

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

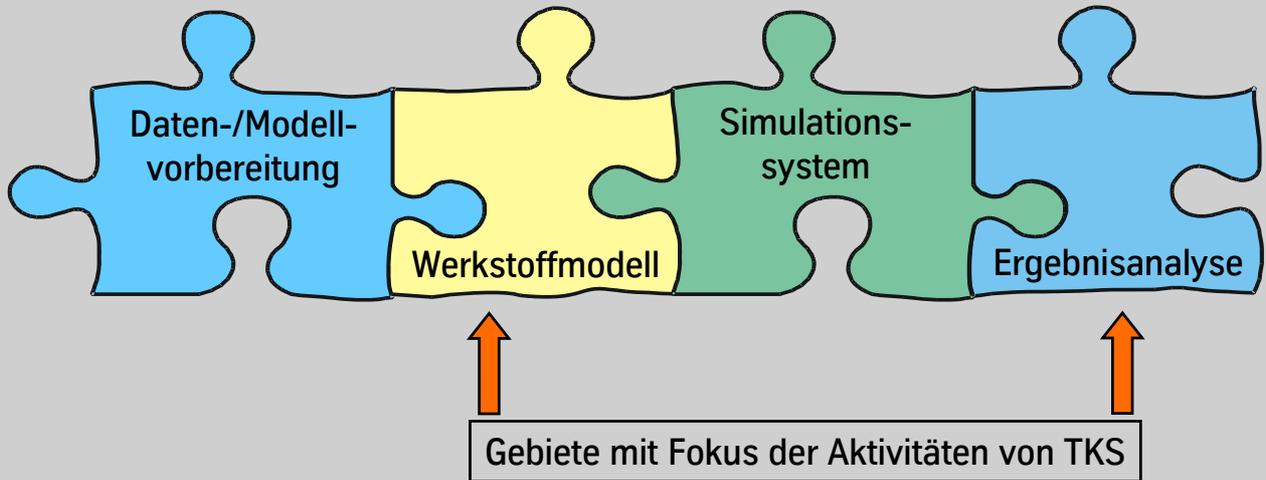
- Status der allgemeinen Umformsimulation
- Werkstoffmodelle
 - Der Fließort
 - Die Verfestigung
- Ein Beispiel für Vereinfachungen der Werkstoffbeschreibung
 - Die ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)
- Bewertung der numerischen Ergebnisse
 - Erweiterungen bestehender Verfahren
 - Nutzung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

