

Arbeitskreistreffen "Werkstoffe und Simulation", 08.05.2008 in Chemnitz

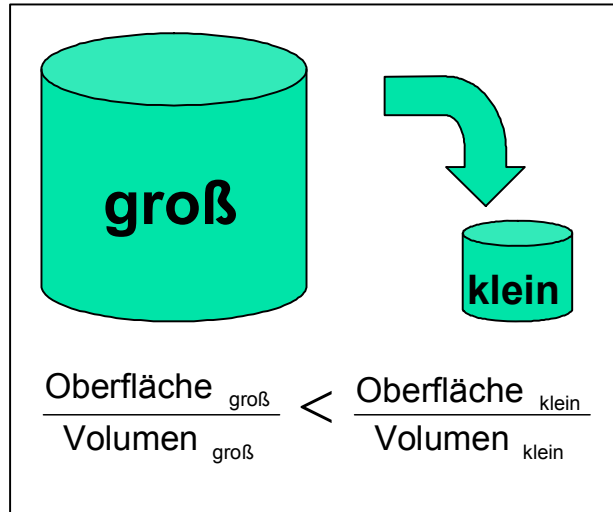
# Thermische Größeneffekte beim laserunterstützten Halbwarmmassivumformen

Vortragender: Dipl.-Ing. Mahdi Terzi

Dieses Projekt wird im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Modellierung von Größeneinflüssen bei Fertigungsprozessen,, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG ) gefördert (SPP 1138).

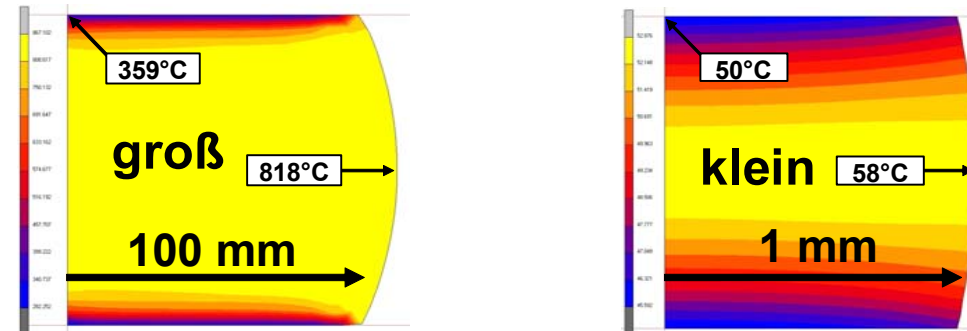
- **Einleitung**
- **Größeneffekte**
- **Thermische Größeneffekte**
- **Zusammenfassung**

# Einleitung



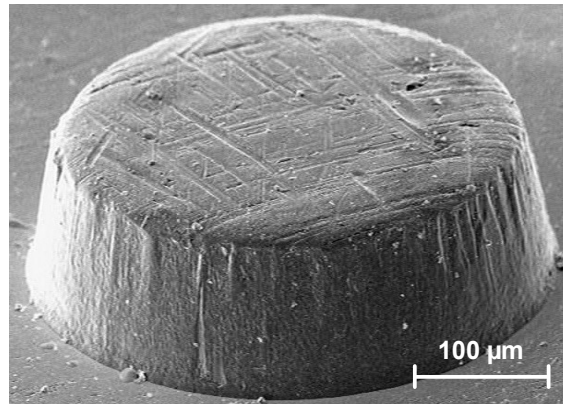
Problem

Bei kleiner werdender Bauteilgröße ist die Abkühlgeschwindigkeit größer. Bei beiden Simulationen wurde das Werkstück auf ca. 800°C vorgewärmt und anschließend umgeformt.



