

Untersuchung zur kontrollierten Wärmebehandlung von Stahlschmiedebauteilen aus der Schmiedewärme



Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens, Dipl.-Ing. M. Kazhai, **Dipl.-Wirtsch.-Ing. A. Huskic**

Garbsen, 17.03.2015

Gliederung

1. Vorstellung IFUM

2. Einleitung

3. Experimentelle Untersuchungen

4. Numerische Untersuchungen

Gliederung

1. Vorstellung IFUM

2. Einleitung

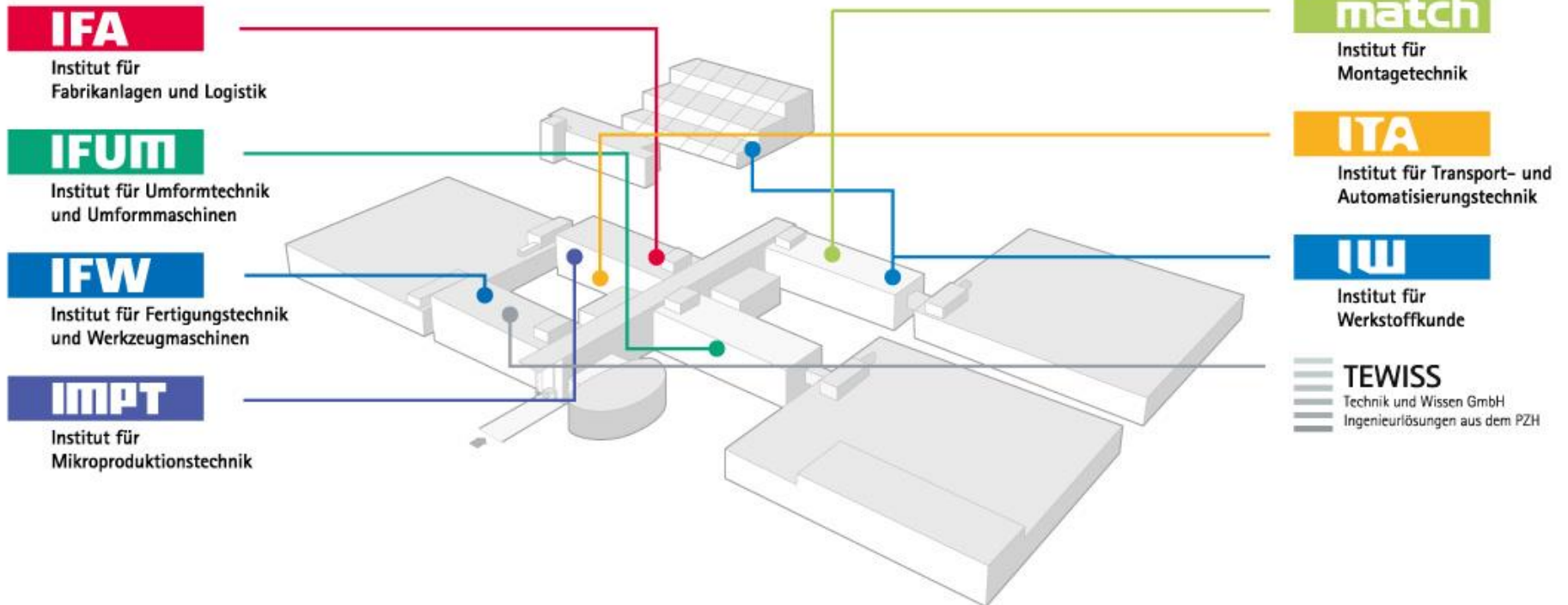
3. Experimentelle Untersuchungen

4. Numerische Untersuchungen

1. Das produktionstechnische Zentrum Hannover

Das PZH vereint

- die sieben produktionstechnischen Institute des Maschinenbaus
- die TEWISS GmbH
- Unternehmen der Produktionstechnik

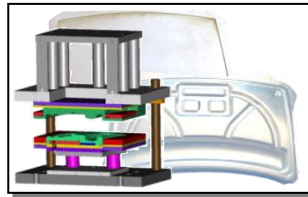


1. Das IFUM

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens

IFUM

Blechumformung



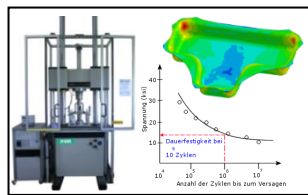
Massivumformung



Umformmaschinen



Materialcharakterisierung und Simulation



Angegliederte Institutionen

IPH

Institut für Integrierte Produktion
Hannover gGmbH

HFF

Hannoversches Forschungsinstitut
für Fertigungsfragen e.V.

MPA
Materialprüfanstalt für Werkstoffe und Produktionstechnik
Hannover

Materialprüfanstalt für
Werkstoffe und Produktionstechnik

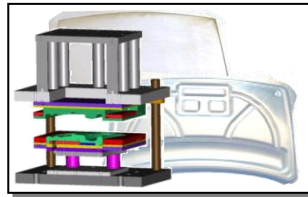
1. IFUM-Struktur

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens

Oberingenieur: Dr.-Ing. habil. A. Bouguecha

Blechumformung

Dr.-Ing. S. Hübner



Verfahrensentwicklung Blech

Dipl.-Ing. D. Yilkiran

Qualitätssicherung

Dipl.-Ing. C. Buse

Massivumformung

Dipl.-Wirtsch.-Ing. A. Huskic



Verfahrensentwicklung Massiv

Dipl.-Ing. M. Bonhage

Verschleiß

Dipl.-Ing. J. Puppa

Umformmaschinen

Dr.-Ing. R. Krimm



Mechatronik

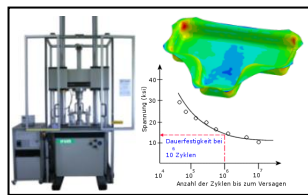
M. Sc. S. Teichrib

Systemanalyse

Dipl.-Ing. V. Salfeld

Materialcharakterisierung und Simulation

Dipl.-Ing. M. Vucetic



Materialcharakterisierung

M. Sc. I. Peshekhodov

Numerische Simulation

Dipl.-Ing. C. Bonk

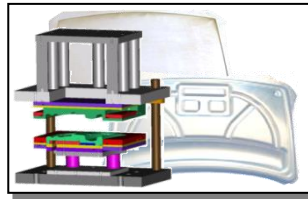
1. Kompetenz-Teams

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens

Oberingenieur: Dr.-Ing. habil. A. Bouguecha

Blechumformung

Dr.-Ing. S. Hübner



Massivumformung

Dipl.-Wirtsch.-Ing. A. Huskic



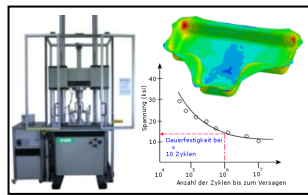
Umformmaschinen

Dr.-Ing. R. Krimm



Materialcharakterisierung und Simulation

Dipl.-Ing. M. Vucetic



Prozessüberwachung

Dipl.-Wirt.-Ing. A. Santangelo

Tribologie

Dipl.-Ing. J. Puppa

FVK-Hybride

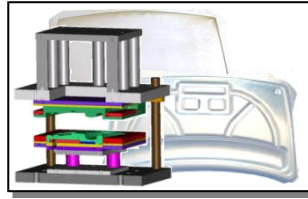
Dipl.-Ing. A. Neumann

Medizintechnik

Dipl.-Ing. S. Betancur

1. Schwerpunkte

Blechumformung



- Verfahrensentwicklung und Prozessführung
- Qualitätssicherung
- Tribologie
- Leichtbau
- Mechanisches Fügen

Massivumformung



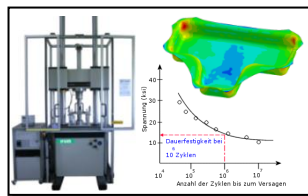
- Tribologie
- Pulvermetallurgie
- Leichtmetallumformung
- Sonderverfahren
- Prozessüberwachung

Umformmaschinen



- Elektromechanische Antriebssysteme
- Regelungs- und Steuerungstechnik
- Messtechnik
- Maschinensimulation und -diagnose
- Prozessanalyse: Scherschneiden, Prägen, Richten

Materialcharakterisierung und Simulation



- Materialcharakterisierung
- Werkstoff- und Reibmodelle
- Gefügeumwandlung
- Simulationsgestützte Prozessauslegung
- Biomedizintechnik