ThyssenKrupp Steel



Bausteine der Umformsimulation

Themenfelder für eine erfolgreiche Simulation

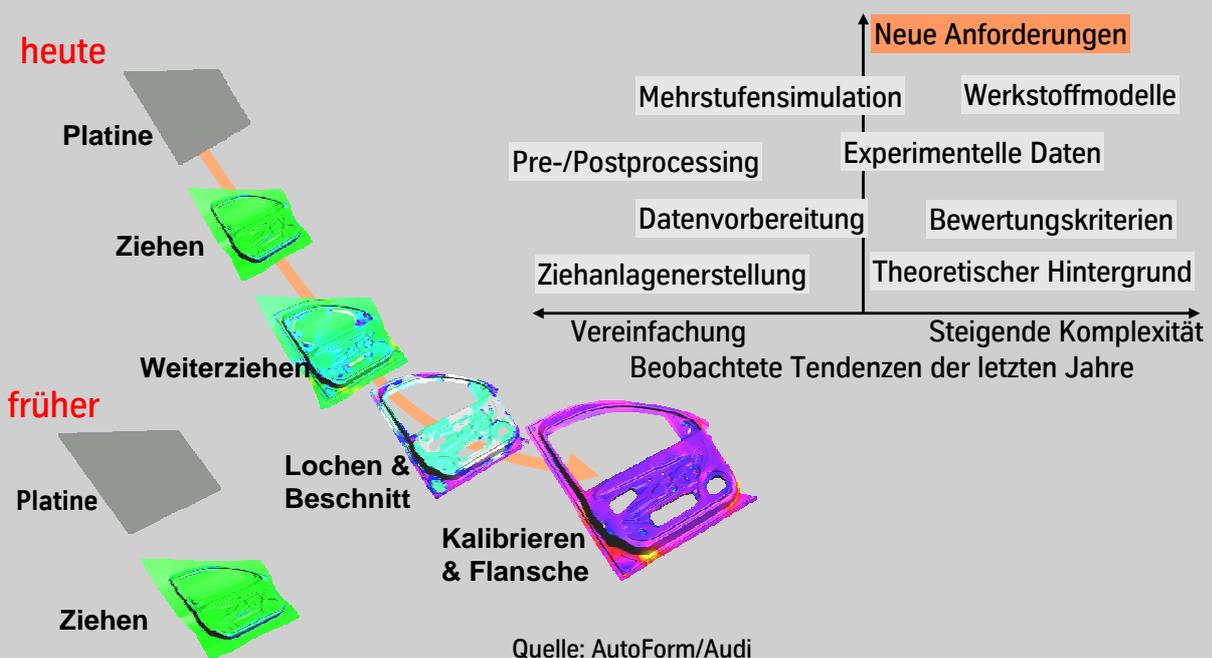


ThyssenKrupp Steel



Anwendung der Umformsimulation

Veränderungen in der Komplexität und der Anwendung der FEM

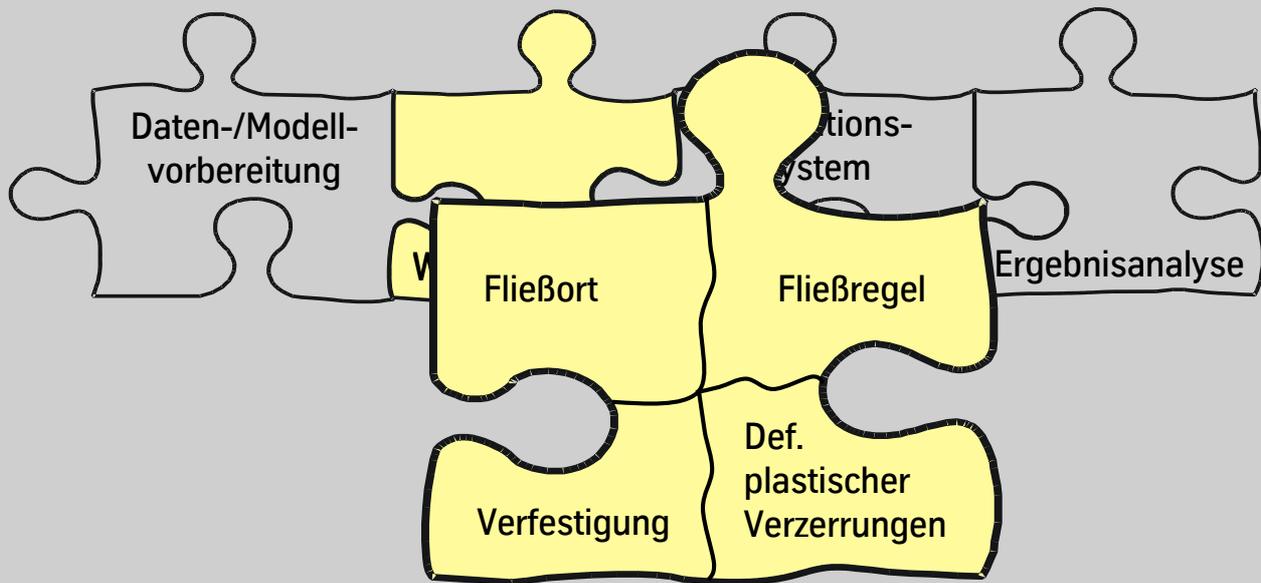


ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Das Werkstoffmodell

