

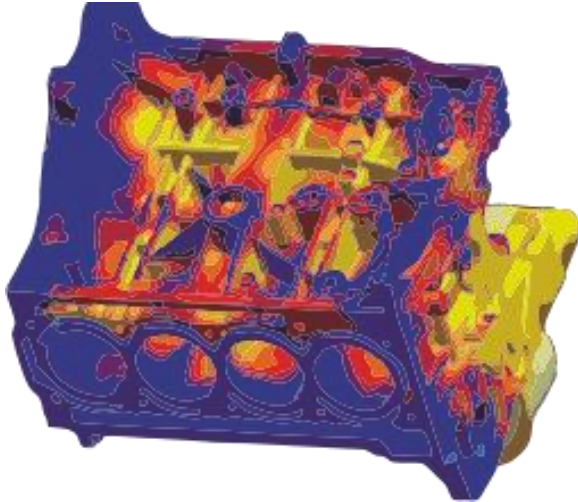
Viskosität mehrkomponentiger Metallschmelzen

Jürgen Brillo

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln

➔ Material- und Prozessdesign

mehr als 70 % aller Materialien werden direkt aus der Schmelze hergestellt



(mit freundlicher Genehmigung von MAGMA)

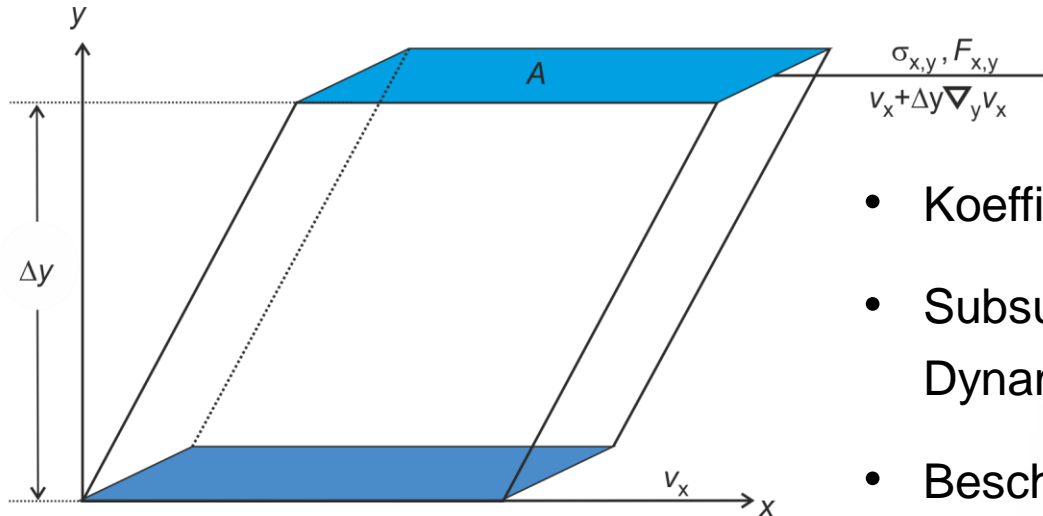
- Simulationswerkzeuge sind nicht mehr wegzudenken
- Qualität der Simulation ist durch Thermophysikalische Parameter begrenzt

Ansatz A.) Aufbau von Materialdatenbanken

Ansatz B.) Untersuchung von Modellsystemen (binär, ternär, ...)

in Hinblick auf Dichte, **Viskosität** und ...

➔ (Scher-)Viskosität, eine interessante Größe



- Koeffizient für Impulsdiffusion
- Subsummiert kollektive atomare Dynamik
- Beschreibt konvektiven Materialtransport in Schmelzen

Eine von mehr als 20 Formen zur Beschreibung der T-Abhängigkeit:

$$\eta(T) = \eta_0 \exp\left(\frac{E_A}{RT}\right)$$

(Arrhenius-Gesetz)

➔ Modelle zur Konzentrationsabhängigkeit:

Moelwyn Hughes

$$\eta = (c_{Cu} \cdot \eta_{Cu} + (1 - c_{Cu}) \cdot \eta_{Ni_{40}Fe_{60}}) \left(1 - 2 \frac{\Delta H(c_{Cu})}{RT} \right)$$

