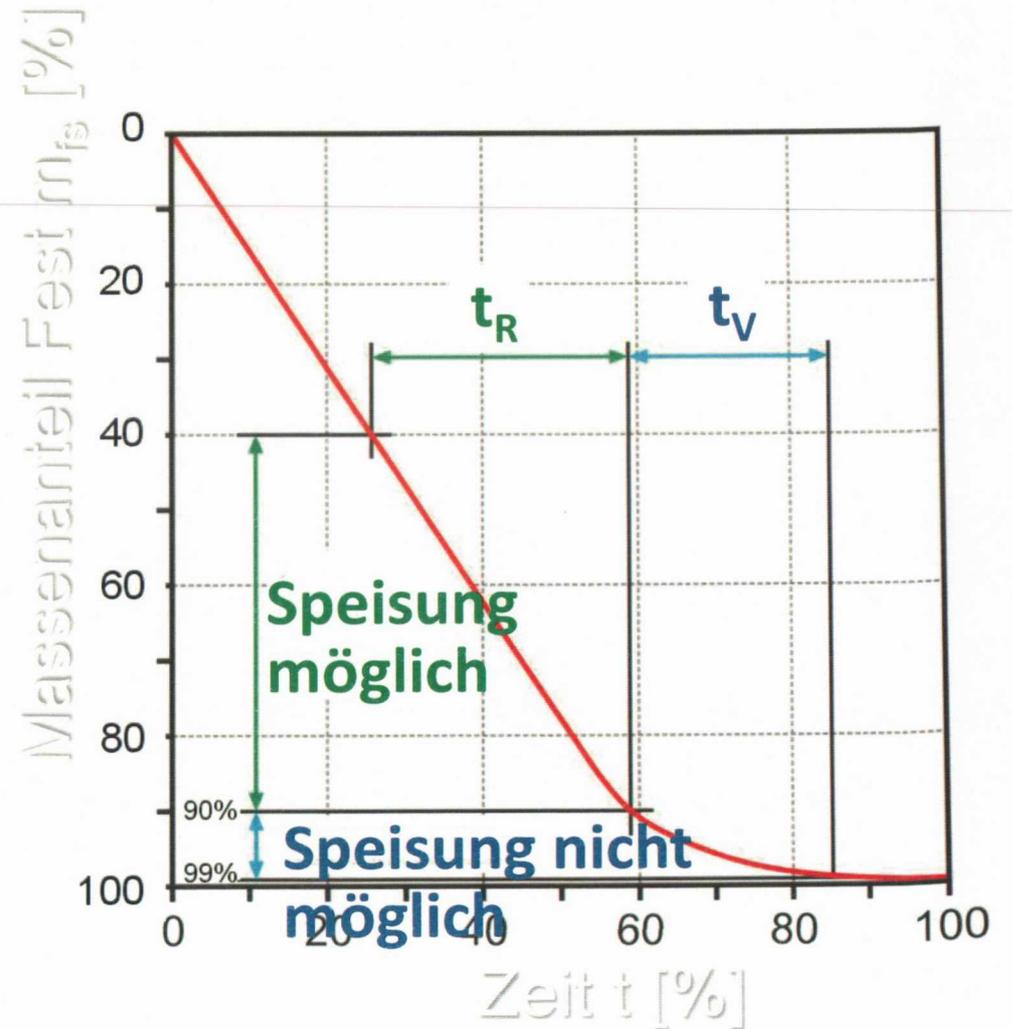
Halb-empirisch – CSC

- ◆ Cracking Susceptibility Coefficient
- ◆ Heissrissneigungskoeffizient nach Davies und Clyne
- ◆ Verhältnis von Erstarrungszeit-Intervall mit sehr schlechter Speisung (t_V) zu Erstarrungszeit-Intervall mit guter Speisung (t_R)

$$CSC = \frac{t_V}{t_R} = \frac{t^{mfs_{0.90}} - mfs_{0.99}}{t^{mfs_{0.40}} - mfs_{0.90}}$$

