

KALIBERWALZEN – ZIEHWALZEN – ZIEHEN

Methoden, Unterschiede, Auslegungsgrundlagen

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Prahl

PD Dr.-Ing. habil. Matthias Schmidtchen

Agenda



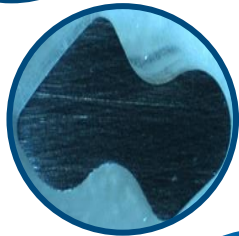
1. IMF an der TUBAF

Wer wir sind und was wir anbieten



2. Walzen – Ziehwalzen – Ziehen

Formänderungs- und Spannungszustand, Temperaturverlauf, Greifbedingung, maximale Umformung, Verfahrensgrenzen



3. Beispiel Z-Profil

Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenrauheit



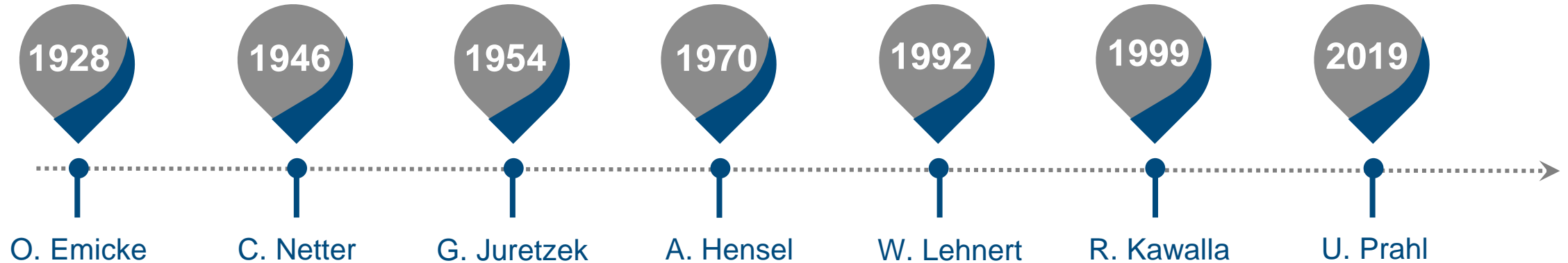
4. Open Source Simulationssoftware PyRoLL

IMF.PyRoLL @ Github Python – Kalibersimulation für jedermann



Institut für Metallformung @TUBAF

Mehr als 95 Jahre Erfahrung in der Technologieentwicklung für metallische Halbzeuge



Schlüsselkompetenzen

- **Integration von Werkstoffwissenschaft** in der Umformtechnologie
- **Mehrskalige experimentelle und numerische Simulation** von Produktionsketten für metallische Halbzeuge
- **Prozessübergreifende Optimierung** von Prozessen und Prozessketten der Metallherstellung und -verarbeitung

Team:

- 47 Angestellte
- 10 externe Promoventen
- 12 studentische Mitarbeiter

Finanzierung:

- 2.5 Mio € jährlich (Drittmittel)
- 25 % davon direkt aus der Industrie



Equipment

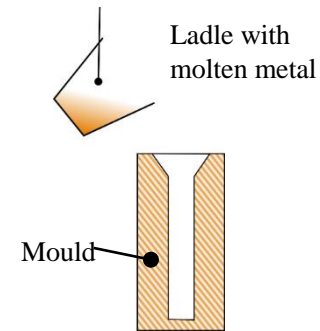
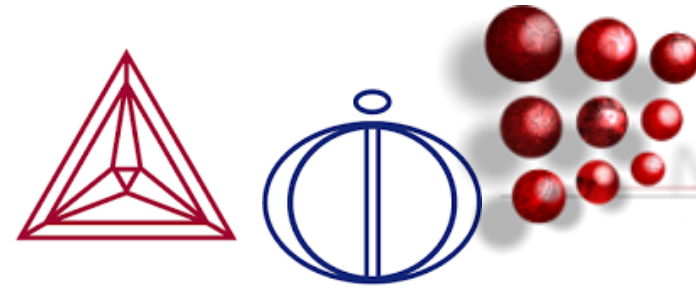
Induction melting furnace

Design of metallic materials:

- Numerical alloy design by thermodynamic databases (ThermoCalc, Dictra, MatCalc)
- Casting of laboratory special melts in vacuum furnace
- Coupling with hot rolling / direct rolling simulation
- Coupling with spectrometry

Process conditions and equipment:

- Max. volume 20 kg (currently 1 liter – approx. 8 kg steel)
- Max. melting temperature 1800 °C
- Vacuum, argon, adjustable partial pressure
- Thermocouple / pyrometer
- Water-cooled / heated mould
- Programmable casting process

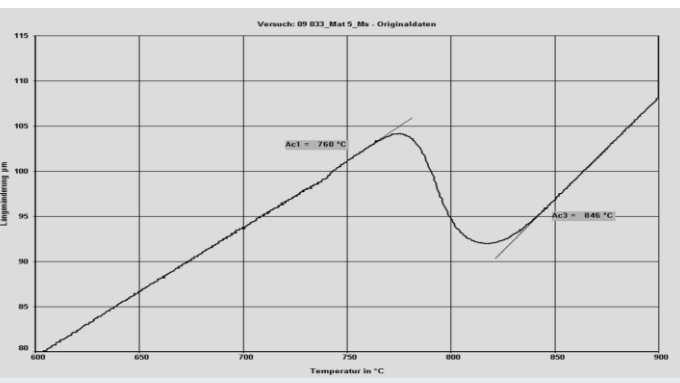
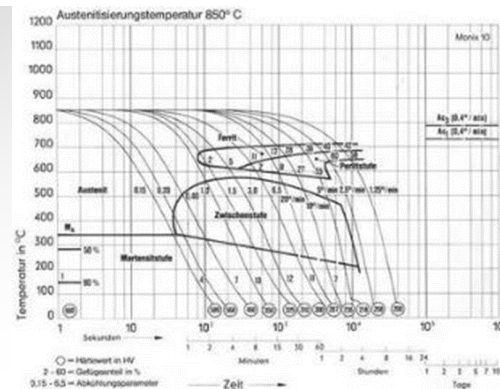
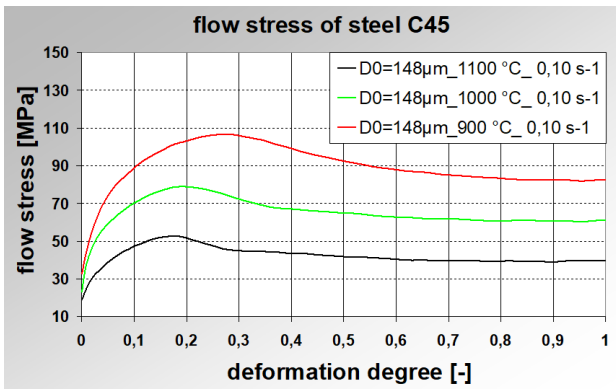
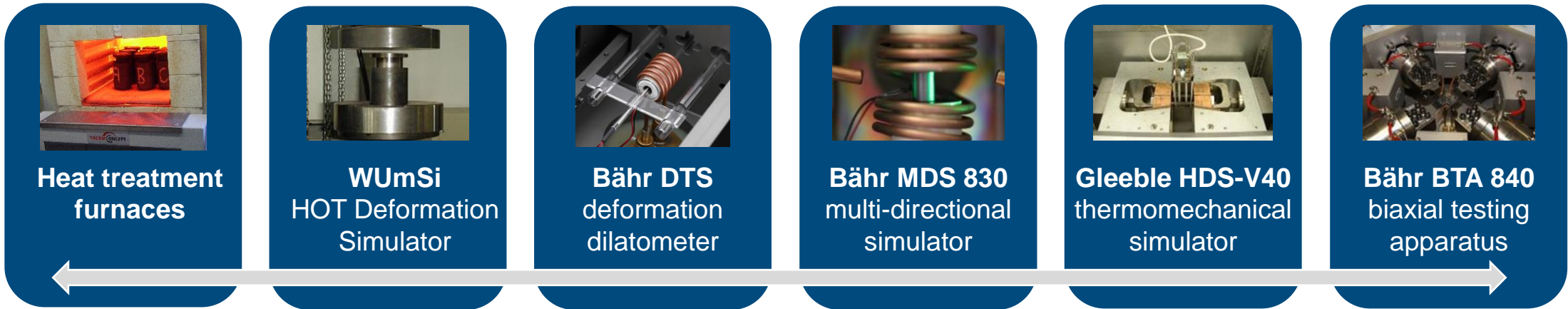


VIM LAP 20-50



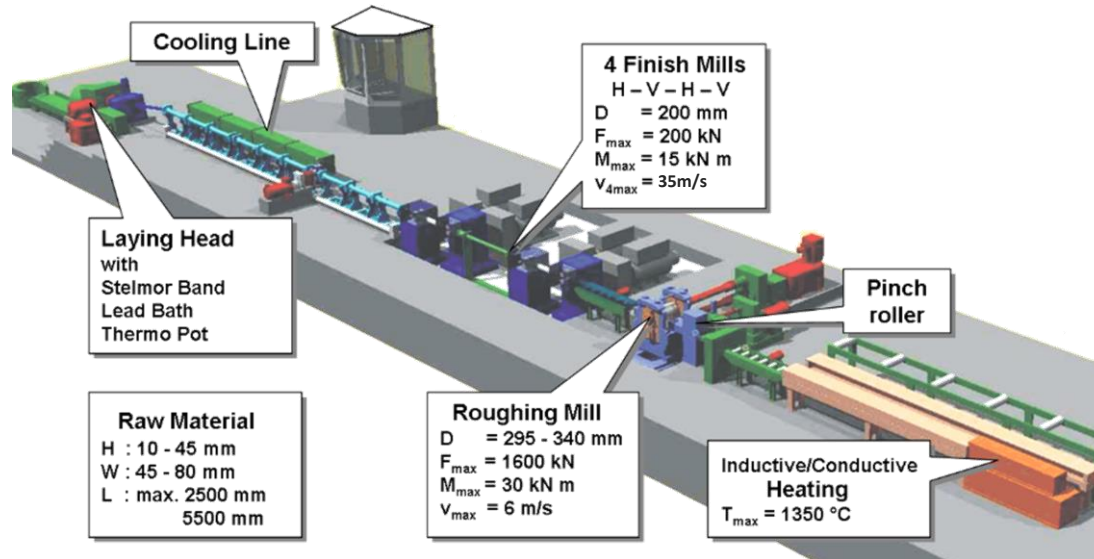
Equipment

Experimental simulation and parameter identification towards technology design



Equipment

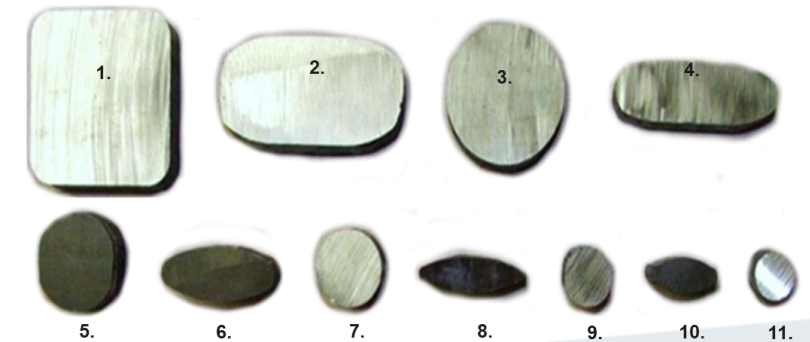
Semi continuous rolling line for long products



trio groove pass rolling plant



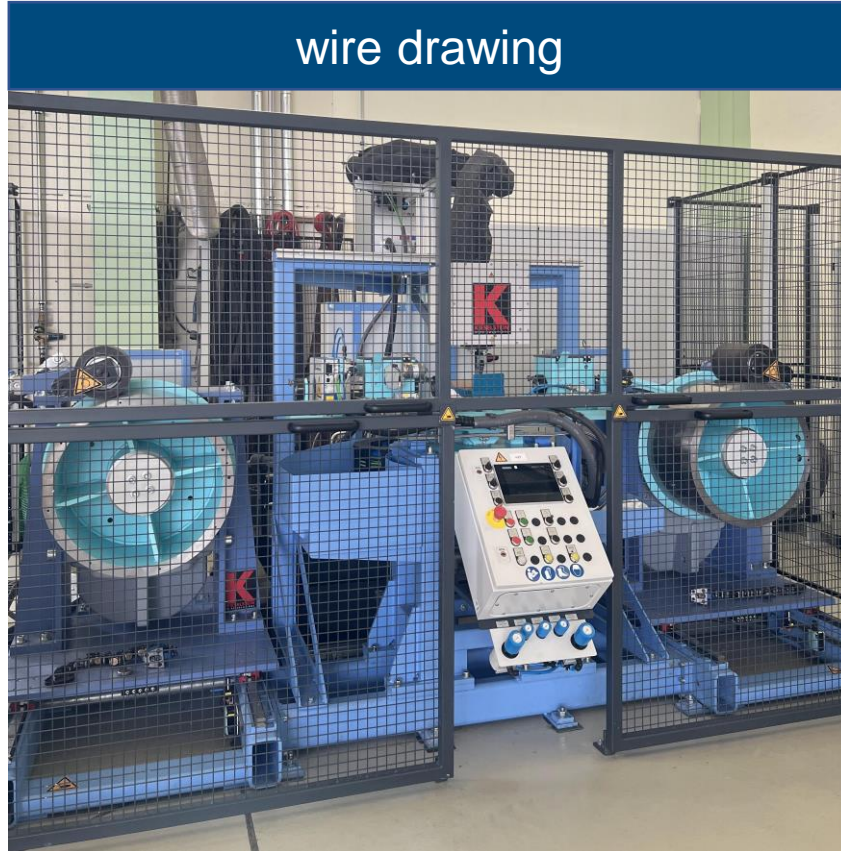
wire drawing



possible processing routes



Equipment



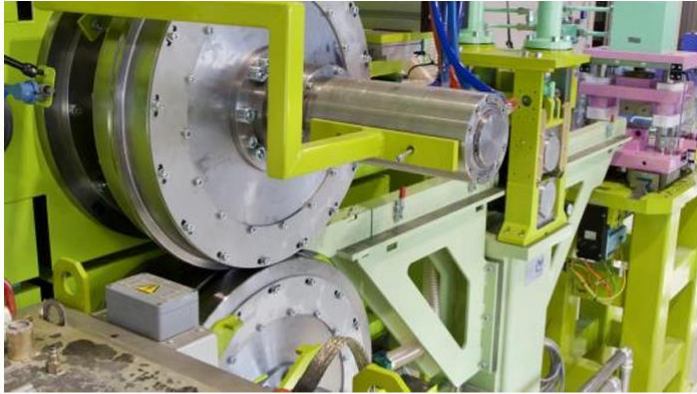
Technical data:

- Max. entry diameter: 6 mm
- Min. final diameter: 0,5 mm
- Drawing speed: max. 30 m/min
- Hot drawing possible (max. 1000 °C)
- For all drawable metallic materials
- Installation and first trials are done