Kozlov Romanov Petrov

$$\ln(\eta) = \sum_{i=1}^N c_i \ln(\eta_i) - \frac{\Delta H}{3RT}$$

Hirai

$$\eta = 1.7 \cdot 10^{-7} \frac{\rho^{2/3} T_L^{1/2}}{M^{1/6}} \cdot \exp \left[\frac{2.65 \cdot T_L^{1.27}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_L} \right) \right]$$

Seetha
Du Sic

**Welches Modell funktioniert am besten,
bzw. was sind die Kriterien zur Auswahl eines
bestimmten Modells**

(c_1, c_2, c_3, T)

Kaptay

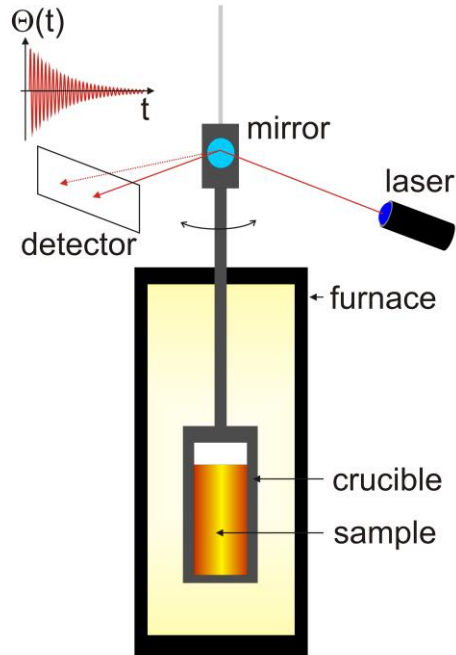
$$\eta = \frac{h \cdot N_{Av}}{V} \cdot \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^3 c_i E_i - 0.156 \cdot \Delta H}{RT} \right)$$

Brillo/Schick

$$\eta = \prod_i x_i^{x_i} \eta_{0,i}^{x_i} \exp \left(\sum_i x_i E_{A,i} / RT \right)$$

