

Trends bei der Werkstoffmodellierung und Bewertung von höherfesten Werkstoffen in der Umformsimulation

Michael Linnepe; Dr. Lutz Keßler; Dr. Jörg Gerlach; Hartwig Rösen
Ulm, LS-Dyna User Meeting, 13.10.2006

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung und Bewertung Gliederung

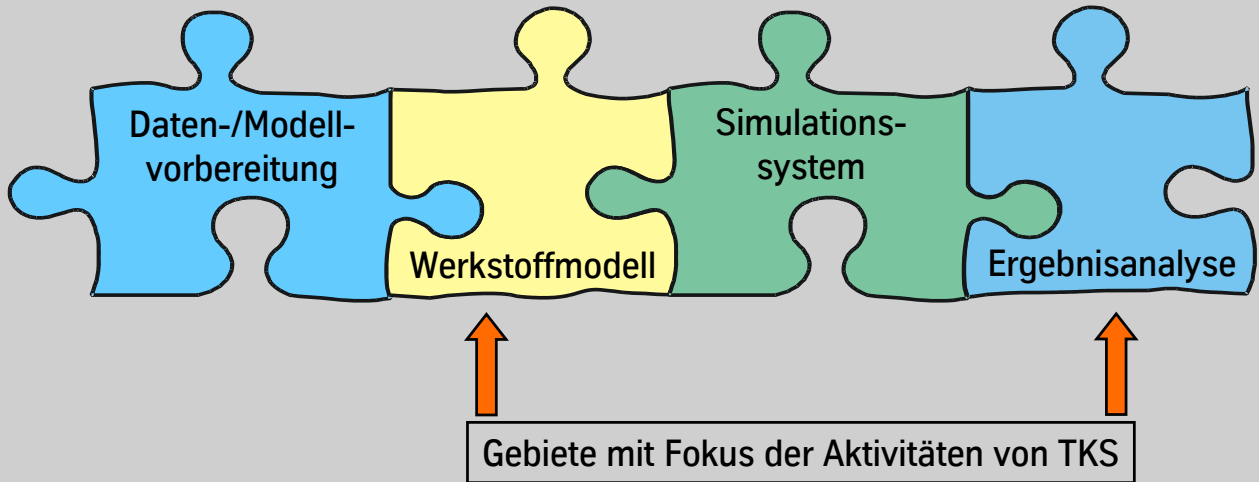
- Status der allgemeinen Umformsimulation
- Werkstoffmodelle
 - Der Fließort
 - Die Verfestigung
- Ein Beispiel für Vereinfachungen der Werkstoffbeschreibung
 - Die ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)
- Bewertung der numerischen Ergebnisse
 - Erweiterungen bestehender Verfahren
 - Nutzung neuer Kriterien für höherfeste Stahlwerkstoffe
- Zusammenfassung und Ausblick