Gliederung

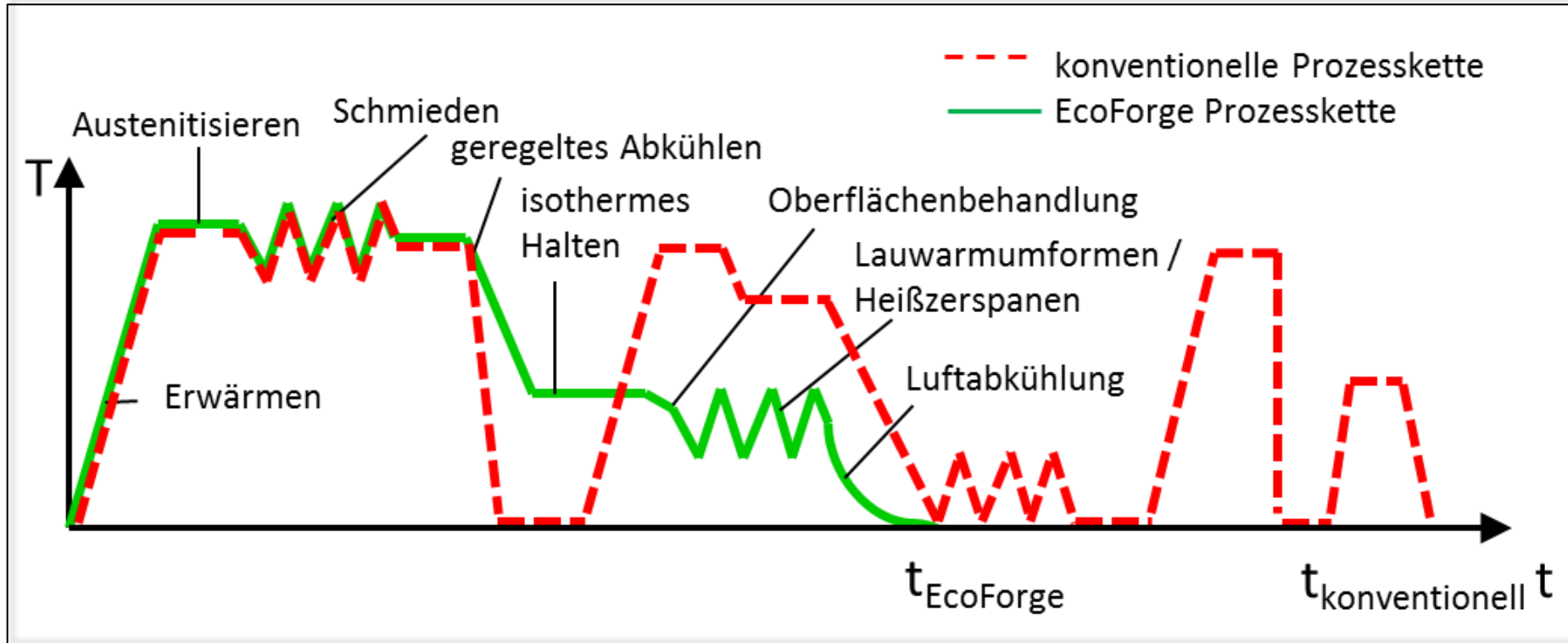
1. Vorstellung IFUM

2. Einleitung

3. Experimentelle Untersuchungen

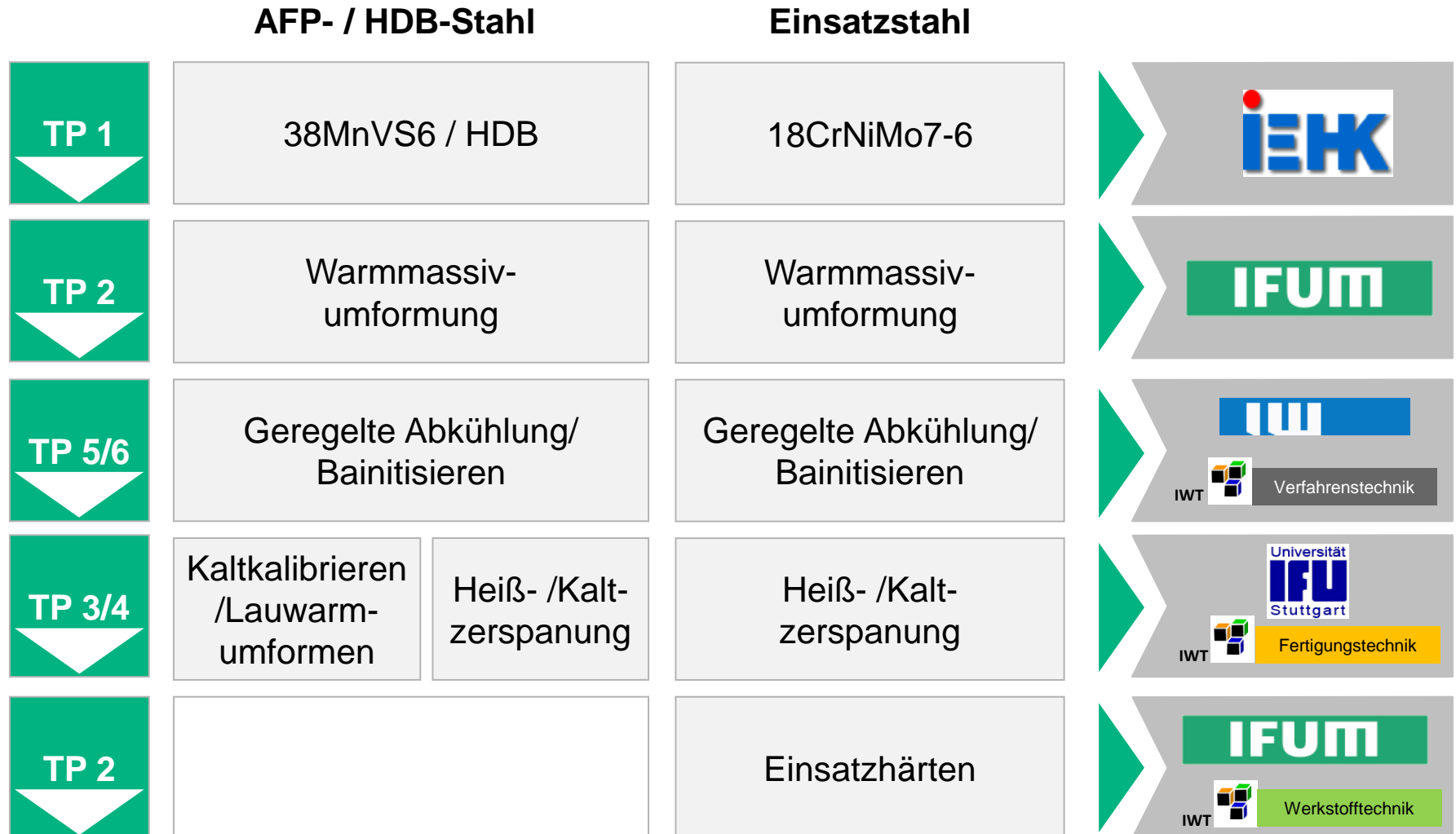
4. Numerische Untersuchungen

2. Motivation

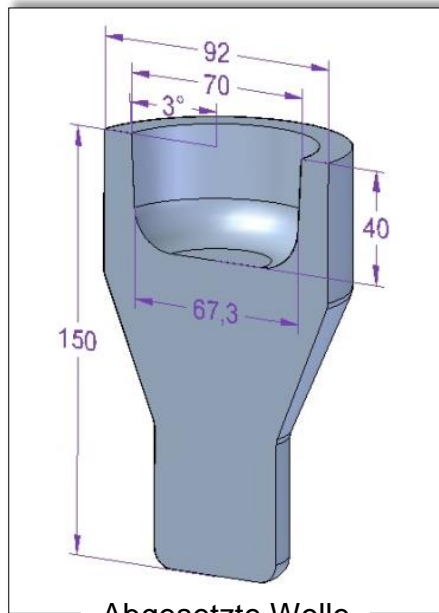


Prozesskette

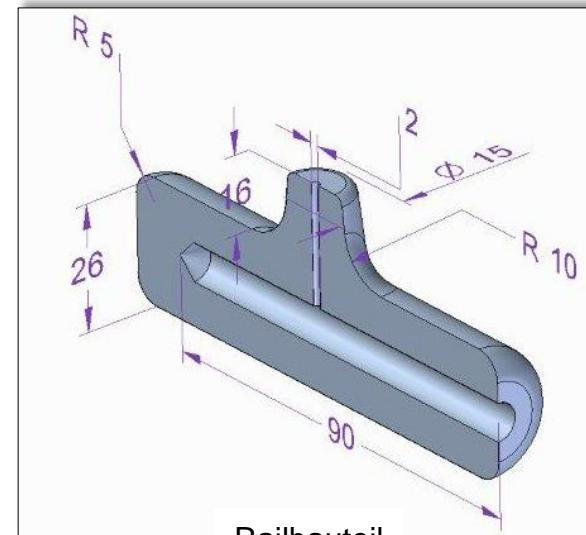
2. Projektstruktur



2. Demonstratorbauteile



Voll-Vorwärts-Napf-Rückwärts-
Warmfließpressen



Gesenkschmieden und
Warmabgraten

2. Problemstellung und Zielsetzung des IFUM

Stand Projektbeginn

Kommerzielle FE-Systeme sind noch nicht oder nur unzureichend in der Lage Gefügeumwandlungen und Eigenspannungsentwicklungen realitätsnah abzubilden