t_V ... vulnerable time

t_R ... time for stress relive process

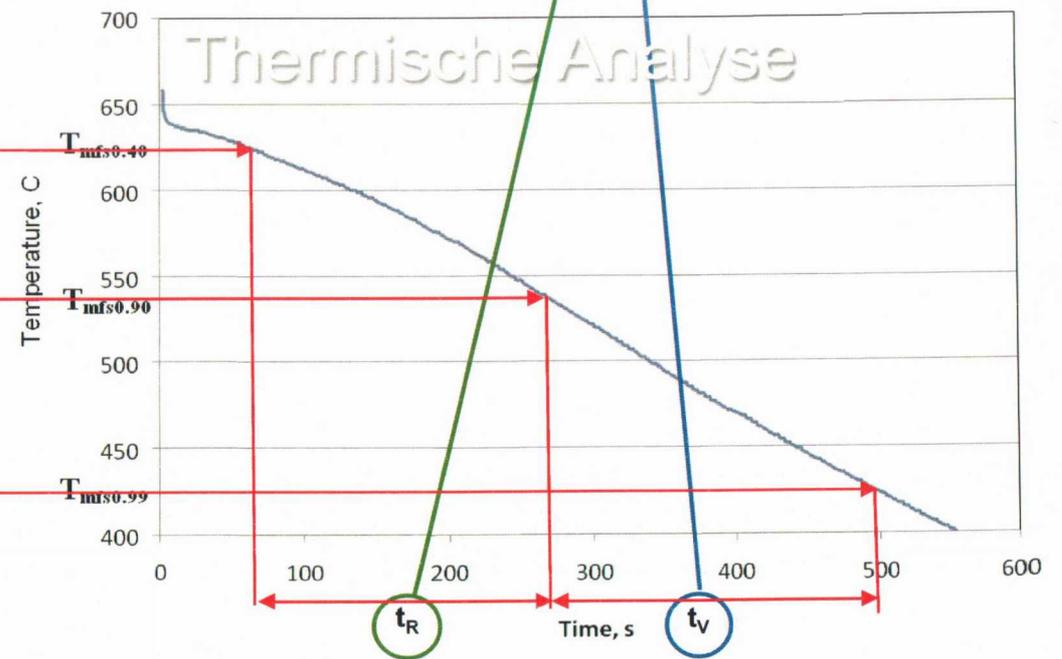
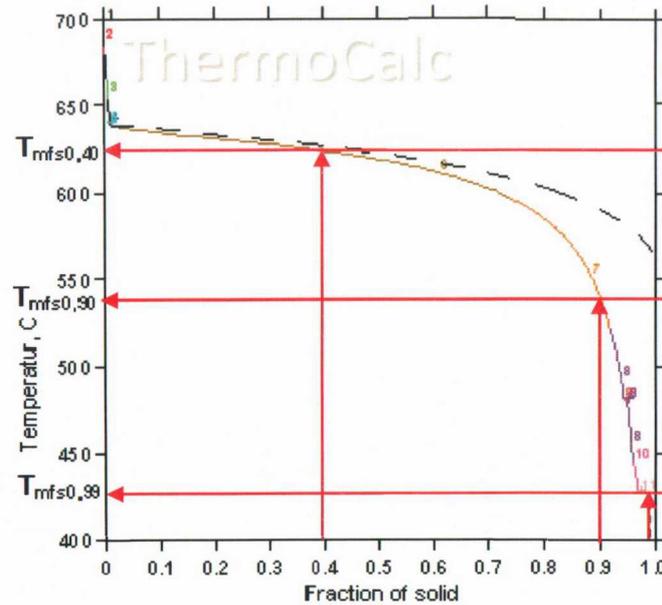


Heissrissanfälligkeitskoeffizient (CSC)

Halb-empirisch – CSC

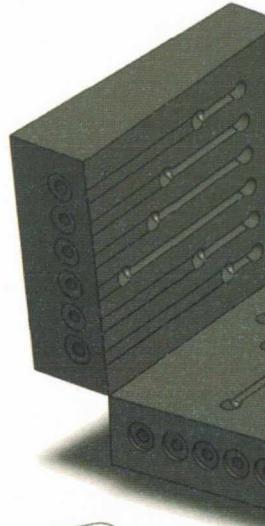
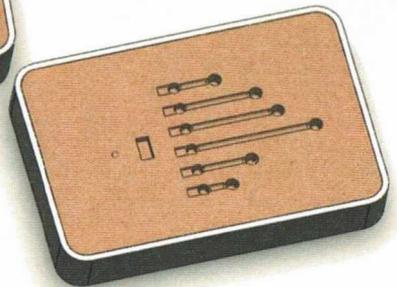
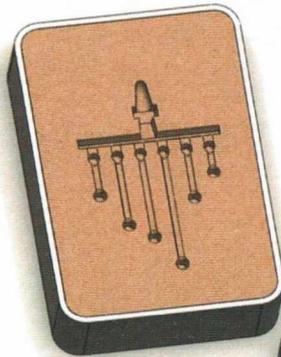
- ◆ Ermittlung der Temperaturen durch ThermoCalc
- ◆ Ermittlung der Zeiten durch thermische Analysen
- ◆ Durchführung bei 2 Gießverfahren (Kokille, Sand)