Equipment

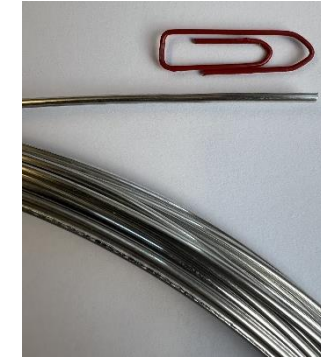
Wire twin-roll casting plant, Conform™ System



Wire twin-roll caster



Conform system



Products



Controlled atmosphere furnace









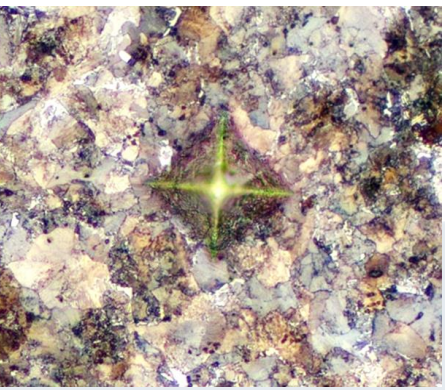
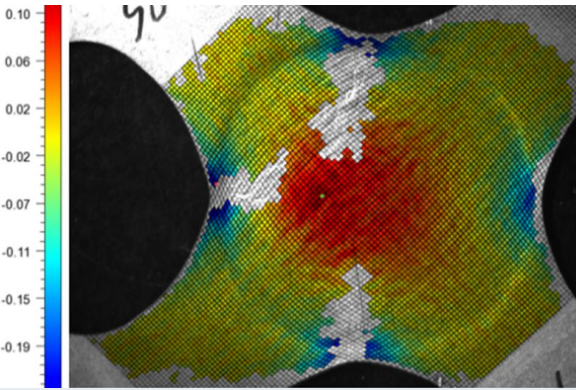
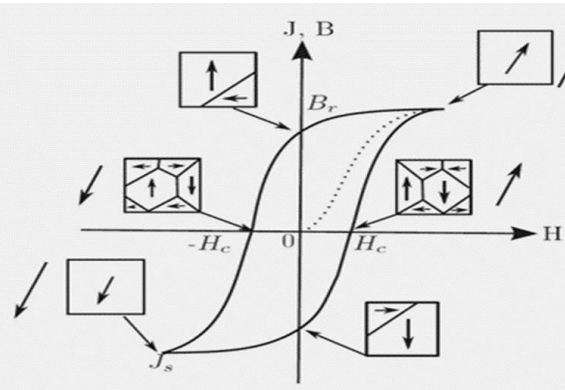
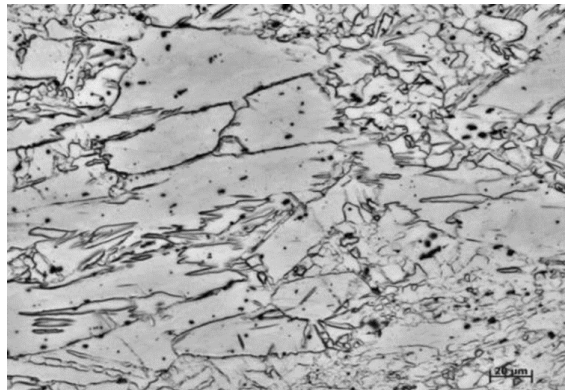
- Heat treatment up to 1600 °C
- Extraction temperatures up to 1250 °C for hot forming
- Dimensions : Diameter working chamber 800 mm, Height 500 mm, max. load 170 kg
- Heating capacity: 60 kW / One heating zone
- Furnace atmospheres : min. Two gas lines → Nitrogen, Hydrogen
- Quick filling after evacuation with nitrogen
- Gas humidification with dew point sensor / Dew point sensor at the furnace inlet
- Vacuum system : 10 mbar in the empty and cold furnace
- Control system: Eurotherm 2704
- Safety system: oxygen sensor, hydrogen sensor, electric igniter in the exhaust tract, additional pressure sensors



Equipment

Microstructure analysis and material characterization towards properties design

 <p>Zeiss, Keyence (LOM, 3D DOM, DIC)</p>	 <p>SEM/EDX/EBSD hot/tension/ compression stage</p>	 <p>MiViA AI based analysis system</p>	 <p>BUP 600 Sheet testing machine</p>	 <p>Notched bar impact hammer</p>	 <p>Instron AG 100 Universal Testing Machine</p>
---	---	---	---	--	--



Agenda



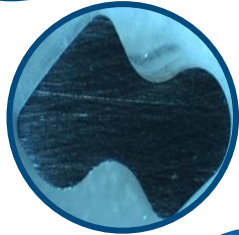
1. IMF an der TUBAF

Wer wir sind und was wir anbieten



2. Walzen – Ziehwalzen – Ziehen

Formänderungs- und Spannungszustand, Temperaturverlauf, Greifbedingung, maximale Umformung, Verfahrensgrenzen



3. Beispiel Z-Profil

Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenrauheit

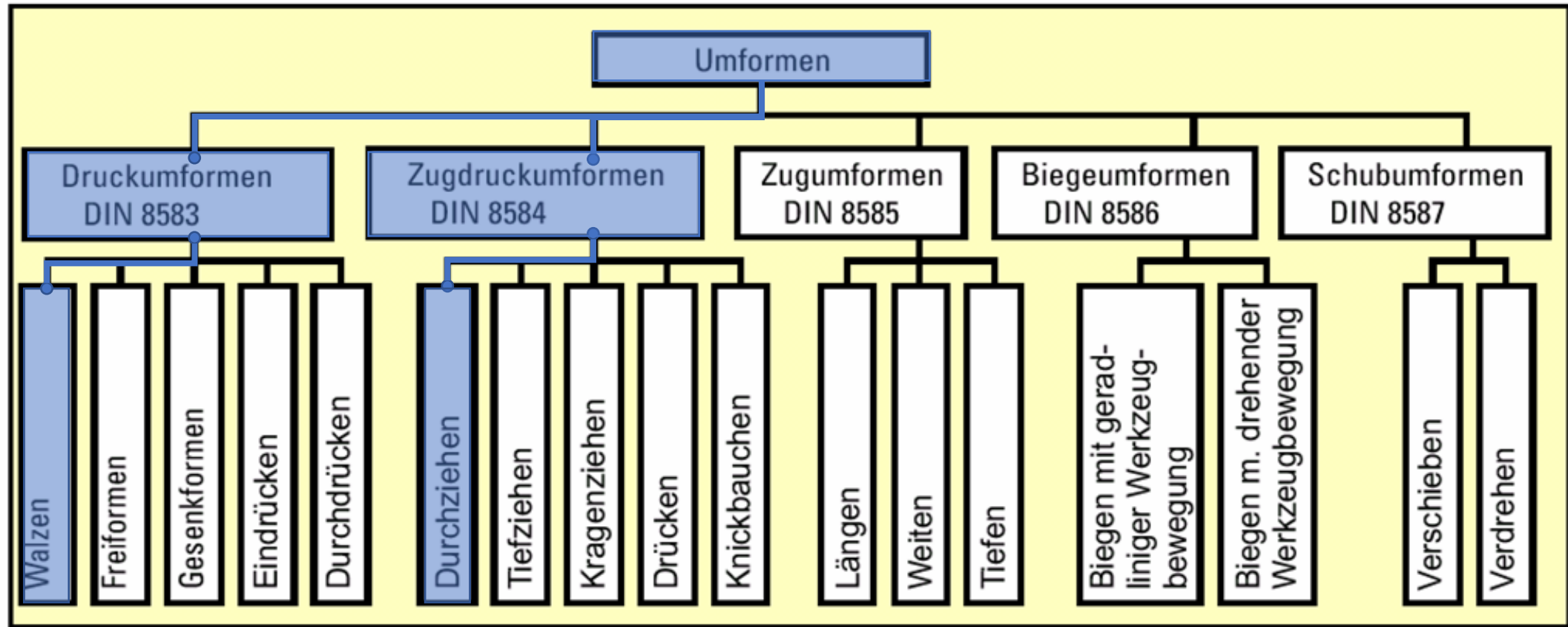


4. Open Source Simulationssoftware PyRoLL

IMF.PyRoLL @ Github Python – Kalibersimulation für jedermann

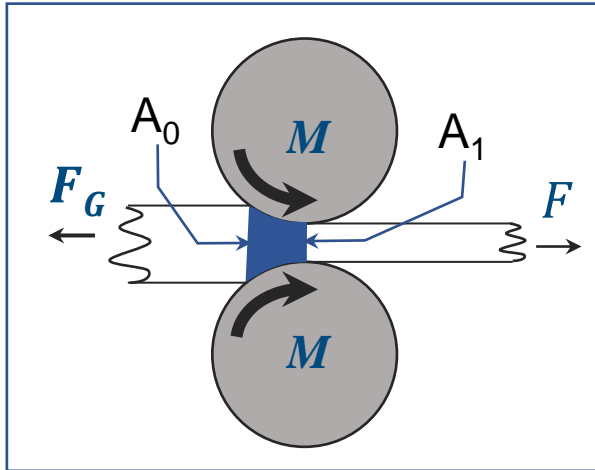


Einteilung der Umformverfahren nach DIN 8582- 8587

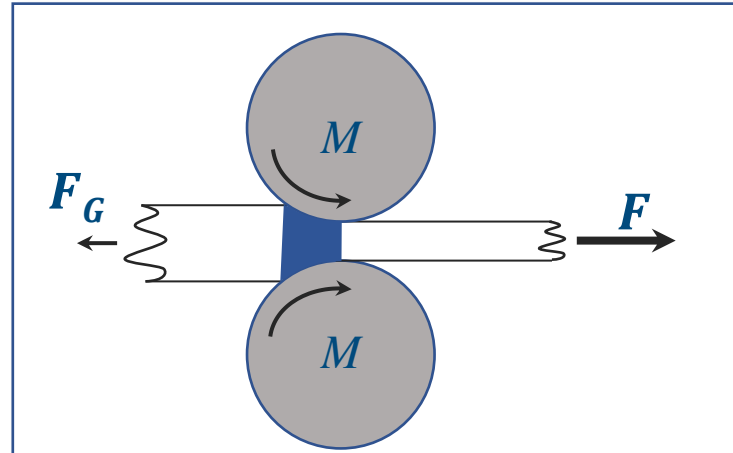


Vergleich der Herstellungsverfahren – Ähnlichkeitsparameter

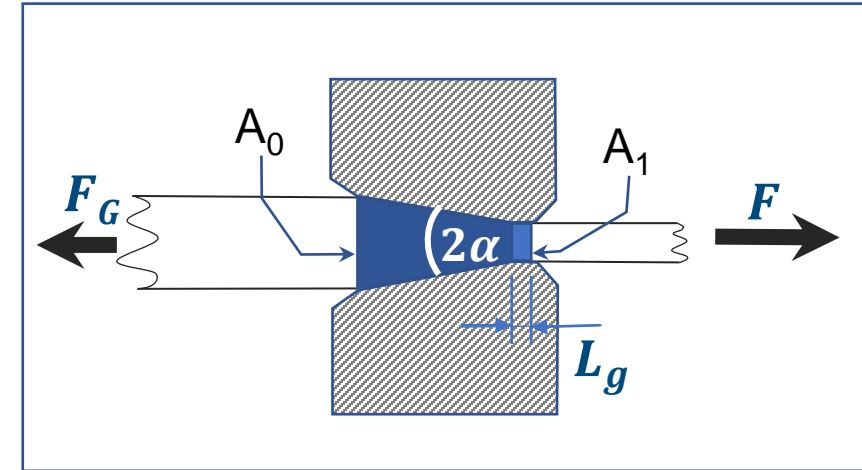
Walzen



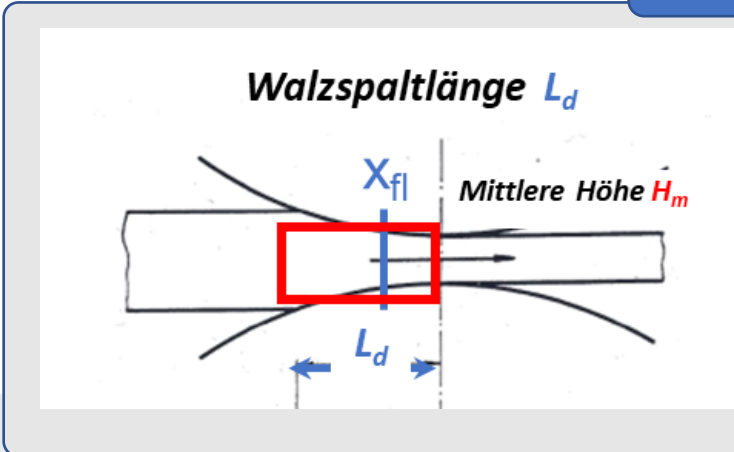
Ziehwalzen



Ziehen



➤ Verfahren gehen „ineinander über“



Walzspaltverhältnis

$$\frac{L_d}{H_m} = \frac{\text{Reibkräfte}}{\text{Scherkräfte}}$$

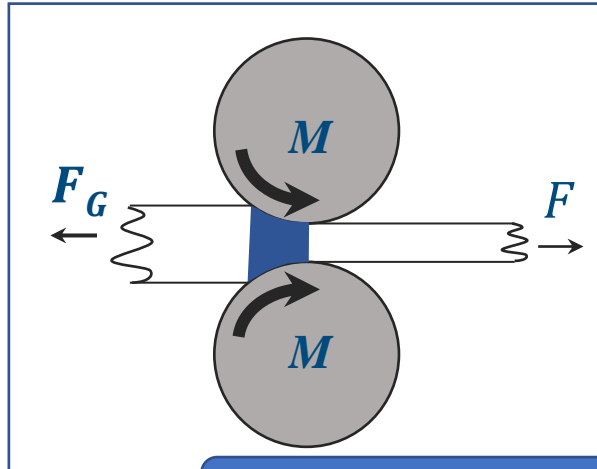
Reibung μ
Umformgrad φ
Umformgeschw. $\dot{\varphi}$