ThyssenKrupp Steel



Bausteine der Umformsimulation

Themenfelder für eine erfolgreiche Simulation

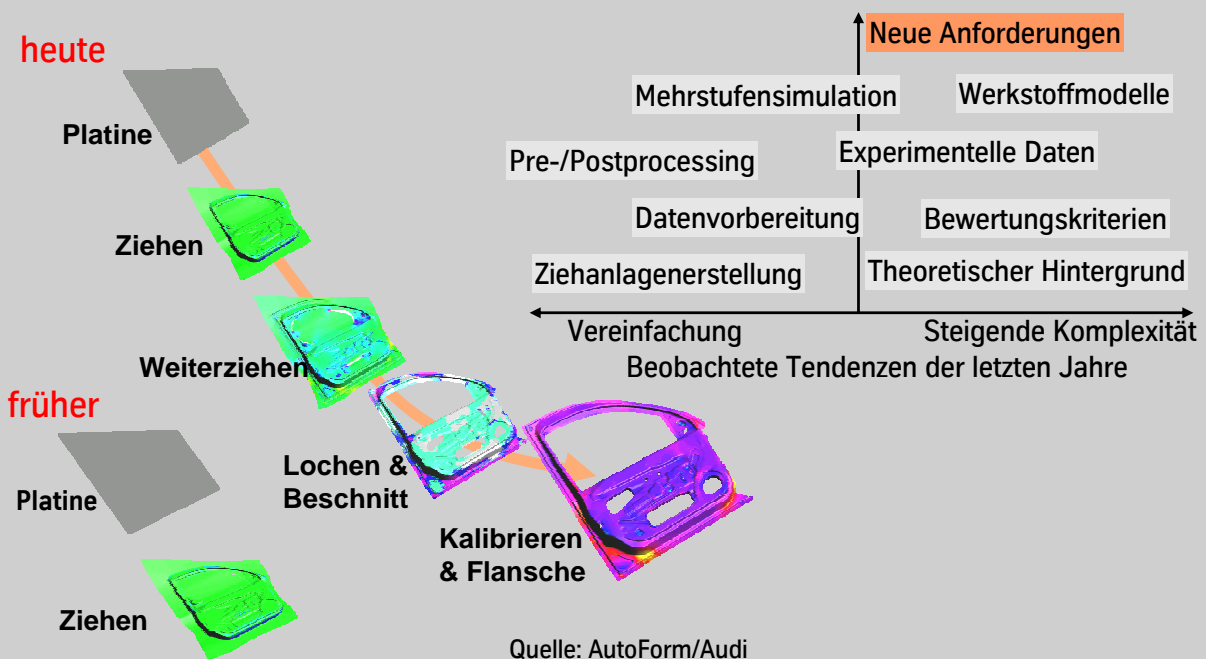


ThyssenKrupp Steel



Anwendung der Umformsimulation

Veränderungen in der Komplexität und der Anwendung der FEM



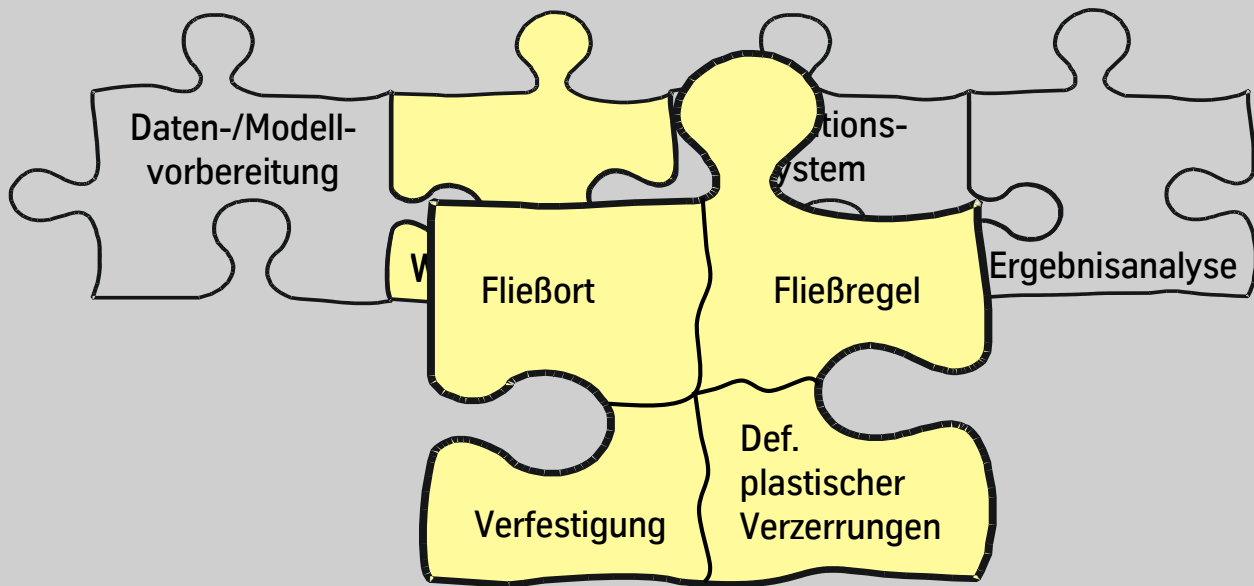
Quelle: AutoForm/Audi

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Das Werkstoffmodell

Die vier Komponenten der Werkstoffmodellierung



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Fließbortkurve

Umsetzung in die Industrieanwendung am Beispiel AutoForm

→ Bis 1989		Die Jahre 1990 Bis 1999		Seit 1999 →	
Hill	1948	Weixian	1990	Banabic et al	2000
Bassani	1977	Hill	1990	Cazacu-Barlat	2001
Gotoh	1977	Barlat et al	1991	Barlat et al	2003
Hill	1979	Karafillis-Boyce	1993	Pron-Beson	2003
Budiansky	1984	Hill	1993	Banabic et al	2003
Barlat-Lian	1989	Barlat et al	1994	Aretz	2004
		Tourki et al	1994	Aretz-Barlat	2004
		Chu	1995	Cazacu-Barlat	2005
		Ling and Ding	1996	Hu	2005
		Barlat et al	1997	Banabic	2005
		Vegter	1998		
		Banabic-Balan	1999		

In AutoForm implementierte Modelle
 In AutoForm zukünftig vorgesehen

Quelle: Banabic, FLC-Tagung, Zürich 2006

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung - Fließortkurve

Erhöhung der Komplexität zur Bestimmung der Parameter



Author, Year	σ_0	σ_{30}	σ_{45}	σ_{75}	σ_{90}	σ_b	τ	r_0	r_{30}	r_{45}	r_{75}	r_{90}	r_b	3D	A1	A2
Hill's family																
Hill 1948	x							x		x		x			x	
Hill 1979	x													x	x	
Hill 1990	x		x		x					x					x	
Hill 1993	x				x	x		x				x			x	x
Chu 1995	x														x	
Lin, Ding 1996	x														x	x
Hu 2005	x														x	x
Alle Parameter aus dem Zugversuch																
Hosford's family																
Hosford 1979	x							x					x		x	
Bartat 1989	x						x	x					x		x	
Bartat 1991	x		x		x	x								x	x	
Karafilis,Boyce 1993	x		x		x			x		x		x		x	x	x
Bron-Besson 2003	x		x		x	x		x		x		x		x	x	x
Bartat 1996	x		x		x	x		x		x		x		x	x	x
BBC 2000	x		x		x					x		x			x	x
Bartat 2003	x		x		x					x		x	x		x	x
BBC 2003	x		x		x	x		x		x		x	x		x	x
Aretz - Bartat 2004	x									x		x	x		x	x
Zugversuch und Zusatzexperimente																
Drucker's family																
Cazacu-Bartat 2001	x														x	x
Cazacu-Bartat 2005	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x