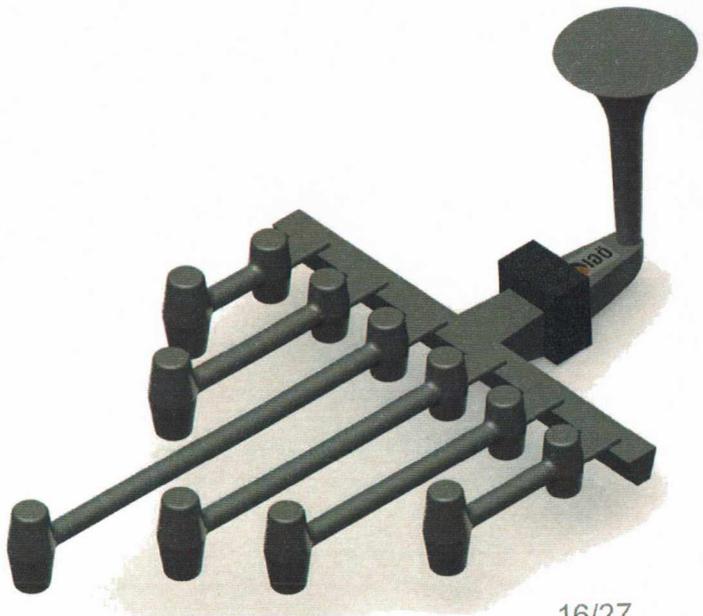
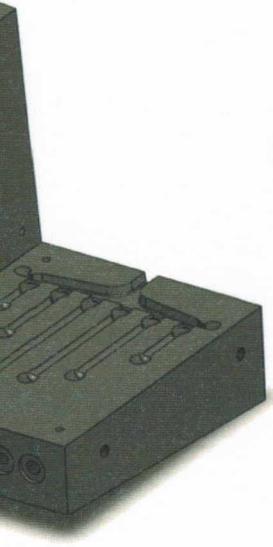
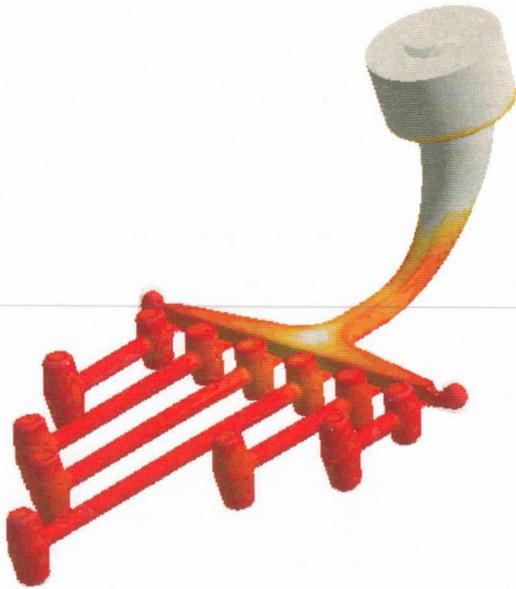
$$CSC = \frac{t_{mf_{S0.90}} - mf_{S0.99}}{t_{mf_{S0.40}} - mf_{S0.90}}$$



Heissrissprobe

- ◆ Tatur-Stern
- ◆ Erstarrungssimulation, Formfüllungssimulation (MAGMASOFT®)
- ◆ Heissrisskokille
- ◆ Heissriss sandform
- ◆ Gussteil





Warmrisszahl (WRZ)

- ◆ Vollkommen abgerissene Stäbe
x Gewichtungsfaktor 1,00
- ◆ Umlaufende breite Risse
x Gewichtungsfaktor 0,75
- ◆ Gut sichtbare Risse
x Gewichtungsfaktor 0,50
- ◆ Haarrisse (Stereomikroskop)
x Gewichtungsfaktor 0,25





Warmrisszahl (WRZ)