➔ Messung der Viskosität

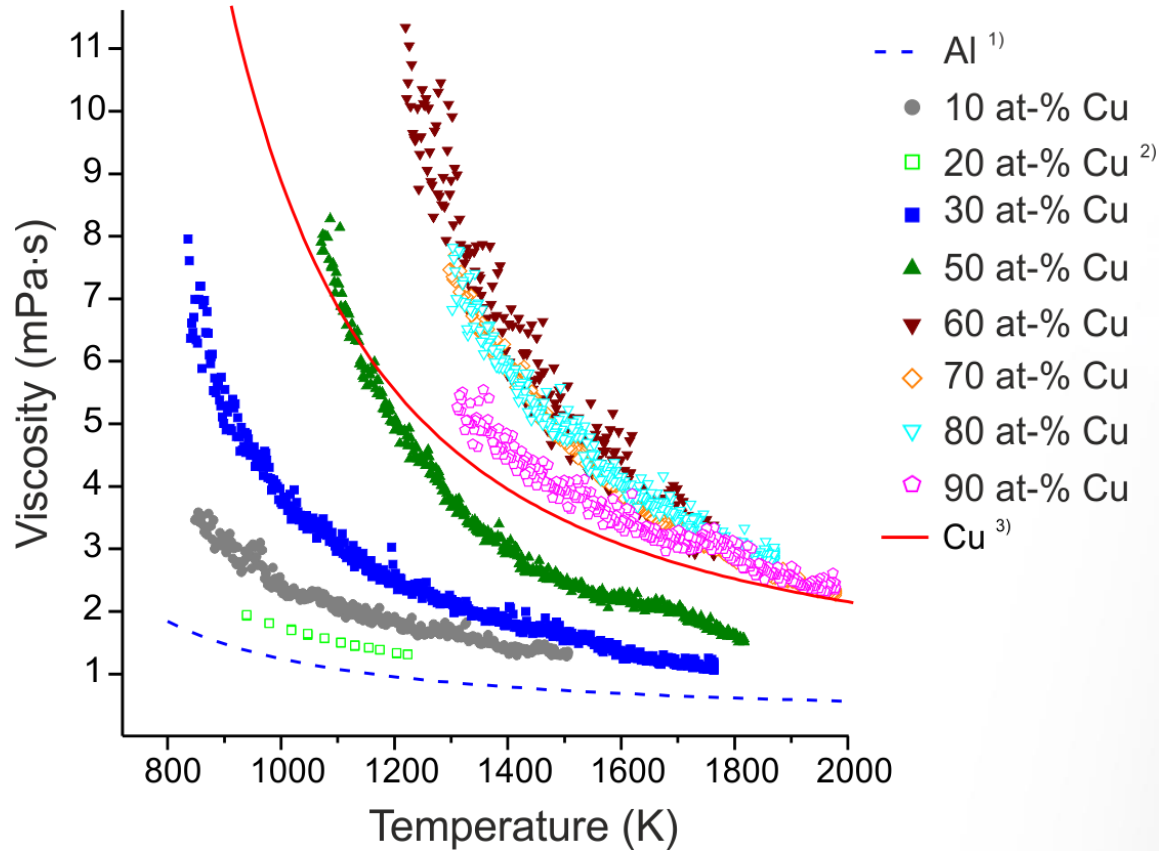
Schwingtiegelverfahren



- Messungen bis 2300 K (theoretisch)
- glatte, kontinuierliche Kurven werden erhalten
- Tiegelreaktionen sind zu vermeiden