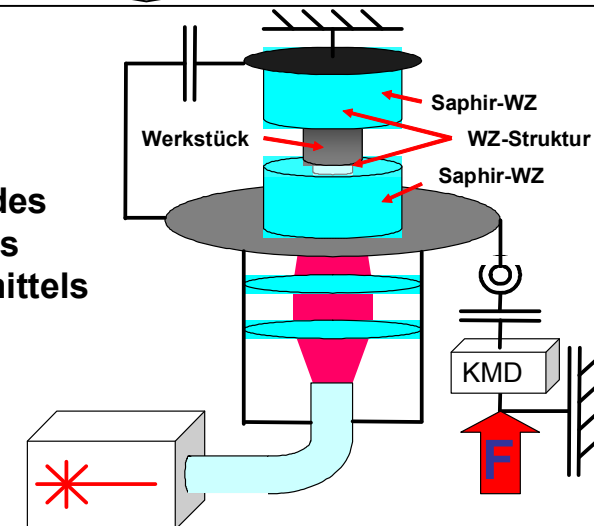
Laserunterstützte Umformung

Herstellung kleiner Bauteilgeometrien durch laserunterstützte Umformung

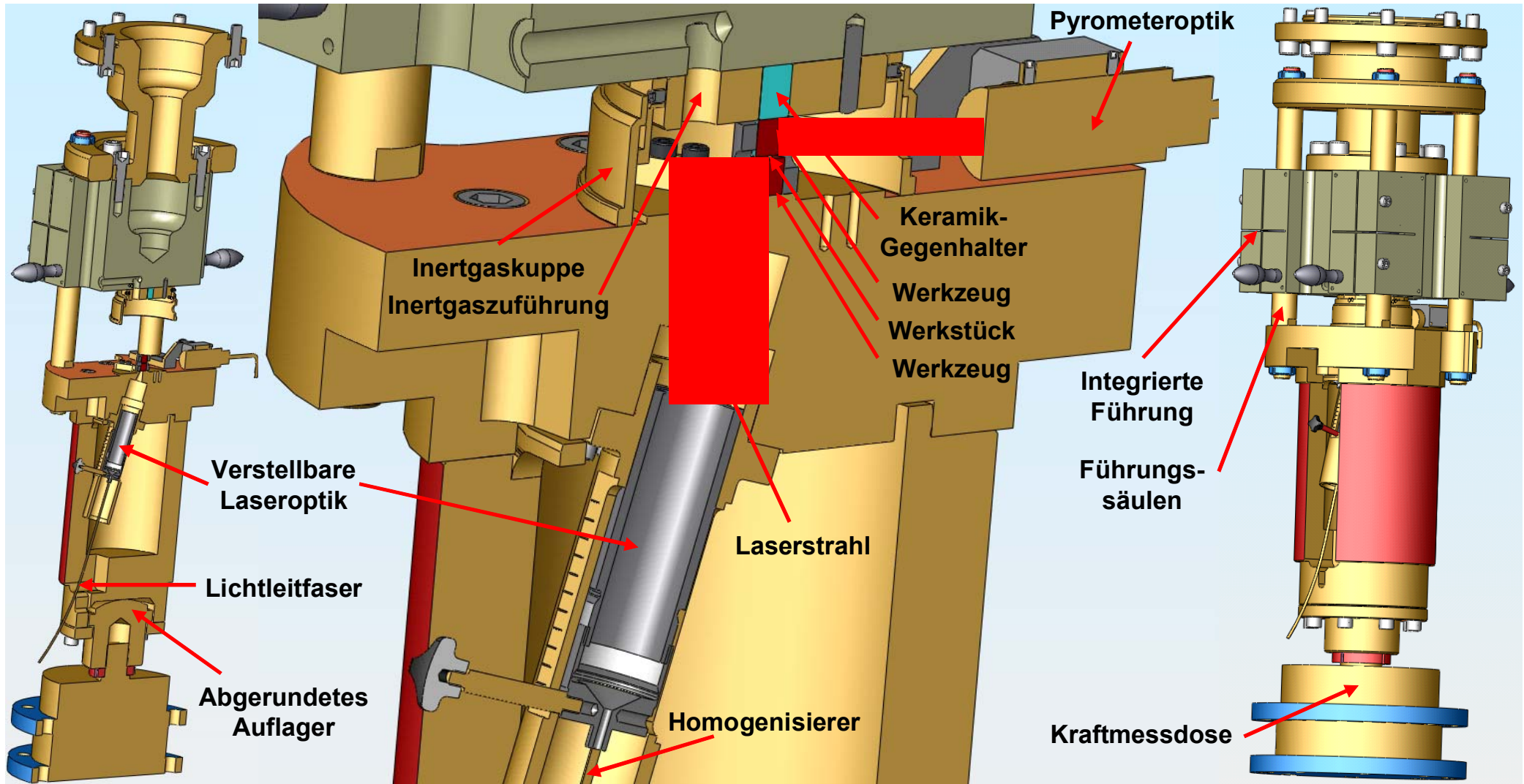


Werkstück

Lösung: Erwärmen des Bauteils während des Umformprozesses mittels Laser.



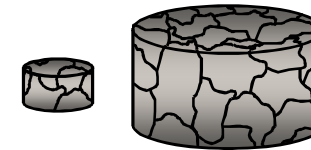
## Realisierung des Versuchsaufbaus



# Größeneffekte beim laserunterstützten Mikroumformen

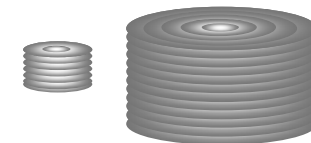
## 1. Materialabhängig

- 1a Wärmeleitung ↑ – Temperaturgradient ↓ – Fließspannungsgradient ↓ – Formfüllung ↑ ↓  
Wärmeleitung ↑ – Temperatur ↓ – Fließspannung ↑ – Umformkraft ↑ – Formfüllung ↓
- 1b Korngröße / V ↑ – Inhomogene Formfüllung ↑



## 2. Reibung (Tribology)

- 2a Oberflächenrauheit (Grenzen beim Verkleinern)  
- Reibung zwischen WZ / WS ↑ ↓ – Materialfluss ↑ ↓ – Formfüllung ↑ ↓
- 2b Schmierung (Mikroschmiertaschen nicht skalierbar)  
- Reibung zwischen WZ / WS ↑ – Materialfluss ↑ ↓ – Formfüllung ↑ ↓



# Größeneffekte beim laserunterstützten Mikroumformen

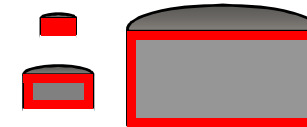
## 3. Geometrisch

### 3a Randschichtmodell

- A / V ↑ – Freifließender Bereich ↑ – Umformkraft ↓ – Formfüllung ↑

### 3b Oberflächenverfestigung

- A / V ↑ – Verfestigungsbereich ↑ – Umformkraft ↑ – Formfüllung ↓



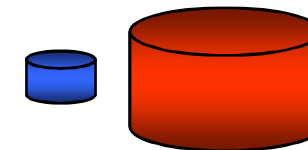
## 4. Thermisch

### 4a Temperatur

- A / V ↑ – Wärmeübertragung ↑ – Temperatur ↓ – Fließspannung ↑ – Umformkraft ↑ – Formfüllung ↓

### 4b Temperaturverteilung

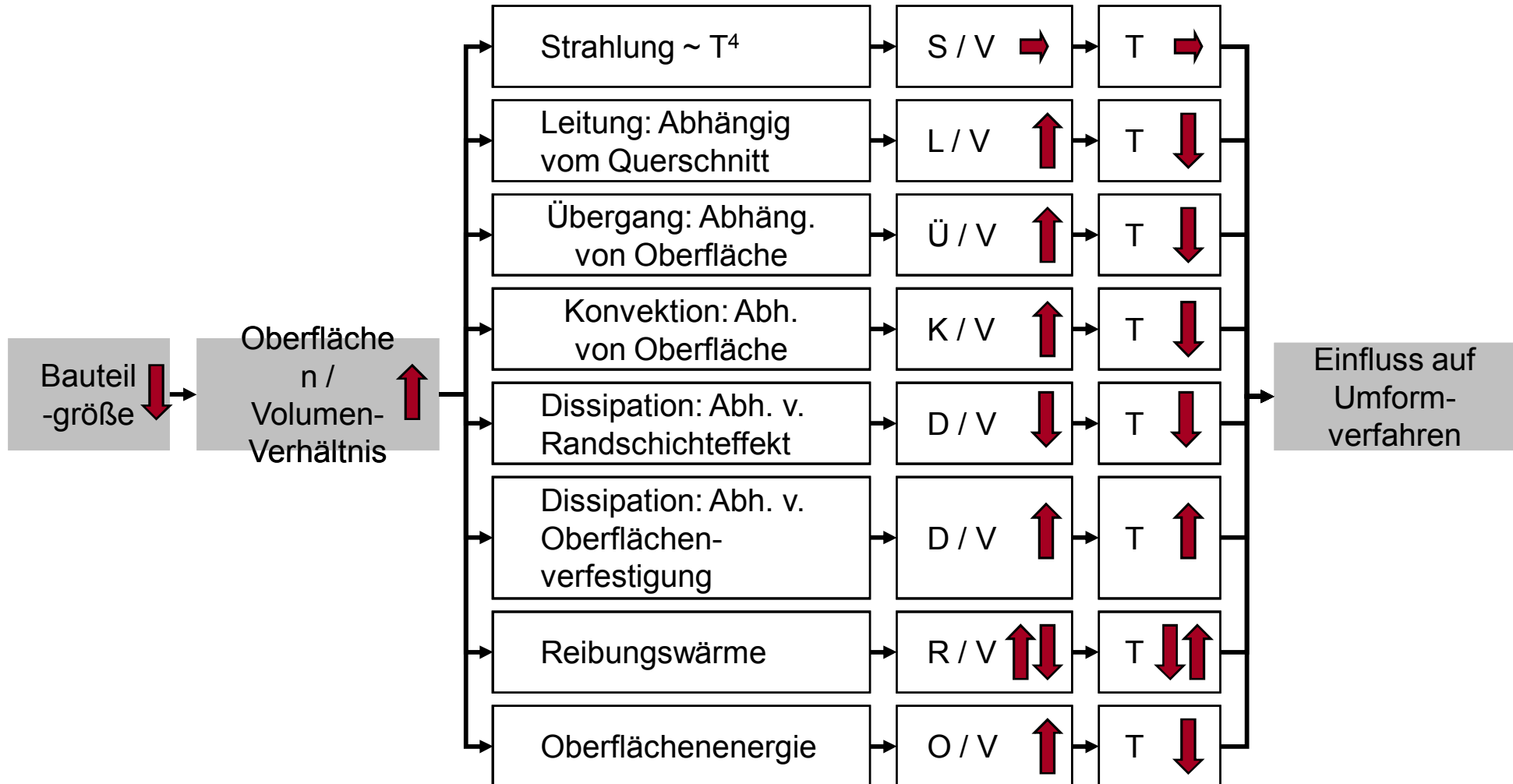
Temperaturgradient ↑ – Fließspannung ↑ ↓ – Umformkraft ↑ ↓ – Formfüllung ↑ ↓