Die vier Komponenten der Werkstoffmodellierung



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung – Fließortkurve

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 |

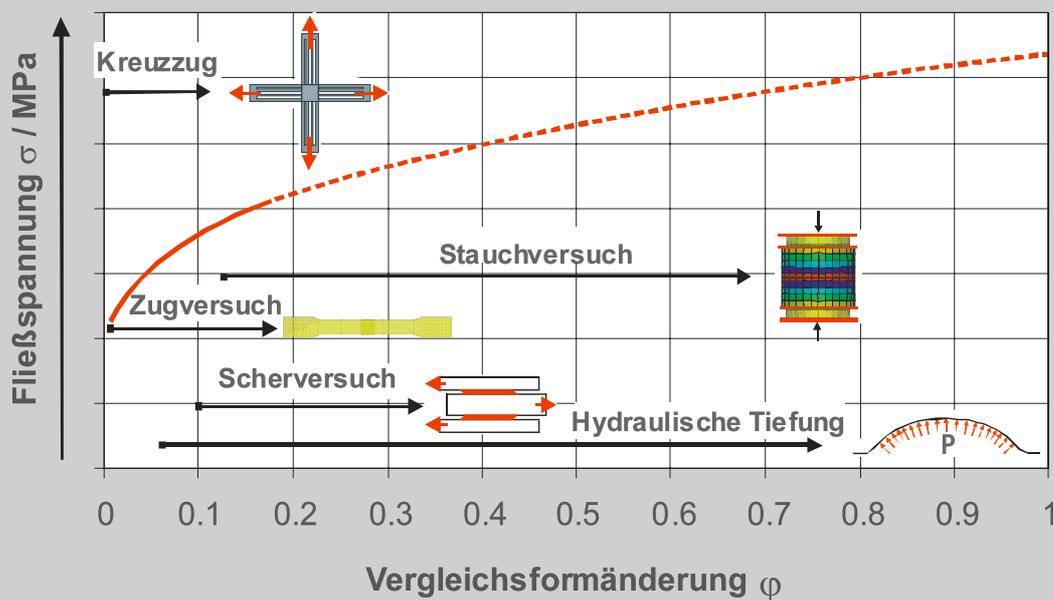
Quelle: Banabic FLC 2006

ThyssenKrupp Steel



Erweiterung der Fließkurven zu höheren Umformgraden

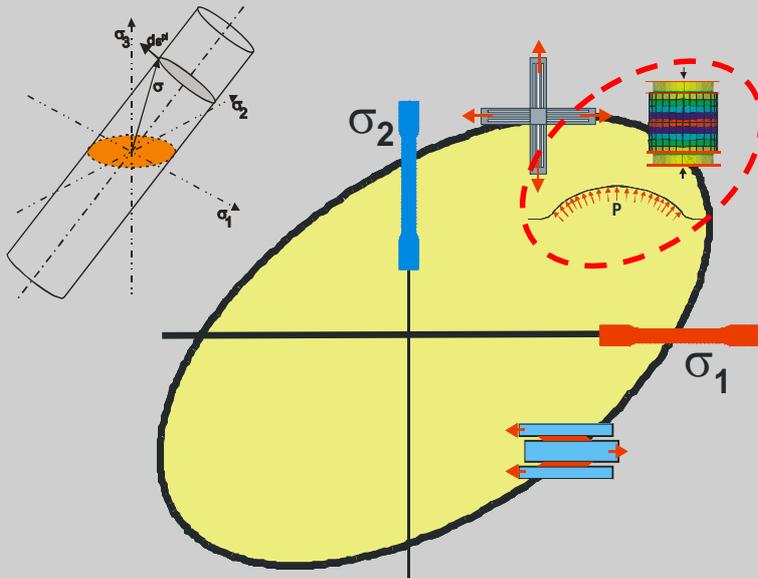
Prüfverfahren zur Bestimmung von Fließkurven