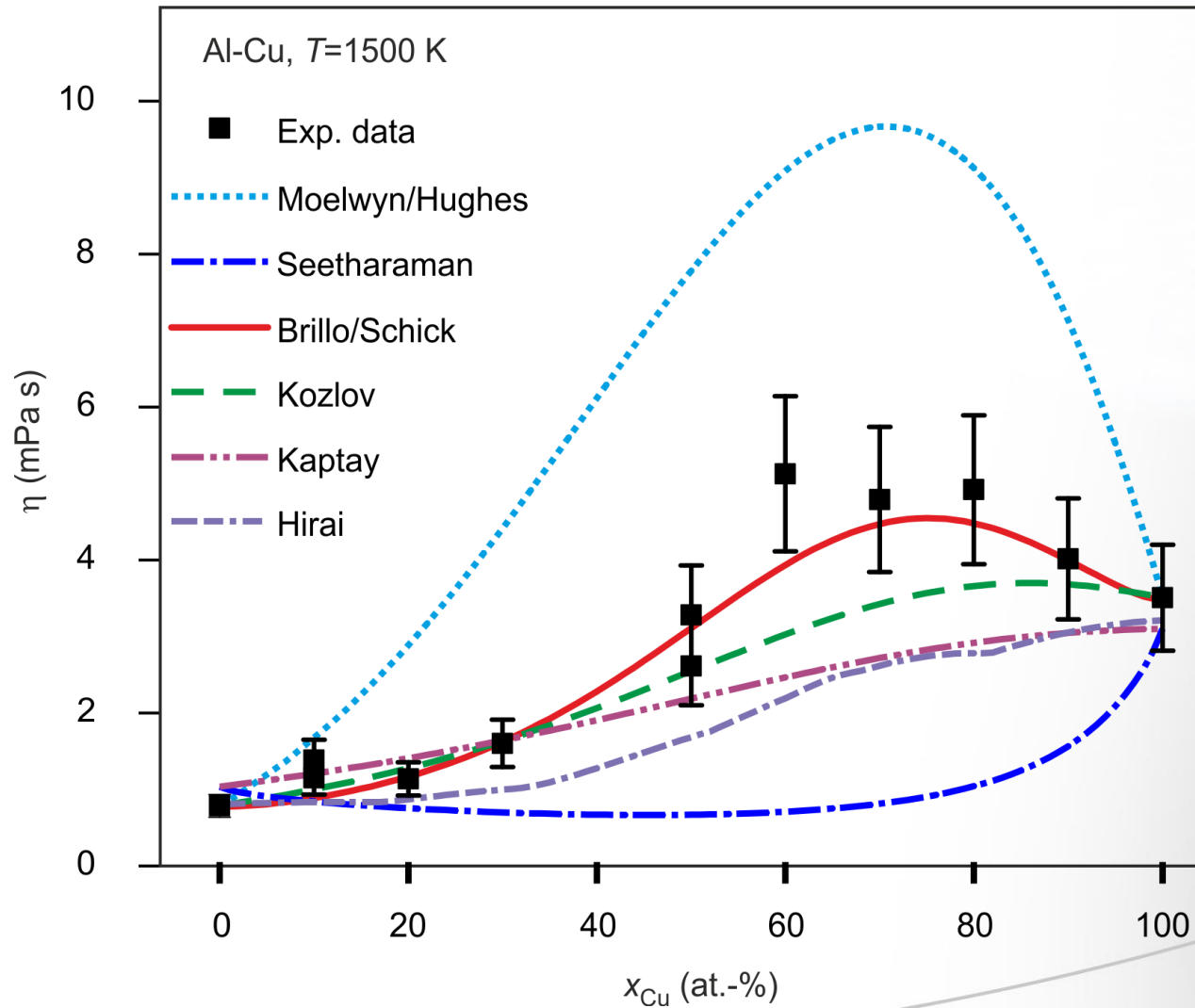
➔ Viskosität von Al-Cu



