

# Erfahrungen beim Abgleich von Werkstoffmodellen für die Umformsimulation mit Stahlwerkstoffen

T. Beier, Dr. L. Kessler, Dr. J. Gerlach – Filderstadt, 13.10.2011



ThyssenKrupp Steel Europe



ThyssenKrupp

# Der Materialabgleich für die Umformsimulation

## Gliederung

- Einleitung

---

- Materialmodelle und Daten

---

- Ganzheitliche Betrachtung

---

- Schlussfolgerungen



# Vom Material zum Modell und Bauteil

Die Anwendung von Material Modellierungen im Zusammenhang



→ Die Vorteile eines optimalen Materialmodells müssen im Zusammenhang mit der Anwendung evaluiert werden. Viele weitere Parameter beeinflussen zusätzlich das endgültige Ergebnis.

# Vom Material zum Modell und Bauteil

## Aspekte bei der Bestimmung von Materialkarten

Eigentlich eine einfache Aufgabe:



Material



Testen:

- Zugv.
- Schubv.
- hydr. Tief.
- ...

Labor



Modellierung:

- Fließkurve
- Fließort
- Versagen
- ...

Institut



Operation:

- Teil 01
- Teil 02
- Teil 03
- ...

Werkzeugbau

? Werkstofftests werden für spezielle Anforderungen entwickelt, können diese auch auf alle Werkstoffe übertragen werden?

? Ist ein Testergebnis austauschbar?

? Ist das identifizierte Materialmodell eindeutig?

# Steigende Komplexität zur Werkstoffbeschreibung

## Eine Auswahl zur Verfügung stehender Modelle

Verfestigung	Versagen	Fließkurve	Fließort
Isotrop	FLC	Swift	v. Mises
v. Mises	Non-linear FLC	Hocket-Sherby	Tresca
Isotrop-kinematisch	FLSC	Gosh	Hill-Familie
Prager	Duktil. Scherbruch	Mischfunktion	Hill '48
Chaboche	Trennbruch		Hill '90
Backhaus	Poren (Gurson)		Barlat-Familie
Yoshida	CrachFEM		Barlat '89
Distorsion			Barlat '91
ICT-Theorie			Barlat 2000
			Banabic 2005

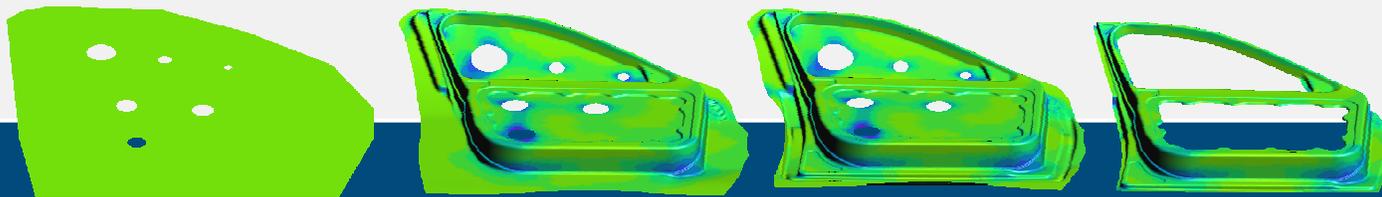
- Ebene 01 = Standard
- Ebene 02 = Fortgeschritten
- Ebene 03 = Komplex



# Materialmodelle in Umformsimulationsprogrammen

## Eingangsgrößen für den Modellabgleich

Model	$\sigma_0$	$\sigma_{45}$	$\sigma_{90}$	$r_0$	$r_{45}$	$r_{90}$	$\sigma_b$	$r_b$	Parameter	frei
Hill '48	X	-	-	X	X	X	-	-	4	0
Hill '90	X	-	-	X	X	X	X	-	5	0
Barlat '89	X	-	-	X	X	X	X	-	5	0
Banabic 2005	X	X	X	X	X	X	X	X	8	1
Barlat 2000	X	X	X	X	X	X	X	X	8	1



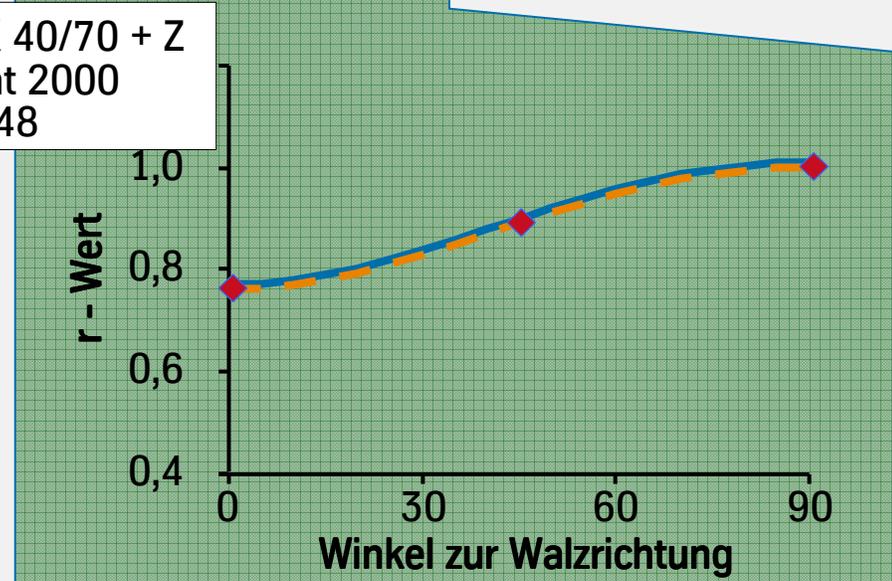
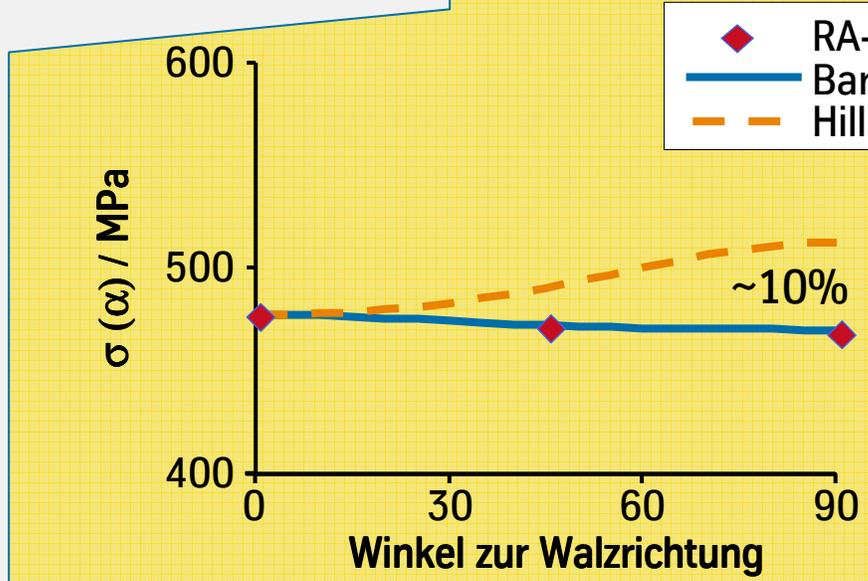
Umformstufen

→ Für den gesamten Prozess ist eine realistische Lösung zu identifizieren!