ThyssenKrupp Steel



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



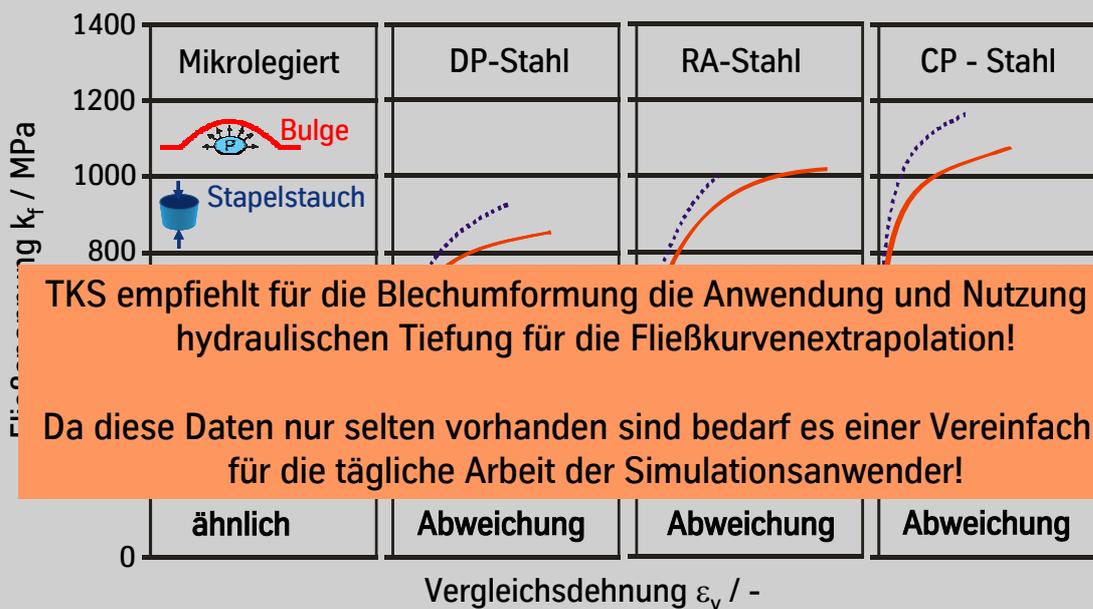
Feststellungen:

- 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



TKS empfiehlt für die Blechumformung die Anwendung und Nutzung der hydraulischen Tiefung für die Fließkurvenextrapolation!

Da diese Daten nur selten vorhanden sind bedarf es einer Vereinfachung für die tägliche Arbeit der Simulationsanwender!

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

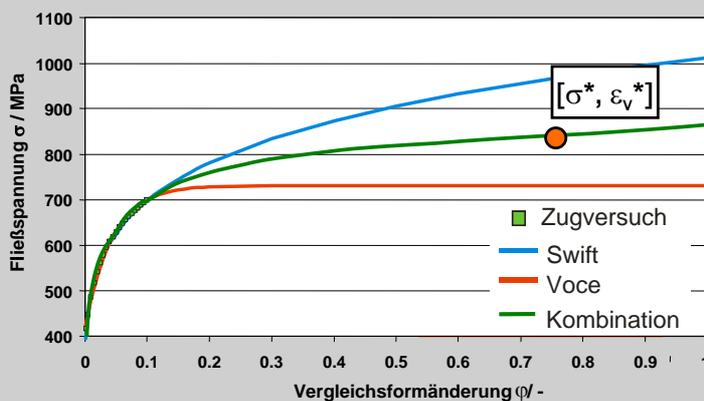
ThyssenKrupp Steel



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:

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

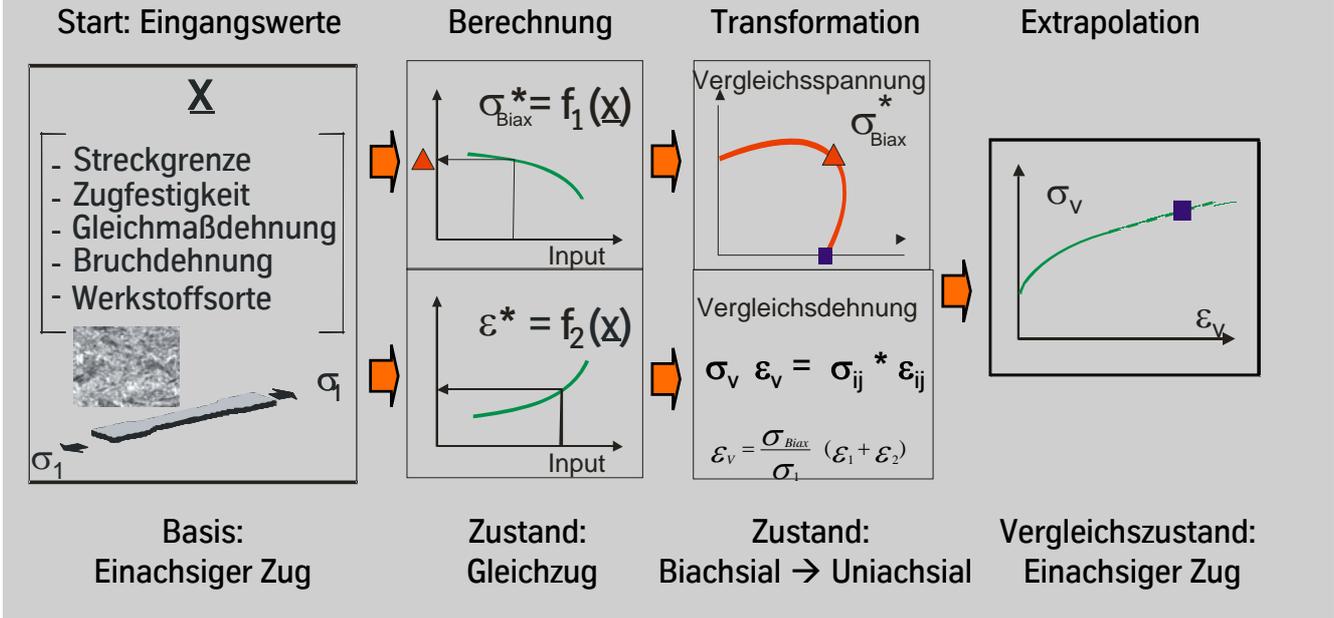
$$= \alpha * \text{Swift} + (1 - \alpha) * \text{e-Fkt.}$$