### 4c Materialeigenschaft

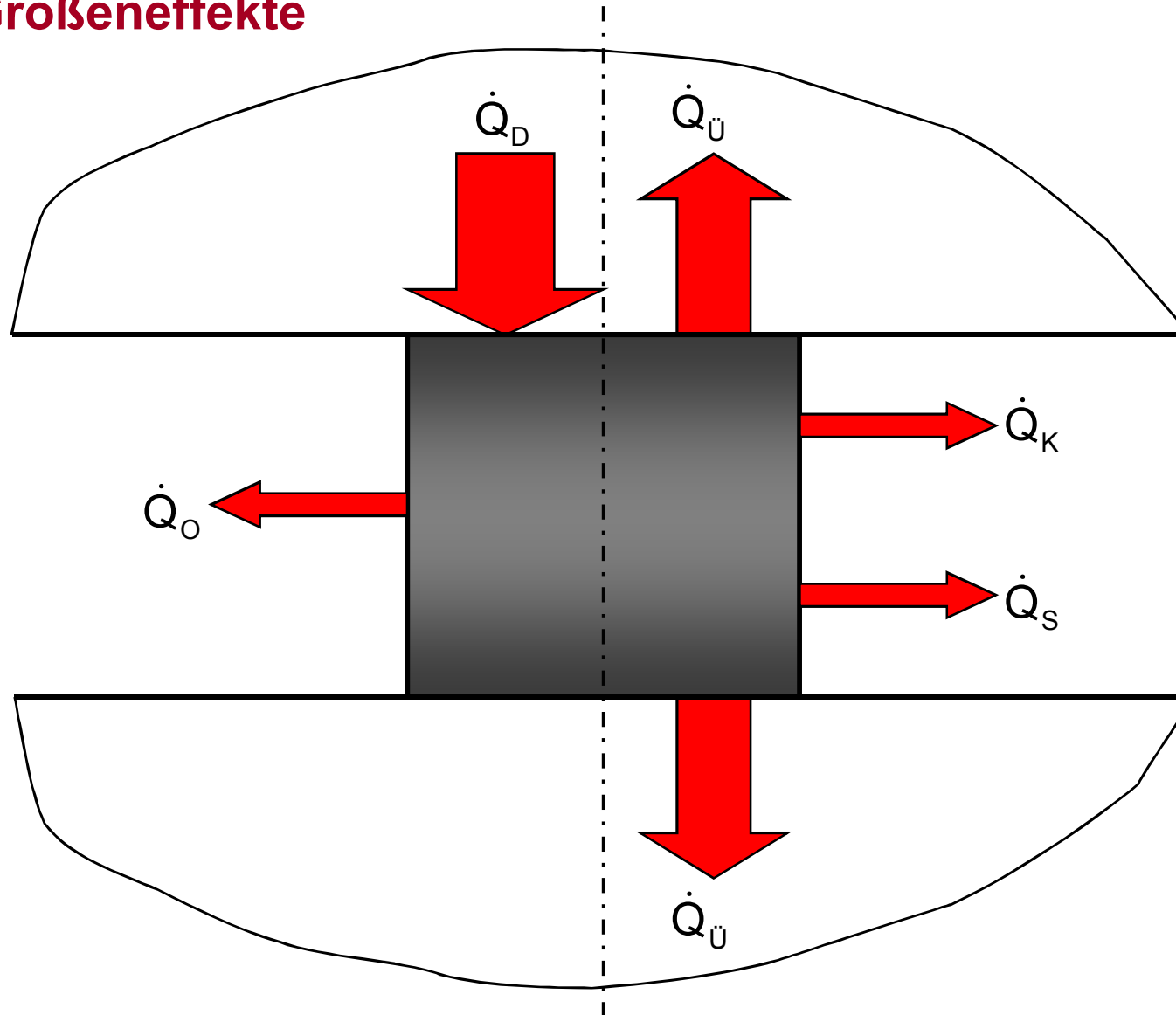
- Wärmeleitung ↑ – Temperaturgradient ↓ – Fließspannungsgradient ↓ – Formfüllung ↑ ↓  
- Wärmeleitung ↑ – Temperatur ↓ – Fließspannung ↑ – Umformkraft ↑ – Formfüllung ↓