# Werkstoffmodellierung für die Umformsimulation

## Materialeingangsgrößen für die Materialkarten

	$\sigma_0$	$\sigma_{45}$	$\sigma_{90}$	$r_0$	$r_{45}$	$r_{90}$	$\sigma_b$	$r_b$
Experiment	477	472	470	0.77	0.90	1.01		
Hill '48	X	-	-	X	X	X	-	-
Barlat 2000	X	X	X	X	X	X	X	X



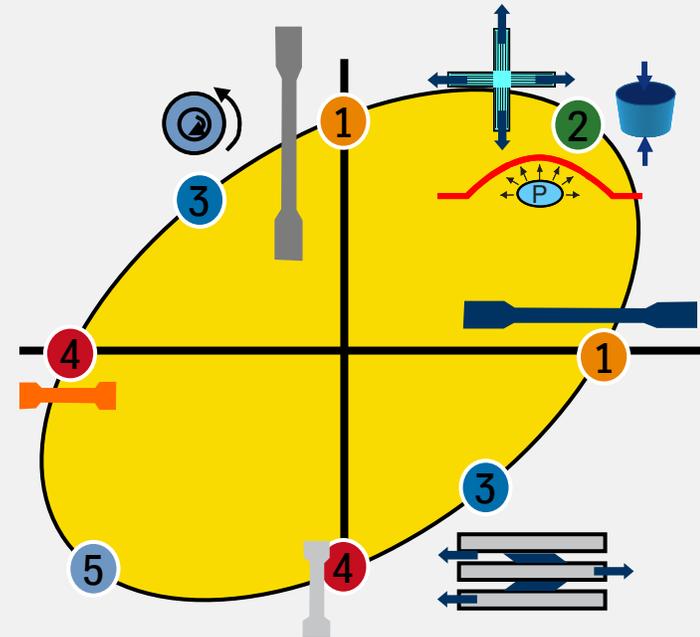
→ Zusätzliche Parameter erlauben die gute Abbildung experimenteller Daten

# Materialdaten für die Umformsimulation

## Experimentelle Eingangsdaten für den Modellabgleich

Experimente für den Fließortabgleich	Standard existiert	Dehnungsbereich
1 Zugversuch (0°, 45°, 90° ...)	ja	0% → 25%
2 Hydr. Tiefungsversuch	nein*	10% → 70%
Stapelstauchversuch	nein	5% → 40%
Kreuzzugversuch	nein	0% → 10%
3 Shear test (Miyauchi)	nein	5% → 30%
In-plane Torsionstest	nein	5% → 35%
4 Kompression (in-plane)	nein	0% → 10%
5 Begrenzt verfügbar	nein	0% → 1-5%

\* in Vorbereitung



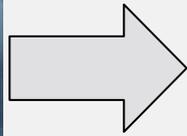
Unsere Betrachtungen basieren auf dem Zugversuch und der hydr. Tiefung

# Strategien für die Materialkartenaufbereitung

## Standardprozess für die Materialkartenaufbereitung



Material



### Experimente:

- Zugversuch
- Bulgeversuch
- Schubversuch
- ...

Labor



### Modellierung:

- Verfestigung
- Fließort
- Versagen
- ...

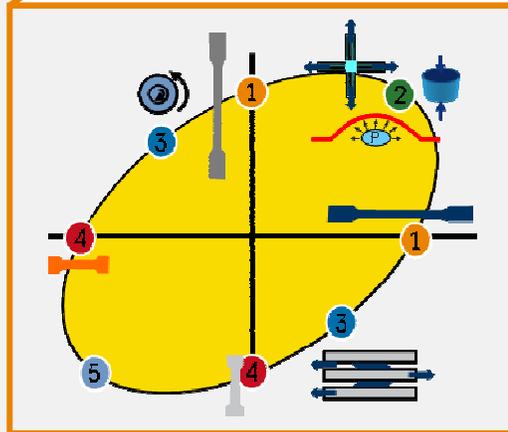
Institut



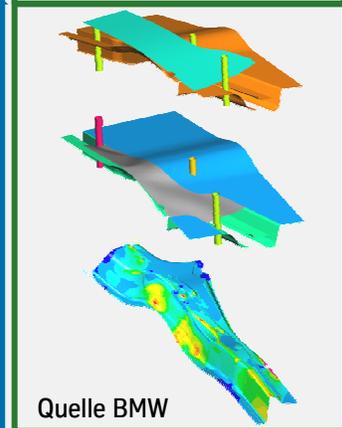
### Anwendung:

- Teil 01
- Teil 02
- Teil 03
- ...

Werkzeugbau



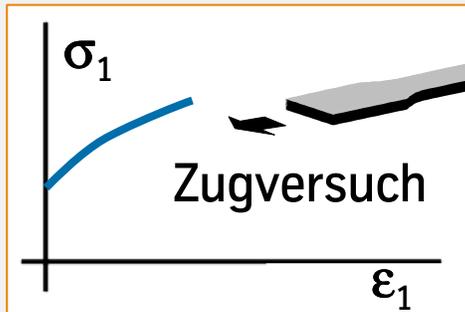
Verfestigung	Versagen	Fließkurve	Fließort
Isotrop	FLC	Swift	v. Mises
v. Mises	Non-linear FLC	Hockett-Sherby	Tresca
Isotrop-kinematisch	FLSC	Gosh	Hill-Familie
Prager	Duktil. Scherbruch	Mischfunktion	Hill '48
Chaboche	Trennbruch		Hill '90
Bachhaus	Poren (Gurson)		Barlat-Familie
Yoshida	CrackFEM		Barlat '89
Distorsion			Barlat '96
ICT-Theorie			Barlat 2000
			Banabic 2005



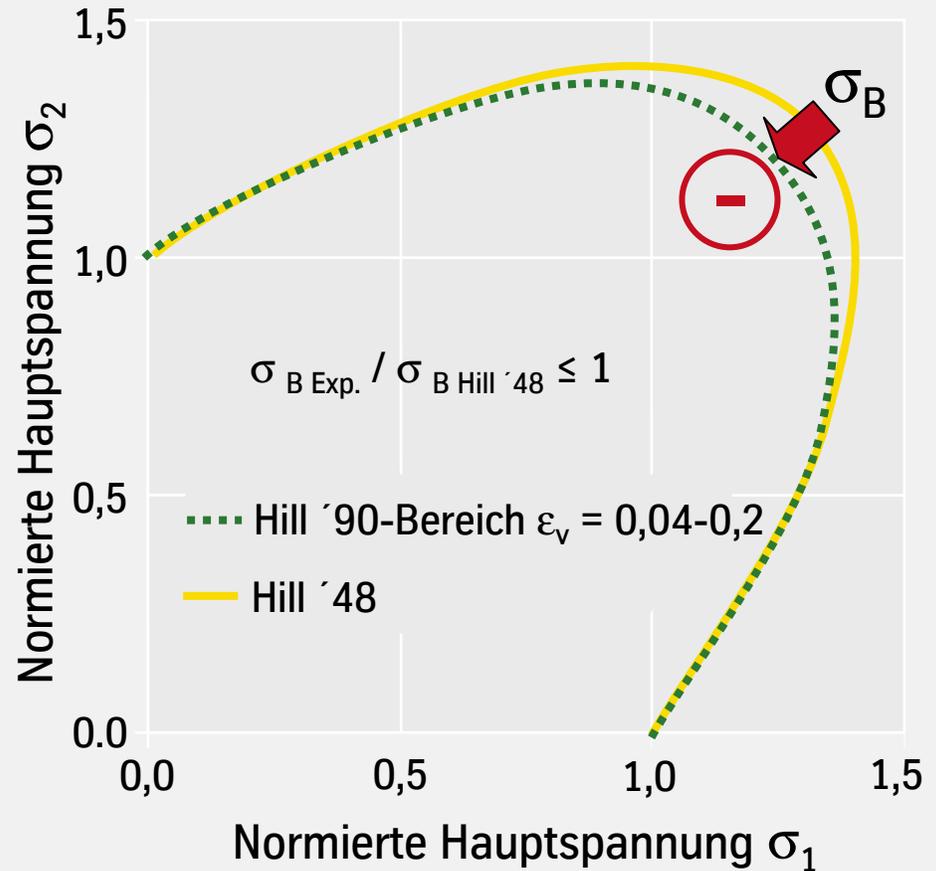
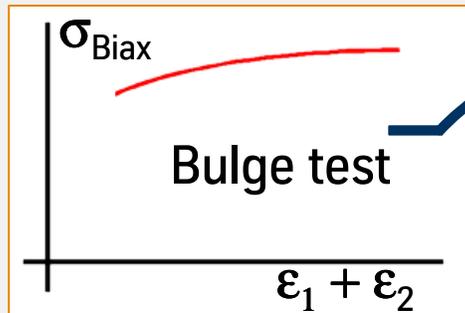
Quelle BMW