ThyssenKrupp Steel



ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)

Konsistente Werkstoffmodelle und Extrapolationsabsicherung

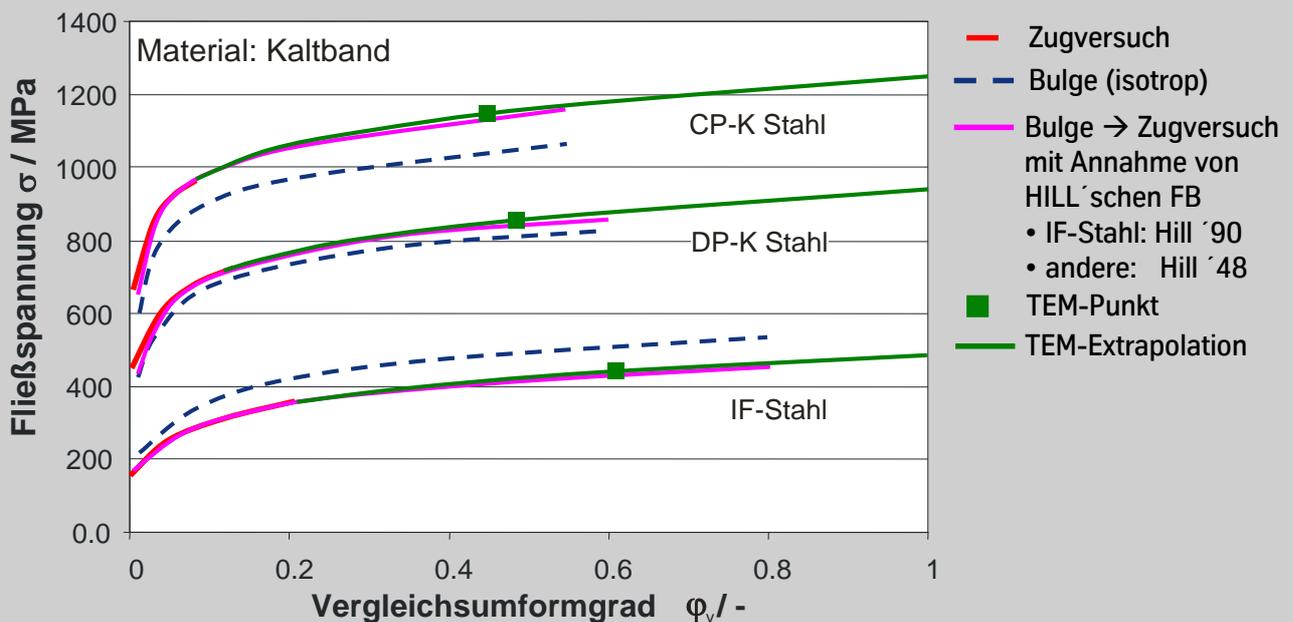


ThyssenKrupp Steel



TEM ThyssenKrupp Steel Extrapolationsmethode (TEM)

