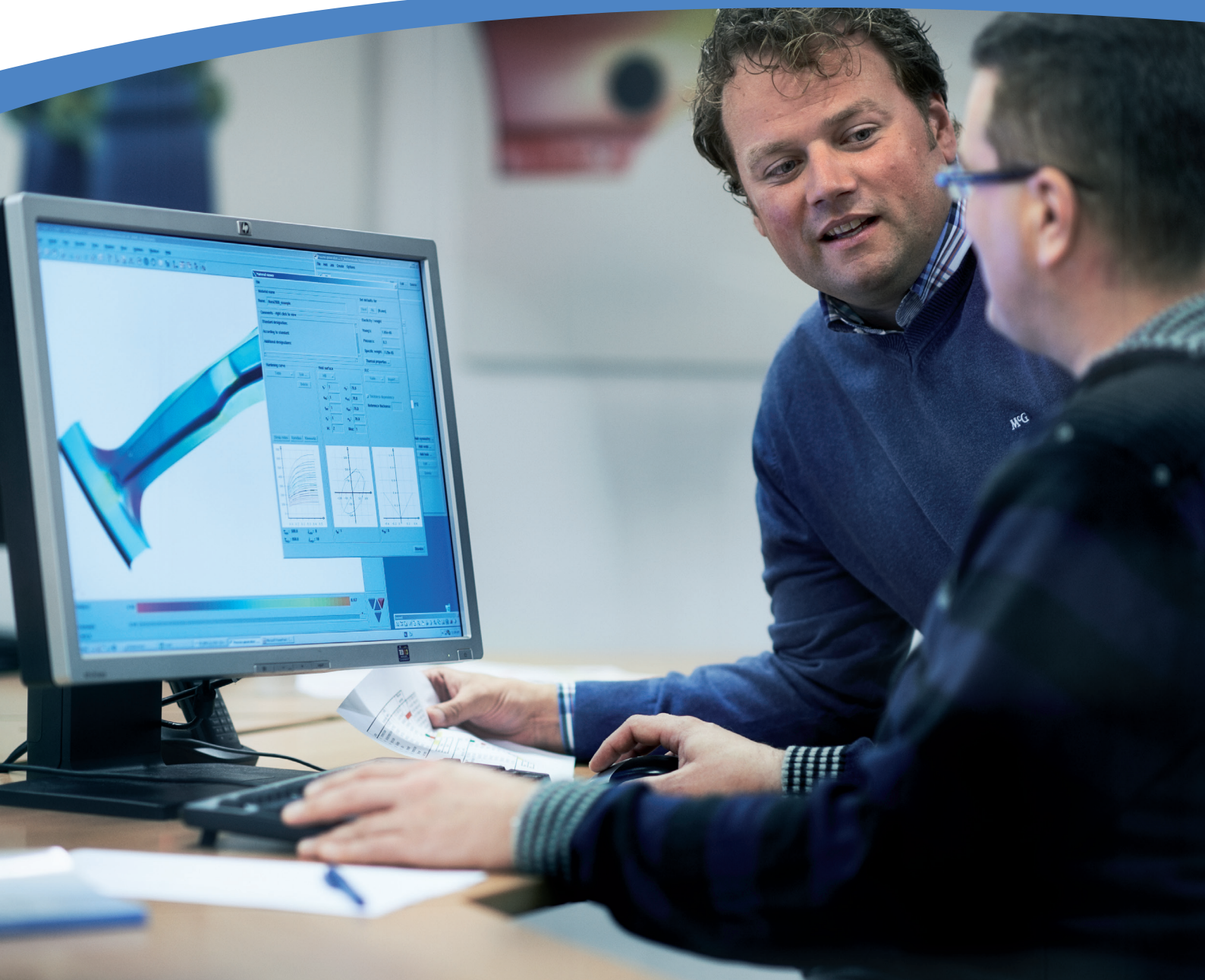


## Berechnung der Grenzformänderungskurven

Schnelle und einfache Methode mit verbesserter Genauigkeit



Tata Steel hat eine Berechnungsmethode für Grenzformänderungskurven (Forming Limit Curves, FLC) entwickelt, die die FLC-Genauigkeit verbessert. Das Rechenmodell kann FLCs schnell und einfach aus Zugversuchsdaten bestimmen.