Ziehwinkel α
Reibung μ
Umformgrad φ
Umformgeschw. $\dot{\varphi}$

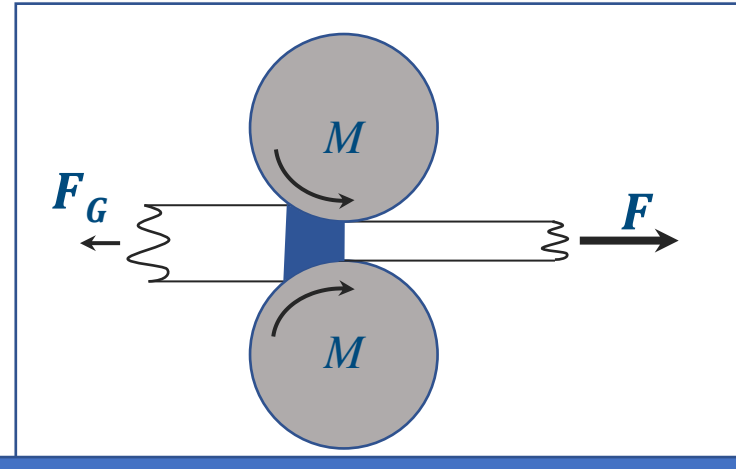


Vergleich der Herstellungsverfahren – Materialfluss und Fließscheide

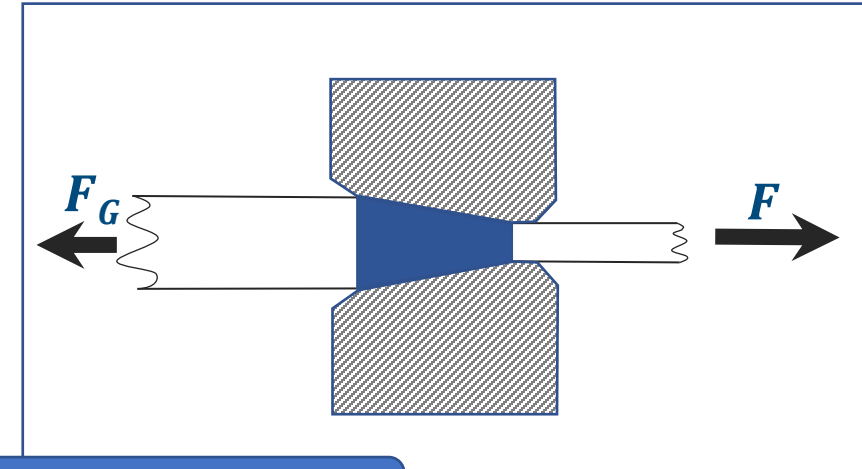
Walzen



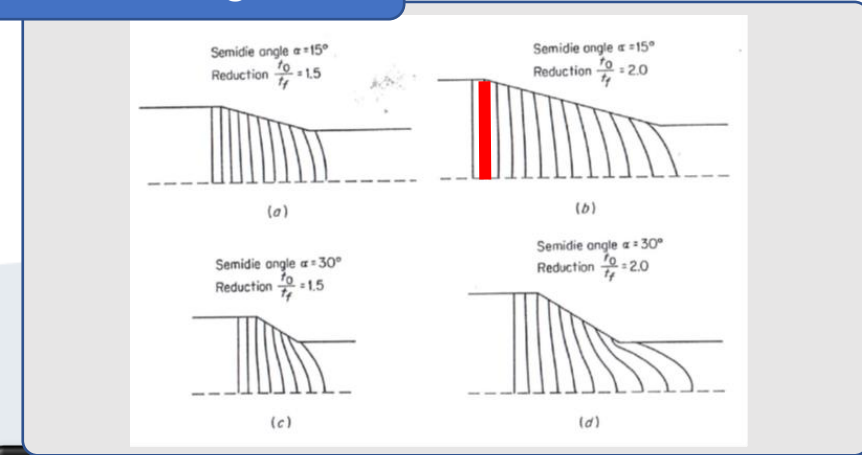
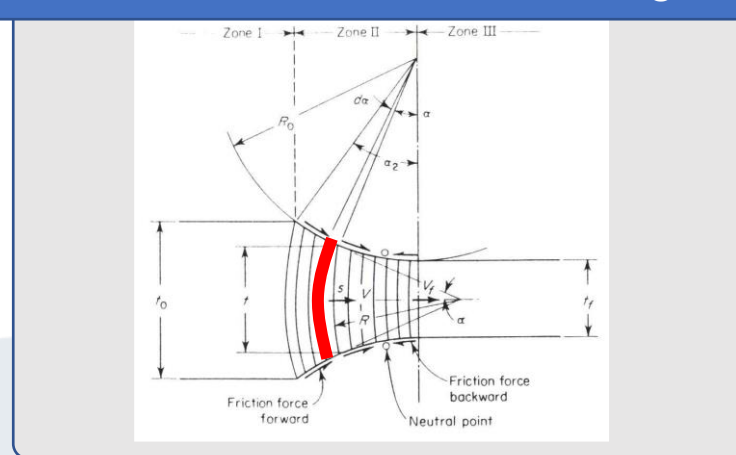
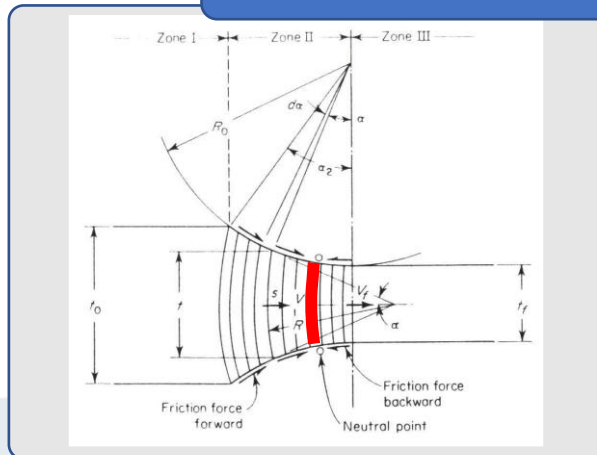
Ziehwalzen



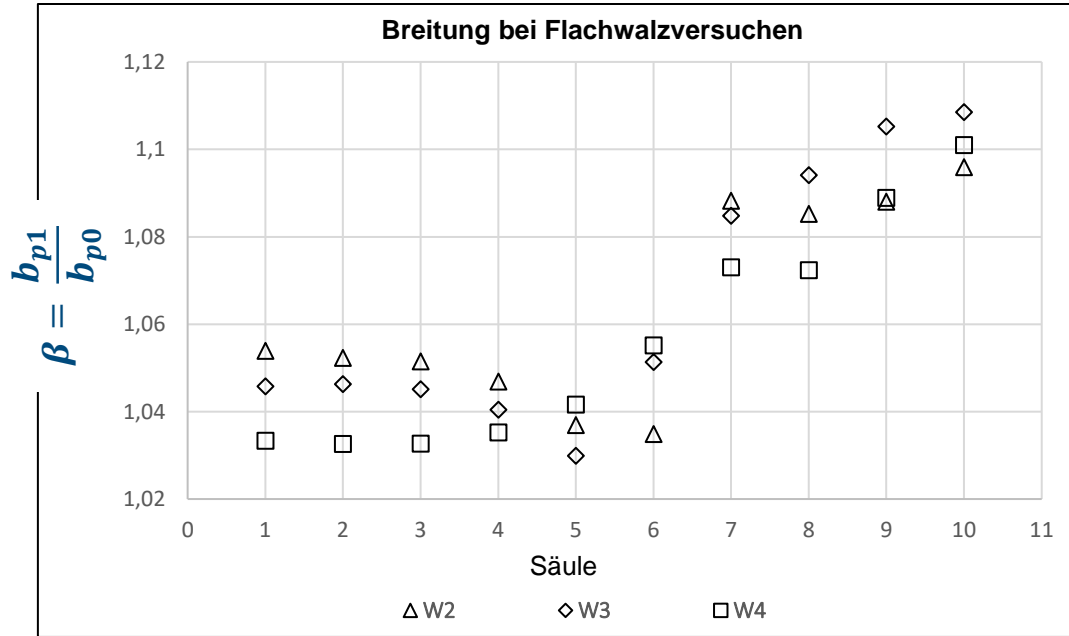
Ziehen



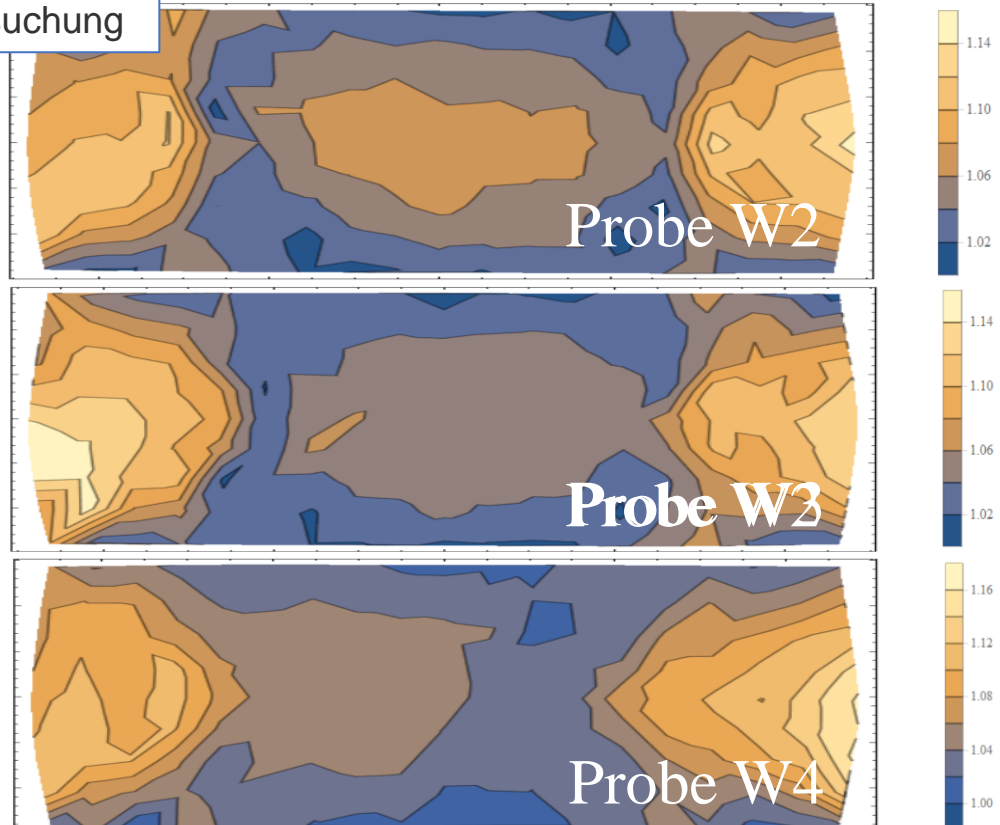
➤ Verschieben der Fließscheide beeinflusst Reibungsverhältnisse maßgeblich



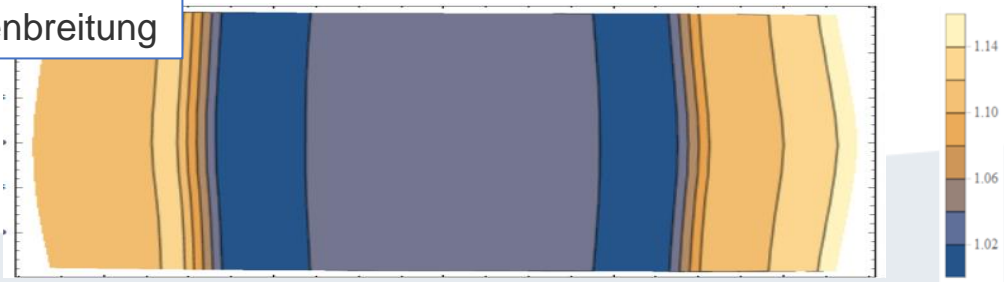
Darstellung der lokalen Breitung β



Visioplastische Untersuchung



Gemittelter Verlauf als Säulenbreitung

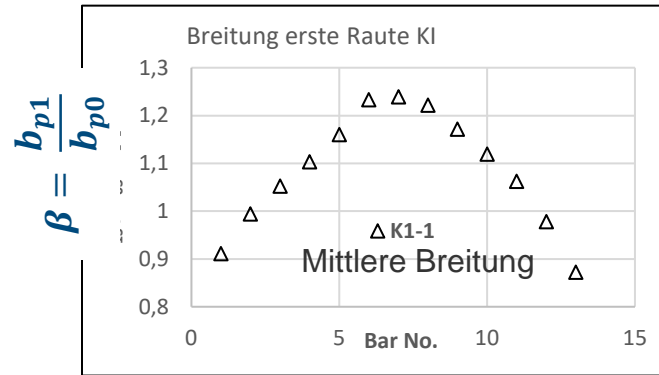


Material fließt an den Kanten leichter zur Seite als in Walzrichtung

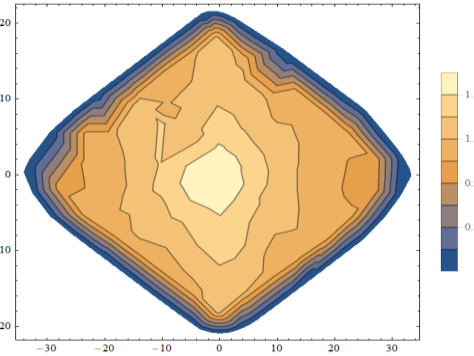
- Gezwungenes Stauchen in Bandmitte
- Breitung (mit Bauchen) an Außenkanten
- Beschreibung in einem Säulenmodell



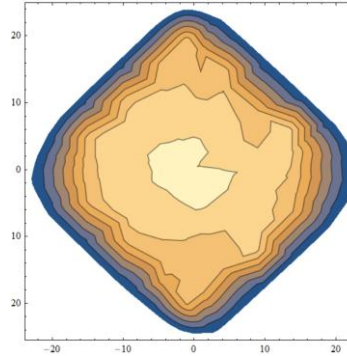
Kaliberwalzen Vergleichsdarstellung von Experiment und FEM



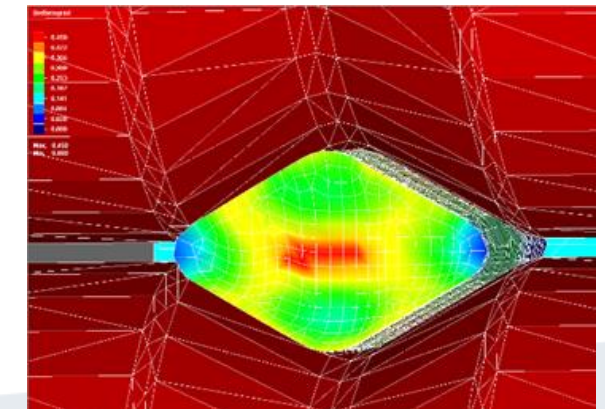
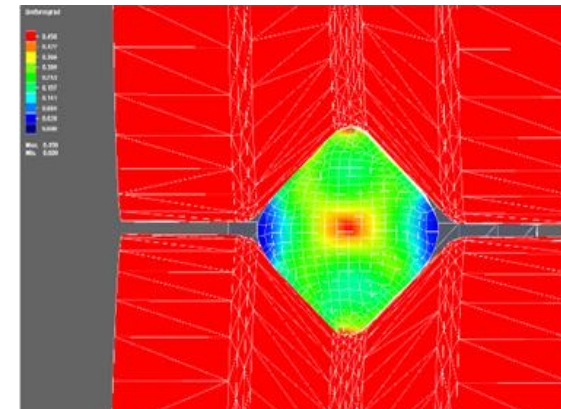
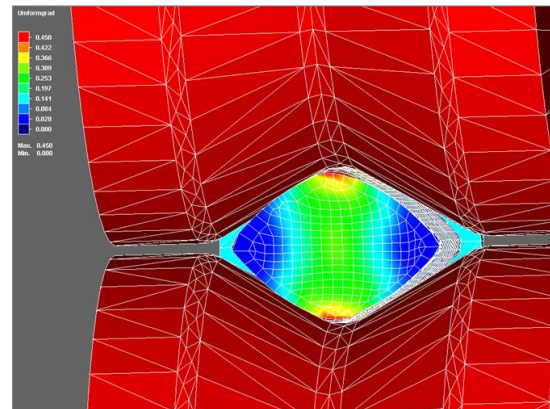
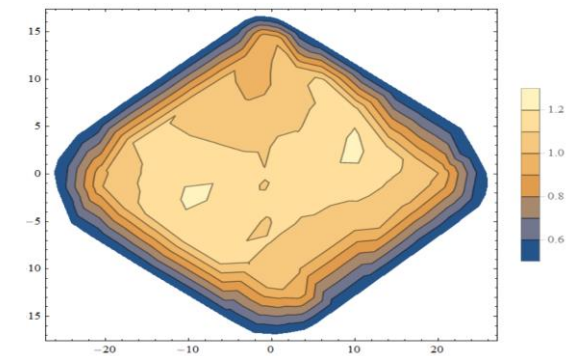
Erstes Raute-Kaliber