Beispiele in unterschiedlichen Festigkeitsklassen von Kaltband



ThyssenKrupp Steel



Entwicklungen bei der Modellierung - Verfestigung

Ein Zwischenfazit

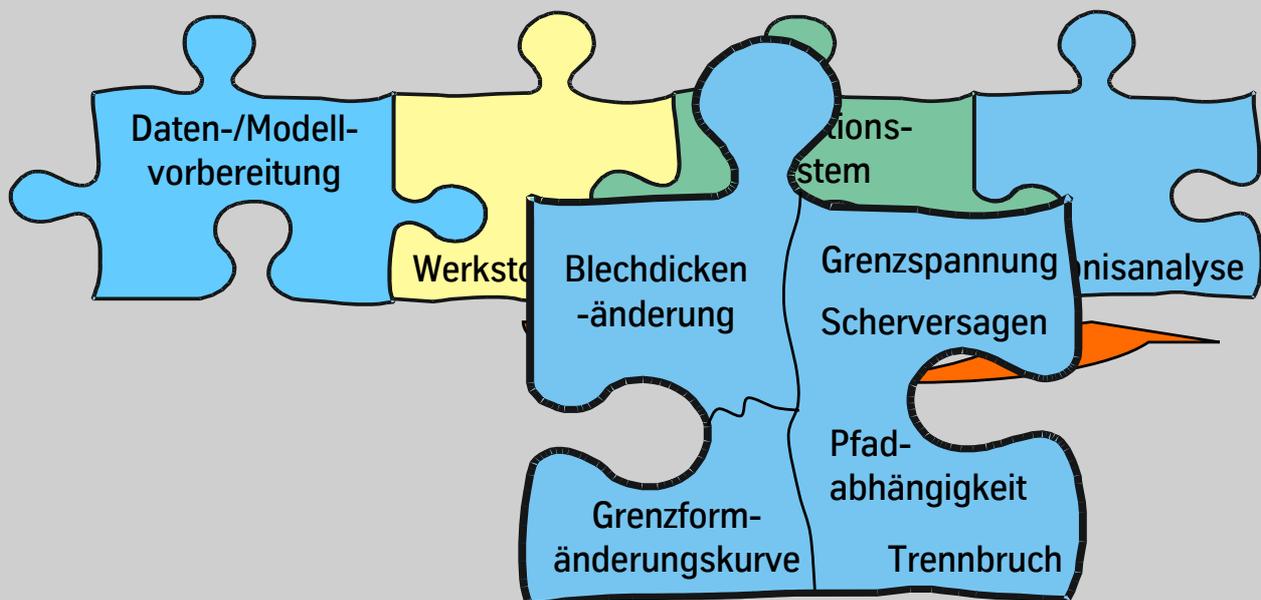
- Moderne Stahlwerkstoffe zeigen ein teilweise von der Belastung abhängiges Verfestigungsverhalten
- Da die meisten Preßwerksfehler im Bereich von Zugspannungen entstehen, empfiehlt TKS für seine Werkstoffe die Extrapolation anhand von hydraulischen Tiefungsversuchen
- Zur Vereinfachung der empfohlenen 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

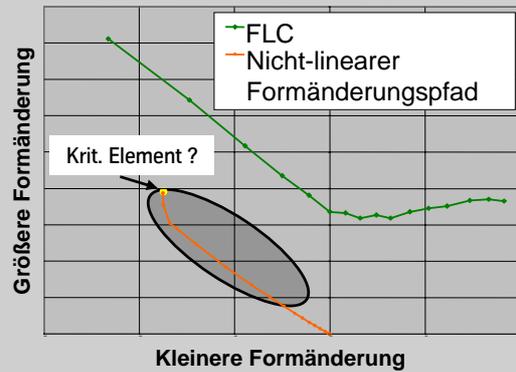
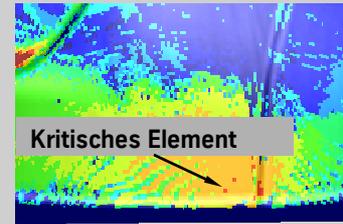
Die Anwendung der Grenzformänderungskurve (FLC) zur Interpretation der Prozesssicherheit gilt wenn:

- 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?