Eine Grenzformänderungskurve beschreibt die Umformbarkeit eines Werkstoffs bis zur Versagensgrenze. Sie ergibt sich aus der Kombination der Messwerte des Haupt- und Nebenumformgrades bis zum Versagen (Bild 1). Häufig wird sie in Presswerken und für die Finite-Element-Methode (FE) verwendet, um die Sicherheitsleistung eines Pressteils zu ermitteln. Tata Steel unterstützt die Berechnung, indem Kunden die Materialkennwerte unserer Produkte über unsere digitale Datenbank Aurora Online abrufen können. Bild 2 zeigt links ein gepresstes Bauteil, rechts daneben die Spannungsverteilung des umgeformten Bauteils und darunter dieselbe Spannung als Haupt- und Nebenumformgrad.

Aurora® Online bietet einen kompletten Überblick über die Stahlsorten von Tata Steel für die Automobilindustrie. Die Online-Datenbank beinhaltet umfangreiche, aktuelle Werkstoffprofile, Datenblätter und sofort nutzbare Eingabemaschinen. Mithilfe von Aurora Online können unsere Kunden exakte und zuverlässige Simulationen erstellen. Eine direkte Verbindung zwischen Stahlwerk und Datenbank sorgt für präzise Informationen über die tatsächlichen Materialeigenschaften für den Validierungsprozess.