Quadrat-Kaliber



Zweites Raute-Kaliber

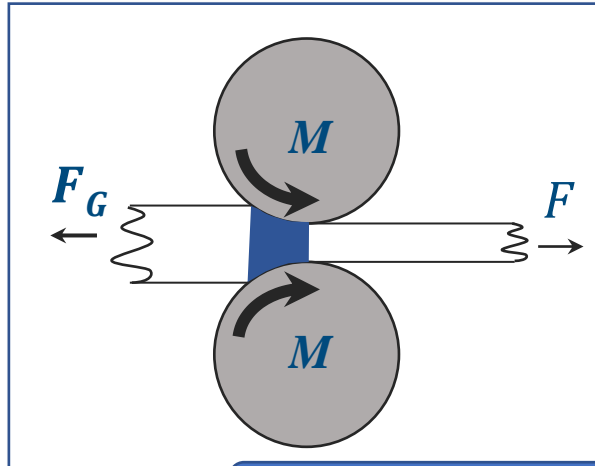


Vergleich der grafischen Darstellung der lokalen Breitung mit dem Umformgrad aus der Simulation
 ➤ Maximaler Umformgrad im Bereich größter Höhenformänderung

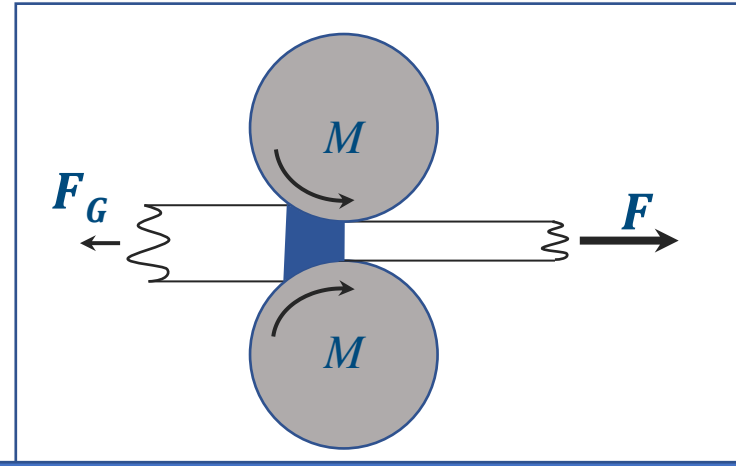


Mögliche Werkzeugkonfigurationen – Formänderung und Härteverteilung

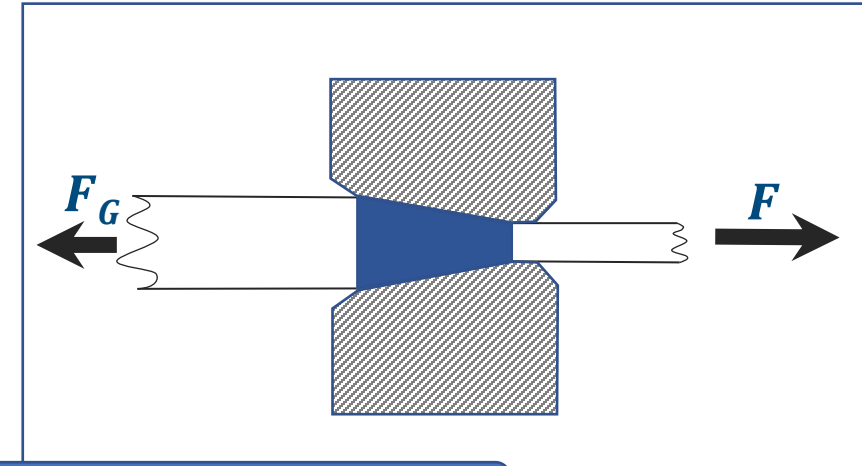
Walzen



Ziehwalzen

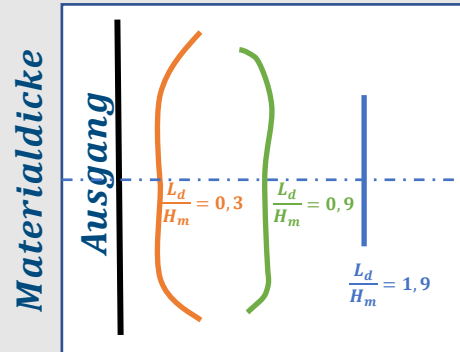


Ziehen

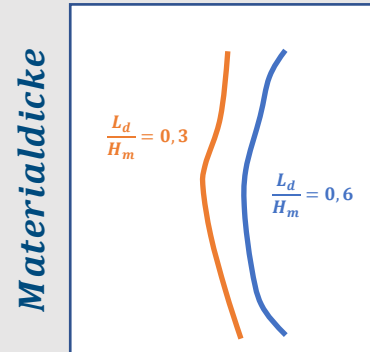


➤ Gleichmäßige Härteverteilung beim (Zieh-)Walzen infolge reduzierter Reibung

lokale Härte

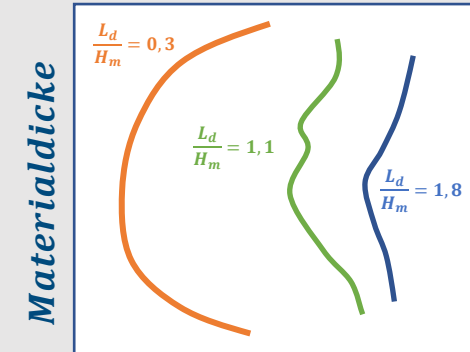


lokale Härte



Hundy und Singer,
J. of the Institute of
Metals 1954-55 Vol. 83
S. 401-407

lokale Härte

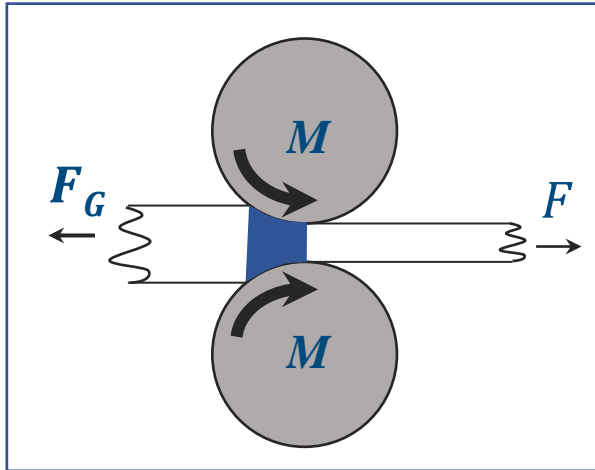


Cu
Ziehwinkel 30°

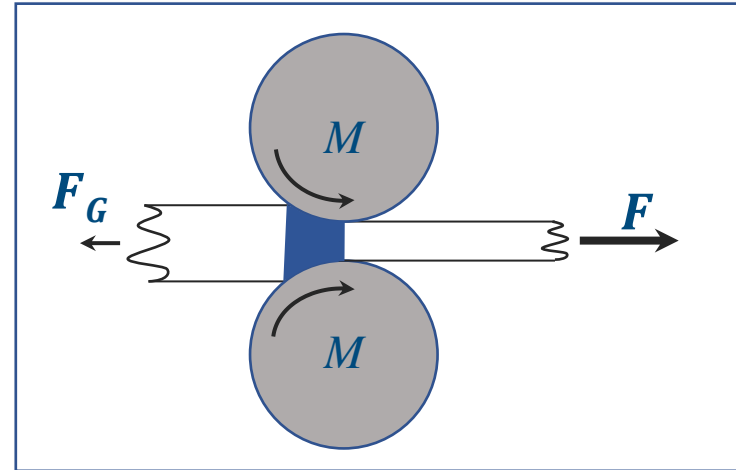


Mögliche Werkzeugkonfigurationen – maximale Formänderung

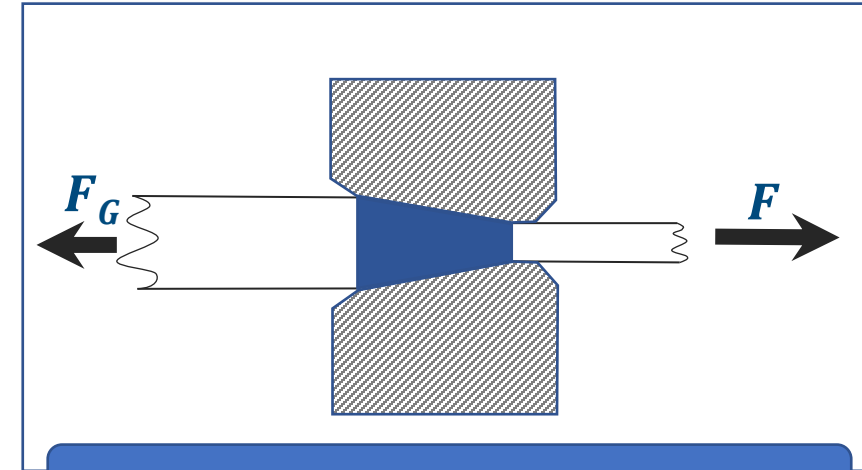
Walzen



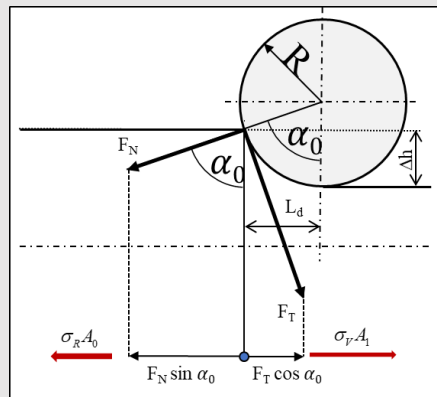
Ziehwalzen



Ziehen



➤ Enge Vorgaben bzgl. Ziehwinkel



➔ Max. Ziehkraft

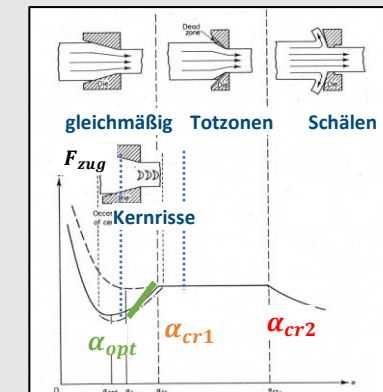
$$F_Z < R_{m1} \cdot A_1$$

➔ Greifbedingung

$$\Delta h_{max} \approx \mu^2 R$$

➔ Durchzugsbedingung ohne Längszug