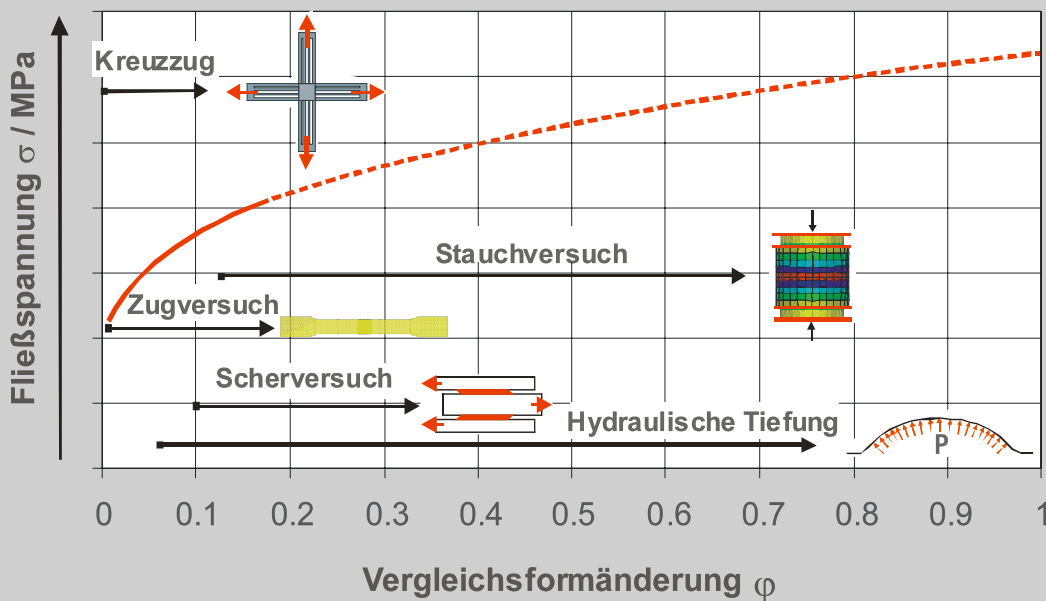
Quelle: Banabic FLC 2006

ThyssenKrupp Steel



Erweiterung der Fließkurven zu höheren Umformgraden

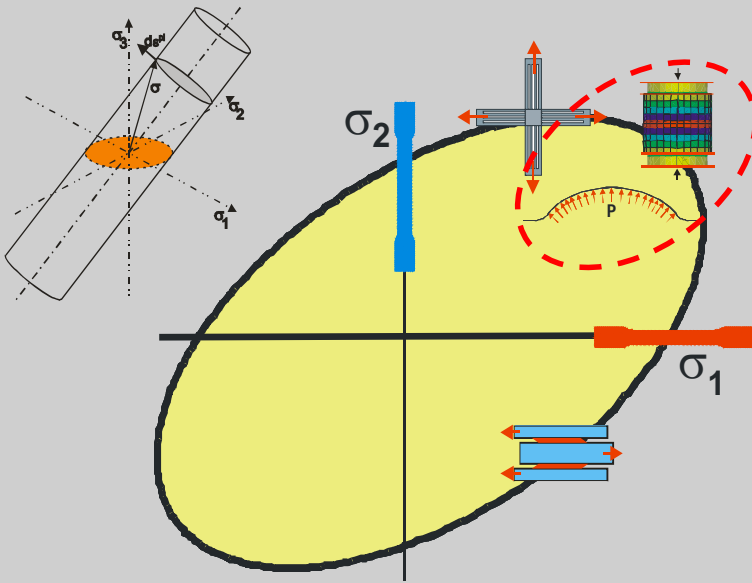
Prüfverfahren zur Bestimmung von Fließkurven



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Die Verfestigung Zuordnung von Prüfverfahren zum Spannungsraum