Bild 1: FLC-Definition

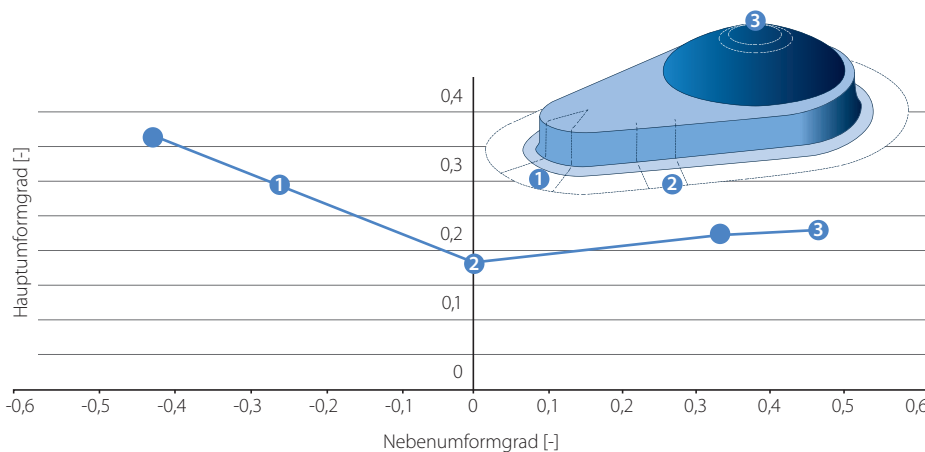


Bild 2: Gemessene Spannungen in einem gepressten Bauteil vs. FLC

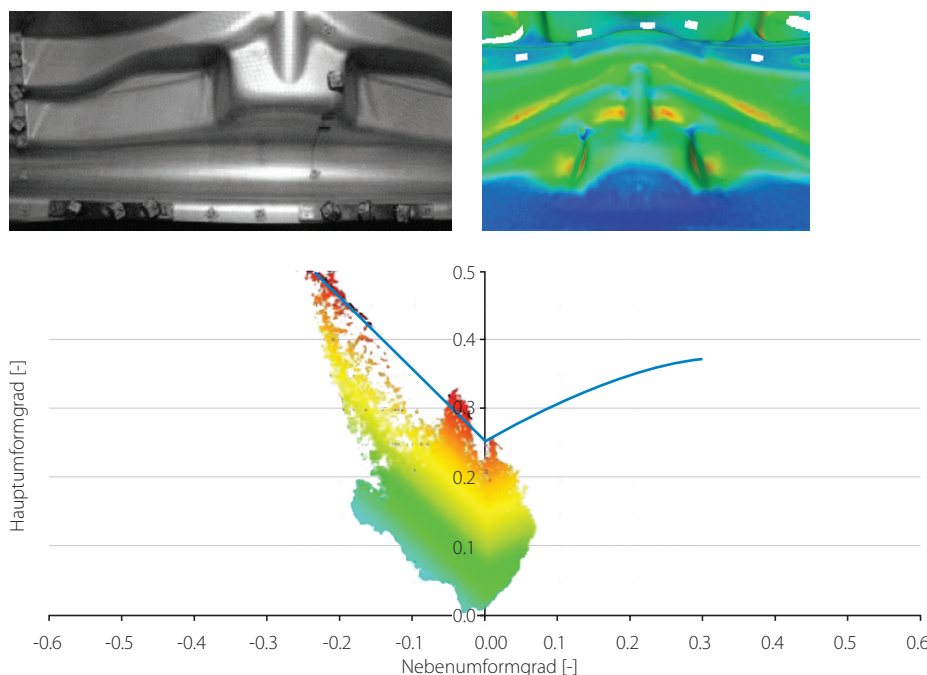
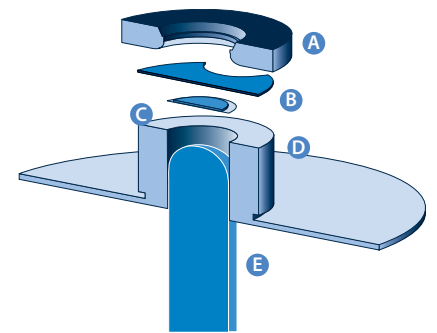


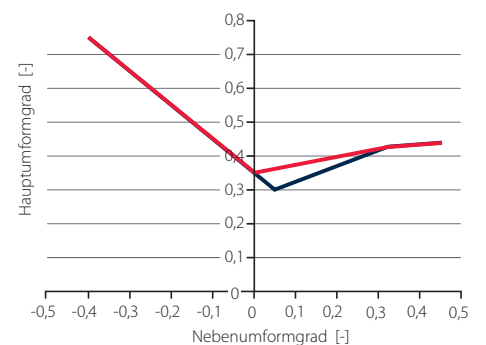
Bild 3: Nakajima-Test mit Halbkugelstempel



Legende

- A Matrize
- B Probe
- C Schmierung
- D Blechhalter
- E Stempel

Bild 4: Nakajima-Test vs. Marciniak-Test



Legende

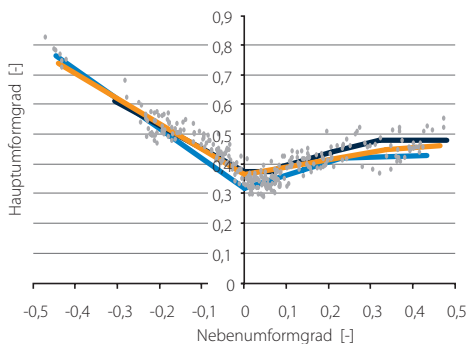
- FLC nach Marciniak
- FLC nach Nakajima

## Experimentell versus empirisch

Seit über 40 Jahren werden Grenzformänderungskurven durch eine Reihe von experimentellen Tests ermittelt: entweder mithilfe des Nakajima-Tests (Halbkugelstempel) oder des Marciniak-Tests (flacher Stempel). Wir verwenden bei Tata Steel den Nakajima-Test (Bild 3) und testen für die FLC eines Werkstoffs derselben Dicke sieben verschiedene Probenformen mit ihren unterschiedlichen Dehnungsverteilungen. Diese zeitintensive Prüfung ist nötig, um das Verhalten im Umformprozess aufzuzeigen. Schon seit langem arbeiten Forscher an empirisch gestützten FLC-Gleichungen. Auch wenn in den letzten Jahren einige Ansätze (z. B. die Keeler-Relation) eine größere Aufmerksamkeit erhalten haben, ist ihre Gültigkeit für fortschrittlich hochfeste und ultrahochfeste Stähle fragwürdig. Denn entweder sind die Gleichungen nicht für diese Stahlsorten ausgelegt oder sie ignorieren den aus dem Spannungsverhältnis hervorgehenden unterschiedlichen Kurvenanstieg in der linken Hälfte des FLC-Diagramms.