- Durchführung von Stoffflusssimulationen größtenteils unter Vernachlässigung von Phasenübergängen, Korngrößenevolution und Verzug
- Lokale Eigenschaften geschmiedeter Bauteile werden nicht mit erforderlicher Genauigkeit berechnet

Zielsetzung

Lückenlose numerische Abbildung der gesamten Schmiedeprozesskette unter Berücksichtigung der Gefügeevolution

Gliederung

1. Vorstellung IFUM

2. Einleitung

3. Experimentelle Untersuchungen

4. Numerische Untersuchungen

3. Experimentelle Versuchseinrichtung

Industrieroboter KR 16-2 F-S (Fa. Kuka)

Werkzeugsystem

Spindelpresse SPR500 (Fa. Lasco)

Kammerofen N41/H (Fa. Nabertherm)

Abkühlrichtung

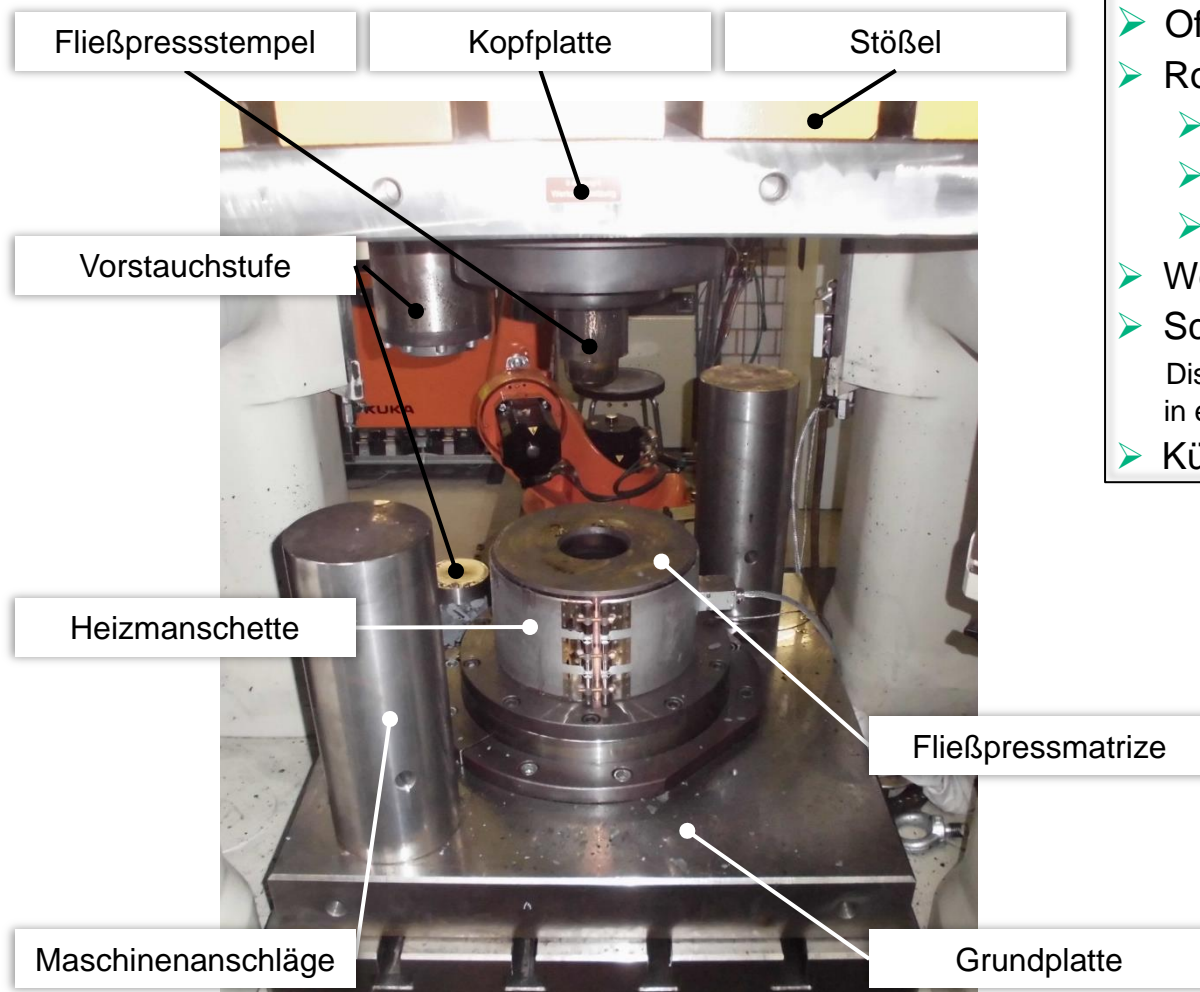
Geifersystem mit
Überlastsicherung und
aktiver Wasserkühlung

Verfahrbare Tischplatte

Adapterstück für die Rohteilmanipulation

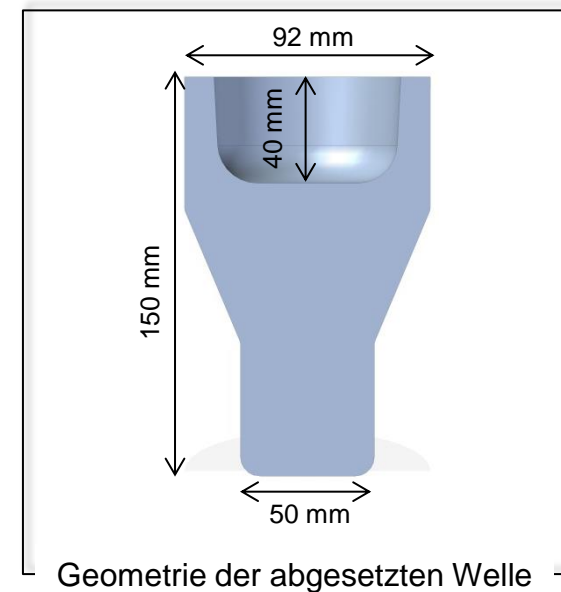
Vollautomatisierte Schmiedezelle

3. Versuchsaufbau und -parameter für das Warmfließpressen



Werkzeugsystem
(Voll-Vorwärts-Napf-Rückwärts-Warmfließpressen)

- Ofenerwärmung
- Rohteiltemperaturen:
 - HDB-Stahl: 1200 °C
 - AFP-Stahl (38MnVS6): 1150 °C
 - Einsatzstahl (18CrNiMo7-6): 1150 °C
- Werkzeuggrundtemperatur: 150 °C
- Schmierung: Berulit 740/88
Dispersion von Graphiten verschiedener Partikelgrößen
in einem halbflüssigen Fett auf Mineralölbasis
- Kühlung: Druckluft