# Die Bestimmung von Materialkarten

## Klassische Vorgehensweise mit Zusatzversuchen

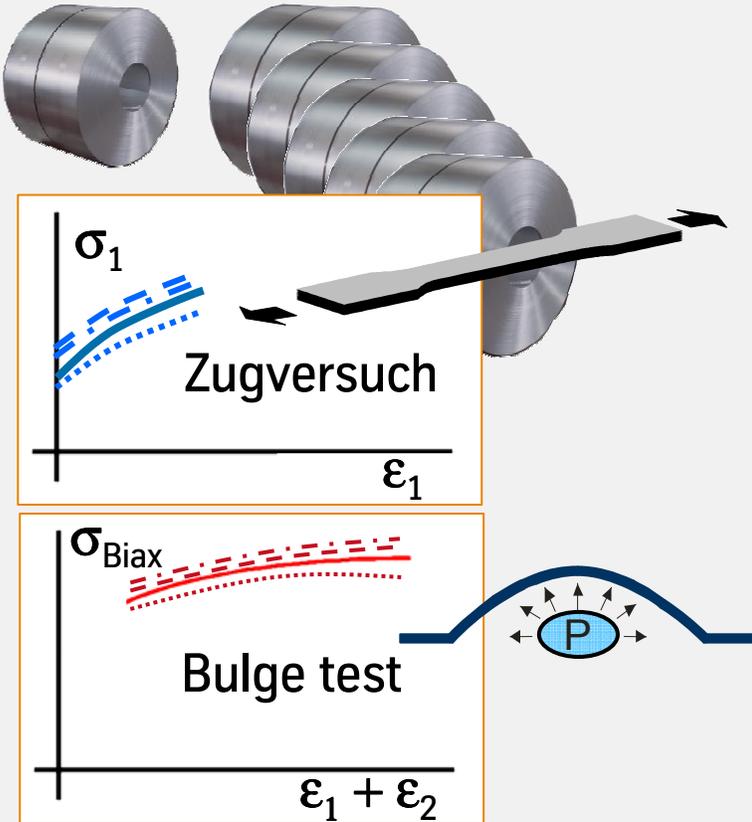


$r_0, r_{45}, r_{90}$

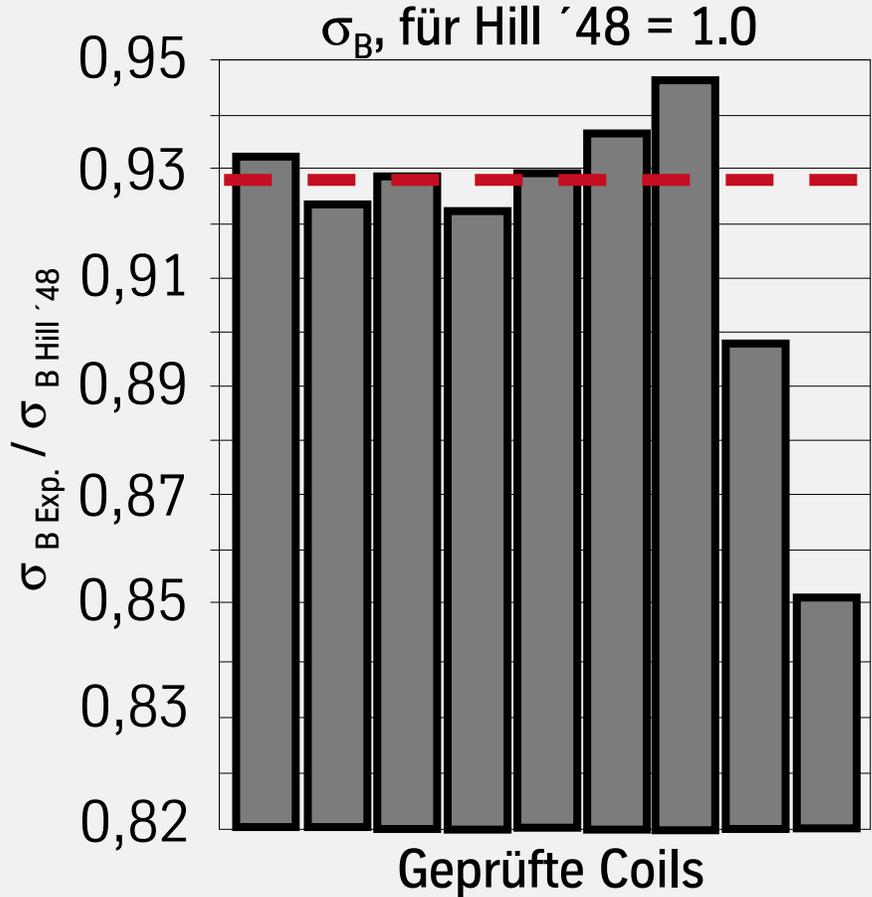


# Die Bestimmung von robusten Materialkarten

Auswertung von Werkstoffgruppen zur Modellierungsabsicherung



Biaxialer Spannungsfaktor



# Der Materialabgleich für die Umformsimulation

## Gliederung

- Einleitung

---