**Bild 5: Kaltgewalzter Umformstahl – DC04**

$t=1,0\text{ mm}$ ,  $A_{80}=44\%$ ,  $r=2,38$

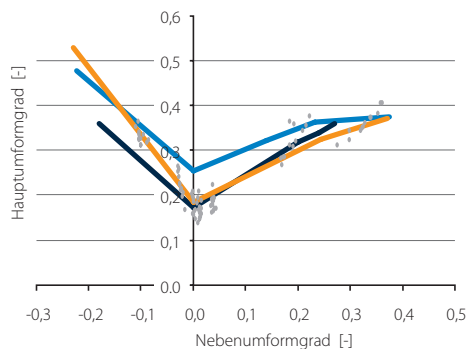


### Legende

● Datenpunkte      ● Keeler  
● Abspoel & Scholting      ● Cayssials

**Bild 6: Kaltgewalzter fortschrittlich hochfester Stahl – HCT600X+Z**

$t=1,5\text{ mm}$ ,  $A_{80}=20\%$ ,  $r=1,00$



### Legende

● Datenpunkte      ● Keeler  
● Abspoel & Scholting      ● Cayssials

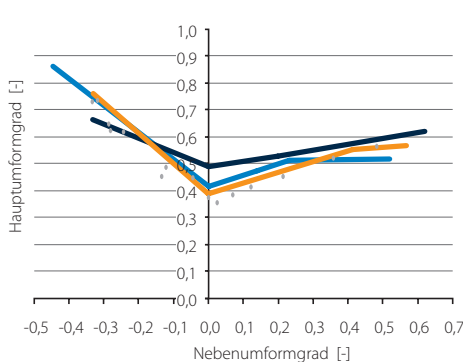
## Das „Abspoel & Scholting FLC-Modell“ von Tata Steel

Dank fortschrittlicher Echtzeitsysteme zur Spannungsmessung ist es jetzt möglich, die lokale Spannung in Dehnungsversuchen und Unterschiede zwischen den beiden gängigen experimentellen FLC-Testmethoden zu ermitteln (Bild 4). Dies hat zu einem guten Verständnis des zweiachsigen Vordehnungs-Prüfgegenstands in der Nakajima-Testmethode und der für das Tiefziehen wichtigen linken Hälfte des FLC-Diagramms geführt.

Aus der großen Menge an gemessenen Zug- und FLC-Daten konnte dann eine empirische Gleichung erarbeitet werden. Heute können wir eine komplette Grenzformänderungskurve aus den Ergebnissen eines Standard-Zugversuchs beschreiben: Bruchdehnung gesamt ( $A_{80}$ ), Spannungsverhältnis (r-Wert) und Blechdicke (t).