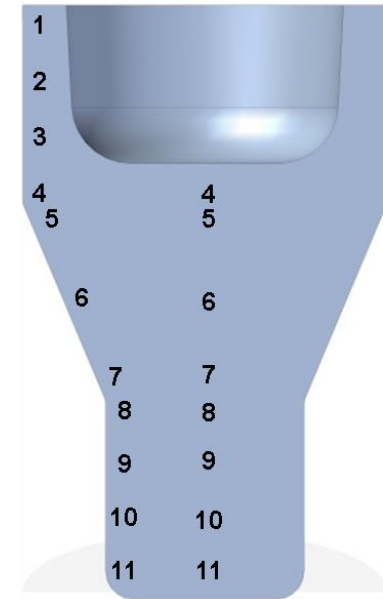
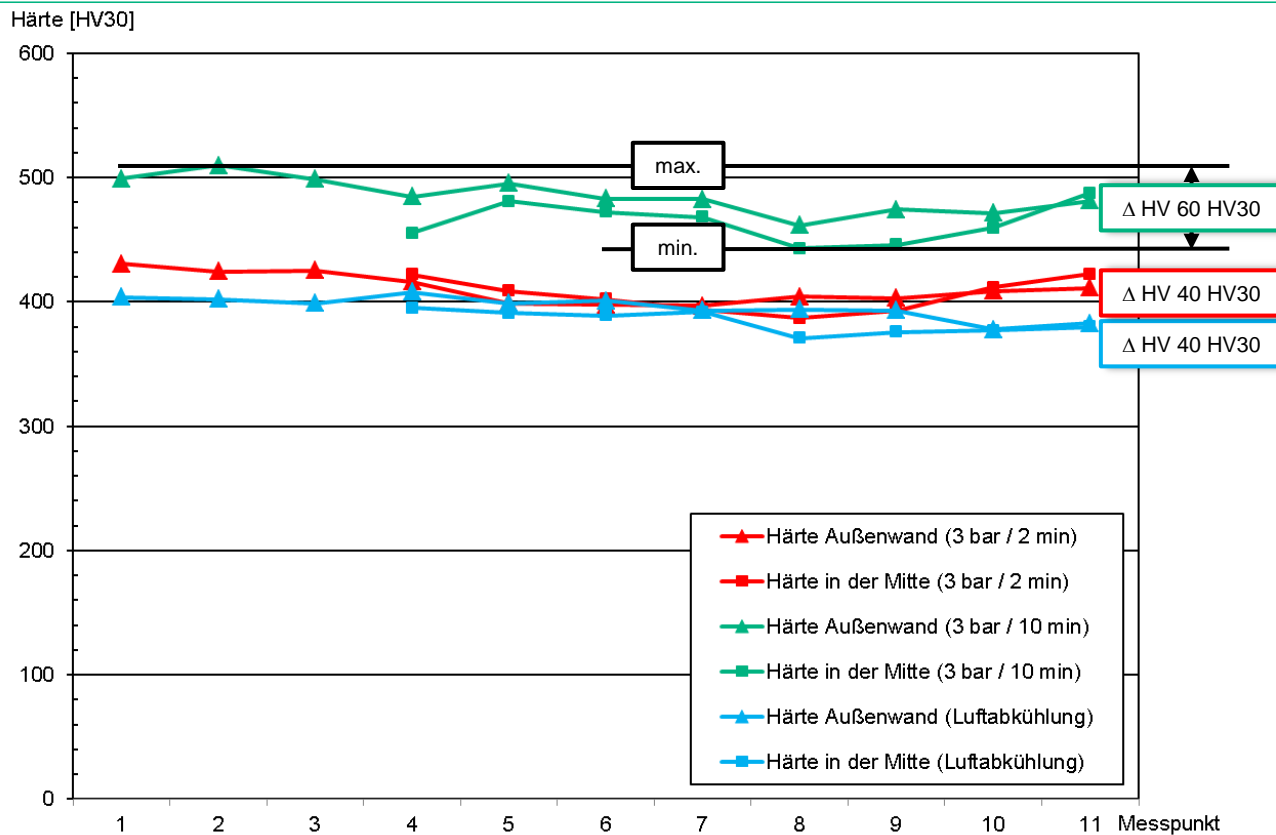


3. Automatisierter Warmfließpressprozess



Video zum automatisierten Schmieden einer abgesetzten Welle

3. Ergebnisse der Härtemessungen für den HDB-Stahl

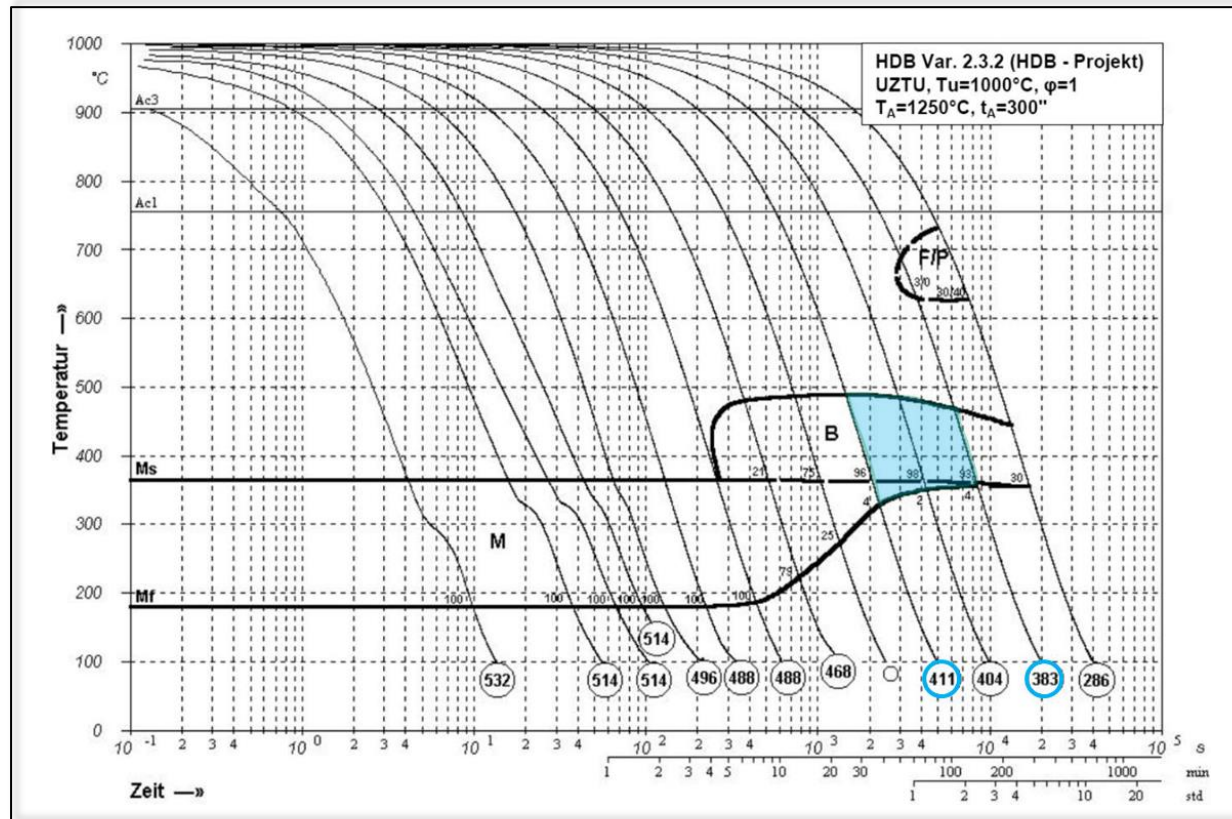


Messpunkte an der abgesetzten Welle

Erkenntnisse

- Alle Abkühlstrategien weisen über dem Querschnitt geringfügige Abweichungen der Makrohärte auf
- Max. Δ HV von 60 HV30 bei einer Druckluftabkühlung von 10 Min. und 3 bar
- Eine Druckluftabkühlung von 2 Min. und 3 bar ist hinsichtlich der Härtewerte vergleichbar mit den luftabgekühlten Proben

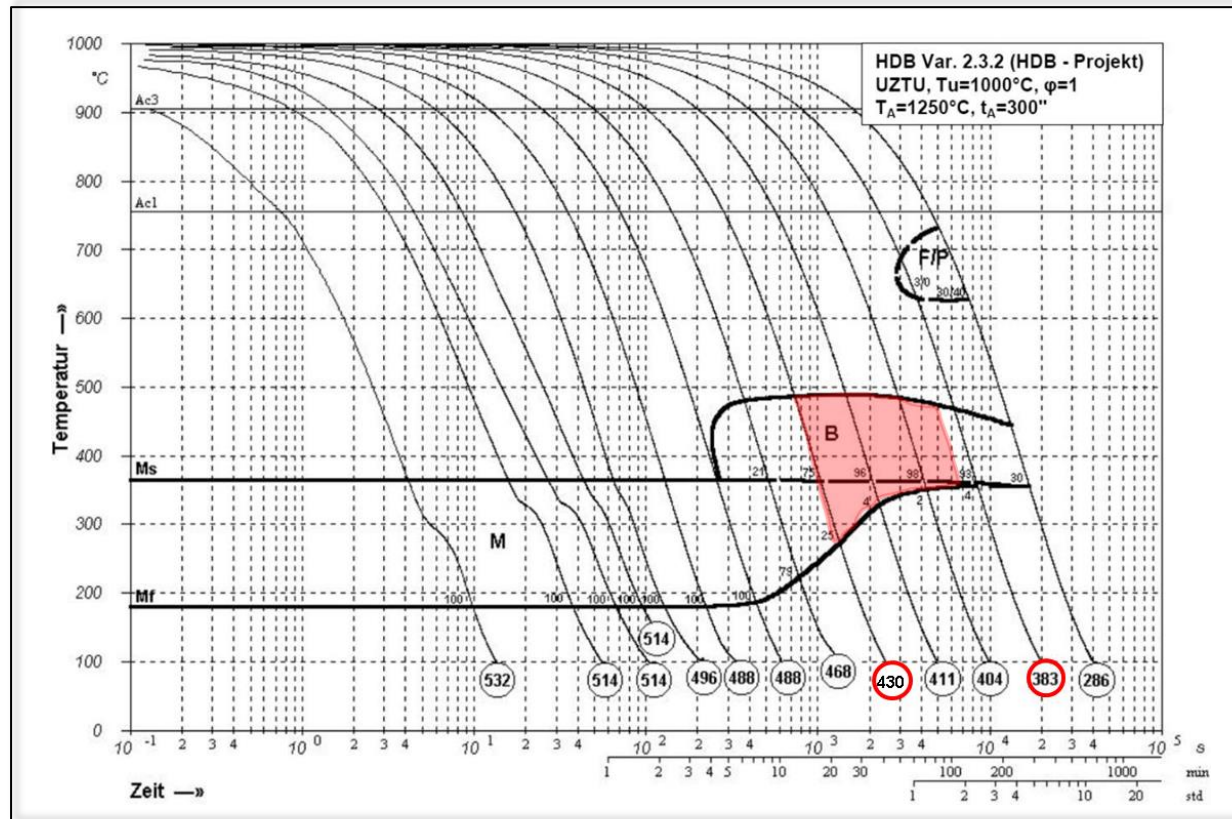
3. UZTU-Diagramm für den HDB-Stahl (Luftabkühlung)