# Thermische Größeneffekte





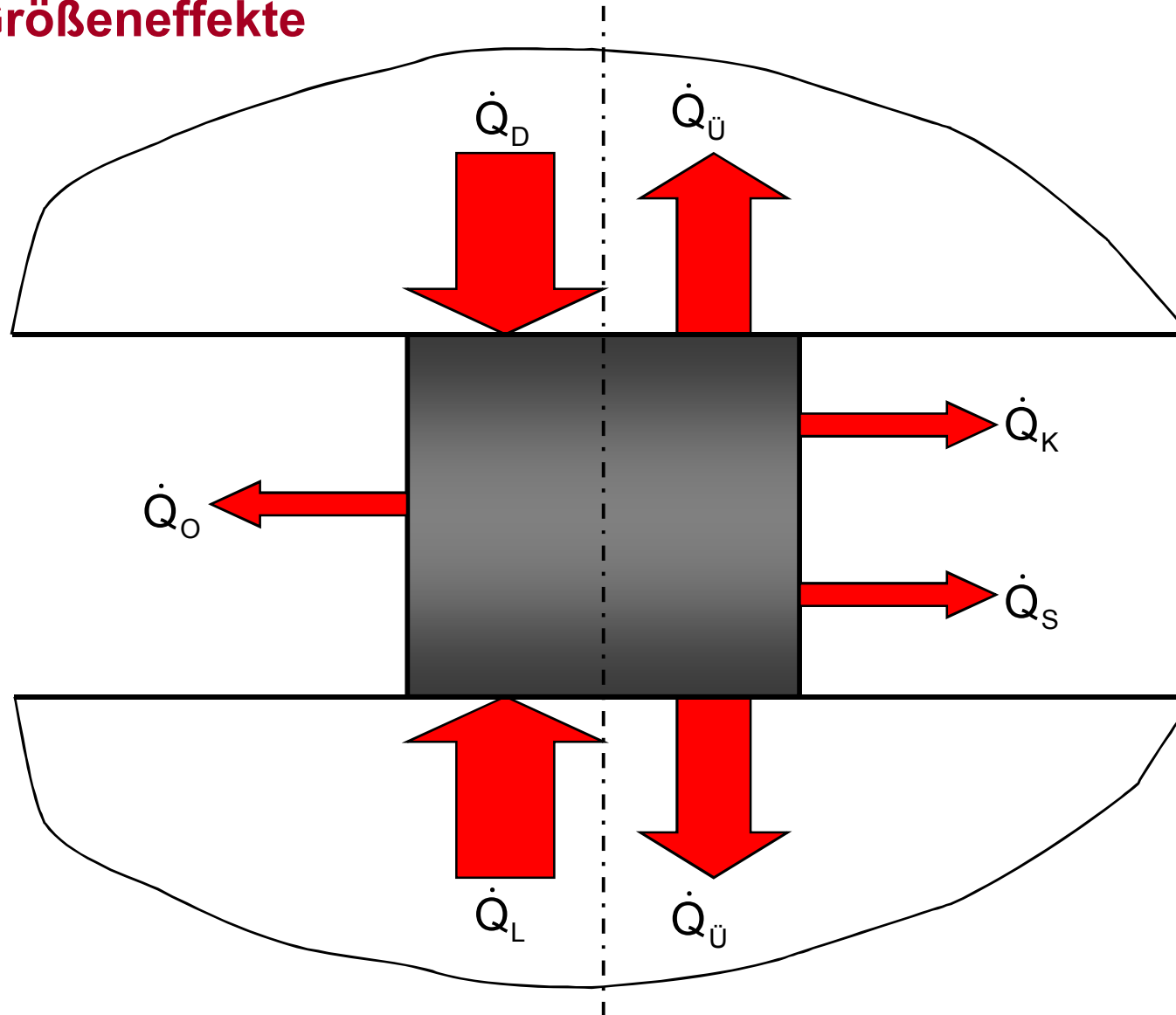
# Thermische Größeneffekte



Wärmeströme während des Umformvorgangs ohne Wärmezufuhr

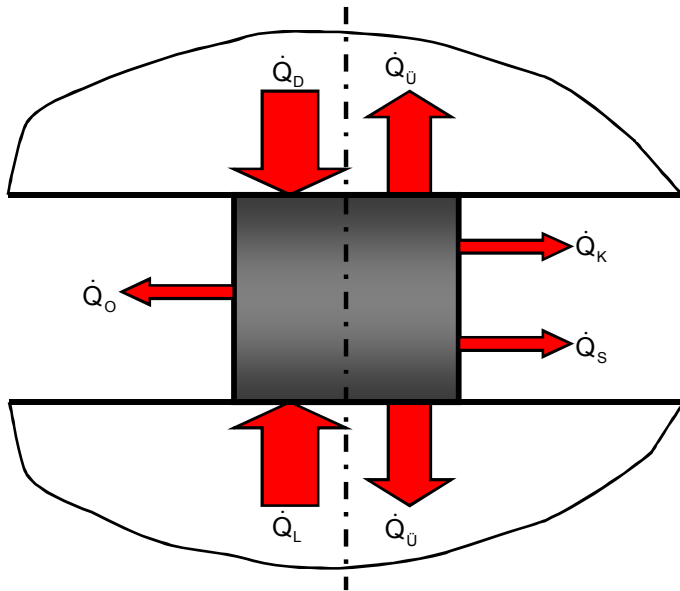


# Thermische Größeneffekte

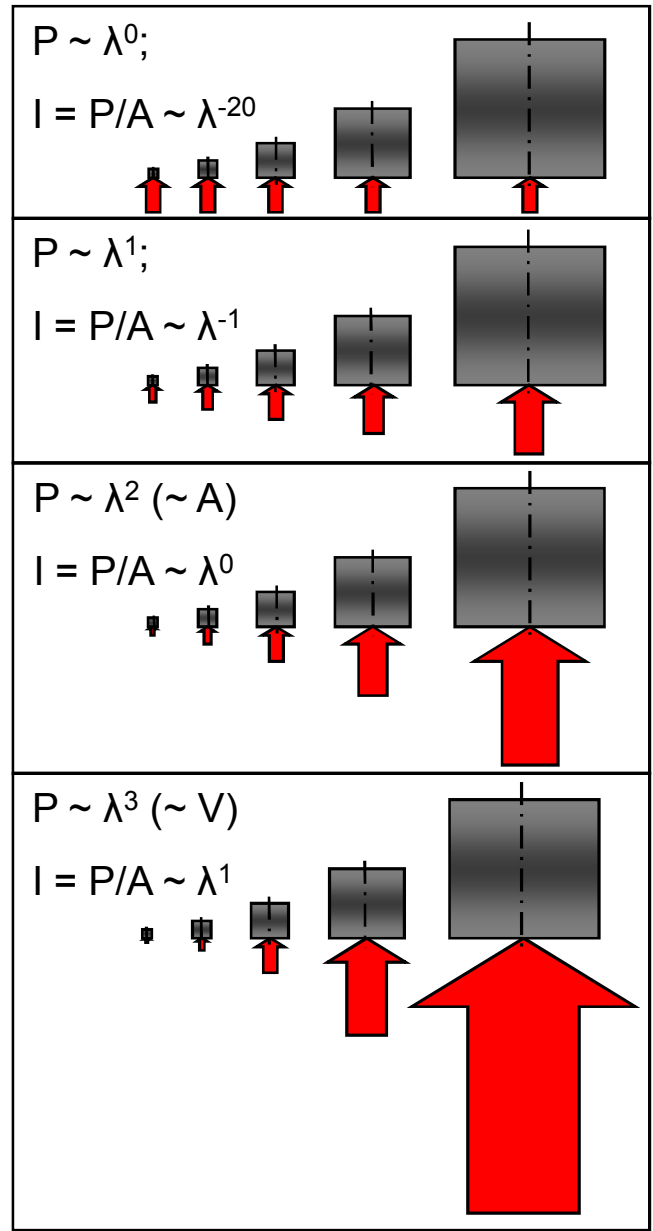


**Wärmeströme während des Umformvorgangs mit  
Wärmezufuhr zur Kompensation thermischer Größeneffekte**

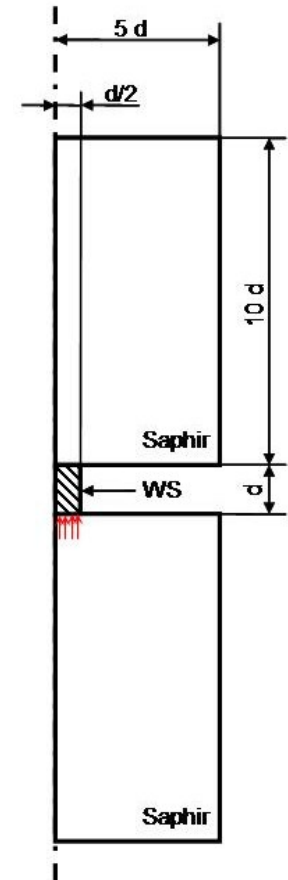
# Thermische Größeneffekte



Wärmeströme