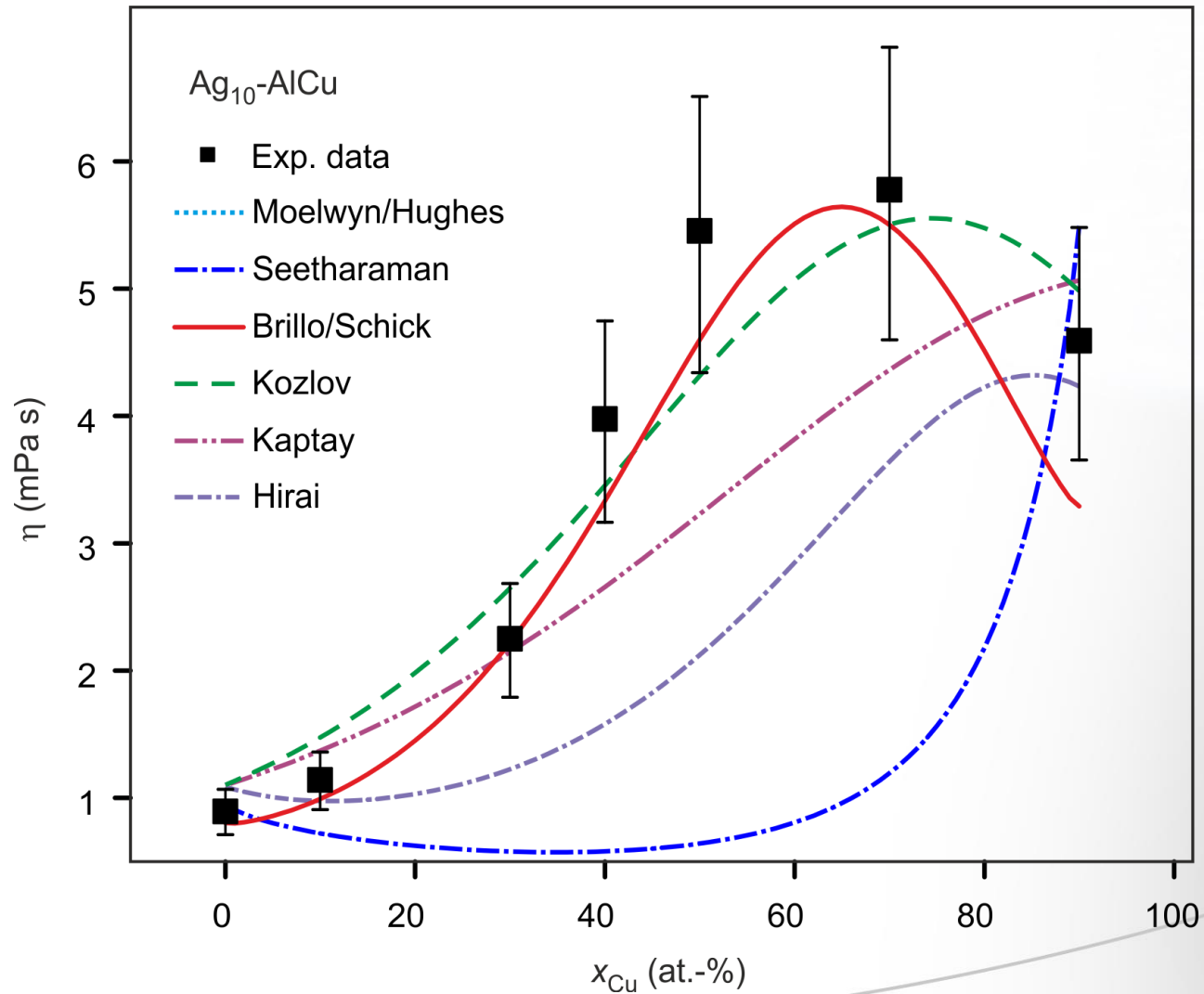
präzise Werte über gesamten Konz-bereich