Erkenntnisse

- Mittels der Verwendung von UZTU-Diagrammen können erste Aussagen zum Gefüge gemacht werden
- Die luftabgekühlten Wellen weisen ein bainitisches Gefüge mit geringen Anteilen an Martensit und Ferrit/Perlit auf

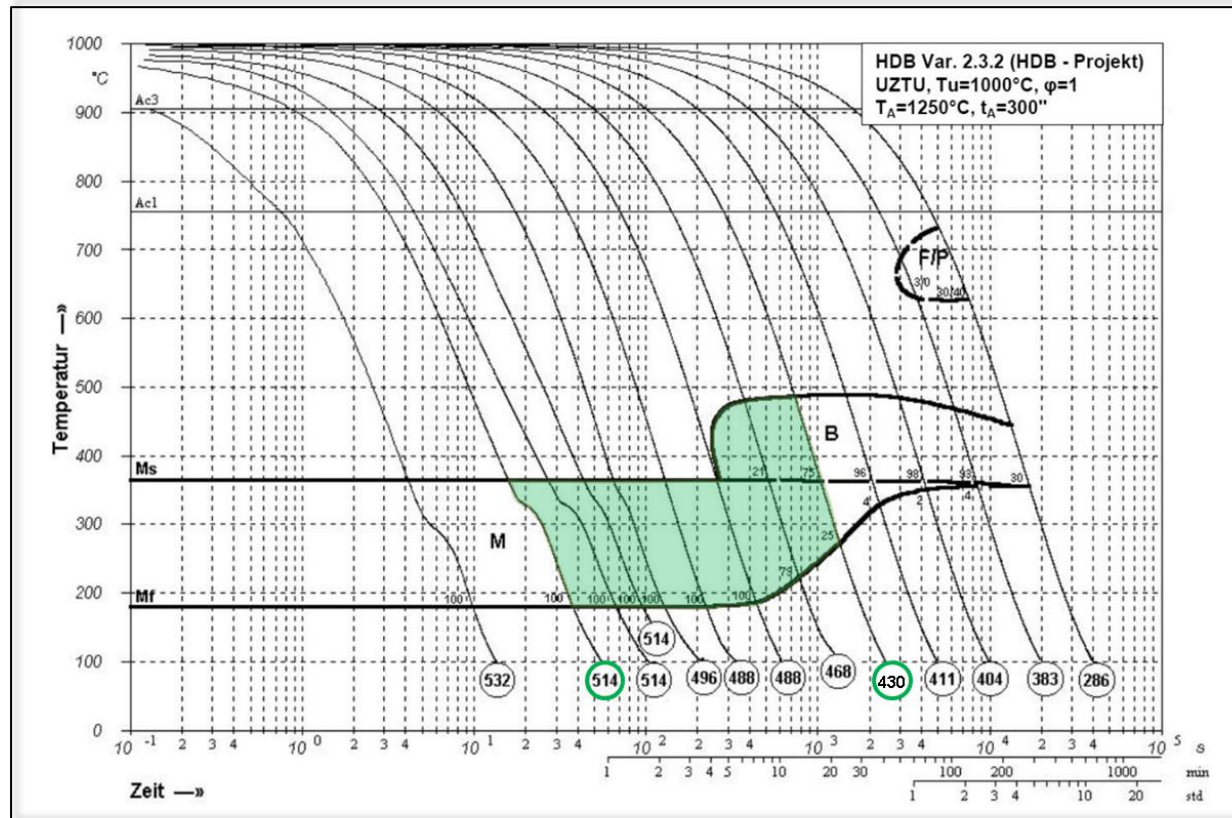
3. UZTU-Diagramm für den HDB-Stahl (3 bar / 2 min)



Erkenntnisse

- Aufgrund der verwendeten Druckluft mit 3 bar für 2 Minuten verschiebt sich das resultierende Gefüge weiter nach Links im UZTU-Diagramm
- Der Anteil an Martensit wird im Vergleich zu der Luftabkühlung erhöht

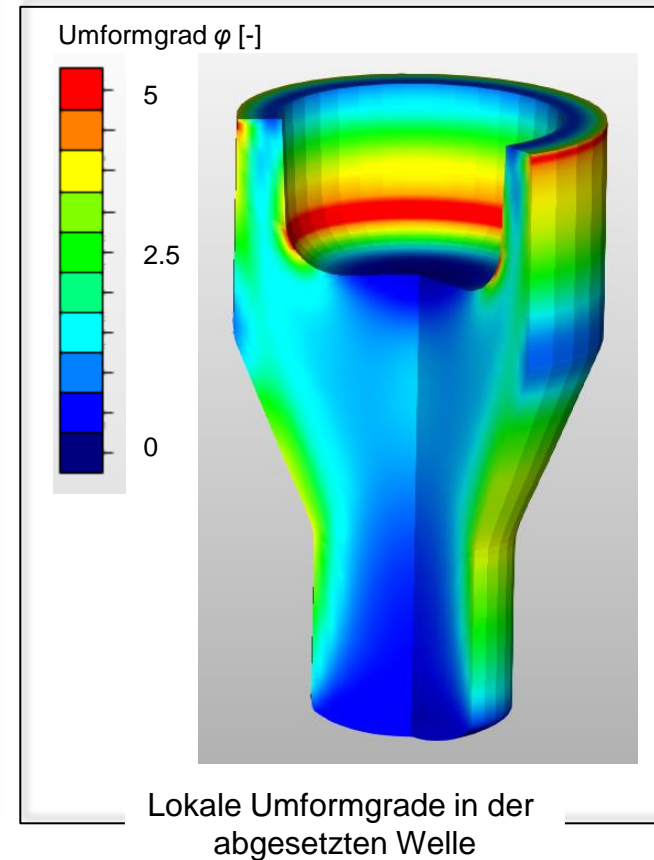
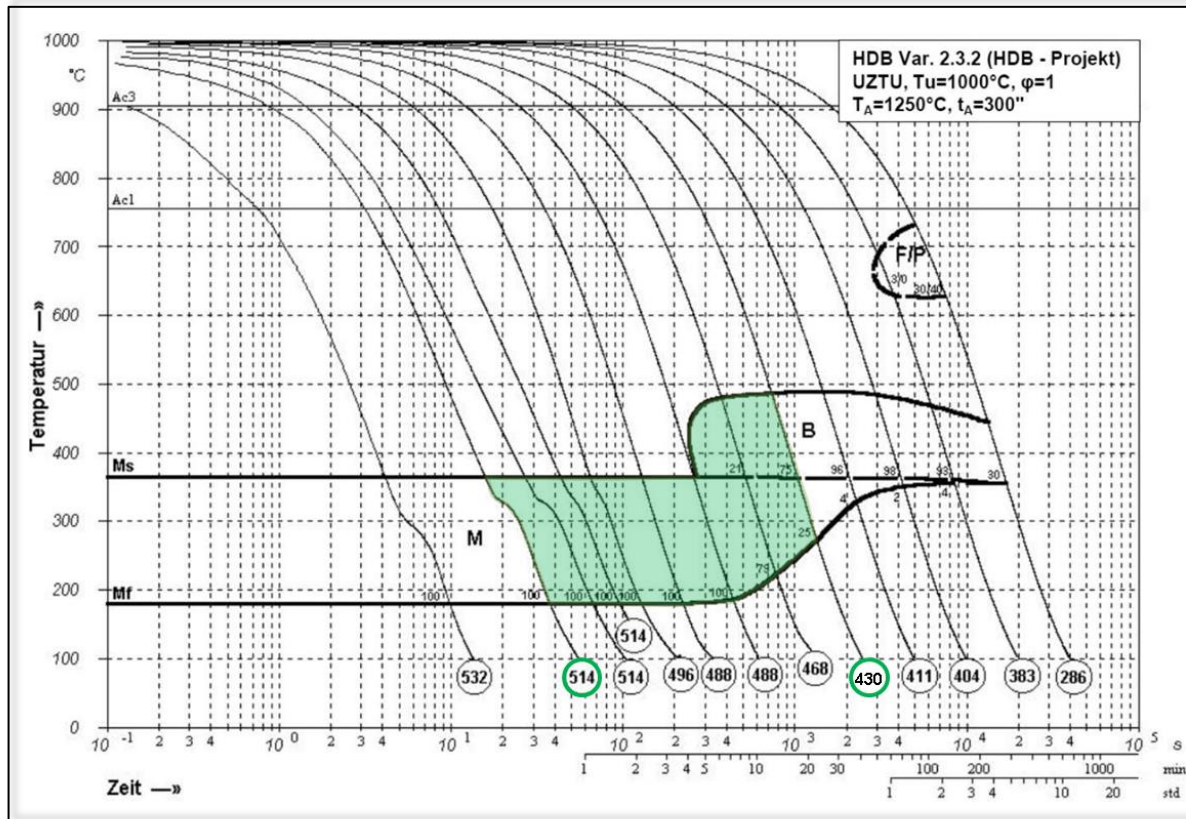
3. UZTU-Diagramm für den HDB-Stahl (3 bar / 10 min)