Skalierung der Wärmezufuhr



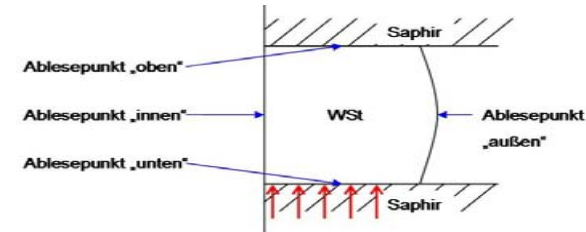
Simulationsmodell

# Thermische Größeneffekte



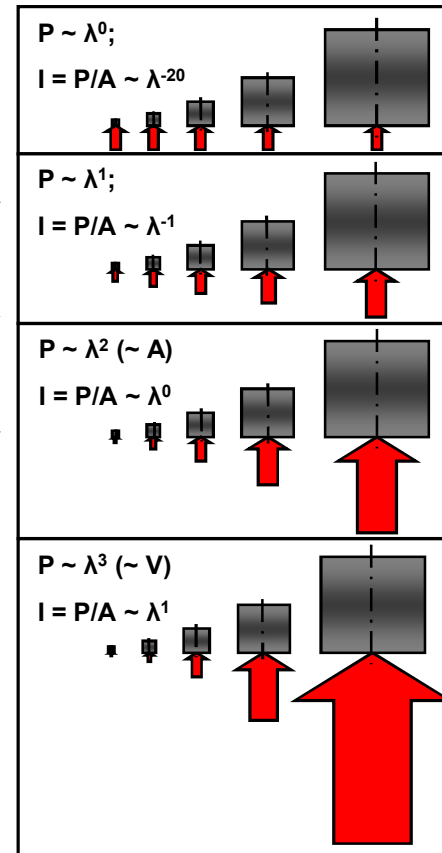
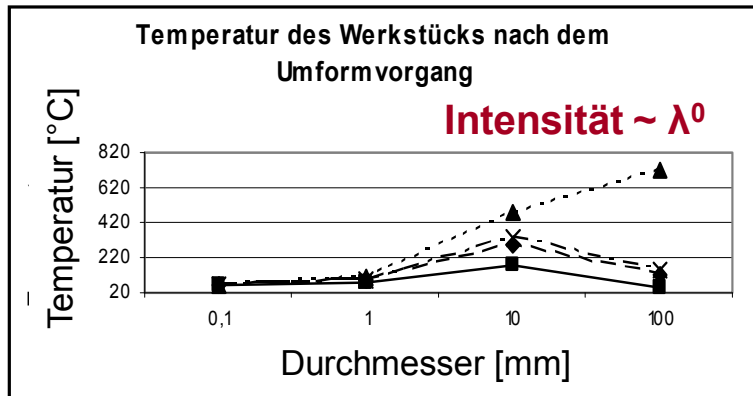
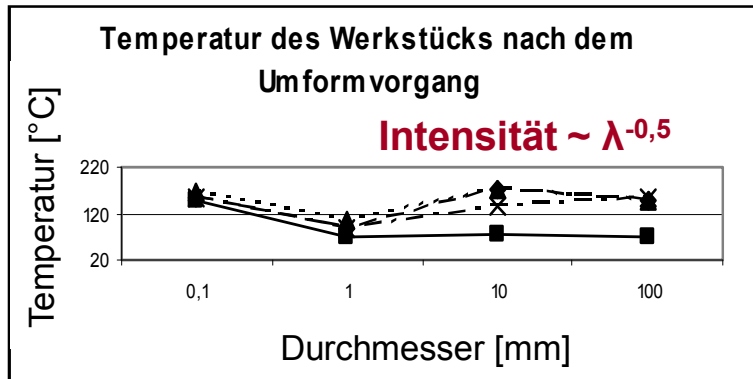
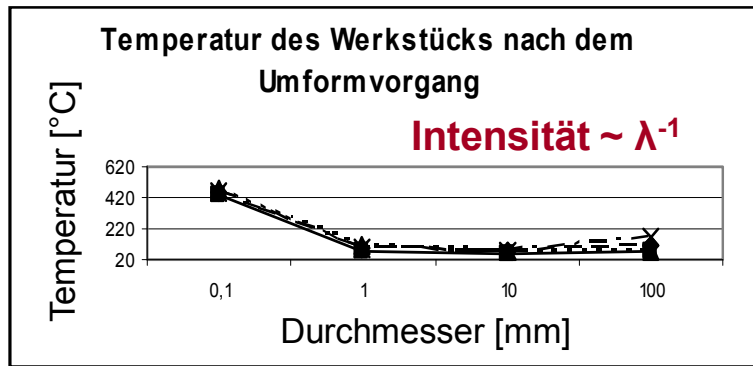
HELMUT-SCHMIDT  
UNIVERSITÄT  
Universität der Bundeswehr Hamburg

- \* — \* — Ablesepunkt „innen“
- — ▲ — — Ablesepunkt „unten“
- — ◆ — — Ablesepunkt „außen“
- ■ — — Ablesepunkt „oben“