- Materialmodelle und Daten

---

- **Ganzheitliche Betrachtung**

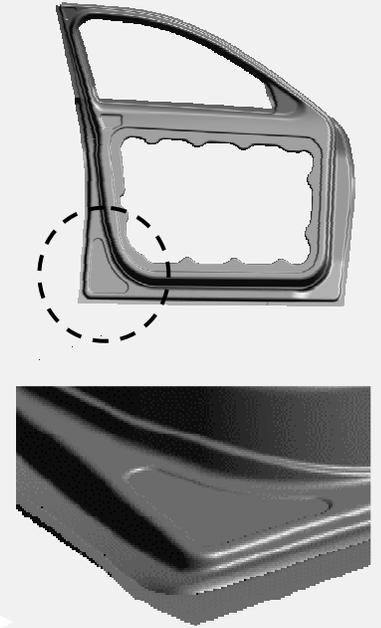
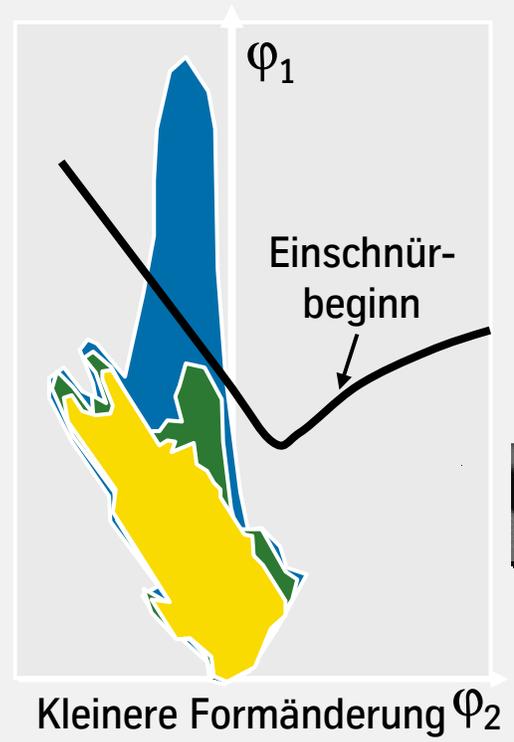
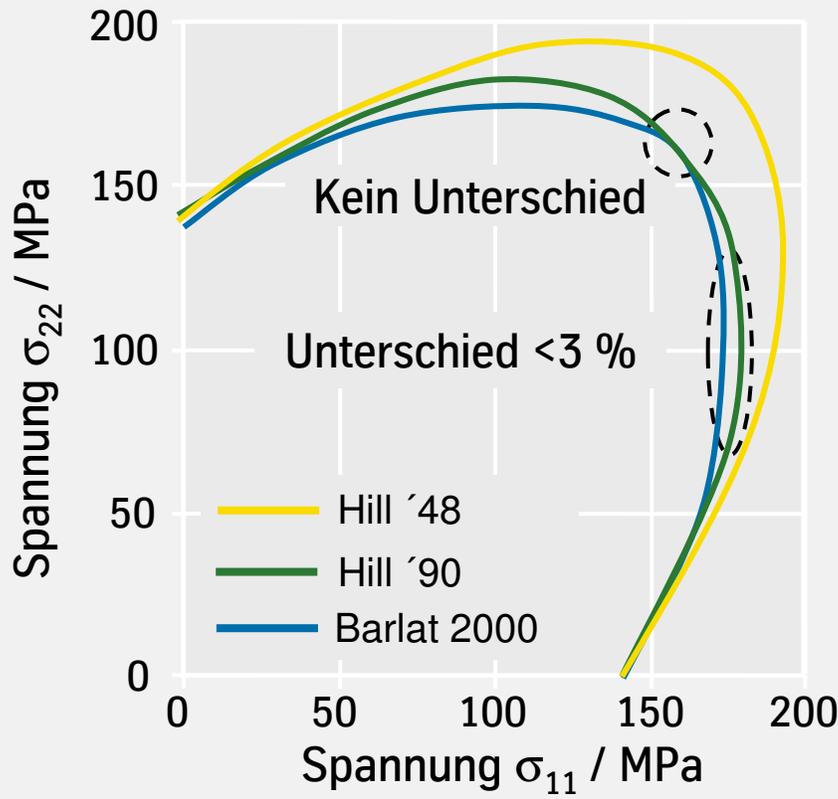
---

- Schlussfolgerungen



# Anwendung neuer Fließortmodelle für die Umformsimulation

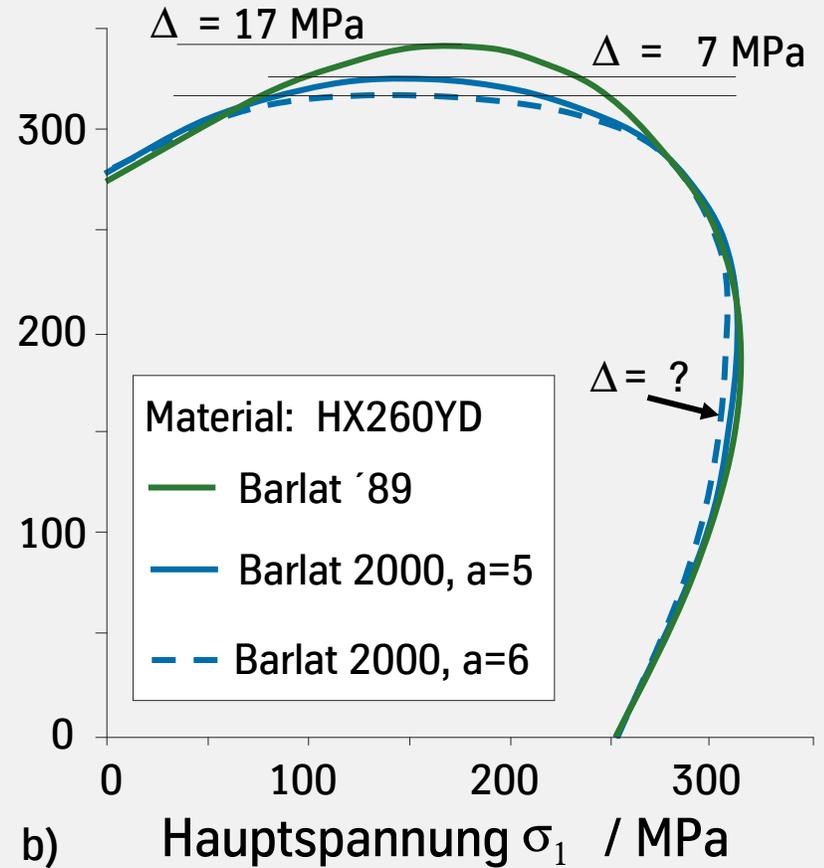
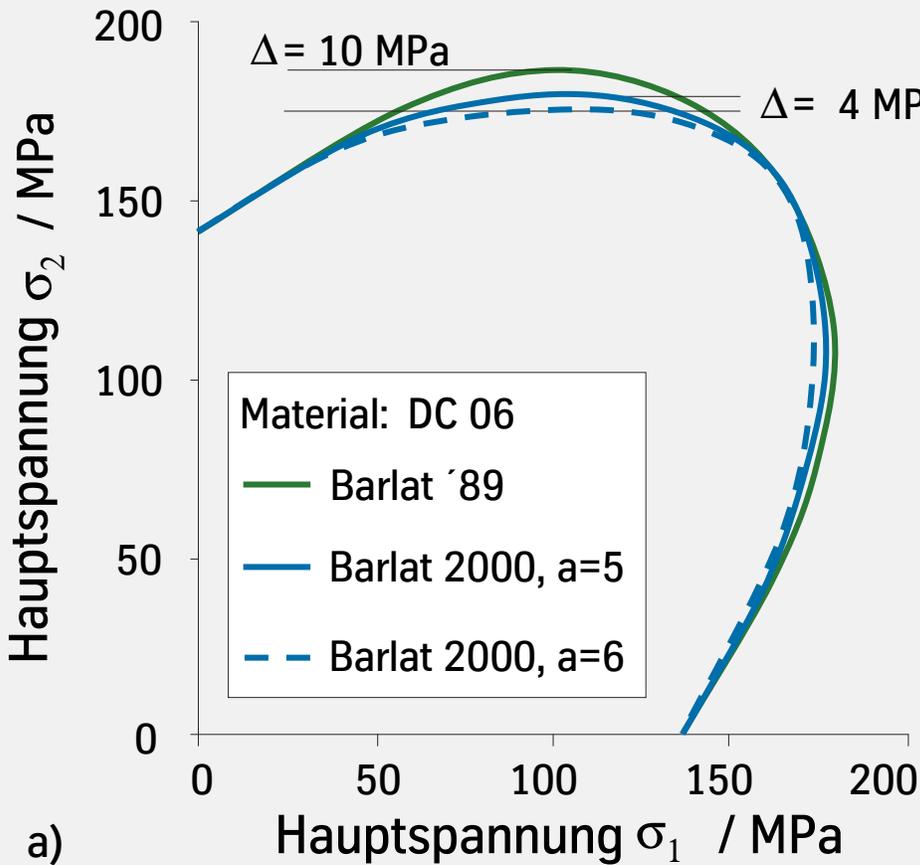
## Einfluss der Fließortbeschreibung auf die Verarbeitungsprognose