$$\Delta h_{max} \approx 2..3 \mu^2 R$$



➔ Max. Ziehkraft

$$F_Z < R_{m1} \cdot A_1$$

➔ Totzonenbildung

$$\alpha_{cr1}$$

➔ Schälwinkel

$$\alpha_{cr2}$$

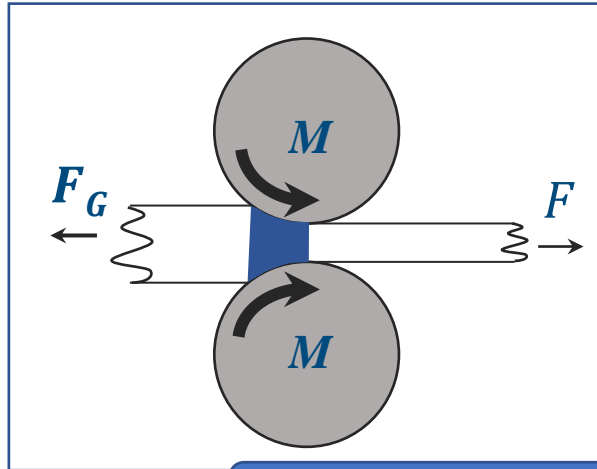
➔ Opt. Ziehwinkel

$$\alpha_{opt}$$

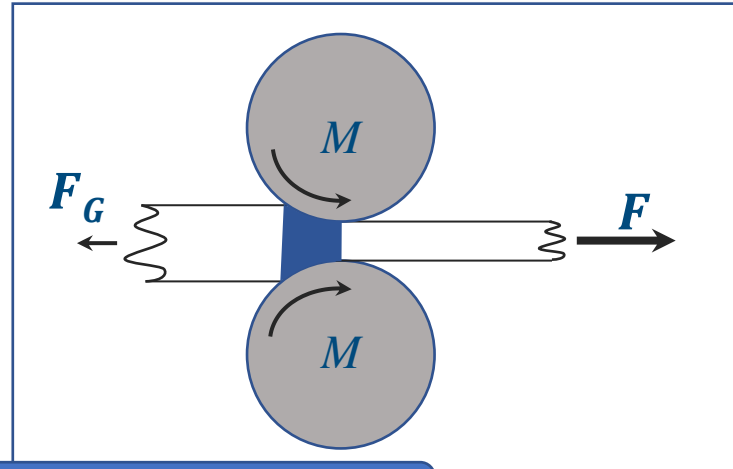


Vergleich der Herstellungsverfahren – Spannungszustand

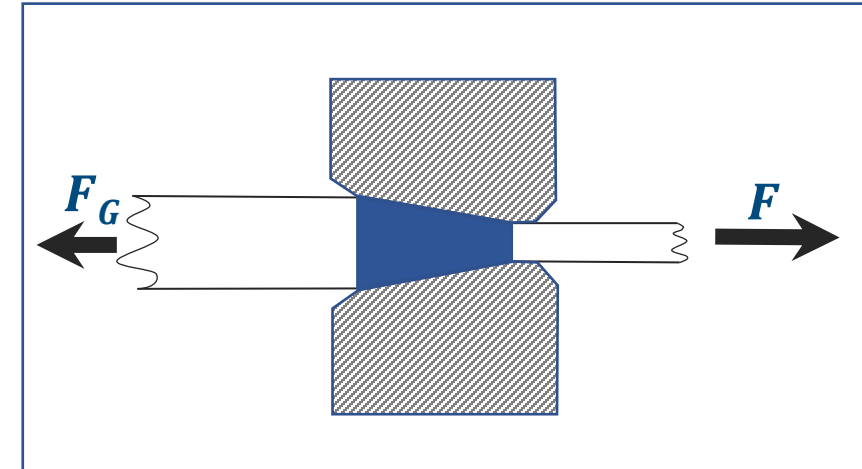
Walzen



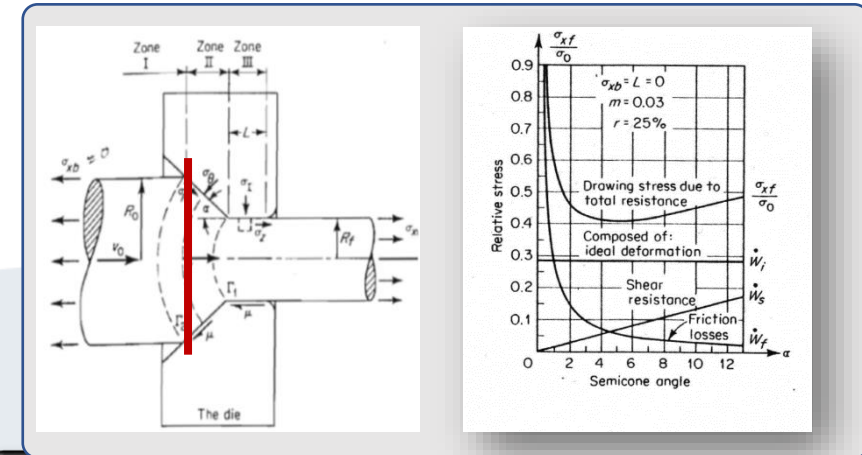
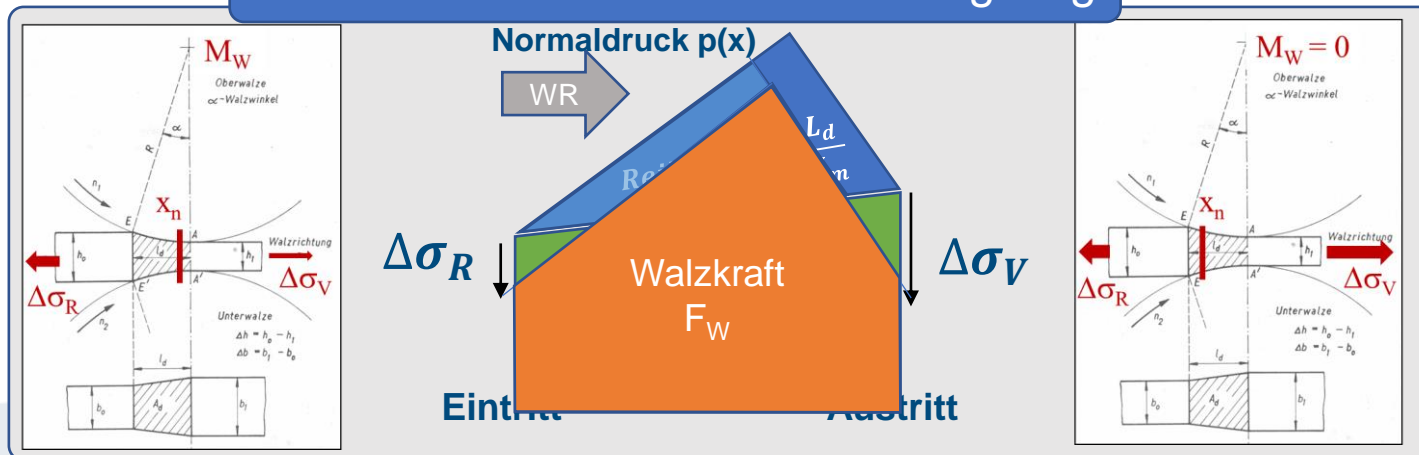
Ziehwalzen



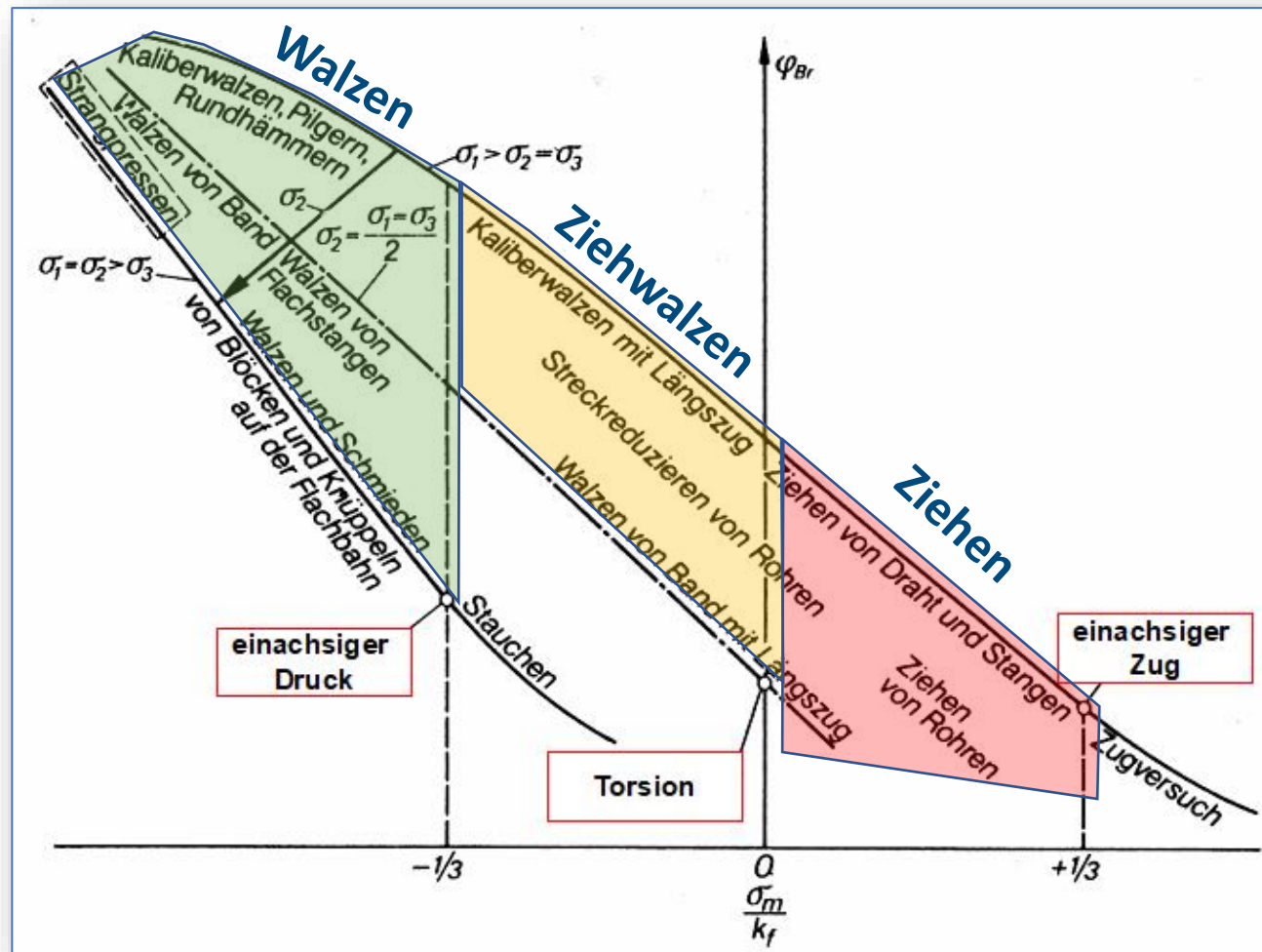
Ziehen



➤ Reduktion Walzkraft durch Längszug



Abhängigkeit des Umformvermögens vom mittleren Spannungszustand



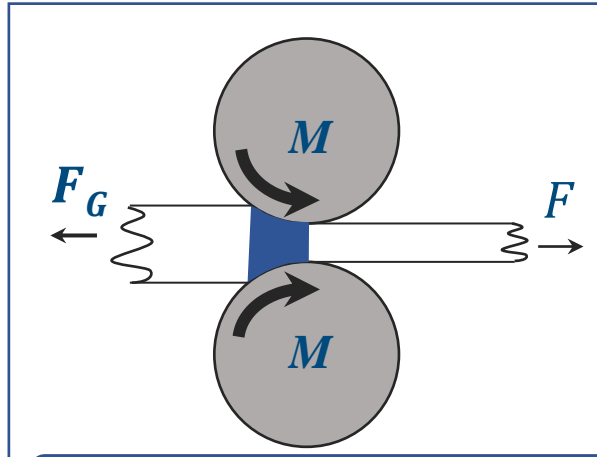
- Mit zunehmender Dominanz von Zugspannungen sinkt das Umformvermögen.
- Ein hoher hydrostatischer Druckanteil verbessert das Umformvermögen erheblich.
- Beim Kaliberwalzen von Draht sind erheblich höhere Umformgrade darstellbar als beim Drahtziehen

Hensel, A. Poluchin, I:
Technologie der Metallformung,
VEB Verlag für die Grundstoffindustrie 1990

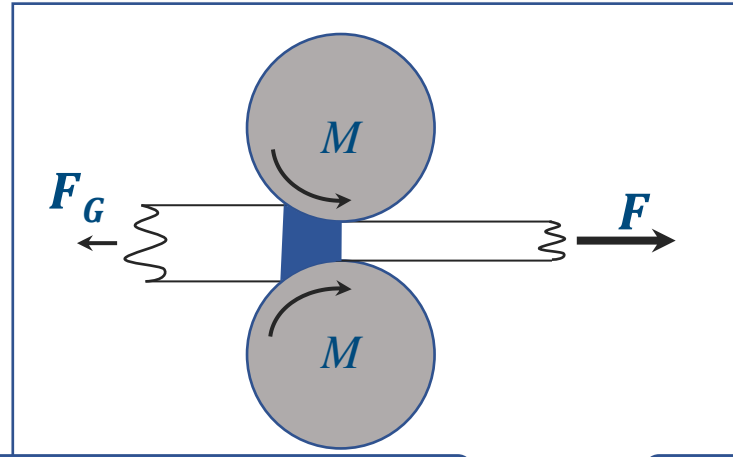


Vergleich der Herstellungsverfahren – Temperaturverteilung

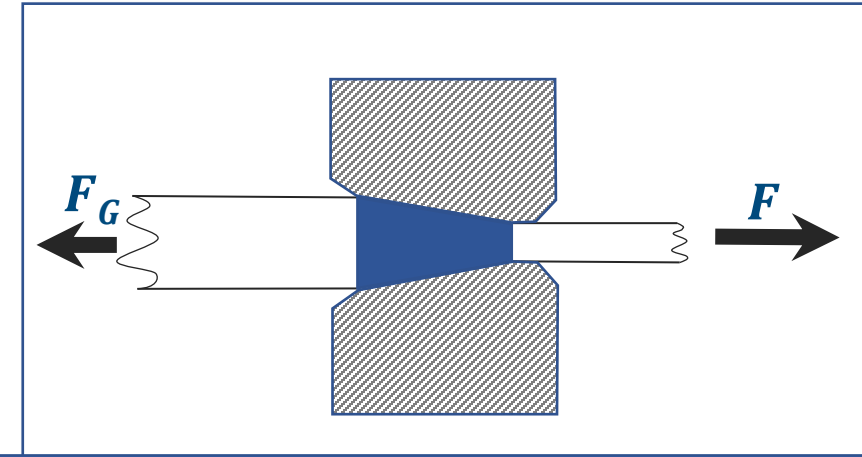
Walzen



Ziehwalzen

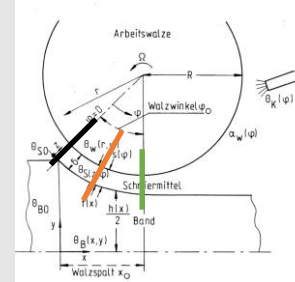
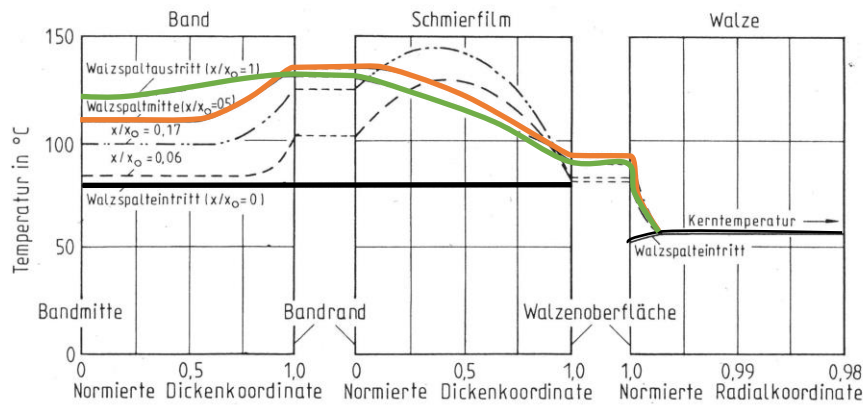