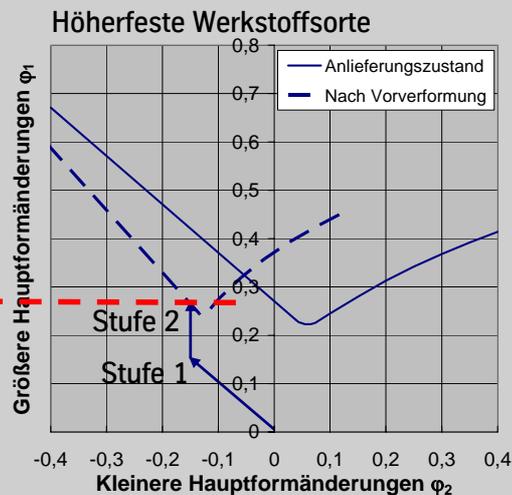
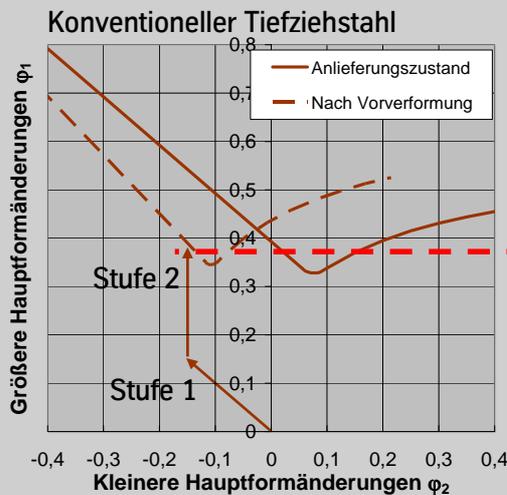
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse

Bewertung nicht-linearer Formänderungspfade II

Verringerung der Umformreserve bei höherfesten Werkstoffen bei gleicher Vorbelastung

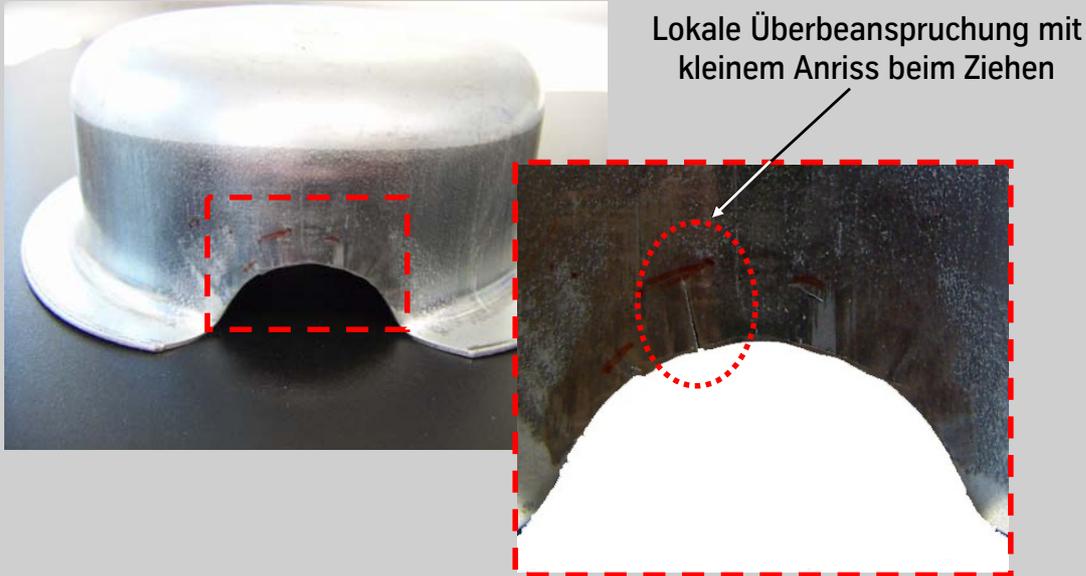


→ Eine exakte Analyse der Formänderungspfade zur Prozessabsicherung bei Bauteilen aus höherfesten Werkstoffsorten ist empfehlenswert.

ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse Höherfeste Werkstoffe - Lokale Werkstoffüberbeanspruchungen



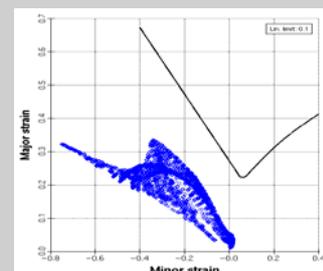
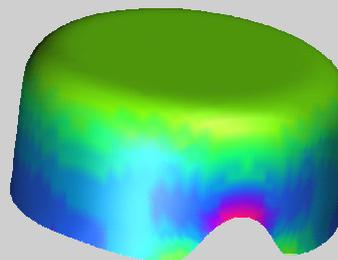
ThyssenKrupp Steel



Werkstoffspezifische Lösungen bei der Ergebnisanalyse Bewertung eines Aufdickung über die Scherbruchwahrscheinlichkeit

Bisherige Einwertung des Ziehteils:

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

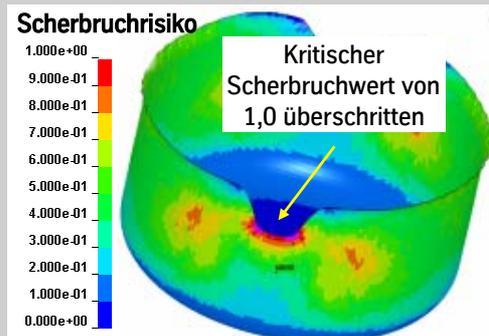


Erweiterung um ein Scherbruchrisiko*:

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



- 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



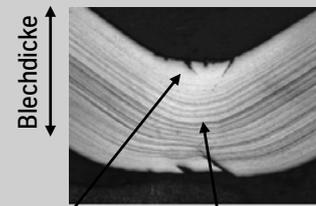
Trendentwicklung bei den Bauteilen:

- 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)

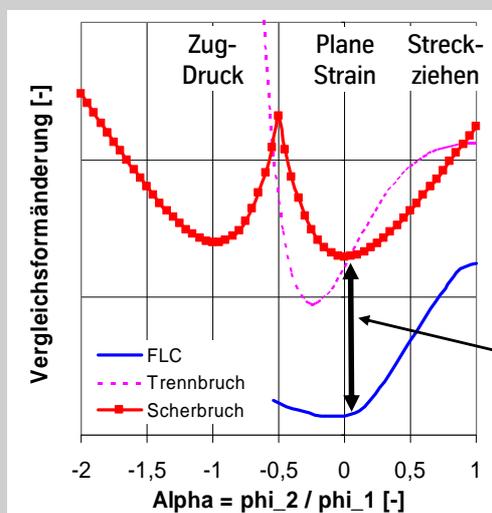
ThyssenKrupp Steel



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!

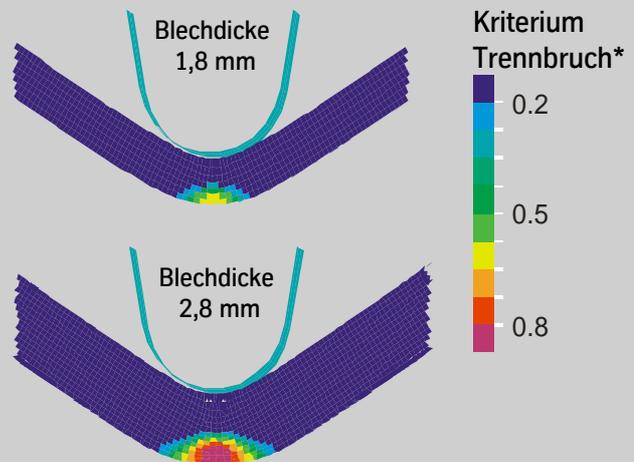
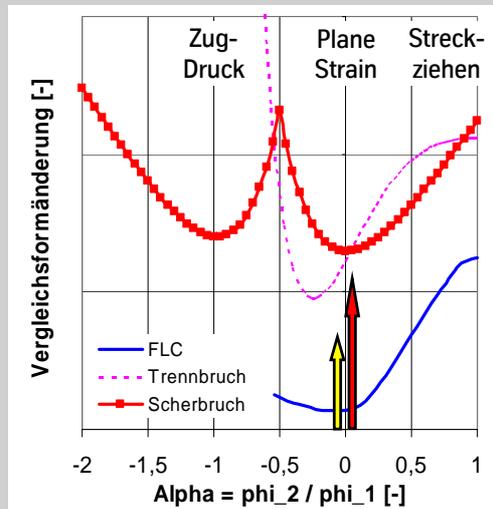
ThyssenKrupp Steel



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