→ Extreme Sensibilität der Prognose bei Veränderung des Fließortes

# Materialkarten für die Umformsimulation

## Herausforderungen bei der Bestimmung von Fließortexponenten



→ Unabhängige Fließortparameter sind aus Experimenten schwer abzuleiten!

# Eine neue Strategie für den Werkstoffabgleich

## Eine neue Strategie zur Identifikation von Materialparametern



Material

### Experimente:

- Zugversuch
- Bulgevers.
- (Schubvers.)
- ...

Labor

### Modellierung:

- Verfestigung
- Fließort
- (Versagen)
- ...

### Validation:

- Exaktheit
- Robustheit
- ...

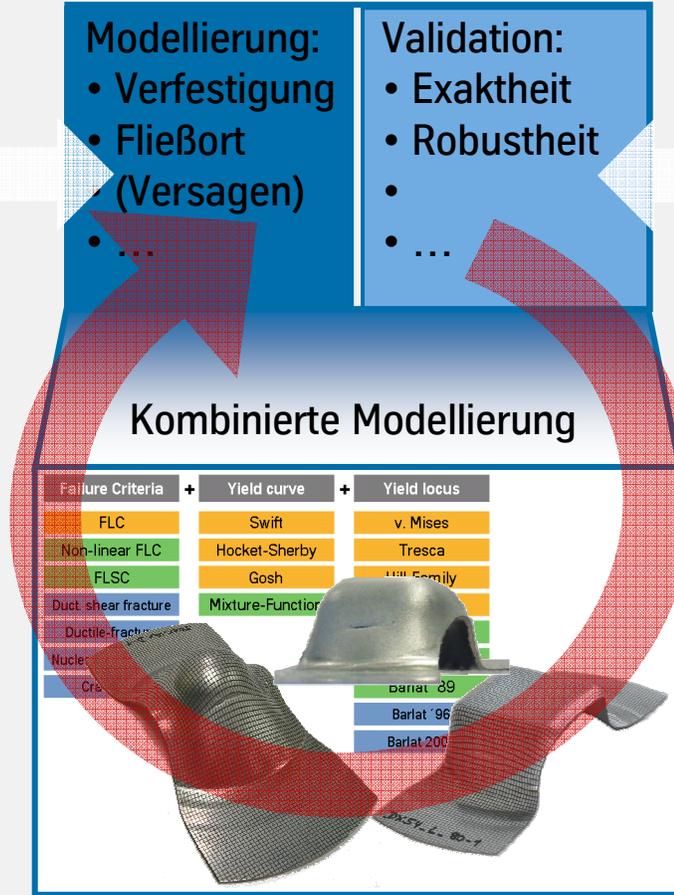
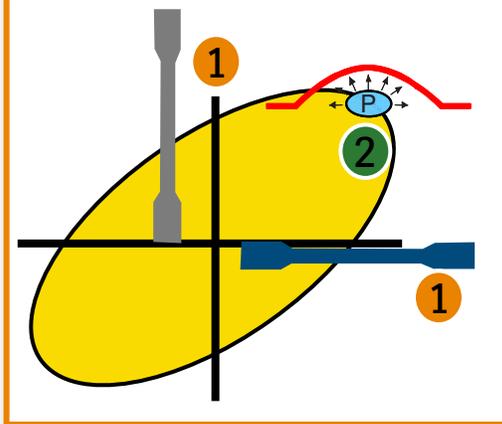
### Anwendung:

- Teil 01
- Teil 02
- Teil 03
- ...

Werkzeugbau

### Kombinierte Modellierung

Failure Criteria	+	Yield curve	+	Yield locus
FLC		Swift		v. Mises
Non-linear FLC		Hockett-Sherby		Tresca
FLSC		Gosh		11th Family
Duct. shear fracture		Mixture-Function		
Ductile fracture				
Nucleation				Barlat '89
Creep				Barlat '96
				Barlat 2001

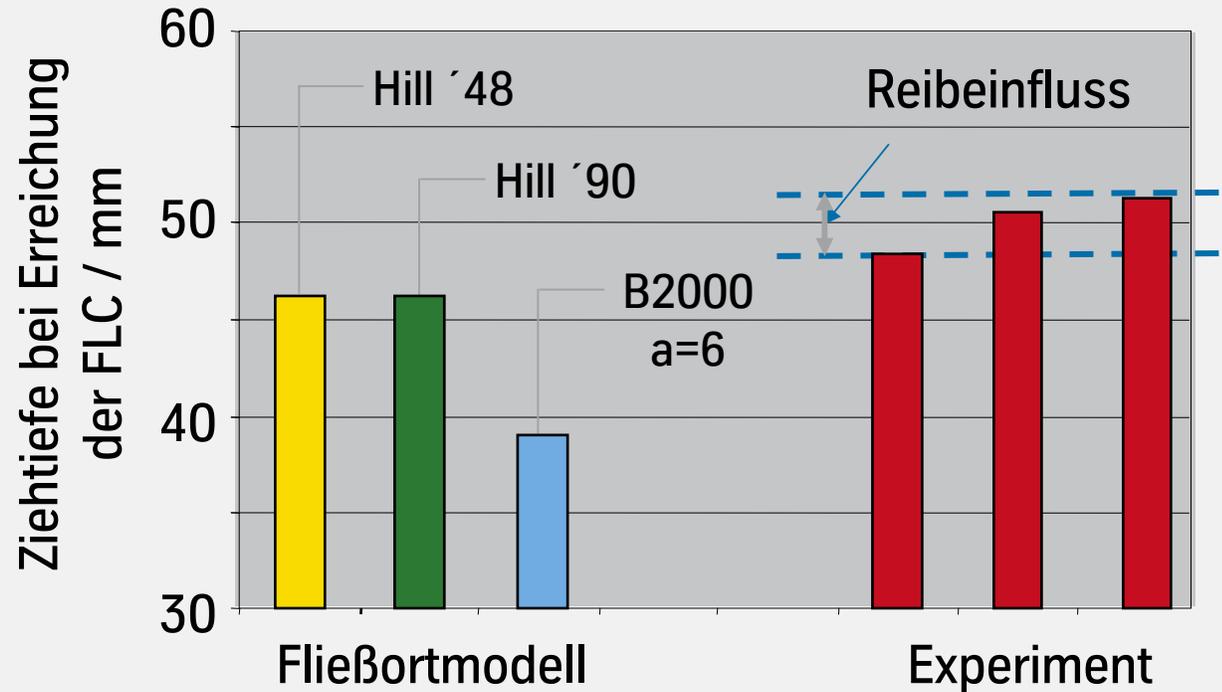
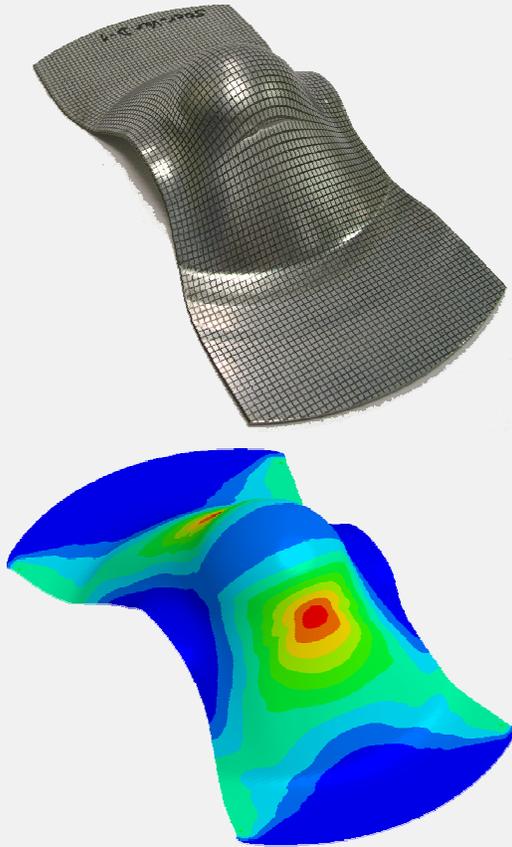