Ziehen

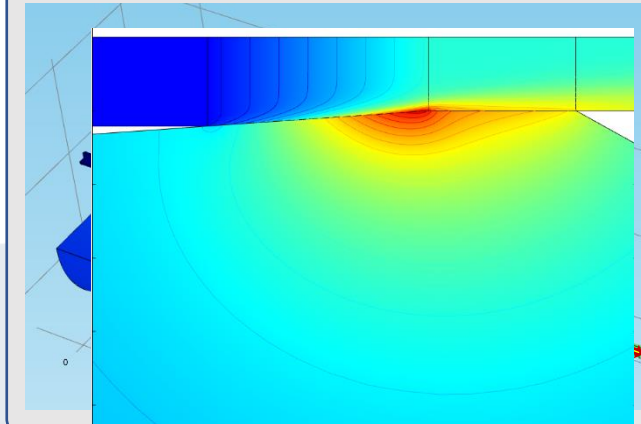


➤ Temperaturzunahme infolge hoher Umformung

➤ Lokale Temperaturzunahme infolge Reibung



Braun-Angott; Berger 1978
Arch. Eisenhüttenwesen
Vol. 49 / Nr.9 S. 443-448

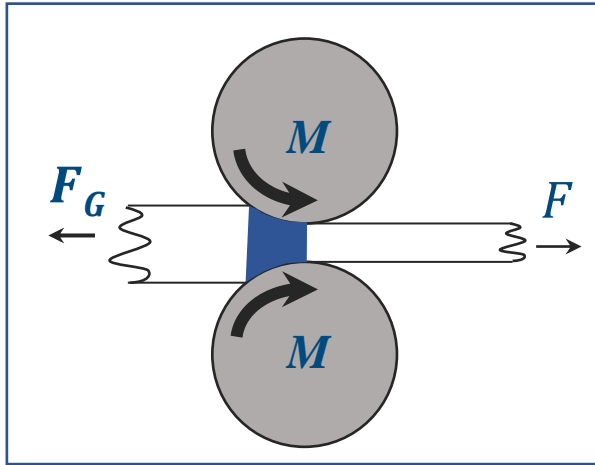


W. Müller:
Diss IMFTUBAF

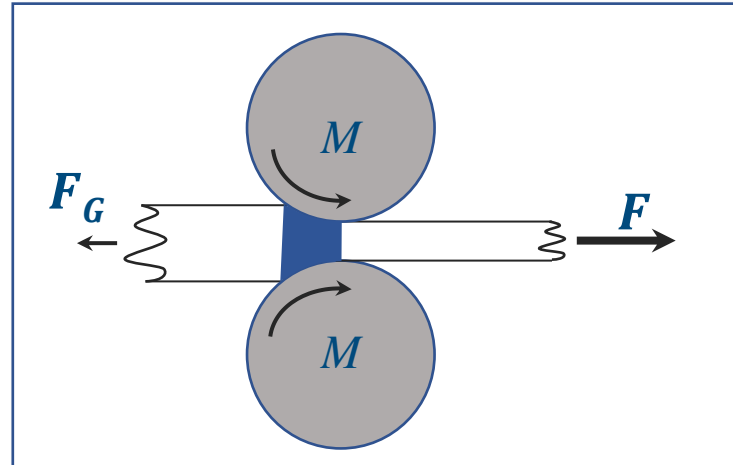


Mögliche Werkzeugkonfigurationen

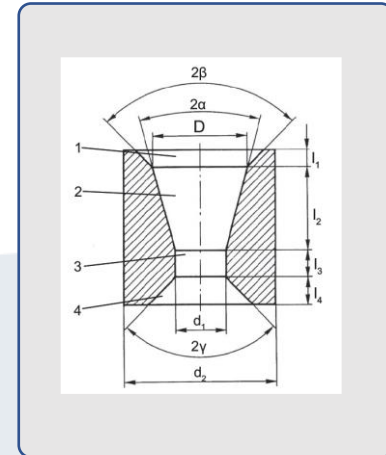
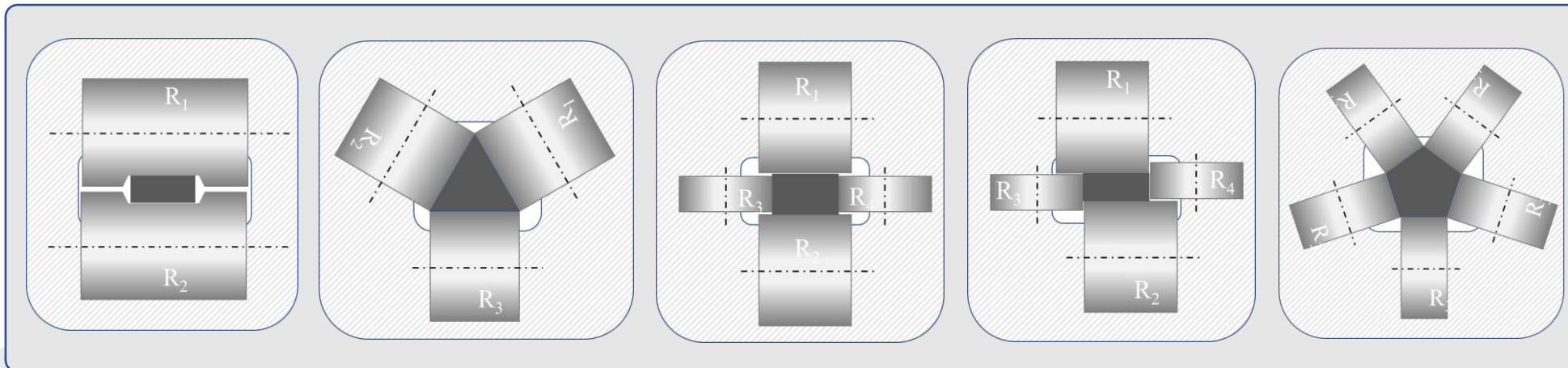
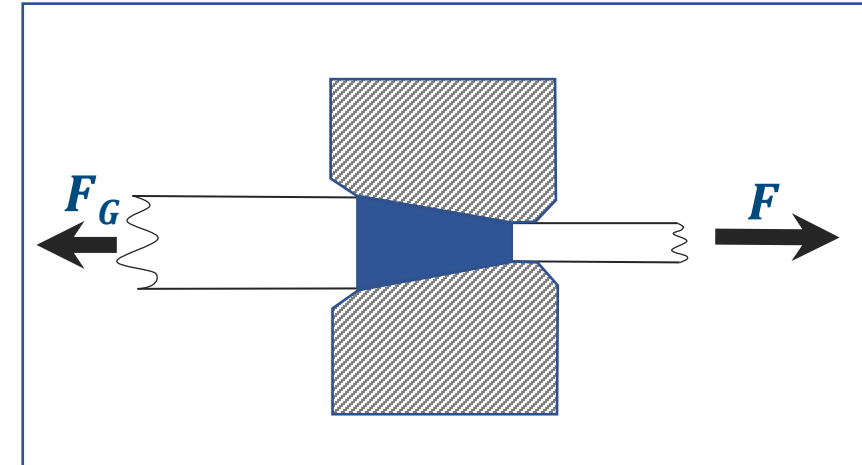
Walzen



Ziehwalzen



Ziehen



Agenda



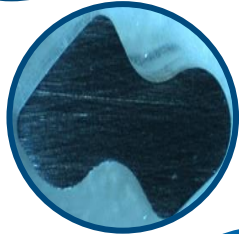
1. IMF an der TUBAF

Wer wir sind und was wir anbieten



2. Walzen – Ziehwalzen – Ziehen

Formänderungs- und Spannungszustand, Temperaturverlauf, Greifbedingung, maximale Umformung, Verfahrensgrenzen



3. Beispiel Z-Profil

Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenrauheit



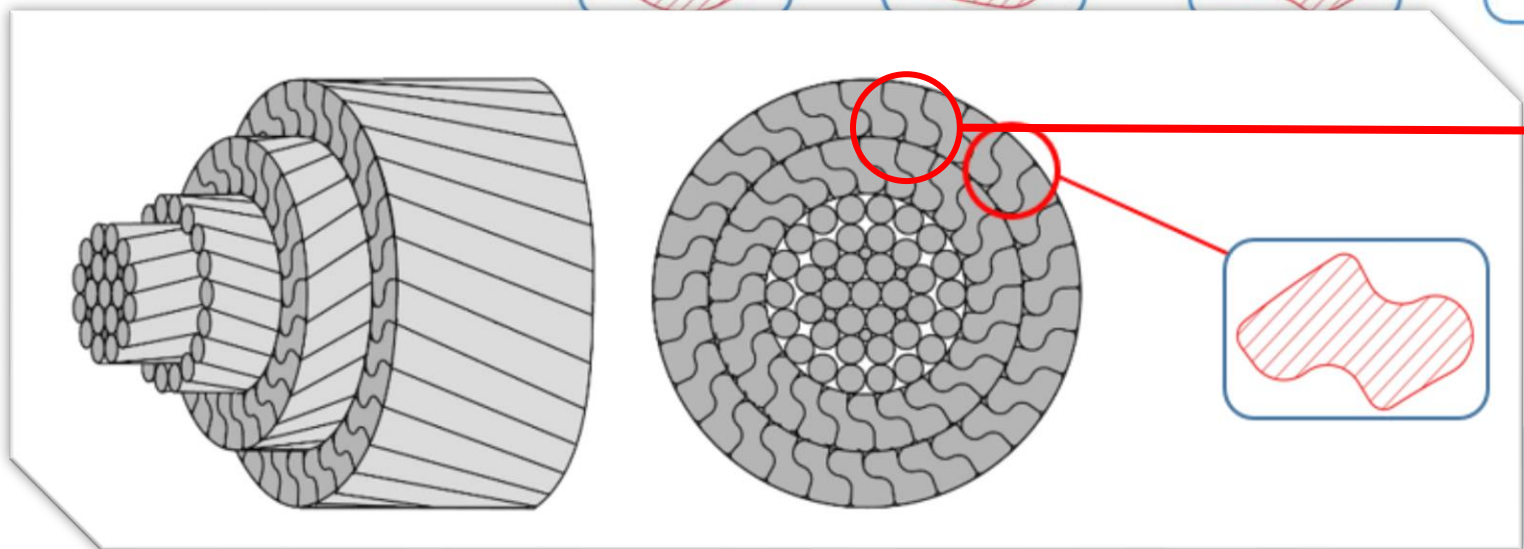
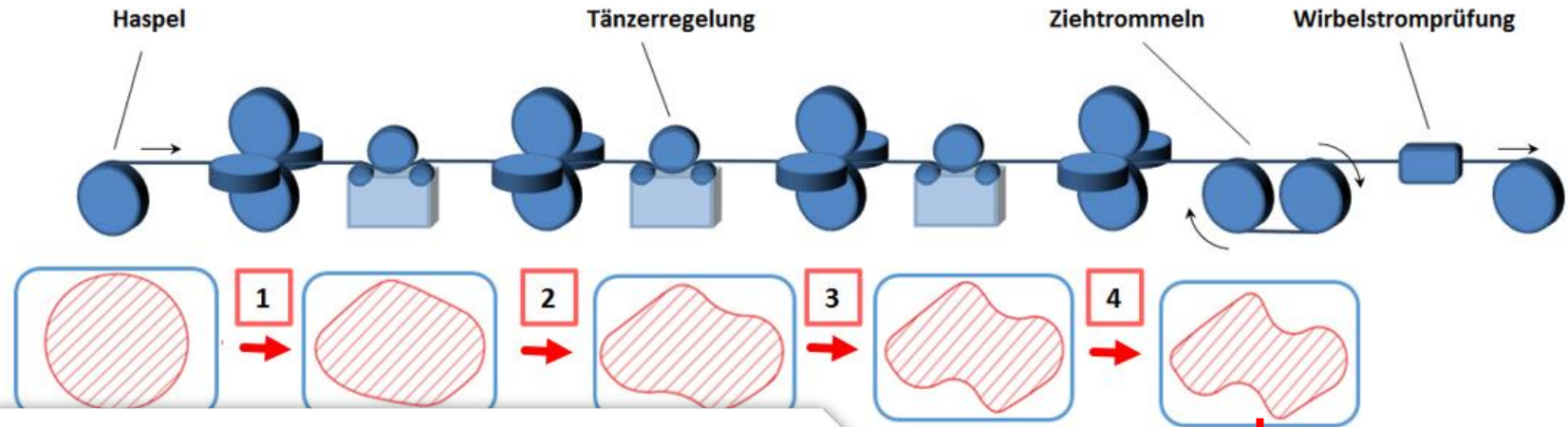
4. Open Source Simulationssoftware PyRoLL