breiter T-Bereich: $T_L < T < 2000$ K

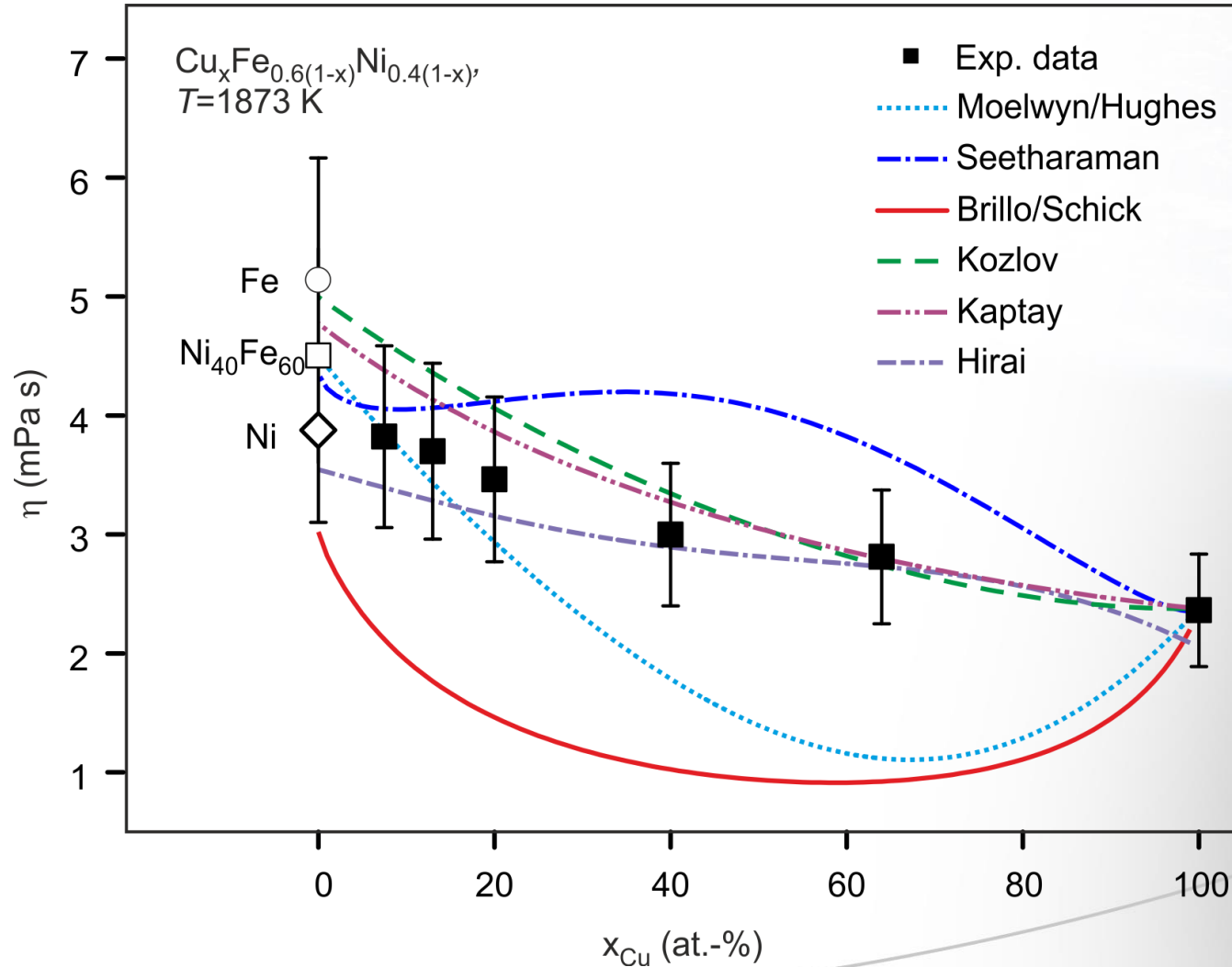
➔ Viskosität von Al-Cu



→ Viskosität von Ag-Al-Cu



→ Viskosität von Cu-Fe-Ni



➔ Bewertungskriterien

| | |
|-----------------|--|
| „Bestes Modell“ | Am nächsten dran |
| „OK“ | Innerhalb der Fehlerbalken |
| „Erfolgreich“ | „OK“ oder „Bestes Modell“ |
| „Teil-ok“ | „Teilweise innerhalb der Fehlerbalken“ und ähnliches qualitatives Verhalten |
| „Versagt“ | „Außerhalb der Fehlerbalken“ |

➔ Best-Model-Award

Systeme:

Cu-Fe-Ni, Co-Cu-Ni, Cr-Fe-Ni, Fe-Ni, Ag-Cu, Ag-Al-Cu, Al-Cu, Al-Cu-Si, Co-Sn, ..

| Model | Kategorie | | | | | | alle |
|----------------|-----------|---------|----------------|-------------|--|----------|------|
| | Am besten | | OK | erfolgreich | | versagt | |
| Moelwyn/Hughes | | | | | | 3 (100%) | 3 |
| Seetharaman | | | | | | 4 (100%) | 4 |
| Brillo/Schick | 1 (17%) | 2 (33%) | 3 (50%) | 2 (33%) | | | 6 |
| Kaptay | 2 (29%) | 2 (29%) | 4 (57%) | | | | 7 |
| Kozlov | 2 (29%) | 4 (57%) | 6 (86%) | | | | 7 |
| Hirai | | 3 (43%) | 3 (43%) | 2 (29%) | | | 7 |

→ Tendenzen

| Klasse | System | Bestes Modell |
|--------------------------------------|----------|-----------------------------|
| I (Cu-TM) | Cu-Fe-Ni | Kaptay |
| | Co-Cu-Ni | Kaptay |
| II (TM-TM, Cu-Cu) | Cr-Fe-Ni | Kozlov=Kaptay=Hirai |
| | Fe-Ni | Kozlov |
| | (Ag-Cu | Kozlov) |
| III (Al-TM, bzw. $E_G \ll 0$) | Ag-Al-Cu | Brillo/Schick |
| | Al-Cu | Brillo/Schick |
| | Al-Cu-Si | Brillo/Schick=Kozlov=Kaptay |
| | Co-Sn | Kaptay |

➔ Zusammenfassung

- Viskositäten von binären und ternären Systemen wurden gemessen als Funktion der Temperatur und Zusammensetzung
- Thermodynamische Modelle wurden überprüft.

Ergebnis

- **Kozlov** Modell ist am erfolgreichsten, jedoch **nicht** bei jedem System gleichzeitig auch das **beste** Modell.
- Systeme lassen sich in drei Klassen einteilen: I, II, III

Bestes Modell

- Klasse I : Kaptay
- Klasse II : Kozlov
- Klasse III: Brillo/Schick

Thank you for your attention

(funding by DFG under contracts BR 3665/xy)