Werkstoff	1.4301-Stahl
Umformzeit [s]	10
WZ-Geschwindigkeit [mm/s]	WS-Ø / 20
Stauchung [%]	50
h/d-Verhältnis [-]	1
Reibkoeffizient $\mu$ [-]	0,15
Anfangstemperatur [°C]	20
CHTC [W/m <sup>2</sup> K]	40000
SE (WS) [-]	0,11
SE (Saphir) [-]	0,235
FCTE (WS) [W/m <sup>2</sup> K]	200
FCTE (Saphir) [W/m <sup>2</sup> K]	10
Intensität [W/mm <sup>2</sup> ]	var.
3,115 W/mm <sup>2</sup> bei Ø = 1 mm	

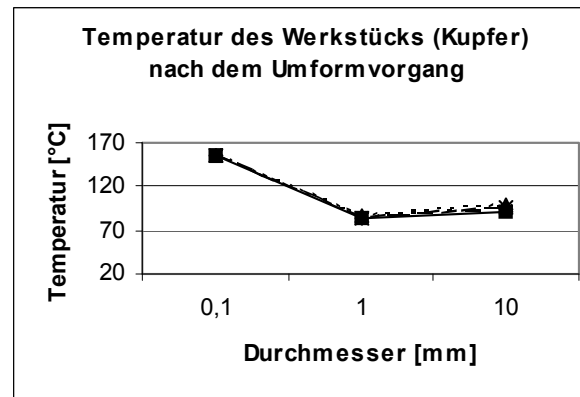
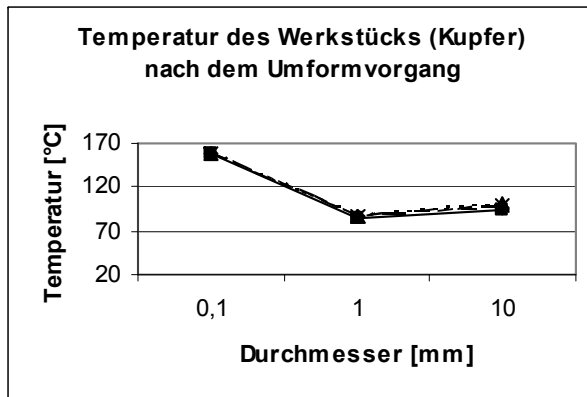
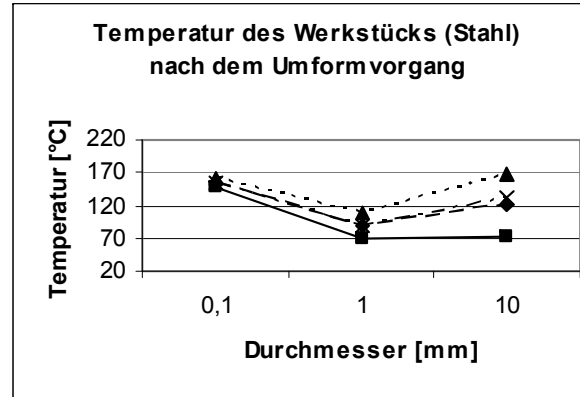
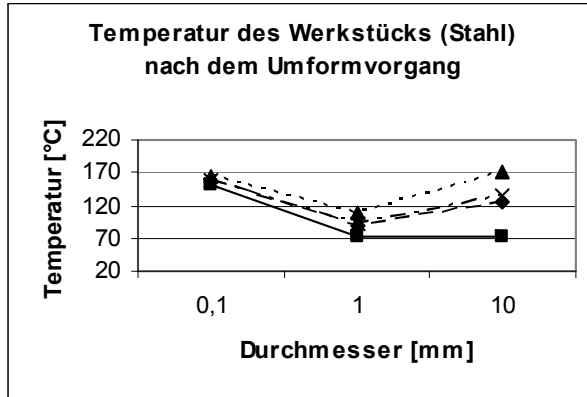
- T-Unterschied wächst mit WS-Größe (T-Ausgleichsprozesse)
- Größenabhängige T-Verläufe (Intensität)



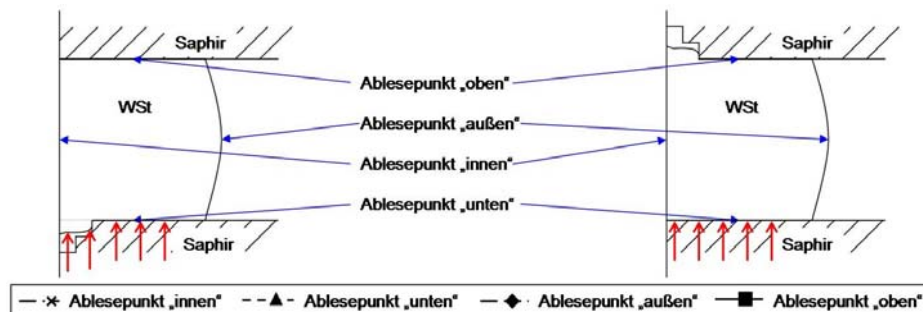
# Thermische Größeneffekte

DZ-Form auf Seite der Wärmezufuhr

DZ-Form auf Gegenseite der Wärmezufuhr



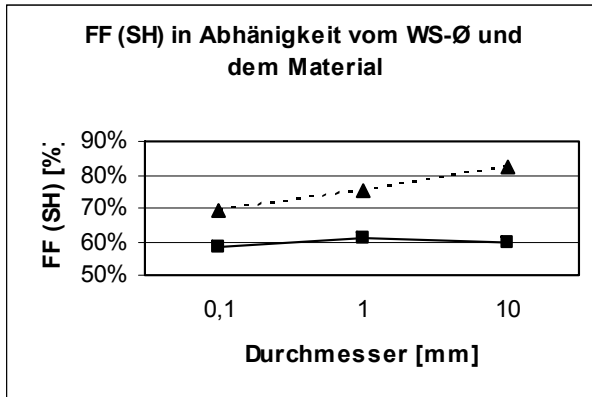
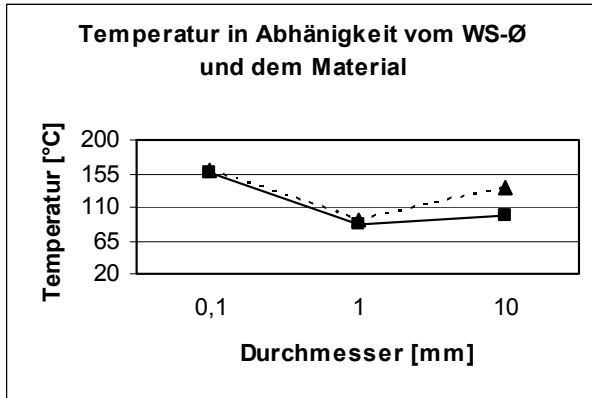
- T-Unterschied wächst mit WS-Größe (T-Ausgleichsprozesse)
- T-Unterschied bei Stahl größer (Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität)
- T-Verteilung unabhängig von Lage der WZ-Struktur (Wärmeabfuhr)