- ◆ Definition WRZ

$$WRZ = \frac{\Sigma * \text{Gewichtungsfaktor}}{\text{Anzahl der Abgüsse}}$$

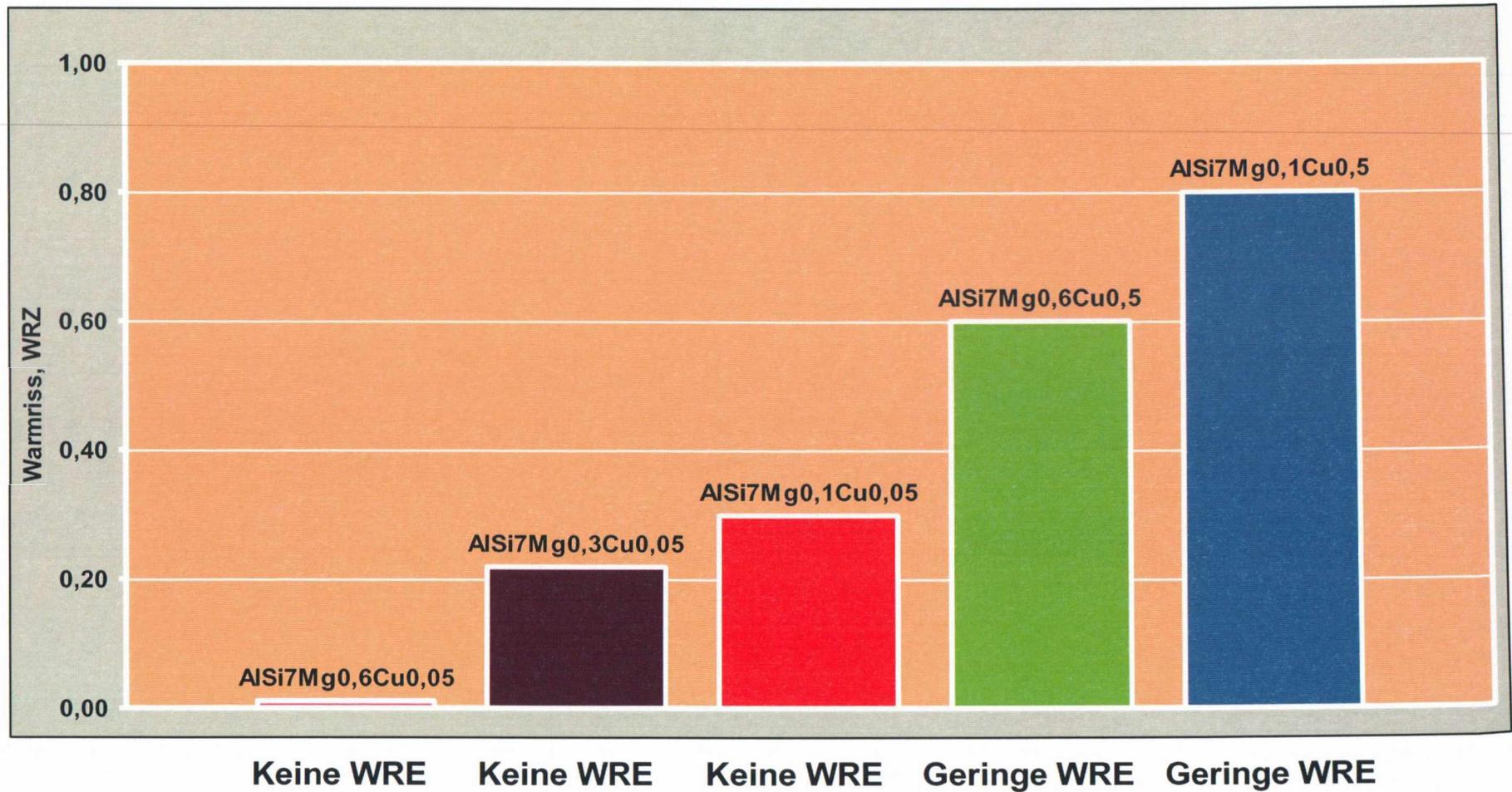
- ◆ Definition WRE

Warmrisszahl WRZ	Warmrissempfindlichkeit WRE
$0 \leq 0,5$	keine WRE
$0,5 \leq 1,25$	geringe WRE
$1,25 \leq 2,25$	mittlere WRE
$2,25 \leq 3,5$	hohe WRE
$>3,5$	sehr hohe WRE