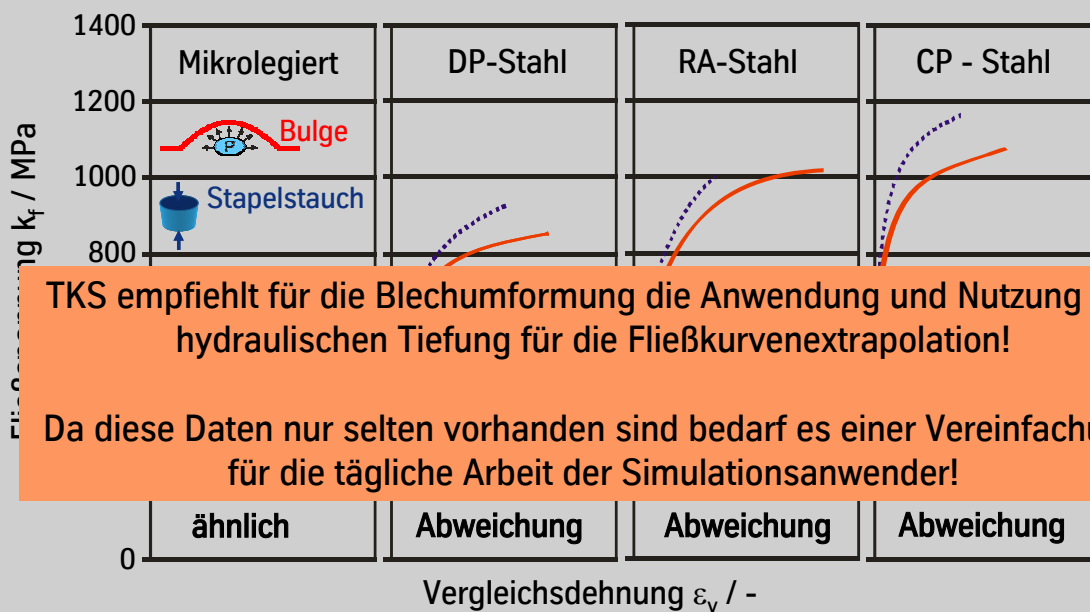
Feststellungen:

- Die mit unterschiedlichen Verfahren ermittelten Fließspannungen basieren oftmals auf anderen Spannungsverhältnissen
- Die Randbedingungen der Versuche sind nicht konsistent (z.B. Dehnrage ≠ konstant)

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Die Verfestigung Auswirkung der Prüfstrategie auf das Verfestigungsverhalten



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung und Bewertung Gliederung

- Status der allgemeinen Umformsimulation
- Werkstoffmodelle
 - Der Fließort
 - Die Verfestigung
- Ein Beispiel für Vereinfachungen der Werkstoffbeschreibung
 - Die ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)
- Bewertung der numerischen Ergebnisse
 - Erweiterungen bestehender Verfahren
 - Nutzung neuer Kriterien für höherfeste Stahlwerkstoffe
- Zusammenfassung und Ausblick

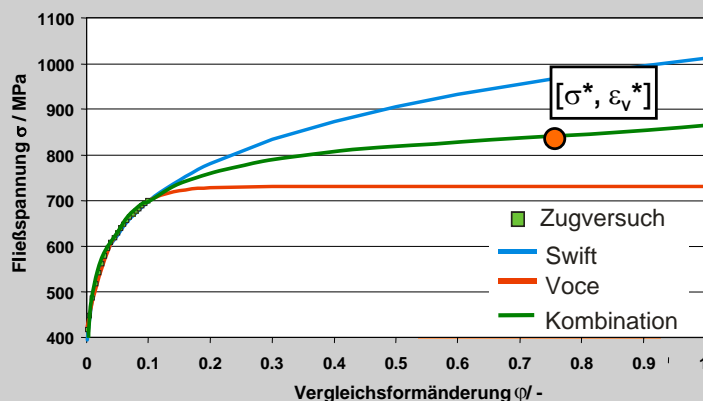
ThyssenKrupp Steel



ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM) Mathematische Formulierung der Verfestigung

Vorgehen zur Extrapolation:

- Anpassung von Swift und e-Funktion im Zugversuch
- Nutzung des „Zusatzpunktes“ zur Bestimmung des Kombinationsfaktors α



Definition:

$$\sigma_v = f(\varepsilon_v)$$

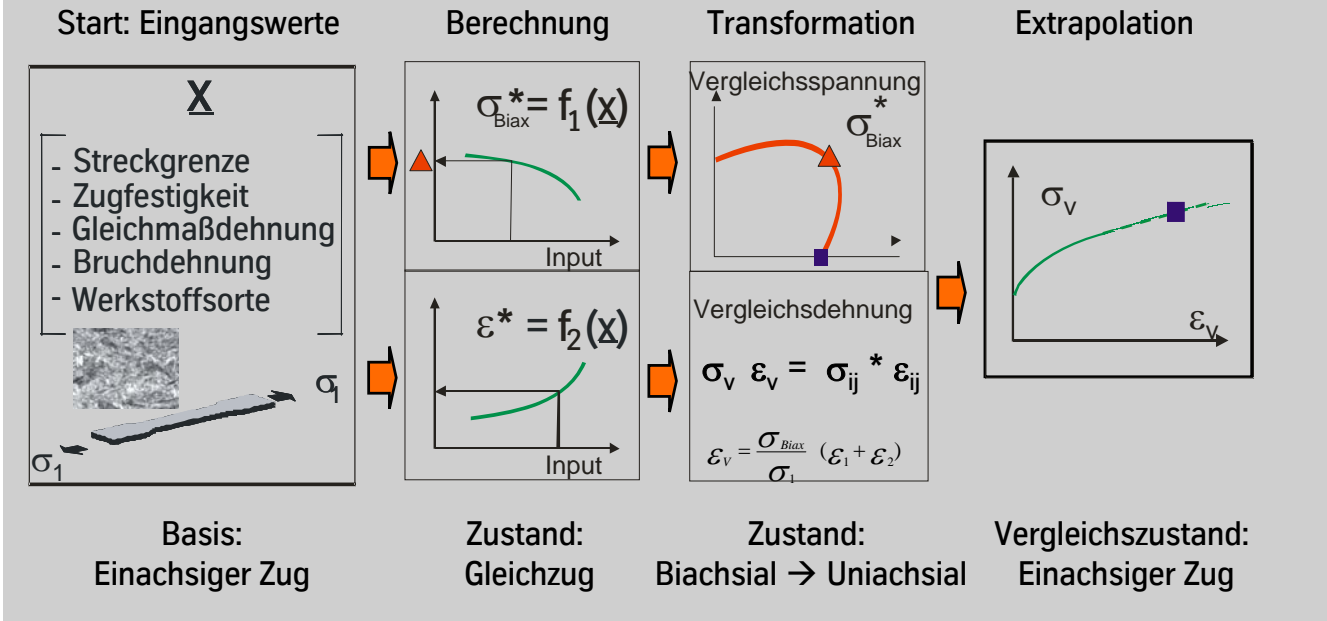
$$= \alpha * \text{Swift} + (1 - \alpha) * \text{e-Fkt.}$$