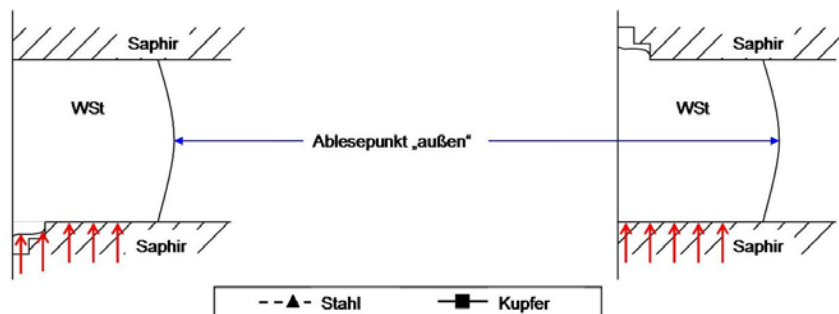
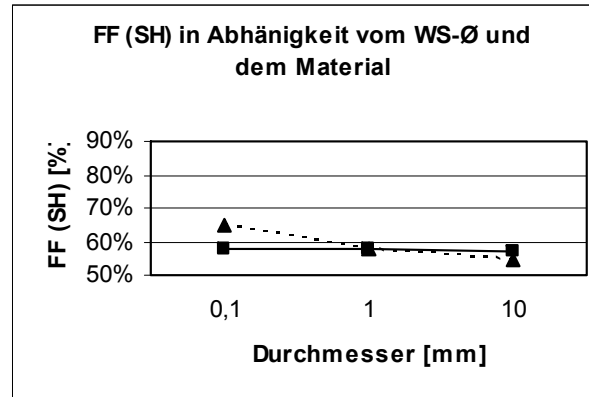
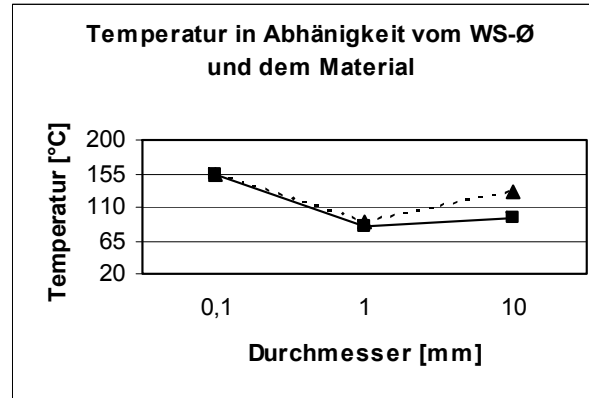
Werkstoff	1.4301 / Kupfer
Umformzeit [s]	10
WZ-Geschwindigkeit [mm/s]	WS-Ø / 20
Stauchung [%]	50
h/d-Verhältnis [-]	1
Reibkoeffizient $\mu$ [-]	0,15
Anfangstemperatur [°C]	20
CHTC [W/m <sup>2</sup> K]	40000
SE (WS) [-]	0,11
SE (Saphir) [-]	0,235
FCTE (WS) [W/m <sup>2</sup> K]	200
FCTE (Saphir) [W/m <sup>2</sup> K]	10
Intensität [W/mm <sup>2</sup> ]	$\lambda^{-0,5}$
3,115 W/mm <sup>2</sup> bei Ø = 1 mm	

# Thermische Größeneffekte

## DZ-Form auf Seite der Wärmezufuhr



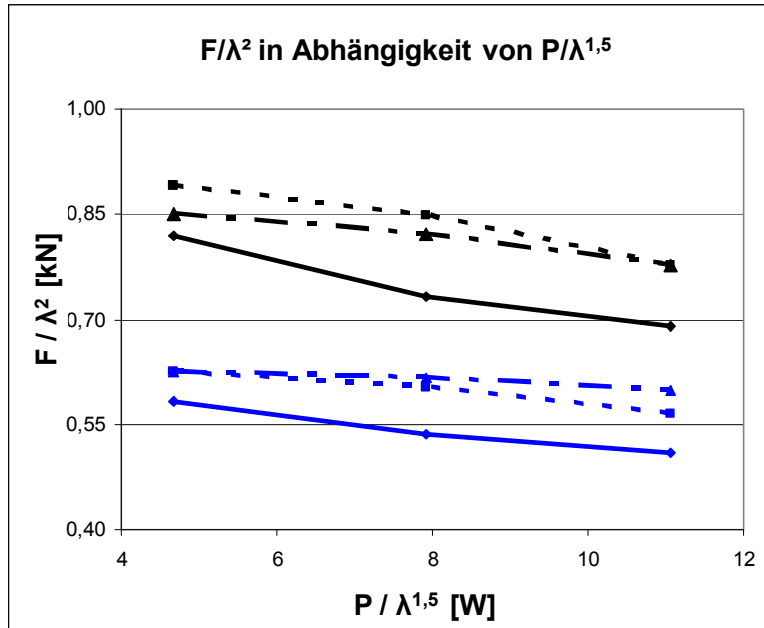
## DZ-Form auf Gegenseite der Wärmezufuhr



- Größenabhängigkeit der FF bei Stahl (T- und Fließspannungsverteilung sowie Fließverhalten)
- Bei Stahl steigt FF mit Bauteilgröße auf laserzugewandter Seite und sinkt auf laserabgewandter Seite (Fließspannungsunterschied auf laserzu- und abgewandeter Seite)

Werkstoff	1.4301 / Kupfer
Umformzeit [s]	10
WZ-Geschwindigkeit [mm/s]	WS-Ø / 20
Stauchung [%]	50
h/d-Verhältnis [-]	1
Reibkoeffizient $\mu$ [-]	0,15
Anfangstemperatur [°C]	20
CHTC [W/m <sup>2</sup> K]	40000
SE (WS) [-]	0,11
SE (Saphir) [-]	0,235
FCTE (WS) [W/m <sup>2</sup> K]	200
FCTE (Saphir) [W/m <sup>2</sup> K]	10
Intensität [W/mm <sup>2</sup> ]	$\lambda^{-0,5}$
3,115 W/mm <sup>2</sup> bei $\varnothing = 1$ mm	