Erkenntnisse

- Aufgrund der verwendeten Druckluft mit 3 bar für 10 Minuten verschiebt sich das resultierende Gefüge noch weiter nach Links im UZTU-Diagramm im Vergleich zu den luftabgekühlten und mit 2 Minuten sowie 3 bar druckluftabgekühlten Wellen
- Der Anteil an Martensit wird deutlich erhöht im Vergleich zu den bisher dargestellten Wellen

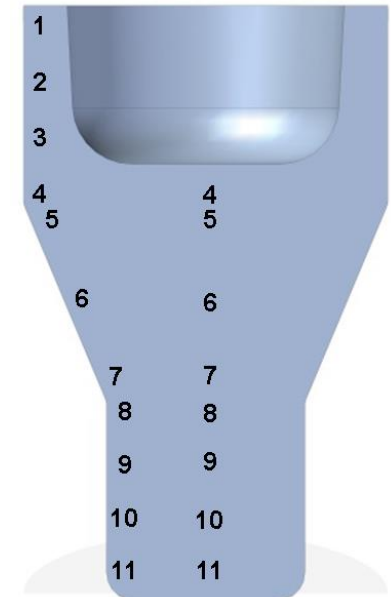
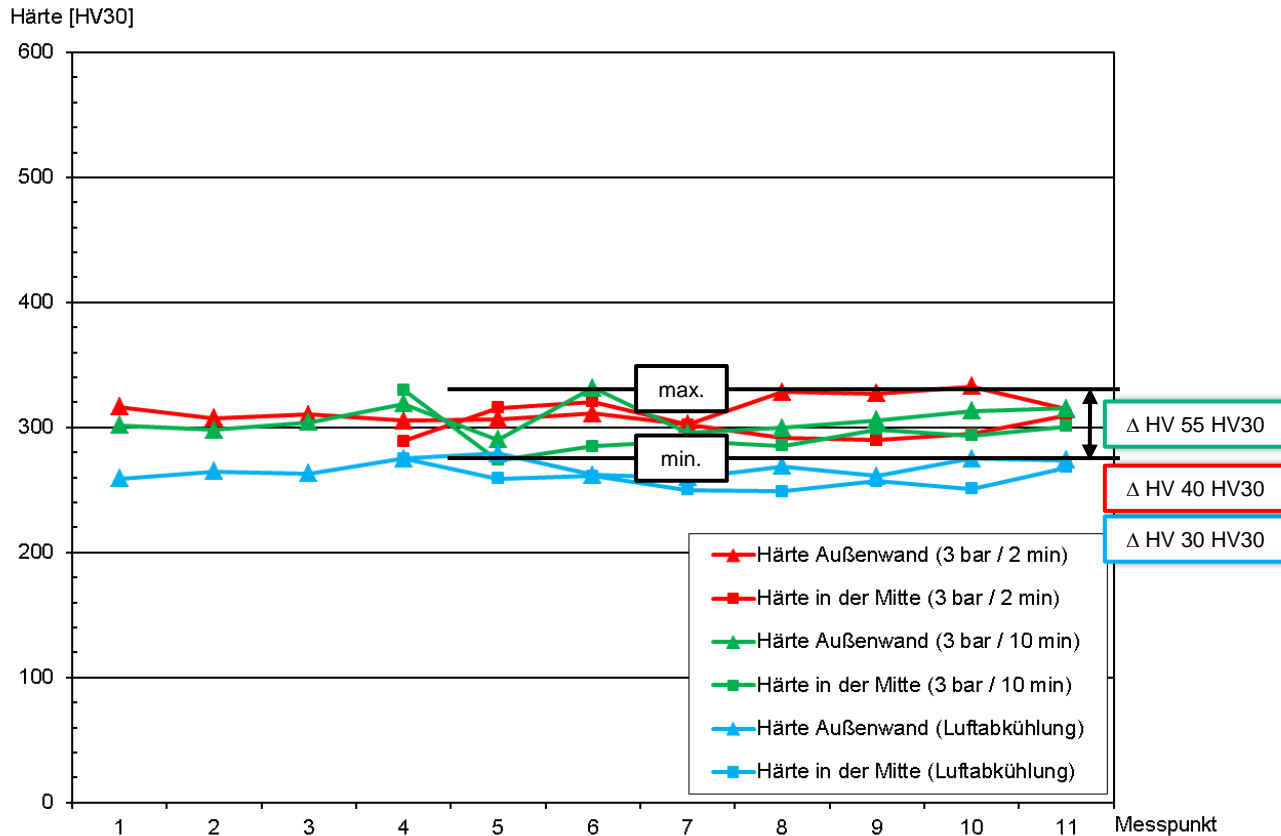
5. UZTU-Diagramm für den HDB-Stahl – Rückschlüsse auf das Gefüge



Erkenntnisse

- Aufgrund der lokal unterschiedlichen Umformgrade φ lassen sich anhand der umformgradabhängigen UZTU-Diagramme lediglich sehr grobe Aussagen über das eingestellte Gefüge machen
- Bei den Härtemessungen an der abgesetzten Welle variieren die lokalen Umformgrade $\varphi_{\text{lok.}} = 0,5 - 3,5$