IMF.PyRoLL @ Github Python – Kalibersimulation für jedermann



Herstellung Z-Profile durch Kaltprofilwalzen

Referenz: Kaltwalzen mit traditionelle Kalibrierung nach Krautmacher

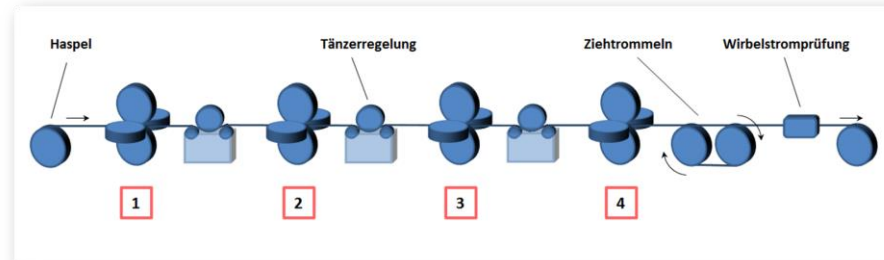


Diplom Alexander Chugreev 2014

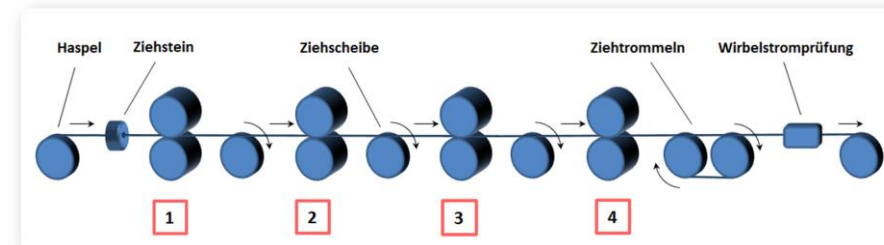


Herstellung Z-Profile – Technologien im Vergleich

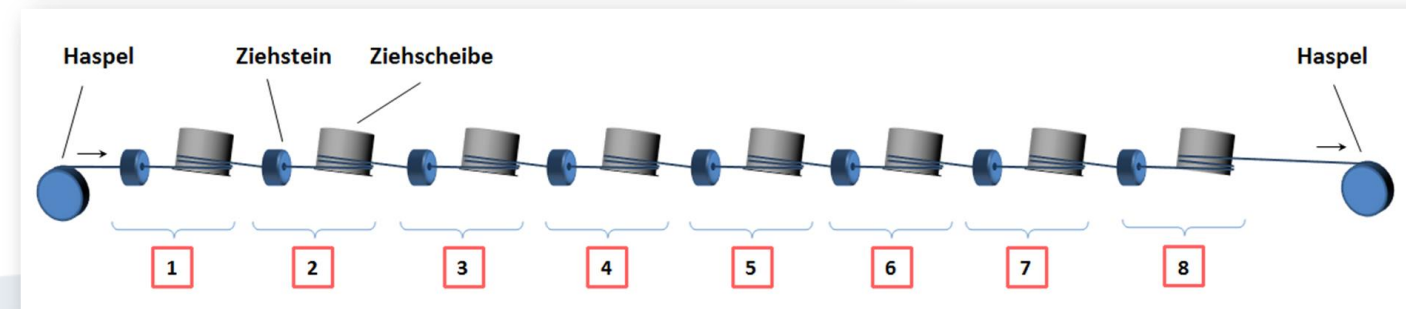
Walzen



Ziehwalzen

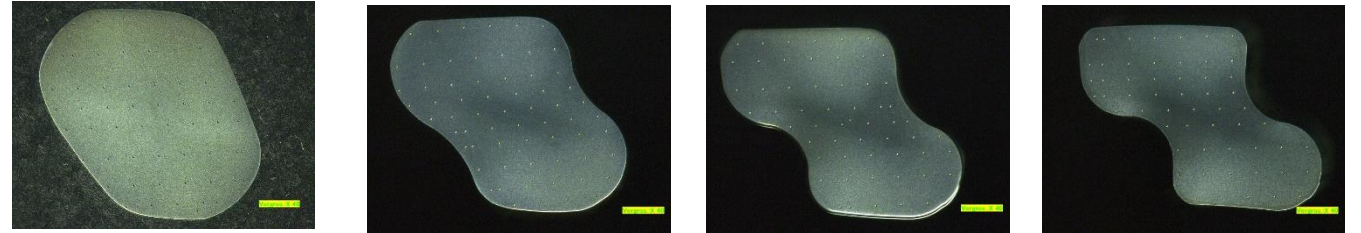


Ziehen

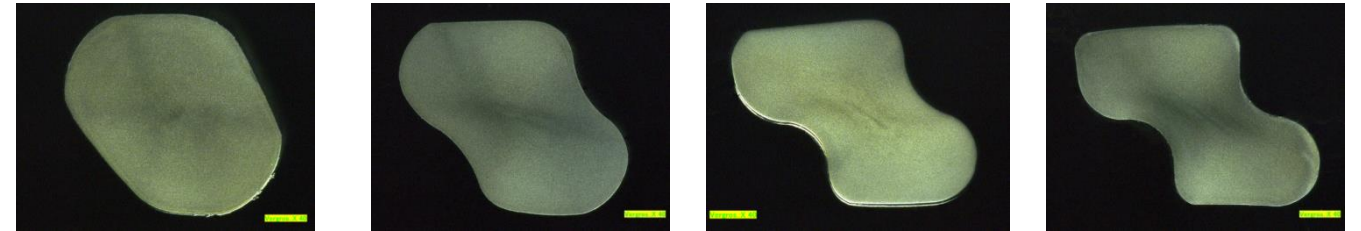


Herstellung Z-Profile – Technologien im Vergleich – Umformfolge

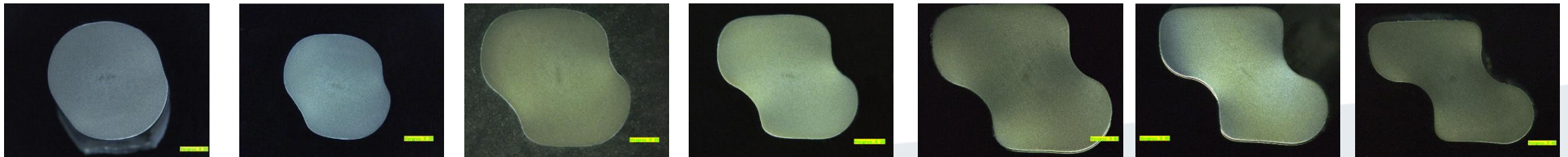
Walzen



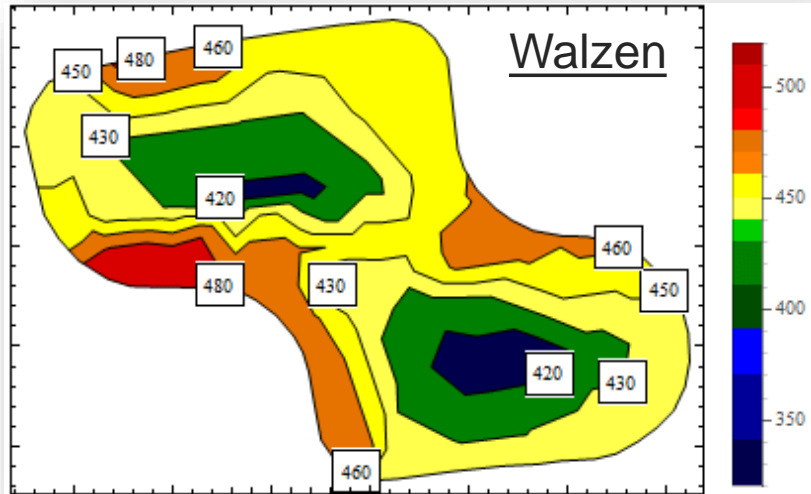
Ziehwalzen



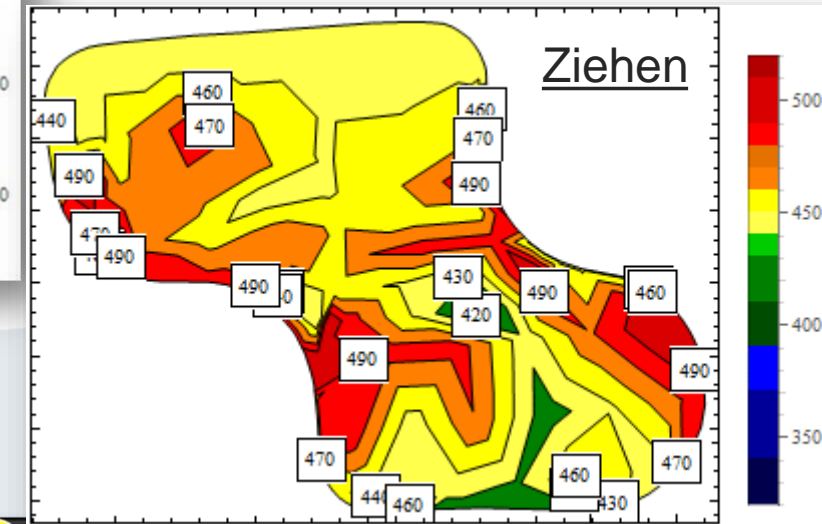
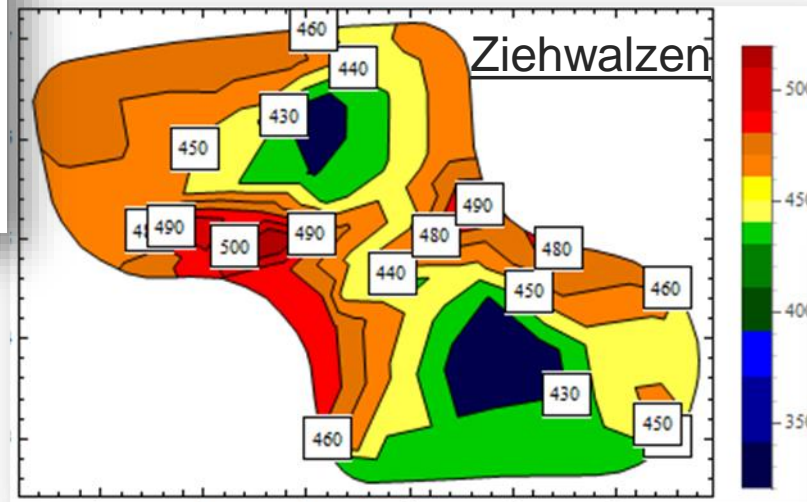
Ziehen



Vergleich zum Einfluss des Herstellungsverfahrens für Z-Profile



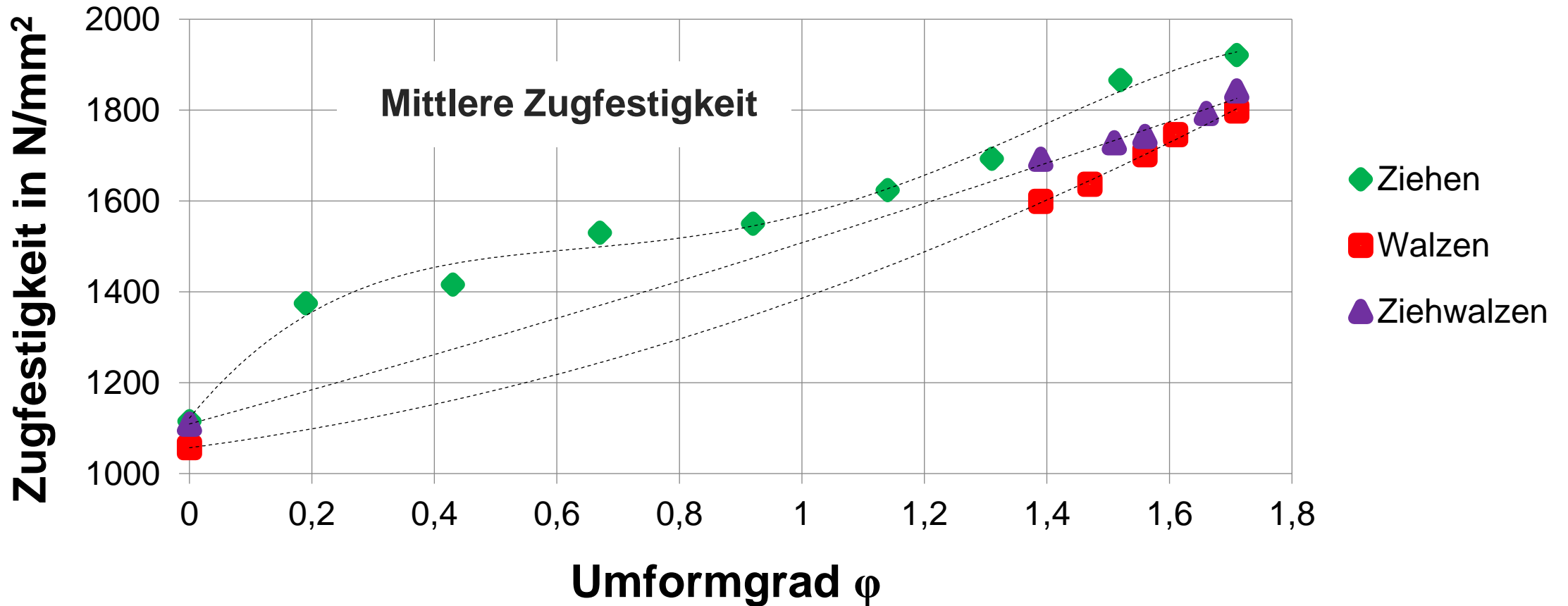
Härtemapping HV1



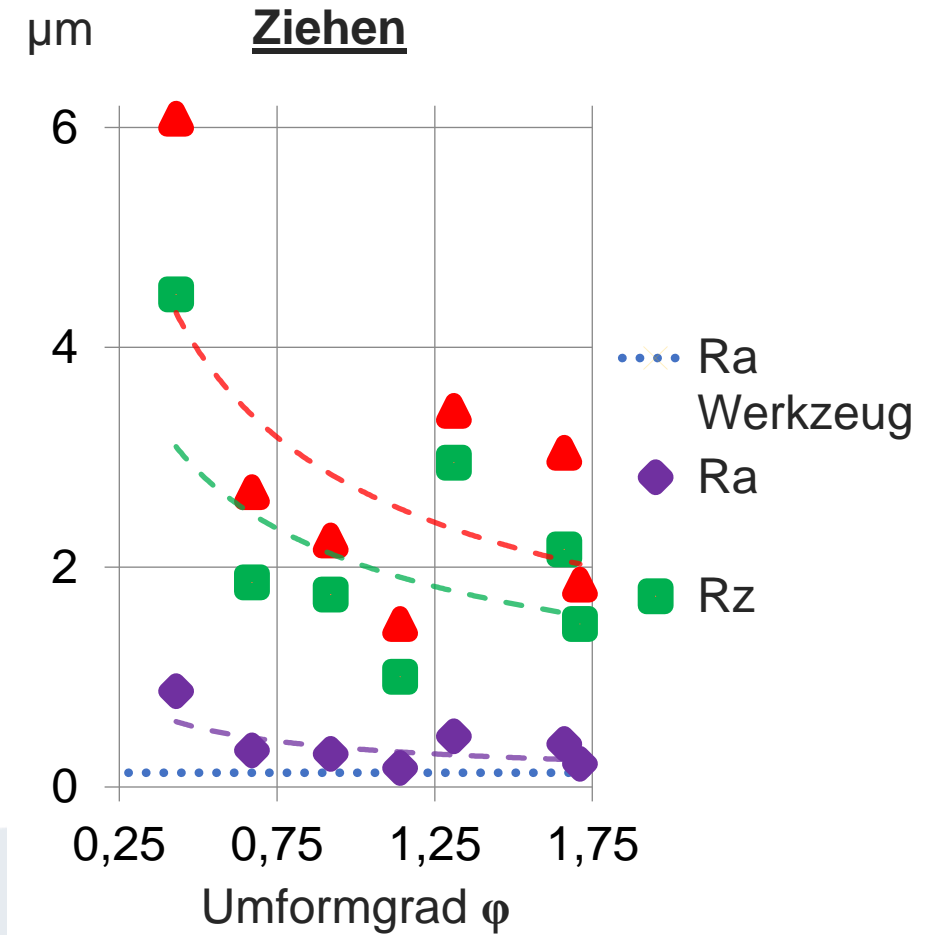
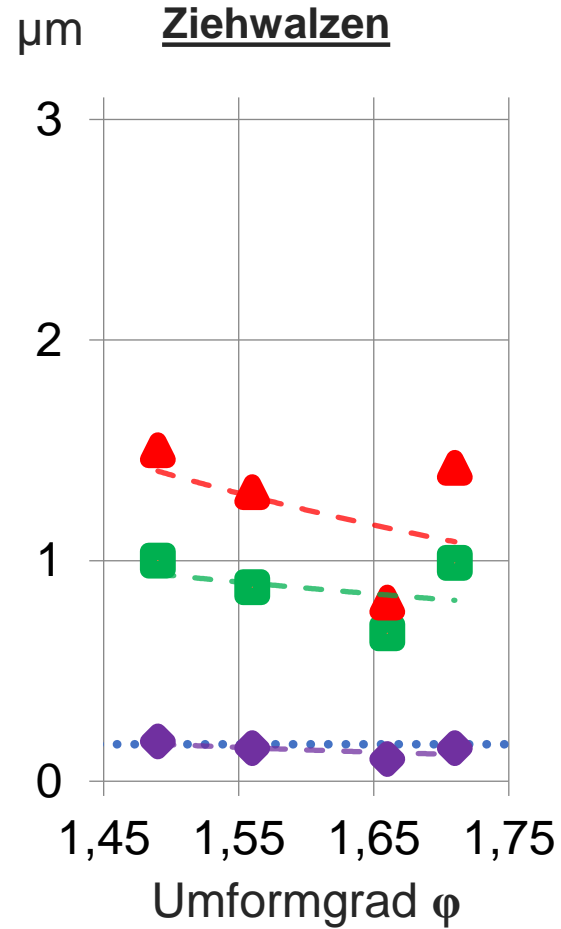
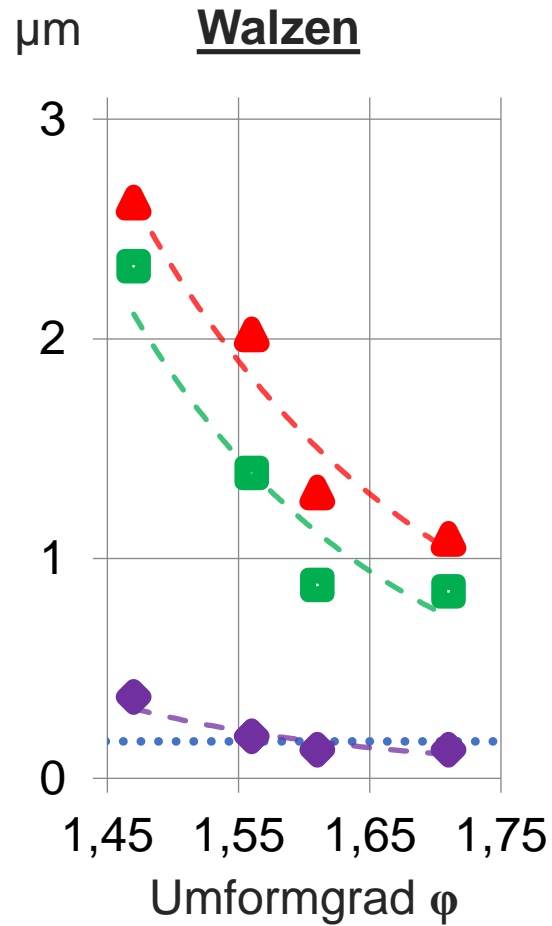
- Inhomogene Härteverteilung
- Härteverteilung beim Walzen und Ziehwalzen grundsätzlich optimierbar durch Kalibrierung