Ergebnisse - WRZ

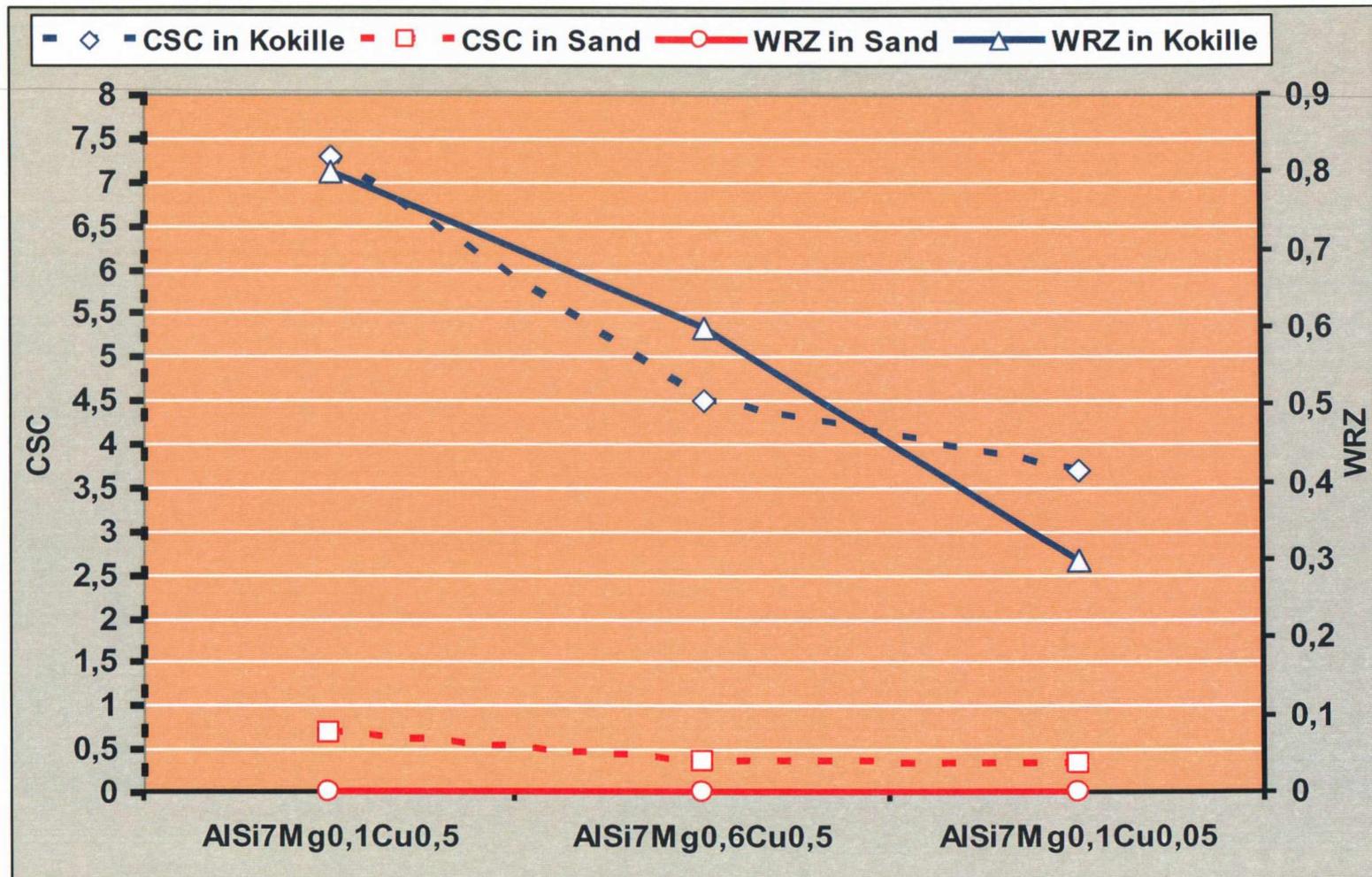
Kokille

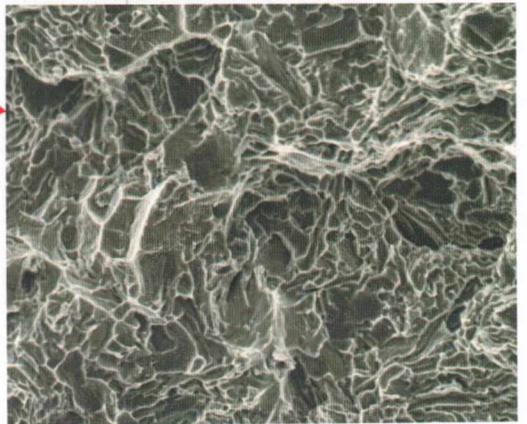
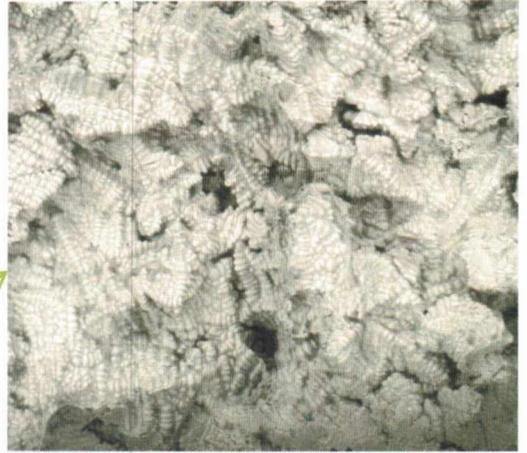
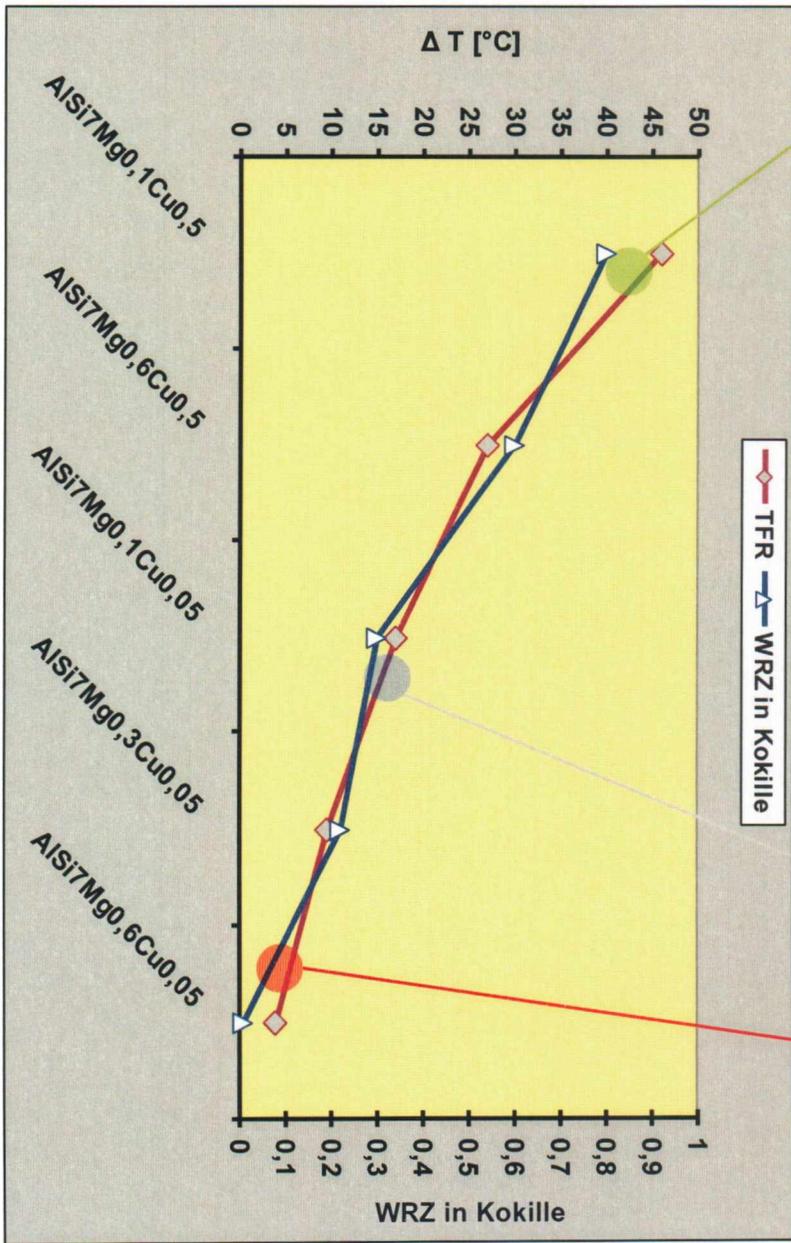