# Thermische Größeneffekte

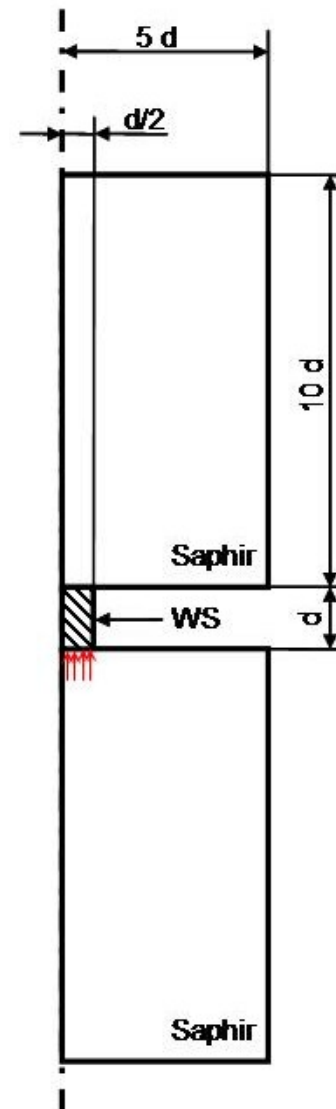


## Stauchung 50 %:

- ◆— 0,1 mm
- -■- - 1 mm
- ·▲· - 10 mm

## Stauchung 25 %:

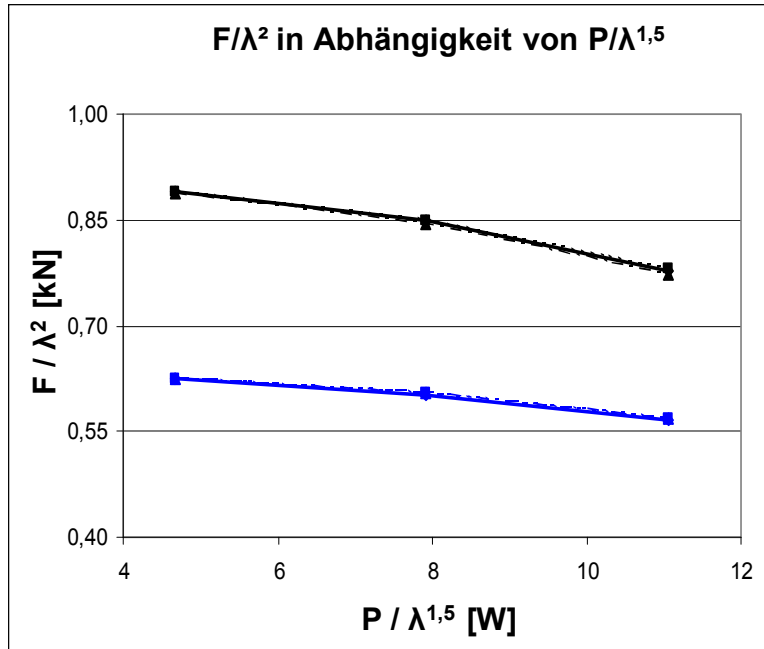
- ◆— 0,1 mm
- -■- - 1 mm
- ·▲· - 10 mm



Werkstoff	1.4301-Stahl
Umformzeit [s]	var.
WZ-Geschwindigkeit [mm/s]	WS-Ø / 20
Stauchung [%]	var.
h/d-Verhältnis [-]	1
Reibkoeffizient $\mu$ [-]	0,15
Anfangstemperatur [°C]	20
CHTC [W/m²K]	40000
SE (WS) [-]	0,11
SE (Saphir) [-]	0,235
FCTE (WS) [W/m²K]	200
FCTE (Saphir) [W/m²K]	10
Intensität [W/mm²]	var.
3,115 W/mm² bei Ø = 1 mm	

- Benötigte Kraft geringer bei steigender Wärme
- Benötigte  $F/A$  größenabhängig (Temperaturen, Fließspannungen)
- Benötigte Kraft steigt mit Verkleinerung der Bauteilgröße homogener (Temperaturverteilung)

# Thermische Größeneffekte

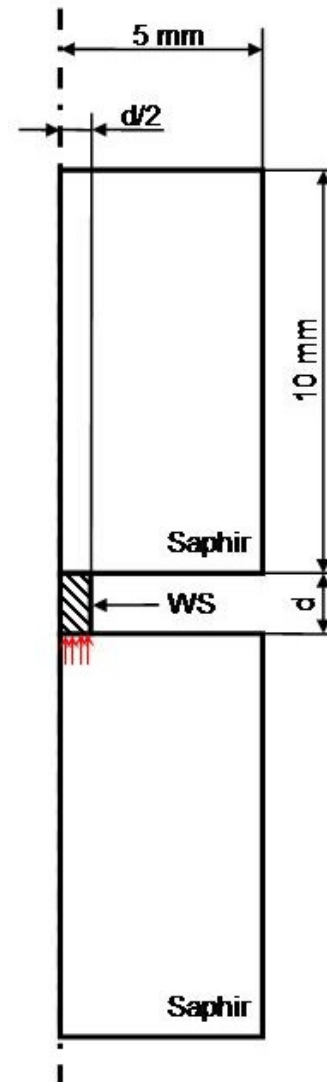


## Stauchung 50%

- ◆— 1 mm
- -■- - 1,5 mm
- ·▲· - 2,25 mm

## Stauchung 25%

- ◆— 1 mm
- -■- - 1,5 mm
- ·▲· - 2,25 mm



Werkstoff	1.4301-Stahl
Umformzeit [s]	var.
WZ-Geschwindigkeit [mm/s]	WS-Ø / 20
Stauchung [%]	var.
h/d-Verhältnis [-]	1
Reibkoeffizient $\mu$ [-]	0,15
Anfangstemperatur [°C]	20
CHTC [W/m²K]	40000
SE (WS) [-]	0,11
SE (Saphir) [-]	0,235
FCTE (WS) [W/m²K]	200
FCTE (Saphir) [W/m²K]	10
Intensität [W/mm²]	var.
3,115 W/mm² bei Ø = 1 mm	

- Benötigte Kraft geringer bei steigender Wärme
- Größenabhängigkeit der benötigten  $F/A$  minimal (Temperaturen, Fließspannungen)



- **Größeneffekte beim Miniaturisieren des Umformverfahrens**
- **Realisierter Versuchsaufbau geeignet um thermische Größeneffekte durch die Zufuhr von Laserenergie zu kompensieren**
- **Mit Verkleinerung der Bauteilgröße erwachsen spezifische Vorteile**

Arbeitskreistreffen "Werkstoffe und Simulation", 08.05.2008 in Chemnitz

# Thermische Größeneffekte beim laserunterstützten Halbwarmmassivumformen

Vortragender: Dipl.-Ing. Mahdi Terzi

Dieses Projekt wird im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Modellierung von Größeneinflüssen bei Fertigungsprozessen,, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG ) gefördert (SPP 1138).