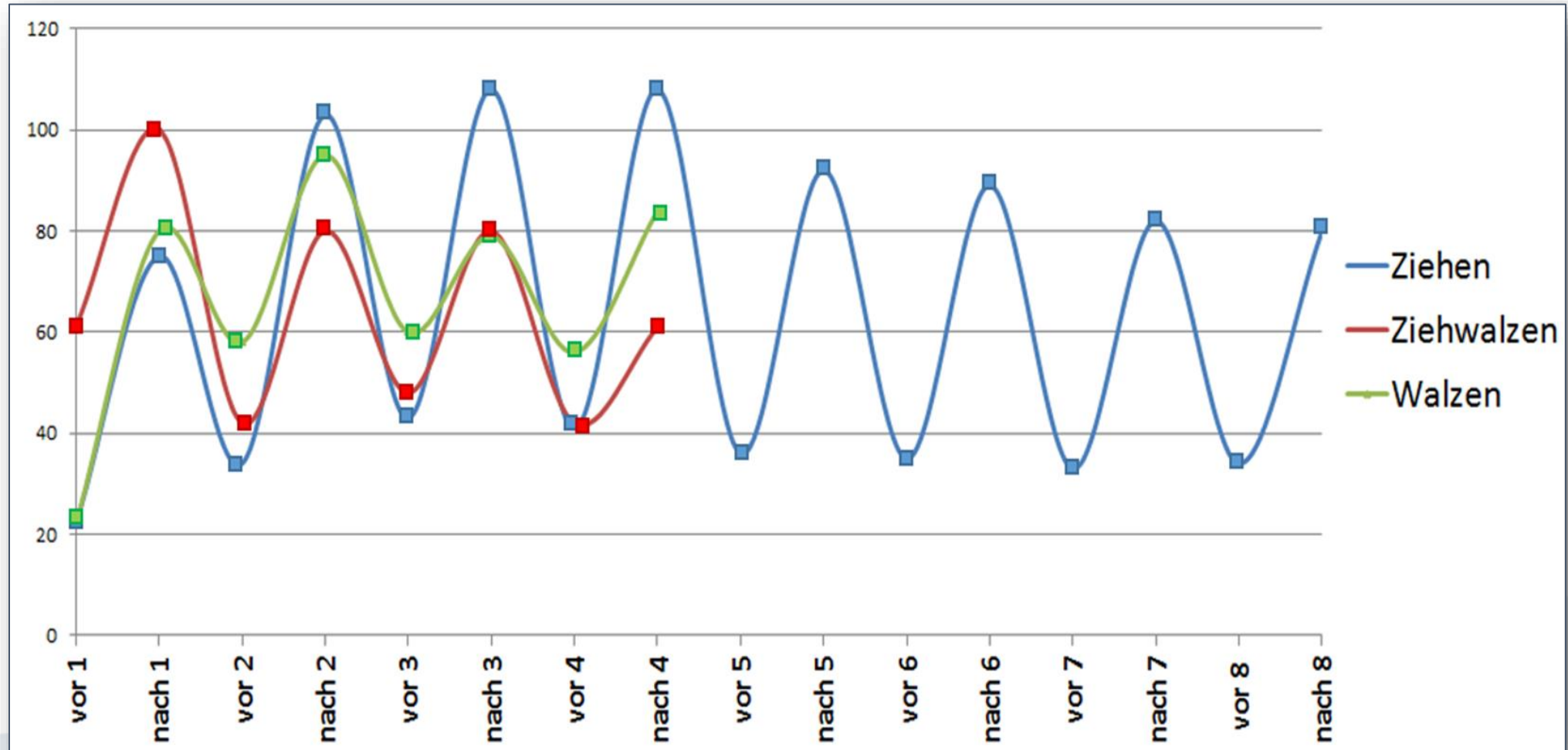
Vergleich zum Einfluss des Herstellungsverfahrens für Z-Profile



Vergleich der Oberflächenrauheit



Vergleich des Temperaturverlaufs



Agenda



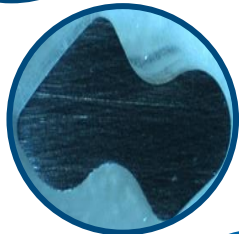
1. IMF an der TUBAF

Wer wir sind und was wir anbieten



2. Walzen – Ziehwalzen – Ziehen

Formänderungs- und Spannungszustand, Temperaturverlauf, Greifbedingung, maximale Umformung, Verfahrensgrenzen



3. Beispiel Z-Profil

Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenrauheit

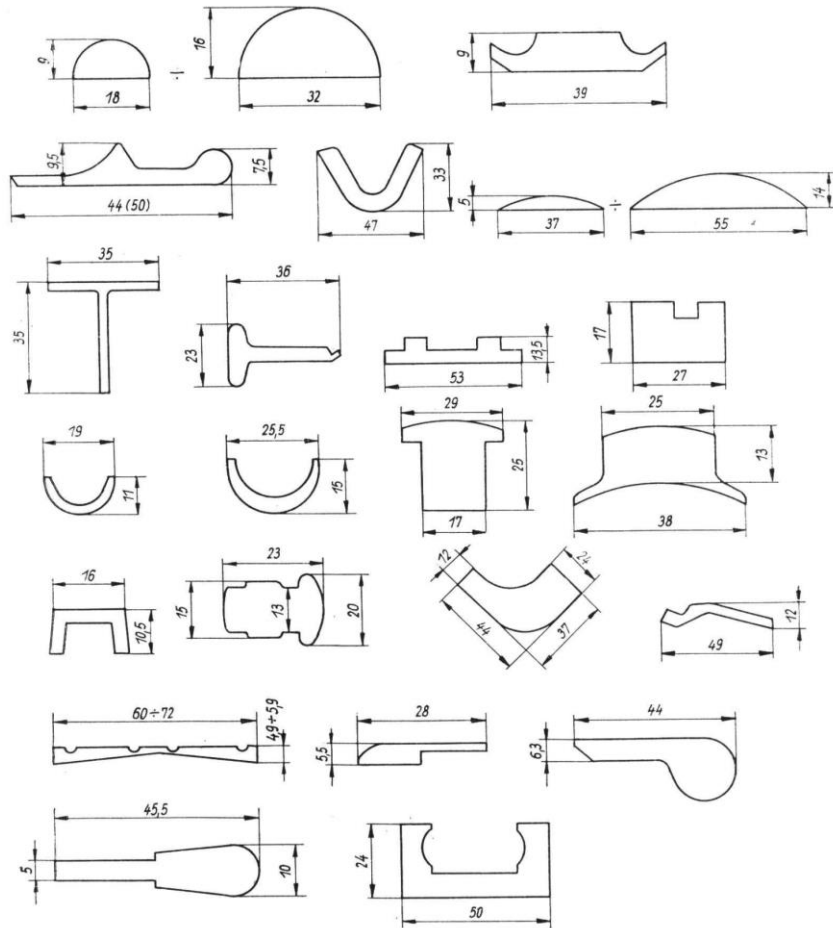


4. Open Source Simulationssoftware PyRoLL

IMF.PyRoLL @ Github Python – Kalibersimulation für jedermann



Fragestellung und Aufgaben



Asymmetrische Profile für das Kaliberwalzen werden geometrisch grundsätzlich in Anlehnung an bekannte Grundkalibrierungen ausgelegt:

- Allgemeine Stauchkaliber
- Schneidkaliber
- Winkelkalibrierungen
- Flanschkalibrierungen
- Pokaleis- / Schienenkalibrierungen
- Universalkalibrierungen

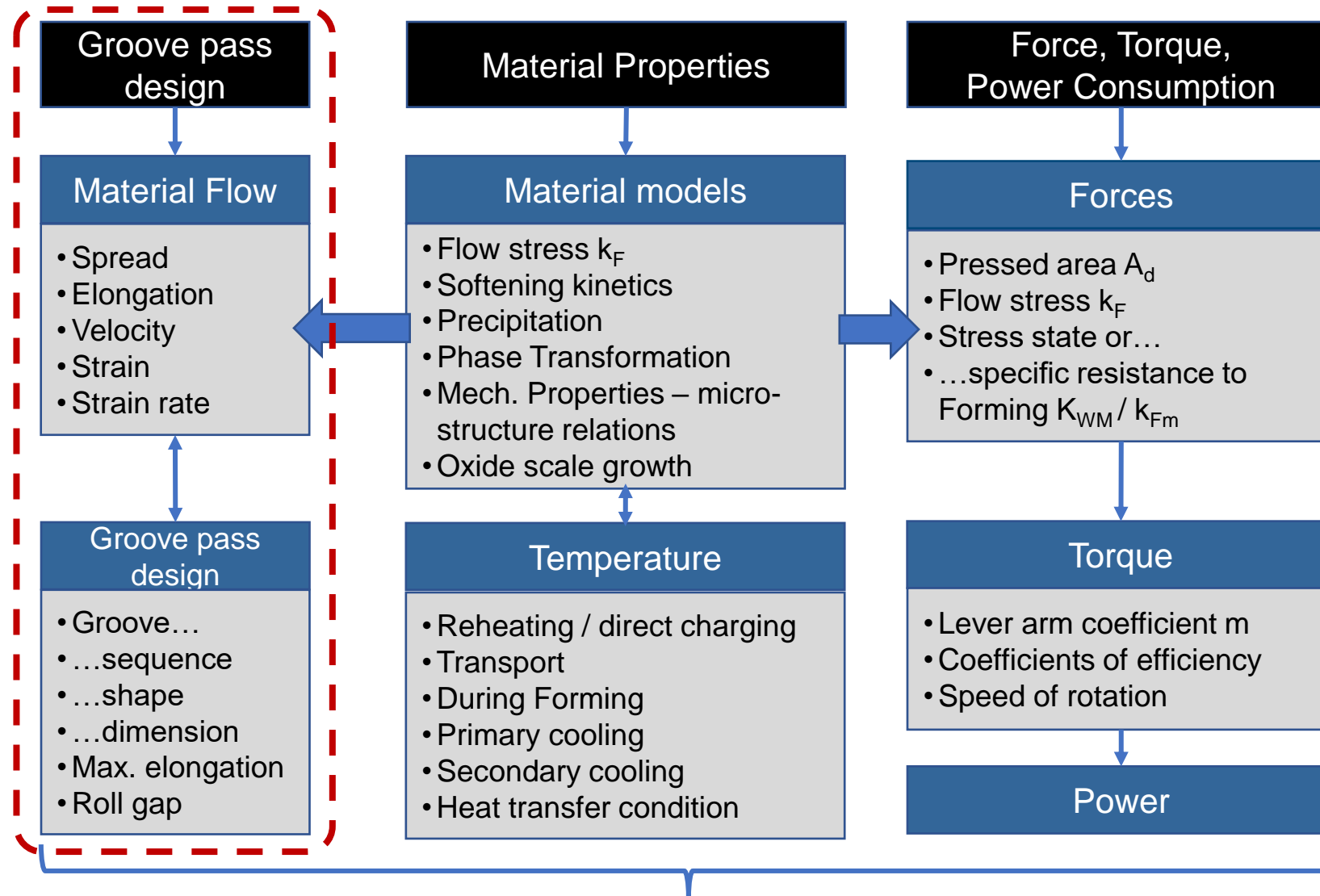
Typische Formmerkmale sind:

- irreguläre Kaliber (ungleicher Druck)
- schmale Flansche und Stege
- ungleiche Masseverteilung
- Überschneidungen, die nicht direkt walzbar sind
- Präzise Einkerbungen oder Erhebungen mit hohen Toleranzanforderungen

Neumann, H: Kalibrieren von Walzen,
2. Auf., VEB Verlag für Grundstoffindustrie 1976



Teilaspekte der Prozessmodellierung bei einer Kaliberfolgenauslegung



Industrial Application



PyRoLL – Fast and extendable simulation tool for long products



Motivation

- Hybrid approach using semi-analytic column model
- Magnitudes faster than FEM
- Extendable for local specialities and models needed
- Autonomous optimization of given groove pass design strategies

Methodical Approaches

- Multiscale simulation by in-house implemented simulation models
- Extendable platform for efficient algorithm plug-in
- Validation by industrial and research trials
- Partially open source code for transparent scientific interaction



More information and download



PyRoLL – Open-Source and object oriented framework for rolling applications

PyRoLL – Basic

- Based on Python
- Licensed under BSD-3-Clause license
- Source code published on GitHub
- Flexible and extensible architecture:
 - Large library of model approaches (plugins) and applications (extensions)
 - Possibility to implement your own code
- Further extensions available from **Kalibrierzentrum@imf.tu-Freiberg.de**



Downloads:

<https://github.com/pyroll-project>

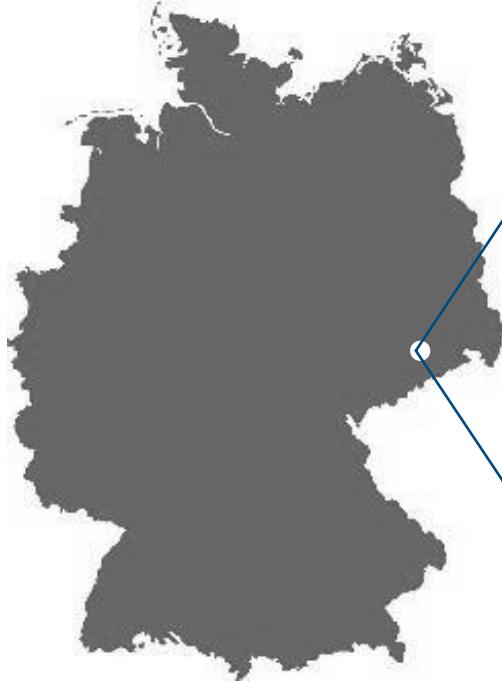
<https://pypi.org/search/?q=PyRoll>

More information on:

<https://pyroll-project.github.io/>



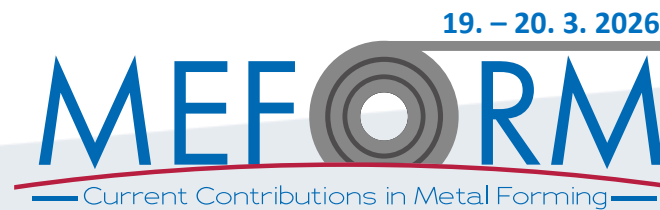
Thank you!



Institute of Metal Forming
office@imf.tu-freiberg.de
Tel. +49 3731 39-4180



Upcoming events:



7th Freiburger Kalibreurstag 2025 (27./28.08.2025)
“Material-related rolling schedule design“

PyRoLL user meeting 29.08.2025