5. Ergebnisse der Härtemessungen für den AFP-Stahl

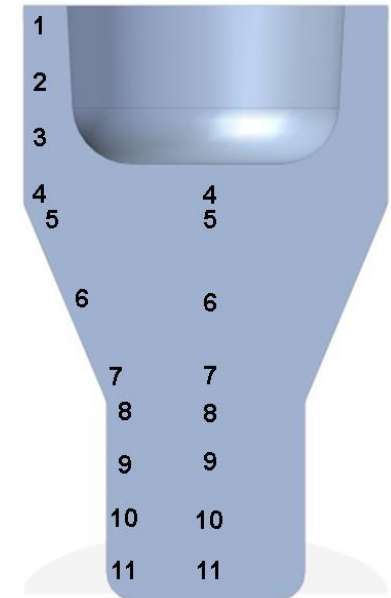
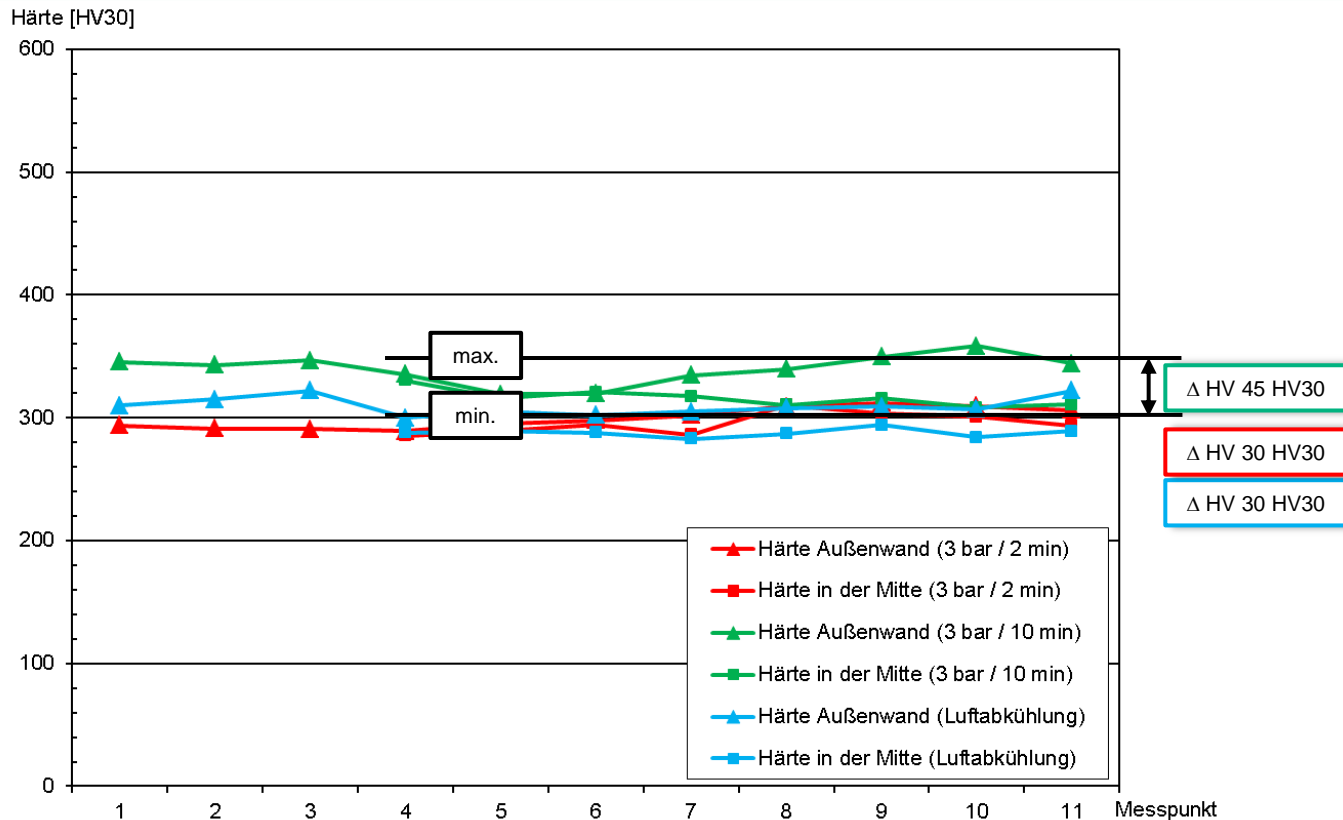


Messpunkte an der abgesetzten Welle

Erkenntnisse

- Der AFP-Stahl (ca. 300 HV30) weist gegenüber dem HDB-Stahl (ca. 400-500 HV30) deutlich geringere Härtewerte auf
- Alle Abkühlstrategien weisen über dem Querschnitt eine nahezu identische Makrohärte auf
- Max. Δ HV von 50 HV30 bei einer Druckluftabkühlung von 10 Min. und 3 bar
- Kaum Abweichungen bei der Variation der Kühlsprühzeit von 2 und 10 Min.

5. Ergebnisse der Härtemessungen für den Einsatzstahl



Messpunkte an der abgesetzten Welle

Erkenntnisse

- Der Einsatzstahl (ca. 325 HV30) weist gegenüber dem HDB-Stahl (ca. 400-500 HV30) deutlich geringere Härtewerte auf, jedoch gegenüber dem AFP-Stahl (ca. 300 HV30) eine etwas höhere Härte auf
- Alle Abkühlstrategien weisen über dem Querschnitt sehr geringe Makrohärteunterschiede auf
- Max. Δ HV von 45 HV30 bei einer Druckluftabkühlung von 10 Min. und 3 bar

Gliederung

1. Vorstellung IFUM

2. Einleitung

3. Experimentelle Untersuchungen

4. Numerische Untersuchungen

4. Numerische Abbildung der Gefügeevolution

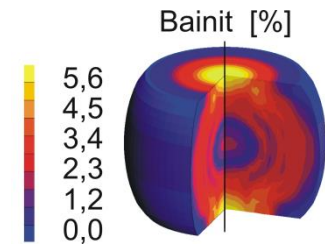
- Numerische Abbildung der Gefügeevolution in Abhängigkeit der Formänderung und des Abkühlverhaltens in geschmiedeten Bauteilen
- Programmtechnische Implementierung folgender Modelle in simufact.forming

➔ Johnson-Mehl-Avrami (JMA)-Gleichung zur Vorhersage der Gefügeanteile Ferrit, Perlit und Bainit

$$\zeta_i = \zeta_{\text{eq},i} \left(1 - e^{-k \left(\frac{t}{t_0} \right)^n} \right)$$

ζ_i : Gefügeanteil
 k, n : Werkstoffparameter
 $\zeta_{\text{eq},i}$: Phasenanteil im Gleichgewicht
 t/t_0 : Normierte Zeit

diffusionsgesteuert

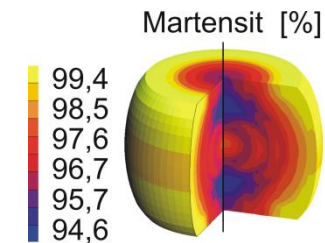


➔ Koistinen-Marburger (KM)-Gleichung zur Abbildung diffusionsloser Umwandlungsvorgänge (Martensitbildung)

$$\zeta_M = 1 - e^{-\alpha (\mathcal{G}_{Ms} - \mathcal{G})^\kappa}$$

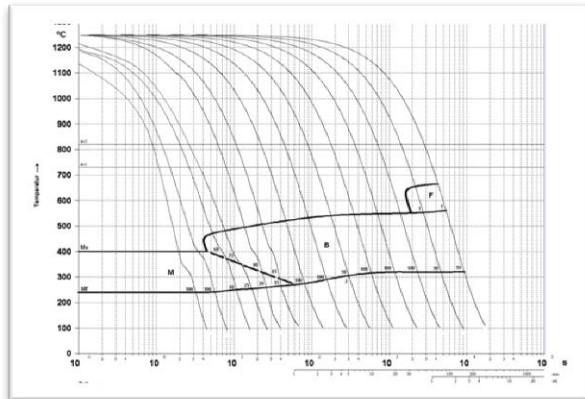
ζ_M : Gefügeanteil (Martensit)
 α, κ : Werkstoffparameter
 \mathcal{G}_{Ms} : Martensit-Starttemperatur

diffusionslos



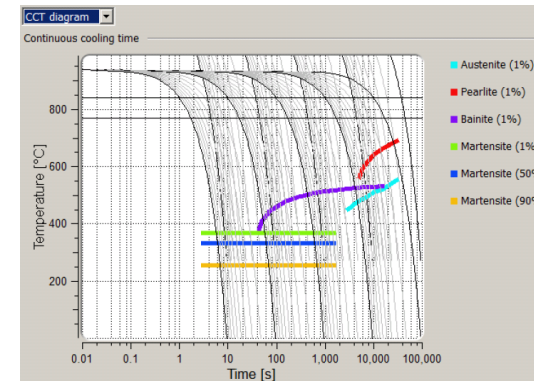
4. Numerische Abbildung der Gefügeevolution

- Berechnungen der Phasenübergänge basieren auf ZTU Daten (isotherm & kontinuierlich)
- ZTU-Datenbank in simufact.forming mit JMtaPro berechnet
- Möglichkeit der Einbindung experimentell ermittelter ZTU-Daten