(5 Warmrissproben pro Legierung bewertet)



Ergebnisse - CSC

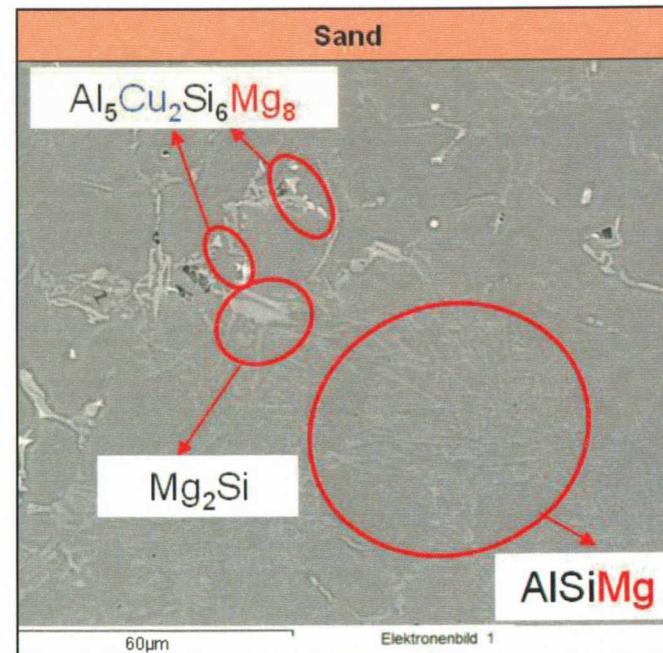
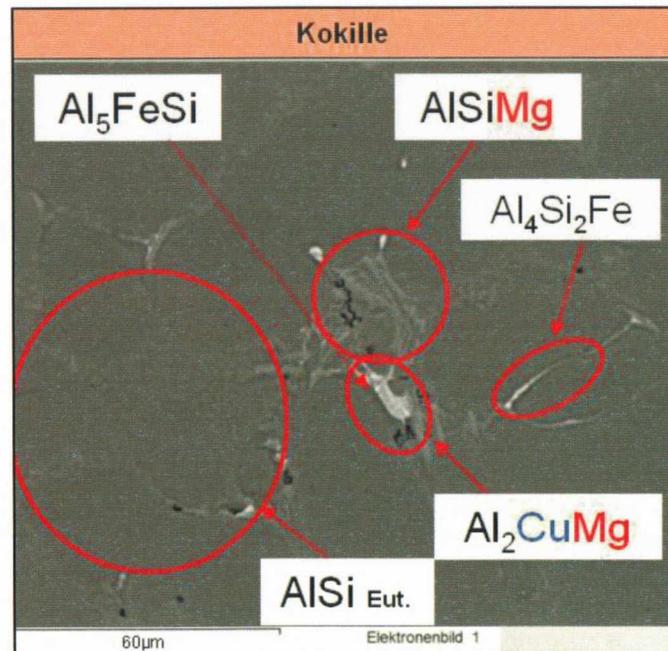