ThyssenKrupp Steel



ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)

Konsistente Werkstoffmodelle und Extrapolationsabsicherung

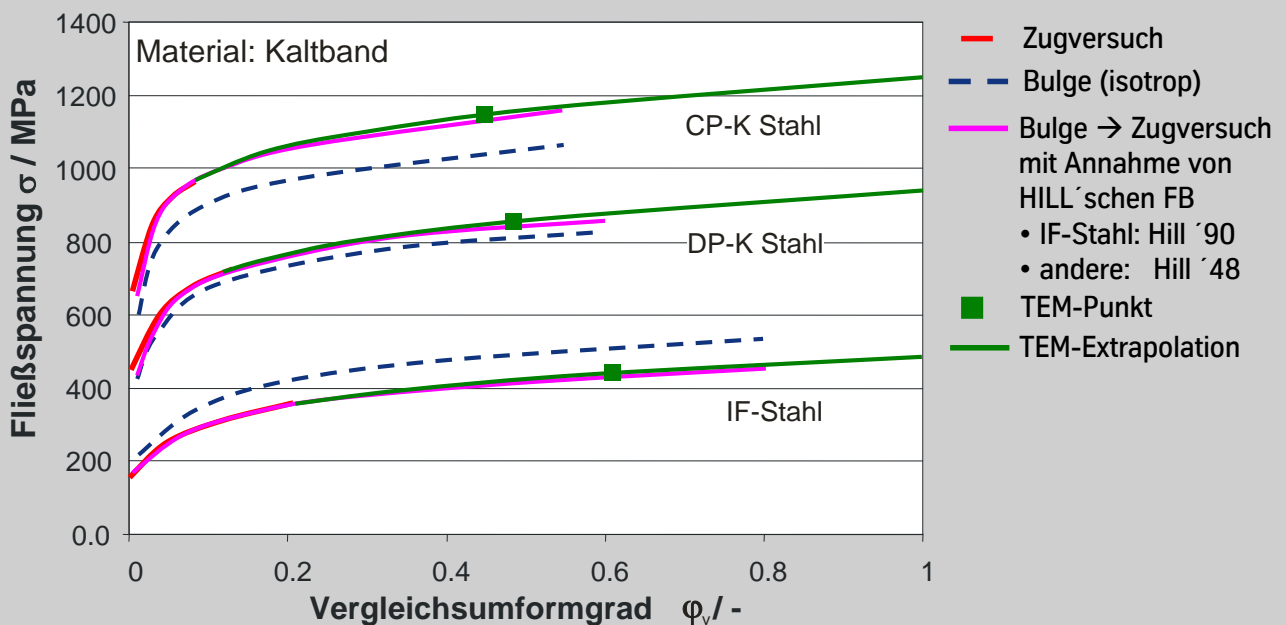


ThyssenKrupp Steel



TEM ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)