**Fig 7: Warmgewalzter Umformstahl – DD13**

$t=2,1\text{ mm}$ ,  $A_{80}=42\%$ ,  $r=0,95$

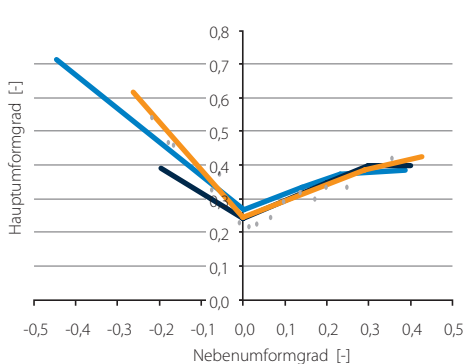


### Legende

● Datenpunkte      ● Keeler  
● Abspoel & Scholting      ● Cayssials

**Fig 8: Warmgewalzter hochfester niedriglegierter Stahl – S420MC**

$t=2,0\text{ mm}$ ,  $A_{80}=20\%$ ,  $r=0,95$



### Legende

● Datenpunkte      ● Keeler  
● Abspoel & Scholting      ● Cayssials

Diese drei Kennwerte werden separat für jedes Coil berechnet. Auch wenn der empirische Ansatz auf Stahl ausgelegt ist, funktioniert die Vorhersagemethode auch für Aluminium, Edelstahl und neue Stahlsorten. Das entwickelte Rechenmodell wurde im Vergleich zu Nakajima, Marciniak und den Zugproben für fast 50 Stahlsorten validiert und mit anderen Vorhersagemodellen (wie Keeler/Cayssials) verglichen, die in kommerziellen Umform-Simulations-Programmen implementiert sind. Die Bilder 5-8 zeigen einige Validierungsbeispiele.

## Vorteile

Aus den gezeigten Diagrammen lässt sich eindeutig schließen, dass das neue Abspoel & Scholting FLC-Modell die gemessenen FLC-Punkte genauer darstellt als aktuell genutzte Vorhersagemethoden. Von der exakten Repräsentation profitiert auch die Genauigkeit der Kundensimulationen. Außerdem verbessert das Fehlen der zweiachsigen Vordehnung die Aussagekraft der Simulationen.

Ein weiterer großer Vorteil der neuen Methode ist, dass die FLCs immer verfügbar sind. Während früher für die FLC Grenzformänderungstests durchgeführt werden mussten, sind heute nur Zugversuche notwendig. Damit hat Tata Steel für alle seine Stahlsorten und Dicken FLCs verfügbar.

So können wir auch den Prozess der Fahrzeugentwicklung beschleunigen, da nicht länger auf die FLC-Tests gewartet werden muss. FE-Analysen können die Bauteilsicherheit direkt zu Beginn der Entwicklung einer neuen Stahlorte ermitteln, sodass Fahrzeughersteller neue Werkstoffe leichter einführen können.

## Verfügbarkeit

Die Details des Abspoel & Scholting FLC-Modells stehen im Journal of Materials Processing Technology, Volume 213, Ausgabe 5, Mai 2013, Seiten 759–769 (online abrufbar unter <http://shortly.nl/mOH>). Wir nutzen die Methode auch für unsere Online-Werkstoffdatenbank Aurora Online und haben sie in die FE-Stanzsoftware AutoFormplus R5 implementiert.

Unsere Experten unterstützen Sie beim Einsatz der FLC-Methode in Ihrem spezifischen Anwendungsgebiet.

## Für weitere Informationen und einen Zugang zu Aurora Online erhalten Sie über:

E: [connect.automotive@tatasteeleurope.com](mailto:connect.automotive@tatasteeleurope.com)  
www.tatasteeleurope.com/aurora

# www.tatasteeleurope.com

Aurora@ ist eine eingetragene Handelsmarke von Tata Steel.

Es wurde größtmögliche Sorgfalt angewandt, um zu gewährleisten, dass der Inhalt dieser Veröffentlichung korrekt ist. Tata Steel noch ihre Tochtergesellschaften übernehmen jedoch keinerlei Verantwortung oder Haftung für Fehler oder Informationen, die als irreführend erachtet werden.

Es obliegt dem Kunden, die von der Tata Steel oder ihren Tochtergesellschaften gelieferten oder hergestellten Produkte vor deren Einsatz auf ihre Eignung hin zu prüfen.

Copyright 2019  
Tata Steel Europe Limited

## **Tata Steel**

Automotive

Postfach 10.000

1970 CA IJmuiden

Niederlande

[connect.automotive@tatasteeleurope.com](mailto:connect.automotive@tatasteeleurope.com)

[www.tatasteeleurope.com/automotive](http://www.tatasteeleurope.com/automotive)

AM:DE:PDF:1219

Tata Steel Europe Limited ist in England unter der Nummer 05957565 und mit Sitz an der Anschrift 30 Millbank, London SW1P 4WY, im Handelsregister eingetragen.