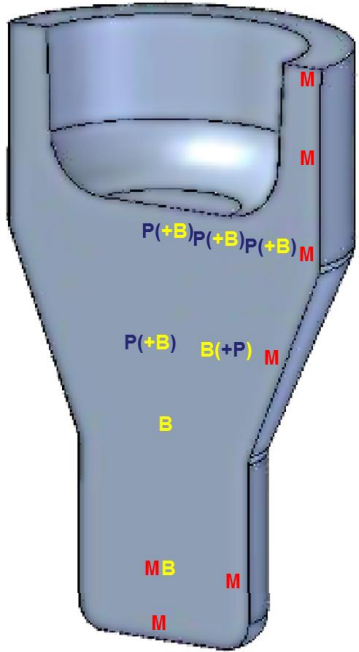
Daten

Digitalisierung &
Einbindung

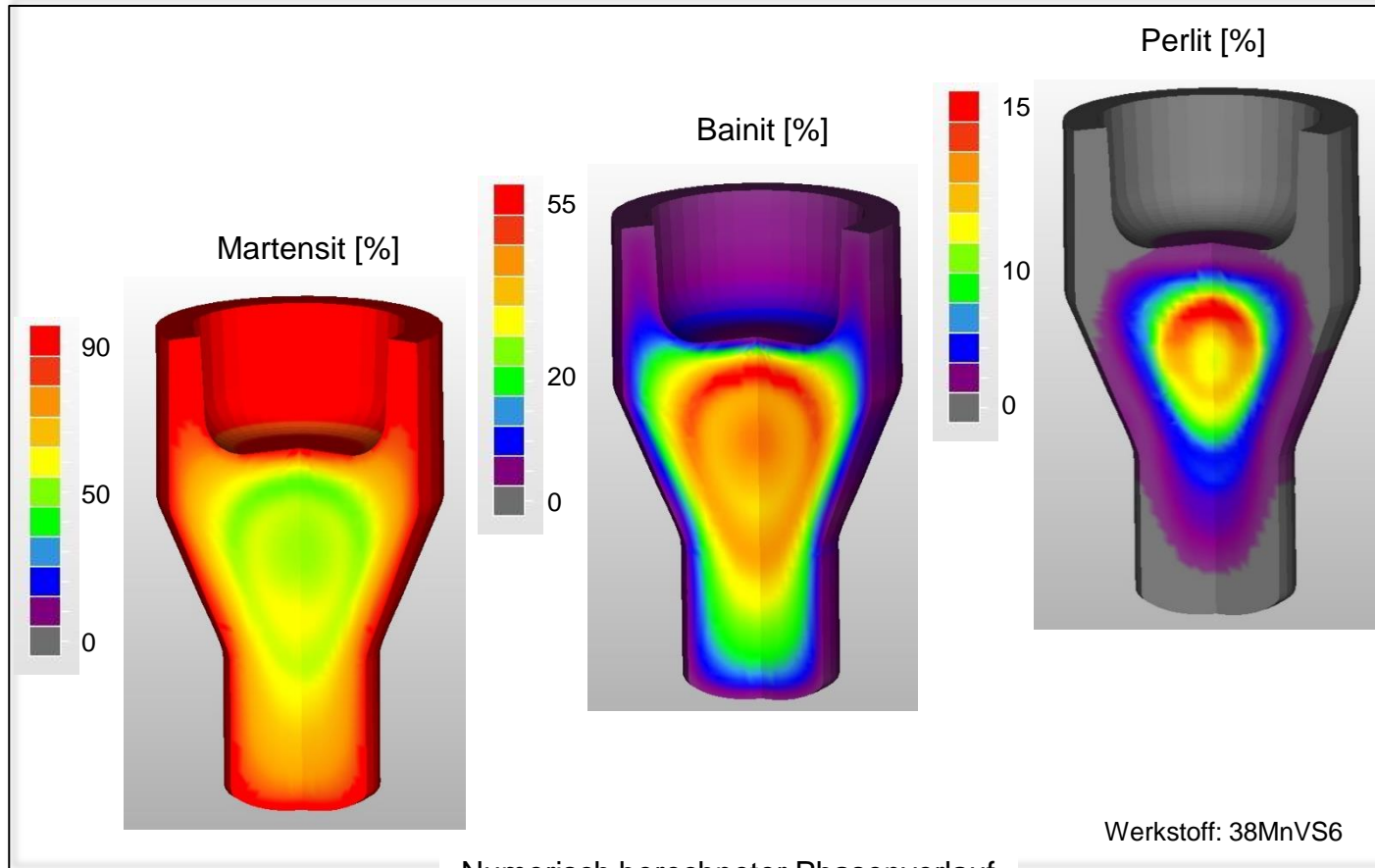


- Zur Berücksichtigung der Umformhistorie und damit zur präziseren Vorhersage der Phasenumwandlung sollte Einbindung von UZTU Diagrammen erfolgen
- Notwendigkeit der Heranziehung von mehreren UZTU-Datensätzen, da Prozess umformgradabhängig ist
- Dies stellt noch eine Herausforderung dar, das zur Berechnung bisher nur ein Diagramm herangezogen werden kann

4. Gegenüberstellung experimenteller und simulierter Phasen - Wasserabkühlung



Experimentelle
Gefügebestimmung (TP1)



Numerisch berechneter Phasenverlauf

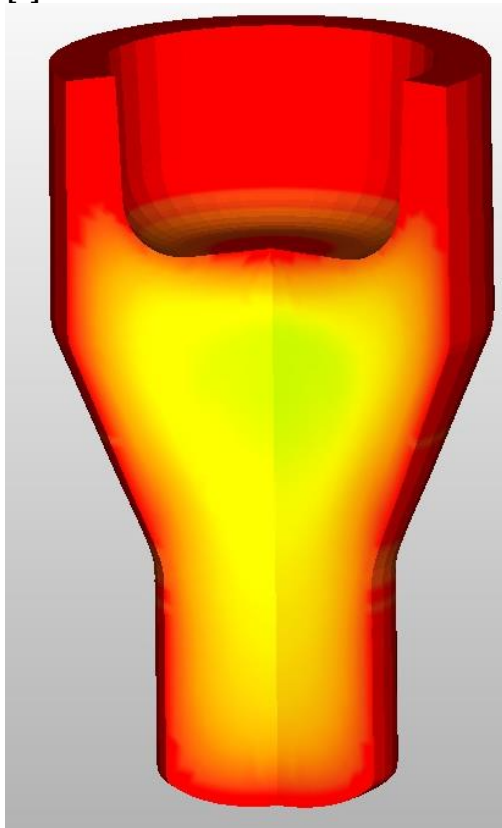
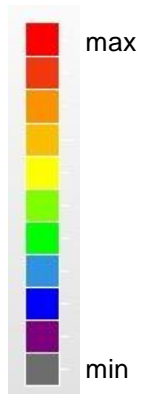
Erkenntnisse

- Abgleich zeigt gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und numerisch ermittelten Werten
- Abkühlung mit Wasser erfolgt zu schnell

4. Gegenüberstellung der experimentell und numerisch ermittelten Härte

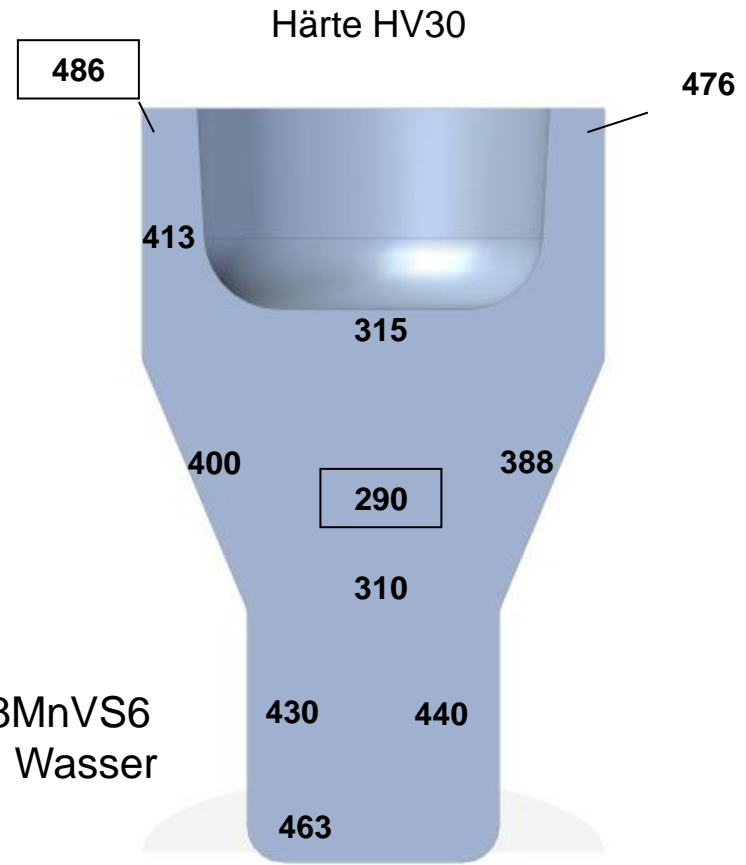
- Gute Übereinstimmung zwischen experimentell und numerisch ermitteltem Härteprofil

Härte HV [-]



Numerisch ermitteltes Härteprofil

Werkstoff: 38MnVS6
Kühlmedium: Wasser



Härtemessungen

Untersuchung zur kontrollierten Wärmebehandlung von Stahlschmiedebauteilen aus der Schmiedewärme



Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens, Dipl.-Ing. M. Kazhai, **Dipl.-Wirtsch.-Ing. A. Huskic**

Garbsen, 17.03.2015