Beispiele in unterschiedlichen Festigkeitsklassen von Kaltband



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung - Verfestigung

Ein Zwischenfazit

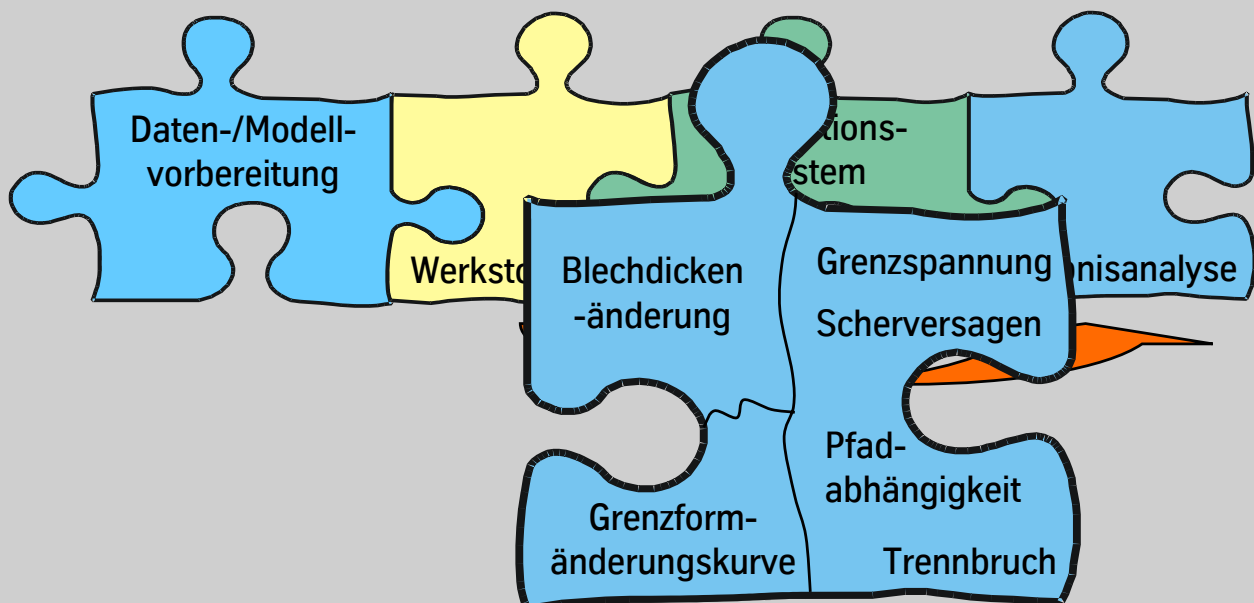
- Moderne Stahlwerkstoffe zeigen ein teilweise von der Belastung abhängiges Verfestigungsverhalten
- Da die meisten Preßwerksfehler im Bereich von Zugspannungen entstehen, empfiehlt TKS für seine Werkstoffe die Extrapolation anhand von hydraulischen Tiefungsversuchen
- Zur Vereinfachung der empfohlenen Extrapolation gemäß der Ergebnisse aus der hydraulischen Tiefung wurde die ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode entwickelt
- Mit der TEM kann für jedes Kaltband mit $R_m < 850$ MPa eine konsistente Beschreibung anhand von Daten aus dem Zugversuch durchgeführt werden

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Berechnung – Ergebnisanalyse

Entwicklung von Bewertungskriterien



ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse

Bewertung nicht-linearer Formänderungspfade I

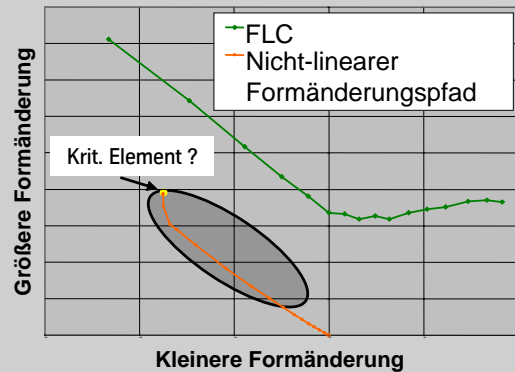
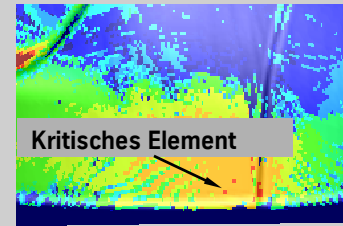
Die Anwendung der Grenzformänderungskurve (FLC) zur Interpretation der Prozesssicherheit gilt wenn:

- o alle Formänderungen im Bauteil immer gleichgerichtet waren (lineare Pfade)
- o nur die Dehnungen auf der Mittelschicht (Membran) bewertet werden

Müschenborn und Sonne haben bereits 1974 den Einfluss von nicht-linearen Formänderungspfad mit dem folgenden Ergebnis ermittelt:

- o Ein Werkstoffversagen ist Pfadabhängig und kann sowohl oberhalb als auch unterhalb der FLC auftreten.

Offene Frage: Ist die Bewertung dieses bereits seit 30 Jahren bestehenden Wissens heute notwendig?



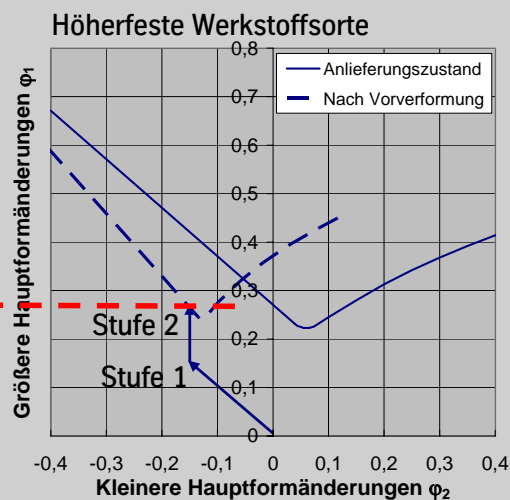
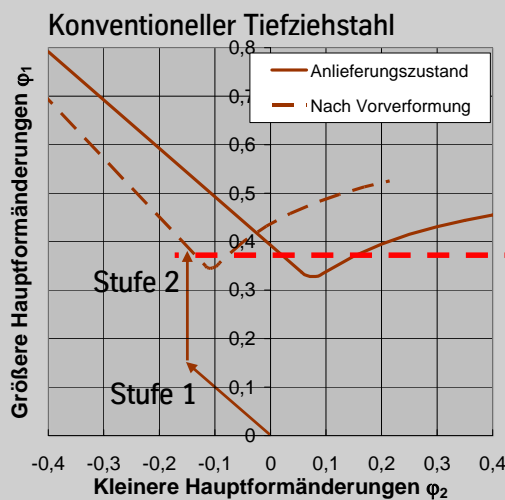
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse