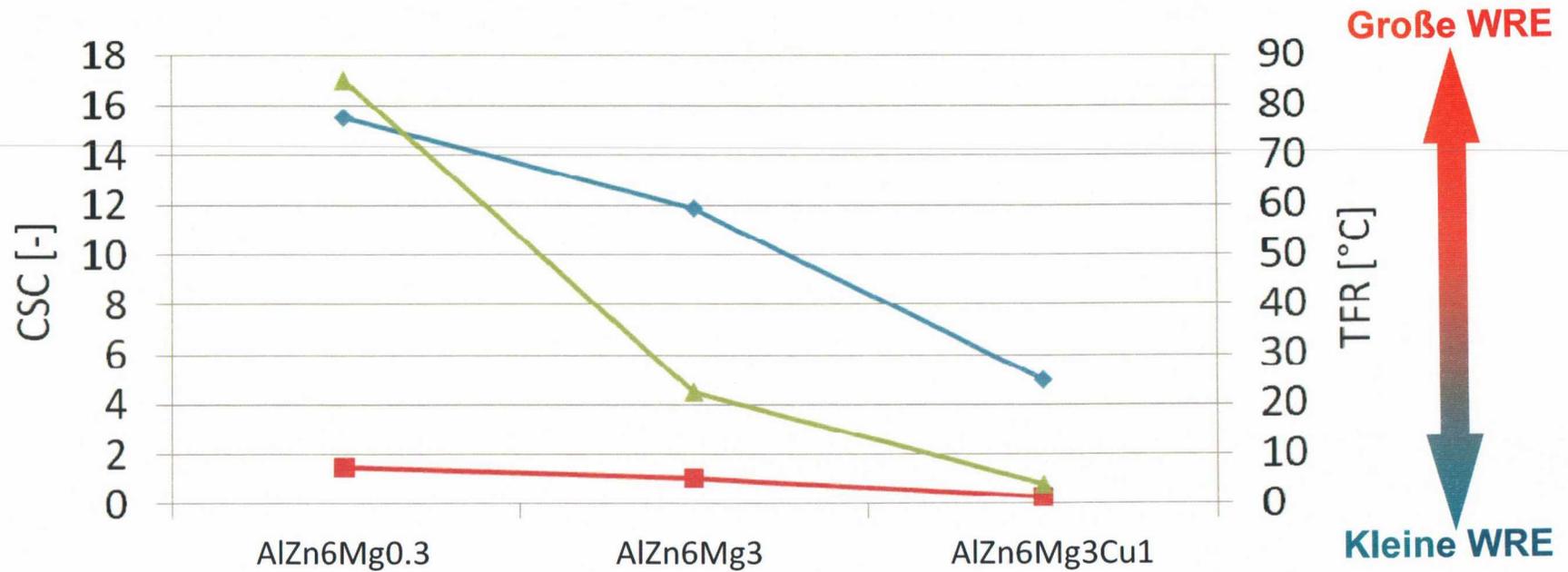
Ergebnisse - Gefügeanalyse

REM

- ◆ Kokille: wenig Mg-haltige Phasen
- ◆ Sand: vergleichsweise mehr Mg-haltige Phasen
- ◆ z.B. AlSi7Mg0,6Cu0,5
 - Kokille: Al_2CuMg , AlSiMg
 - Sand: $\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Si}_6\text{Mg}_8$, AlSiMg , Mg_2Si



Ergebnisse – AlZn6

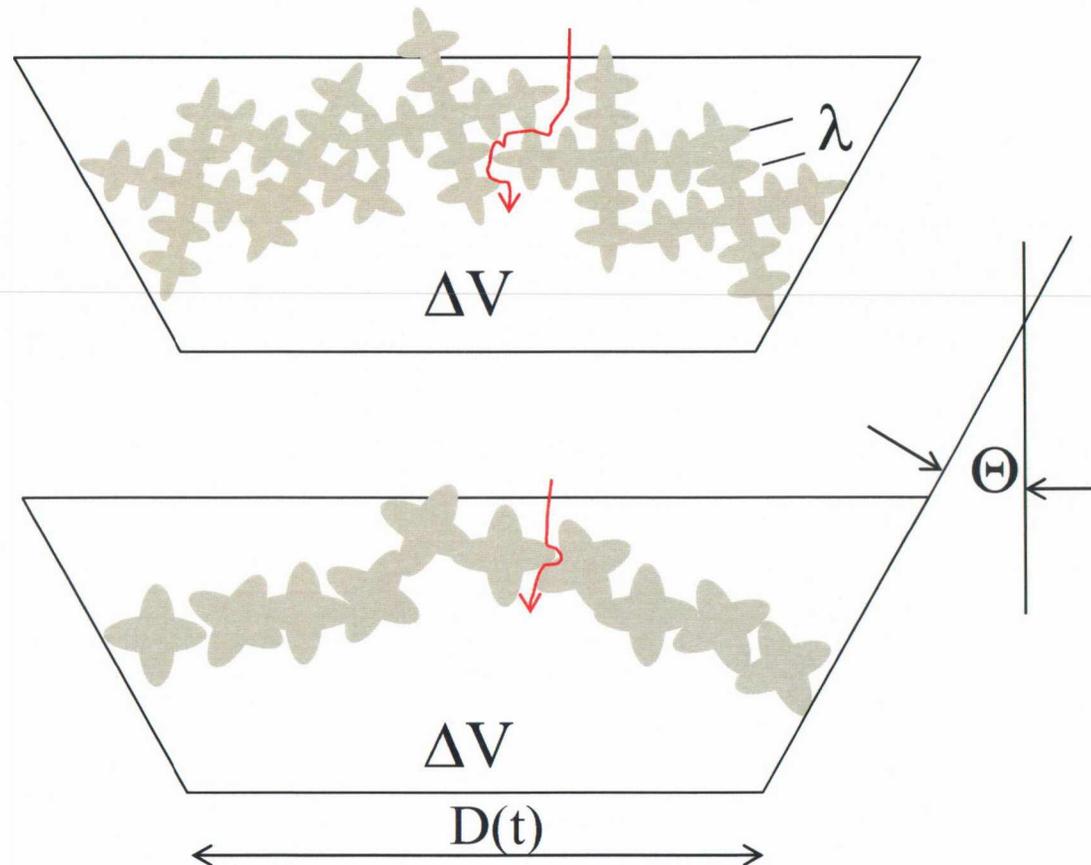


Zunahme Cu - Zunahme Mg

◆ CSC Kokille [-] ■ CSC Sand [-] ▲ TFR [°C]