Quelle BMW

Quelle Numisheet 2011: Kessler et al.: Possibilities, Challenges and Risks in Creating Material Cards for Forming Simulations

# Prinzipielle Analyse des Validierungsexperimentes

## Globale Wirkung der Fließortbeschreibung

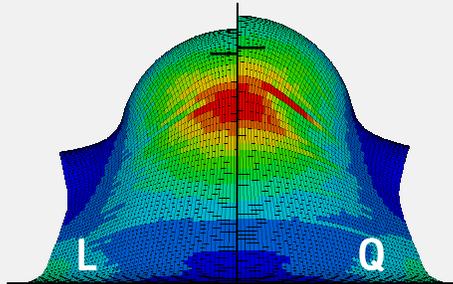


→ Starker Einfluss durch Fließortbeschreibung vorhanden

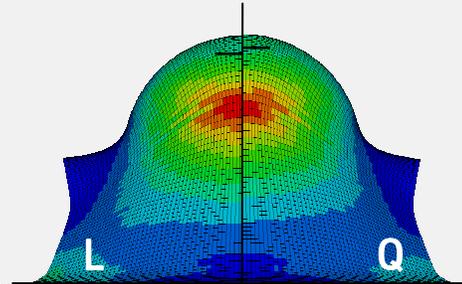
# Validierungsexperiment SE-AG No 1 Halbrundstempel - DC06

## Analyse der Ziehtiefen für unterschiedliche Modellierungen

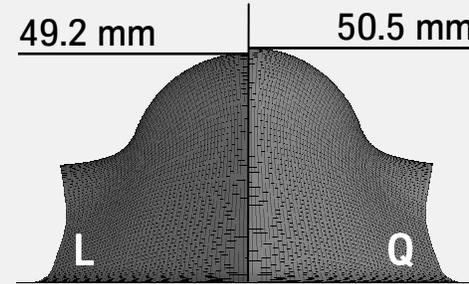
Hill '90



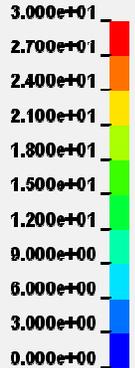
Barlat '89



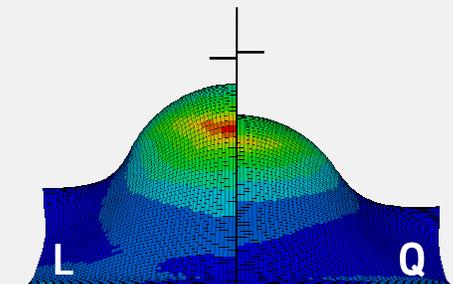
Experiment



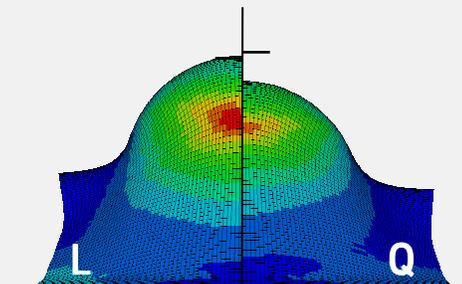
Ausdünnung [%]



Barlat 2000 a=6



Barlat 2000 a=5



### FEM-Input:

- ✓ r-Werte (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_{0.2}$  (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_B$  (Bulge) → Barlat 2000
- ✓ Extrapolation mit Bulge-Test
- ⚡ Dehnrage (SR=off)

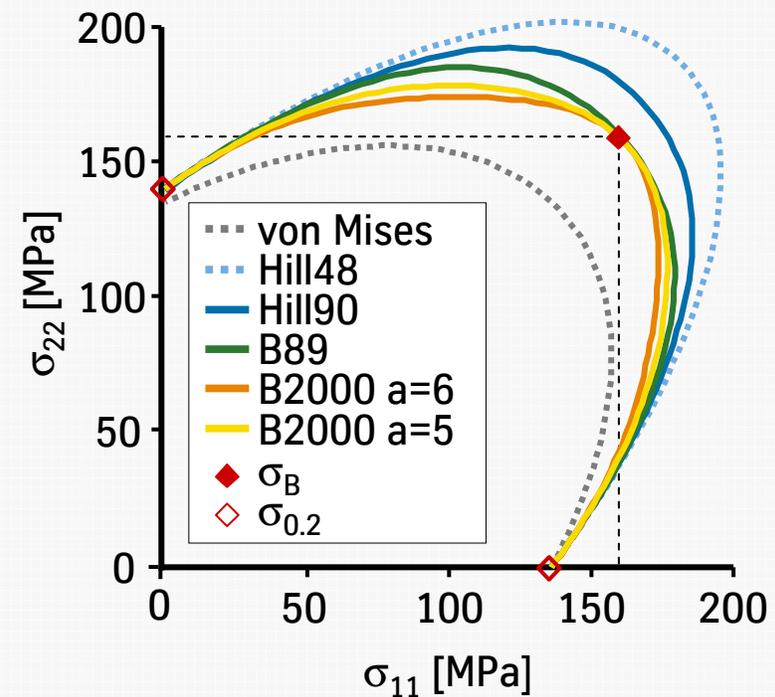
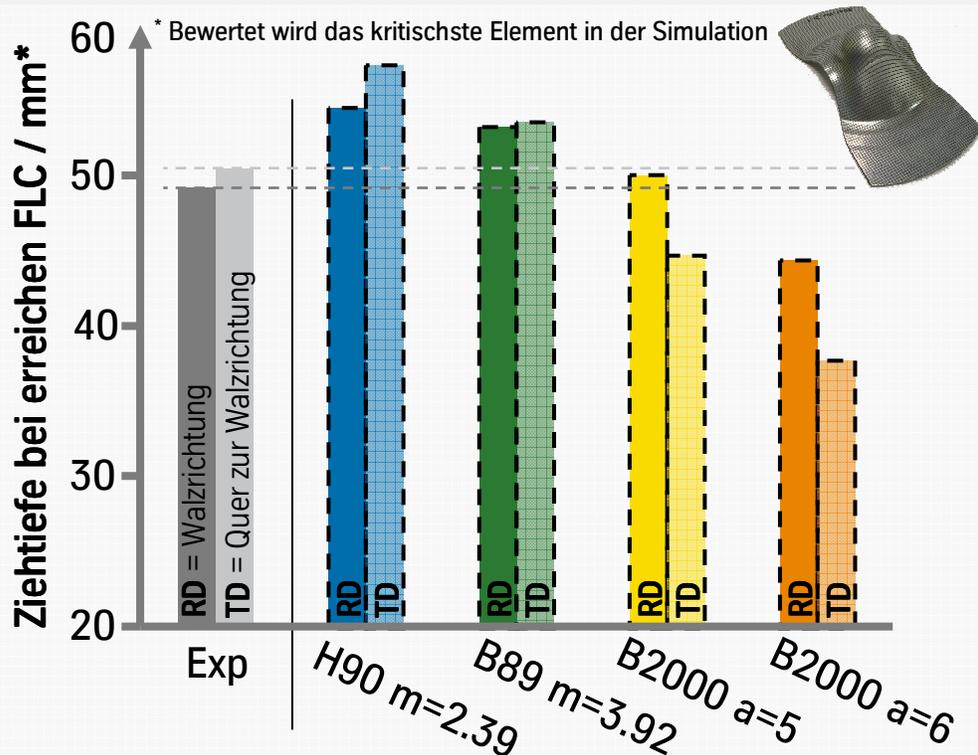
# Validierungsexperiment SE-AG No 1 Halbrundstempel - DC06