Bewertung nicht-linearer Formänderungspfade II

Verringerung der Umformreserve bei höherfesten Werkstoffen bei gleicher Vorbelastung

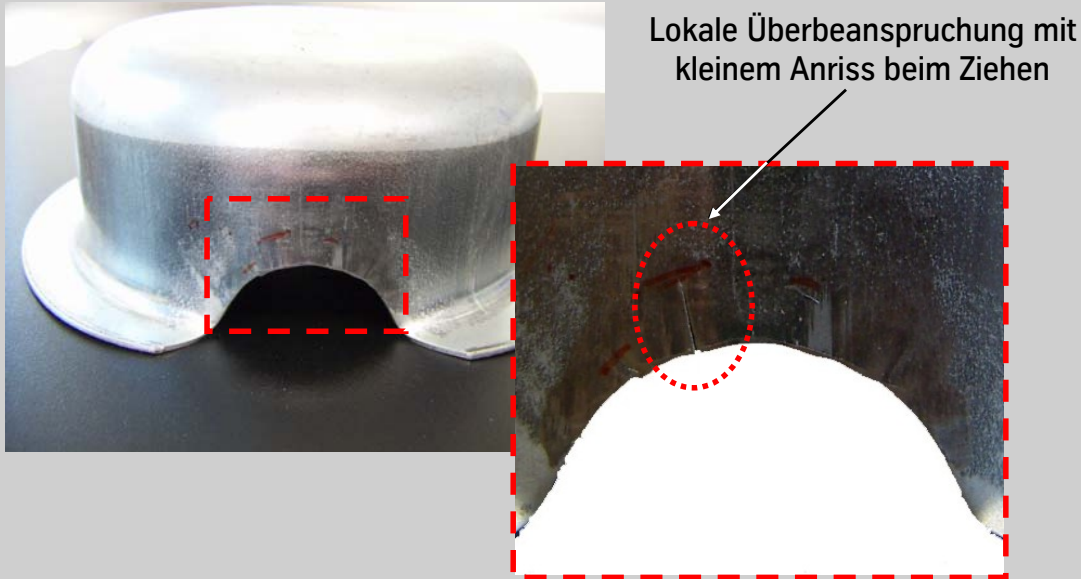


→ Eine exakte Analyse der Formänderungspfade zur Prozessabsicherung bei Bauteilen aus höherfesten Werkstoffsorten ist empfehlenswert.

ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse Höherfeste Werkstoffe - Lokale Werkstoffüberbeanspruchungen



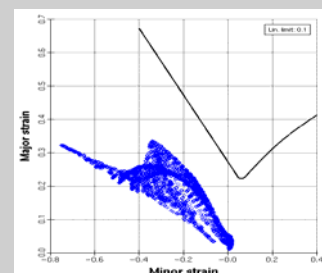
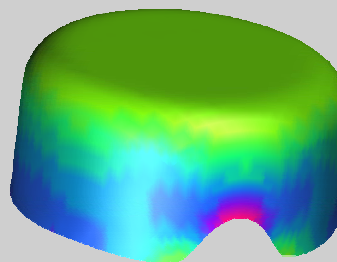
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse Bewertung eines Aufdickung über die Scherbruchwahrscheinlichkeit

Bisherige Einwertung des Ziehteils:

- **Ausdünnung i.O.**
- **Abstand zur FLC i.O.**



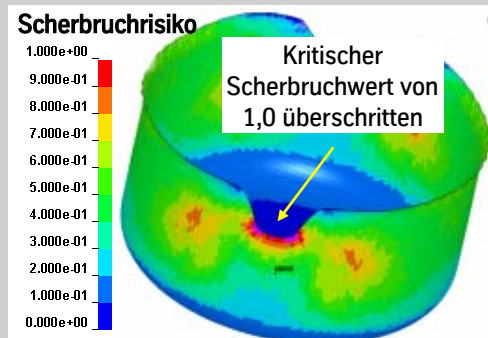
Erweiterung um ein Scherbruchrisiko*:

$$\varepsilon_{eq}^{**} \Big|_{shear\ fracture} = d_2 \exp(-f \theta) + d_3 \exp(f \theta)$$



* Modell der Fa. Matfem

- **Ausdünnung i.O.**
- **Abstand zur FLC i.O.**
- **Scherbruchbewertung n.i.O.**



ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse

Bewertung lokaler Überbeanspruchungen über die Blechdicke

Bisherige Einwertung des Ziehtteils:

- Ausdünnung (Blechdicke)
- Formänderung auf der Mittelschicht



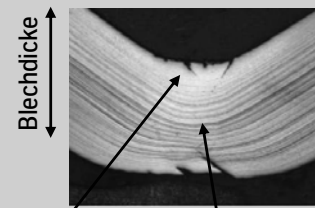
Trendentwicklung bei den Bauteilen:

- steigende Blechdicken und
- steigende Festigkeiten



Eine Auswertung der Simulation über die Blechdicke muss im Einzelfall durchgeführt werden!