TFR Terminal Freezing Range



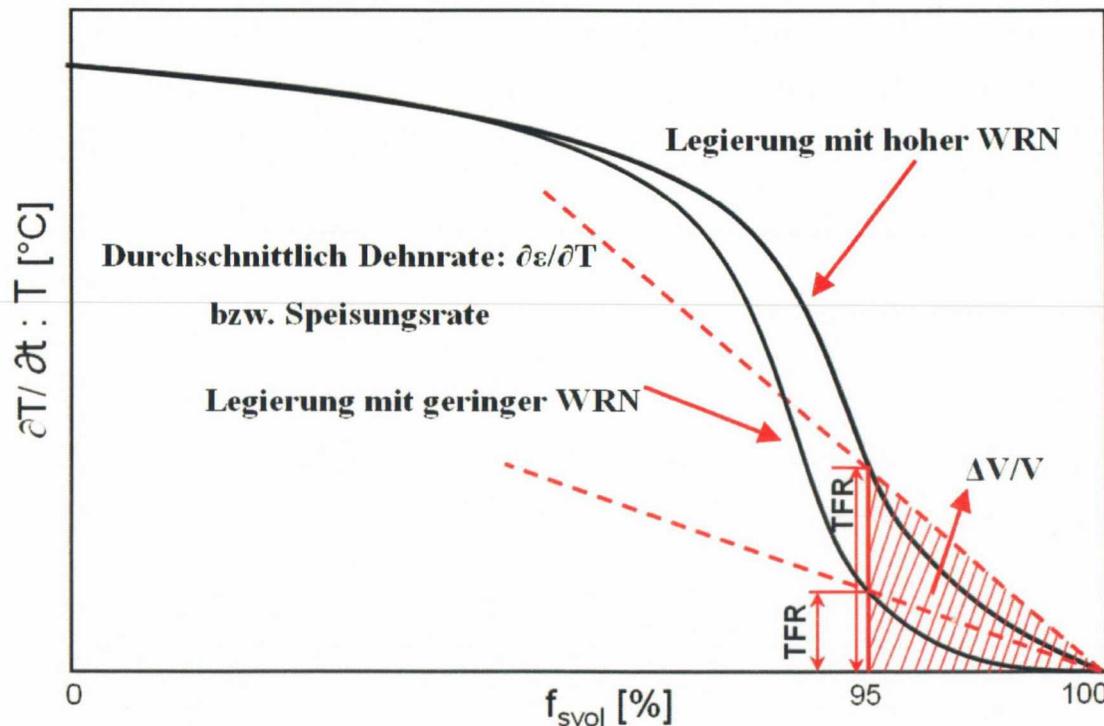
Siloproblem:
Jansen, 1895
Jenike, 1970

Intergranularer Brückenbildung bestimmt Endpunkt der Massenspeisung:

- Brückenbildung ist abhängig von Isothermenwinkel, Θ , und $D(t)$
- TFR-Brückenbildung abhängig von interner Reibung μ d.h. λ/d
- zu speisendes Volumen ΔV entlang der Korngrenzen
- Speisungsrate Steigung



TFR Terminal Freezing Range



TFR Terminal Freezing Range bei intergranularer Brückenbildung bestimmt:

- zu speisendes Volumen ΔV entlang der Korngrenzen
- Speisungsrate Steigung
- TFR-Brückenbildung abhängig von interner Reibung d.h. λ/d

Eutektischer Anteil bestimmt

- Intergranulare Reibung
- Letzt Speisung (Carman-Kozeny) entlang Korngrenzen



Zusammenfassung

- ◆ ThermoCalc gibt TFR und ausgebildete eutektische Phasen an
→ Vorhersage Warmrissneigung möglich
- ◆ Ergebnisse theoretischer Modelle (ThermoCalc und CSC) stimmen mit technologischer Heissrissprobe überein
- ◆ Cu erhöht die Heissrissempfindlichkeit:
 - TFR, CSC, WRZ und das Erstarrungsintervall steigen
 - Ausscheidungen von eutektischen Phasen (Al_2Cu , Al_2CuMg , $\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Si}_6\text{Mg}_8$)
 - Achtung: Anteil eutektischer Phase steigt
- ◆ Magnesium senkt die Heissrissempfindlichkeit:
 - CSC, WRZ, TFR und Erstarrungsintervall sinken
 - Ausscheidungen von Phasen (AlSiMg , Mg_2Si)
 - Anteil eutektischer Phase steigt
- ◆ Brückenbildung beendet Massenspeisung (TFR)
- ◆ Volumenfestanteil gibt Restvolumen und notwendige Speisungsrate vor
- ◆ Heissrisse müssen als ein granulares Problem gesehen werden.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Die Autoren bedanken sich bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Programms