## Analyse der Ziehtiefen für unterschiedliche Modellierungen

### FEM-Input:

- ✓ r-Werte (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_{0.2}$  (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_B$  (Bulge)
- ✓ Extrapolation mit Bulge-Test
- ⚡ Dehnrate (SR=off)

Barlat 2000  
B89 & H90



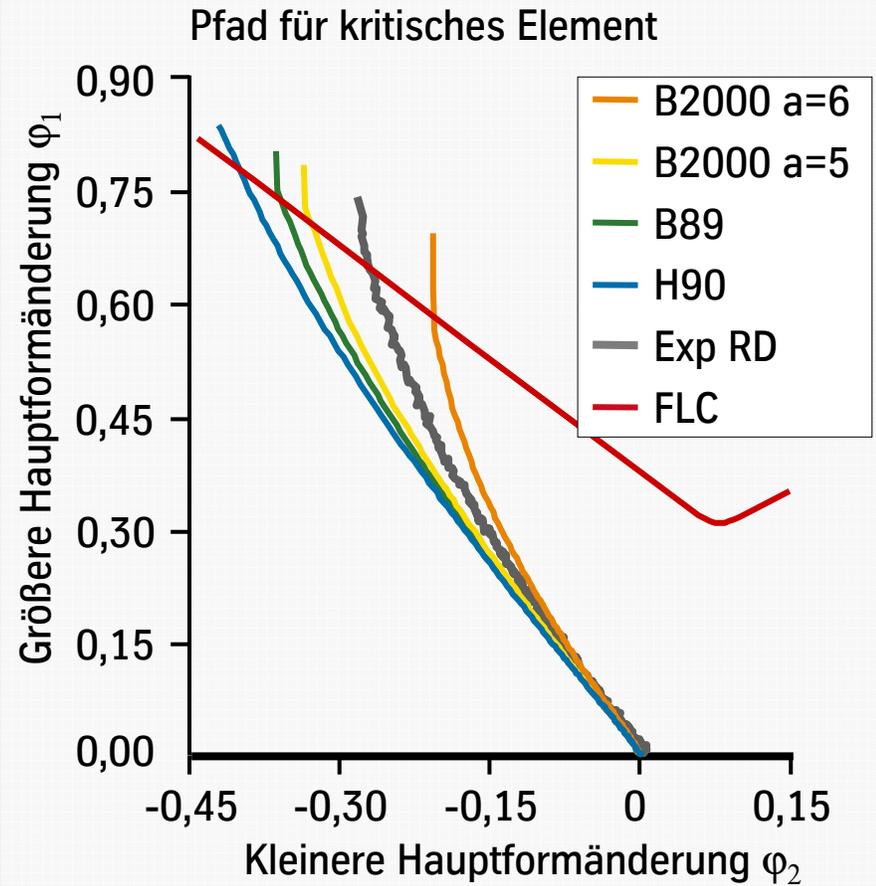
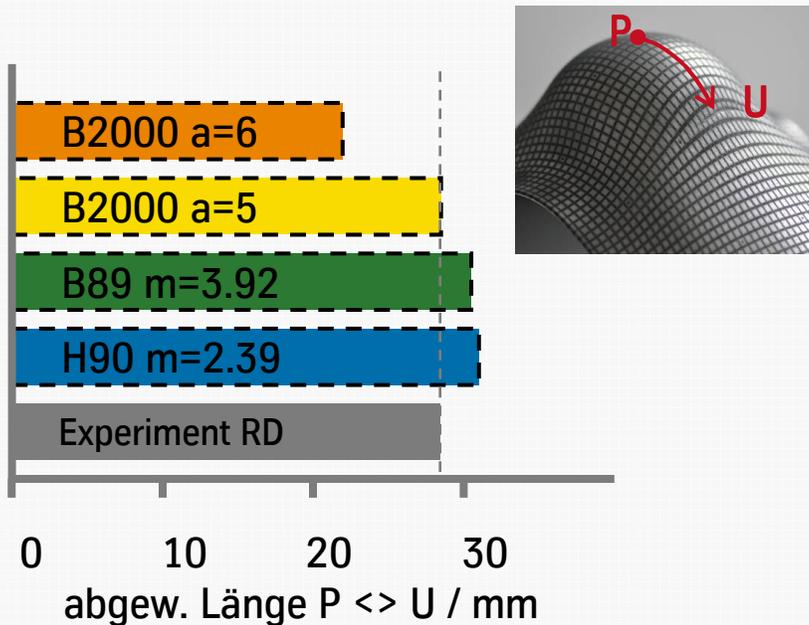
# Validierungsexperiment SE-AG No 1 Halbrundstempel - DC06

## Analyse des Polabstandes für die Rissinitiierungsstelle – RD (=WR)

### FEM-Input:

- ✓ r-Werte (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_{0.2}$  (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_B$  (Bulge)
- ✓ Extrapolation mit Bulge-Test
- ⚡ Dehnrage (SR=off)