Anwendungsbeispiel:



Lokales Versagen

Neutrale Faser = Membrandehnung in der FEM (ca. 0 % Dehnung)

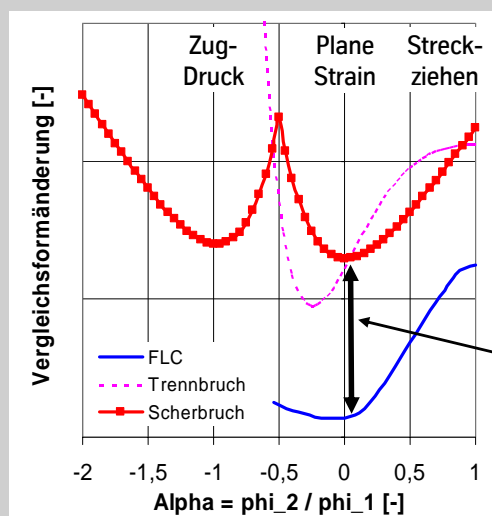
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse

Erweiterte Analyse – Neue Bewertungsmodelle

Interpretation der Versagenswahrscheinlichkeit mit dem CrachFEM-Modell der Fa. Matfem (Instabilität, Scherversagen, Duktiler Trennbruch)



Vorgehensweise bei der Bewertung

- **Instabilität** wird auf der Membranebene bewertet (entspricht FLC)
- **Scherbruch** wird wahlweise auf der Mittelschicht oder Oberfläche bewertet
- **Duktiler Trennbruch** wird auf der Oberfläche bewertet

Vereinfachte Interpretation:

Nur dieser Formänderungsunterschied darf durch die Kombination von Blechdicke und z.B. Biegeradius für die Oberflächendehnung ausgenutzt werden!

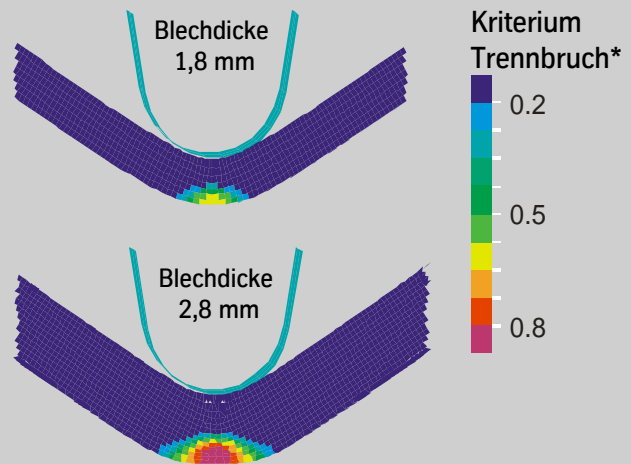
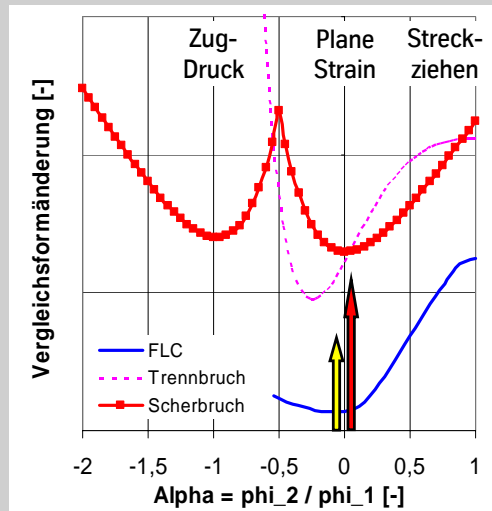
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Bewertung

Erweiterte Analyse – Bewertung lokaler Überbeanspruchungen

Auswirkung der Blechdickenänderung auf die lokale Belastung des Werkstoffes bei einer einfachen Biegeoperation mit gleichem vorgegebenen Biegewinkel



*Der Wert 1,0 bedeutet ein wahrscheinliches Versagen.

ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung und Bewertung

Zusammenfassung und Ausblick

- Auf vielen Themengebieten der FEM kann eine mitunter rasante Entwicklung von Methoden festgestellt werden, die alle zur Erweiterung und Verbesserung der Prozesssicherheit führen sollen.
- Der verstärkte Einsatz höherfester Stahlwerkstoffe kann in Einzelfällen auch die Anwendung von neuen Beschreibungen und Bewertungsmethoden für die Absicherung der Bauteilmachbarkeit erfordern.
- Im industriellen Umfeld sind derzeit Ansätze zu beobachten, die diesen Anforderungen gerecht werden und z.B. die Bewertung verschiedener Formen einer Werkstoffüberbeanspruchung gestatten.
- Um mit diesen Methoden eine verbesserte virtuelle Aussage treffen zu können, sind mehrere Punkte in Kombination zu erfüllen:
 - Generierung eines spezifischen Wissens (beim individuellen Anwender)
 - Höhere Aufwendungen in die Basisdaten und Durchführung der Simulation
 - Weitere Aktivitäten in der Modellentwicklung, Kalibrierung und Anwendung

ThyssenKrupp Steel



Division Auto. Steel in motion.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Michael Linnepe



ThyssenKrupp Steel