**B2000**  
**B89 & H90**



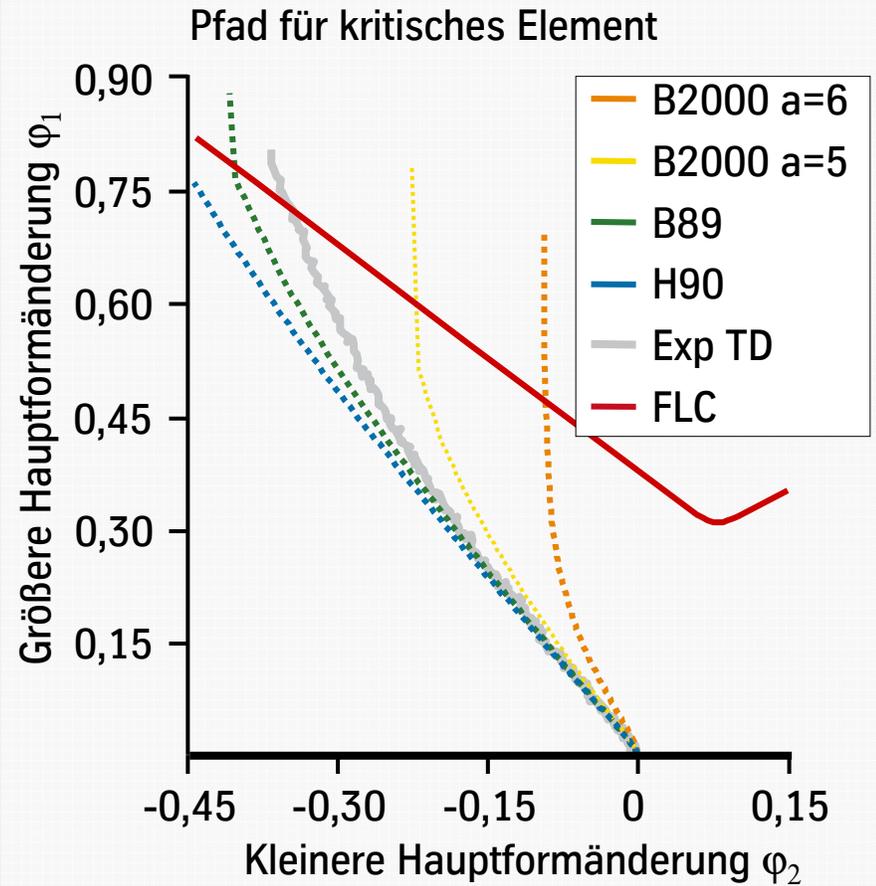
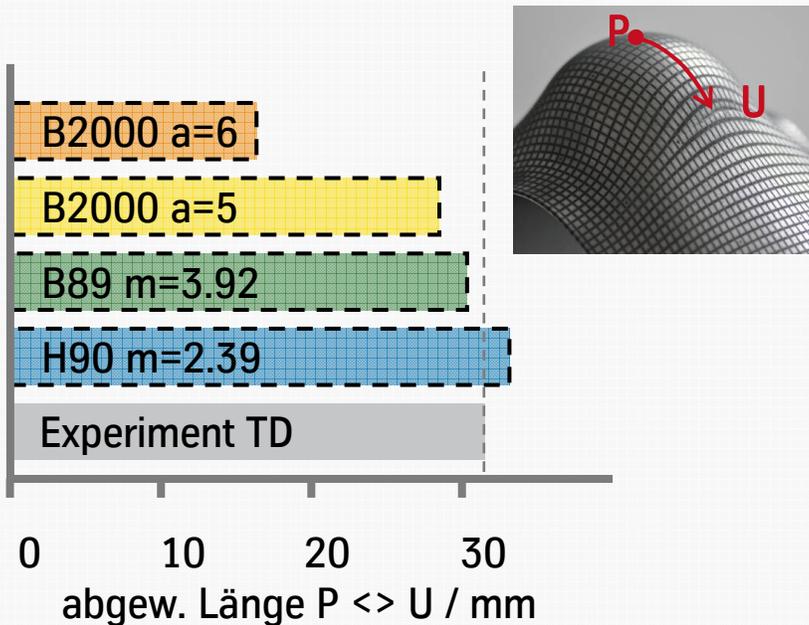
# Validierungsexperiment SE-AG No 1 Halbrundstempel - DC06

## Analyse des Polabstandes für die Rissinitiierungsstelle – TD (=QWR)

### FEM-Input:

- ✓ r-Werte (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_{0.2}$  (0°, 45°, 90°)
- ✓  $\sigma_B$  (Bulge)
- ✓ Extrapolation mit Bulge-Test
- ⚡ Dehnrage (SR=off)

**B2000**  
**B89 & H90**



# Der Materialabgleich für die Umformsimulation

## Gliederung

- Einleitung

---

- Materialmodelle und Daten

---

- Ganzheitliche Betrachtung

---

- **Schlussfolgerungen**



# Materialabgleiche für die Umformsimulation

## Schlussfolgerungen

- Komplexe Fließortmodelle erlauben eine sehr gute Abbildung der Messdaten, verlangen parallel jedoch auch weitere Experimente für den Initialabgleich.
- Die Anwendung der Modelle (Barlat 2000, Banabic 2005) mit Literaturdaten ( $n=6$  oder  $M=6$  für kubisch raumzentrierte Materialien) kann riskant sein, die Identifikation der Parameter über klassische Experimente ist nicht immer zuverlässig.
- Unter Nutzung von speziellen Validierungsexperimenten können Modellalternativen mit wenigen Simulationen schnell im Hinblick auf die Abbildungsgenauigkeit analysiert werden.
  - Dabei ist die Überprüfung von nur einer Belastungsrichtung zur Walzrichtung für die bisher betrachteten Werkstoffe mitunter nicht ausreichend!
  - Eine sichere Auswahl einer optimalen Werkstoffmodellierung bedarf der parallelen Erfüllung mehrerer Validierungsexperimente mit einer Modellierung.
  - Für unterschiedliche Stahlwerkstoffe ergab der Exponent von 6 nie das beste Ergebnis in den Validierungsexperimenten.



# Materialabgleiche für die Umformsimulation

## Fazit

- Aus Sicht der TKSE AG ist die Validierung einer Materialmodellierung anhand eines Zusatzexperimentes zur Absicherung der Ergebnisgüte unabdingbar.
- Mithilfe des vorgestellten Validierungsexperimentes ist schnell und robust eine Abschätzung der Güte einer Materialmodellierung möglich.
- Aus einem Validierungsversuch lässt sich ohne weiteres ableiten, ob sich der Einsatz einer höherwertigen Modelgüte auch lohnt, welcher immer mit zusätzlichem Aufwand und Kosten verbunden ist.



# Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Thorsten Beier

ThyssenKrupp Steel Europe AG

Forschung und Entwicklung - FuE-A Umformtechnik

Telefon / Phone: +49 231 844 5796

E-Mail: [thorsten.beier@thyssenkrupp.com](mailto:thorsten.beier@thyssenkrupp.com)



# Materialabgleiche für die Umformsimulation

## Literaturhinweise

### 2010

Beier T. , Gerlach J., Kessler L., Linnepe, M.: *A discussion of benefits and challenges by using multiparameter yield locus models in FEM-simulation*, Proc. Iddrg 2010, Graz, 2010

Gerlach J., Kessler L., Koehler A.: *The forming limit curve as a measure of formability –Is an increase of testing necessary for robustness simulations?* Proc. Iddrg 2010, Graz, 2010

Beier T. , Gerlach J., Kessler L., Linnepe M.: *The Impact of Advanced Material Simulation Parameters in Press Shop Operations Using Mild Steel Grades*, Proc. SAE 2010, Detroit, 2010

Gerlach J., Kessler L., Koehler A., Paul U.: *Methode zur näherungsweisen Berechnung von Grenzformänderungskurven aus den Kennwerten des Zugversuches*, Stahl und Eisen 130 (2010), Nr. 10

### 2011

Kessler L., Gerlach J., Beier T., Grass H., Heinle I., Lipp A.: *Possibilities, Challenges and Risks in Creating Material Cards for Forming Simulations*, Proc. Numisheet 2011, Seoul, 2011

Gerlach J., Beier T. Kessler L., Grass H., Heinle I., Lipp A.: *Identification and validation of yield locus parameters with respect to industrial forming simulation needs*, Proc. ICTP 2011, Aachen, 2011

