

Begrüßung & Einführung Blechumformung mit LS-DYNA

Dr. André Haufe



DYNAmore GmbH

Gesellschaft für
FEM-Ingenieurdienstleistungen

Stuttgart - Karlsruhe - Langlingen - Ingolstadt - Dresden

Zentrale:
Industriestraße 2
D-70565 Stuttgart

Tel. 07 11 - 45 96 00 - 0
Fax 07 11 - 45 96 00 - 29
e-mail: info@dynamore.de
Internet: www.dynamore.de

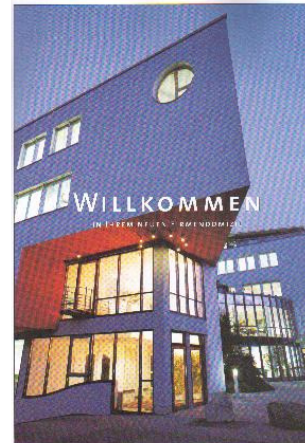
Cooperation between Dr. Hallquist and Prof. Schweizerhof since 1986



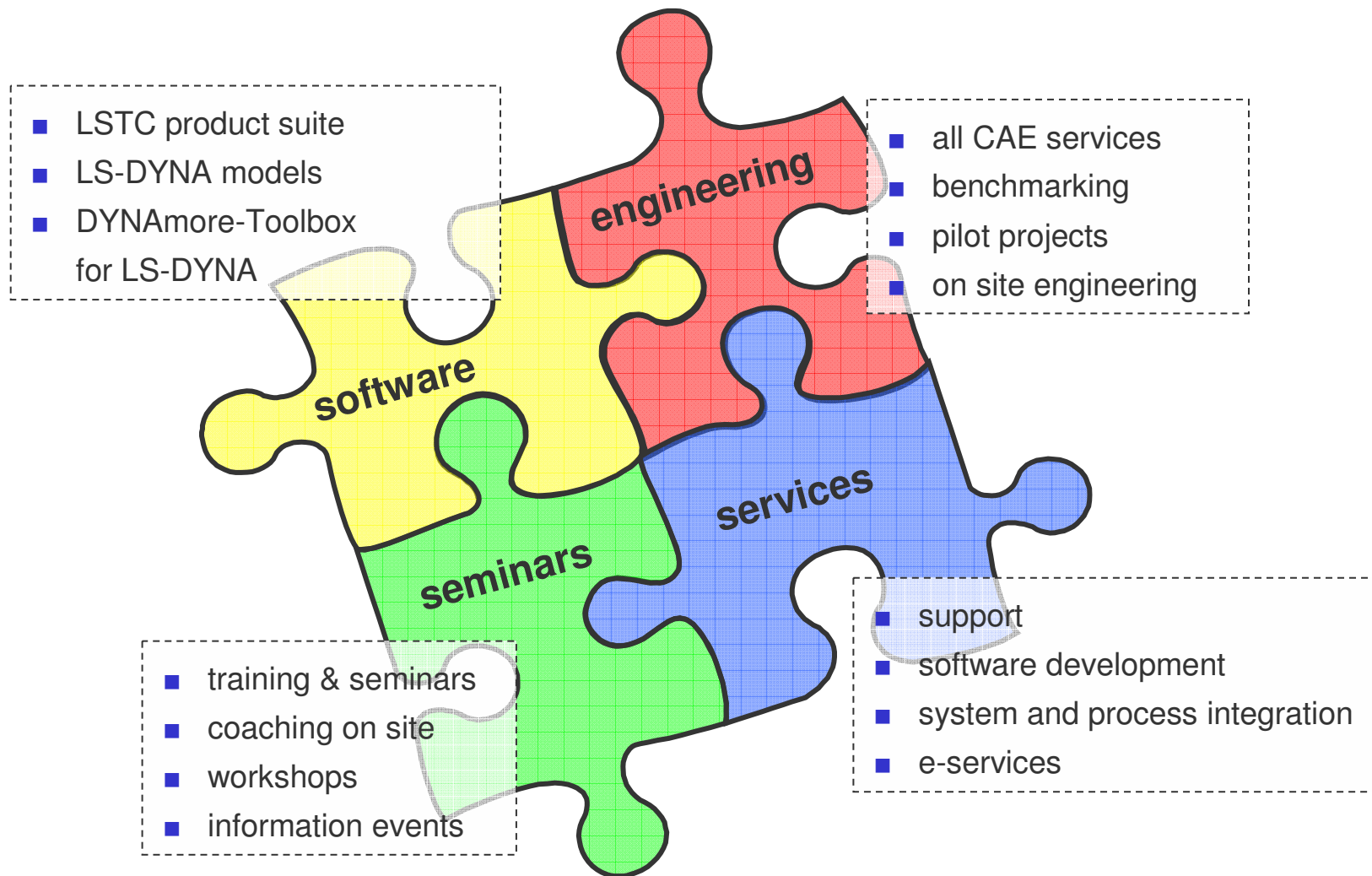
- Founded in 1987 by Dr. John Hallquist
- Located in Livermore, California
- More than 600 customers
- Worldwide distribution
- Annual growth rate: about 30%



- Distributor of LS-DYNA and related software products
- Further development and customization in collaboration with LSTC
- Support, Seminars and Projects



Overview: DYNAmore portfolio



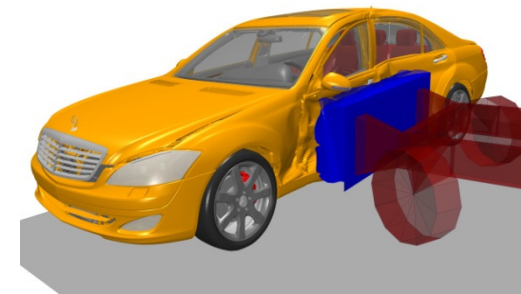
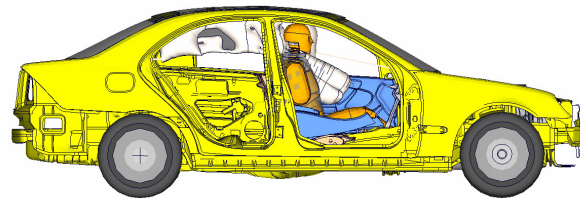
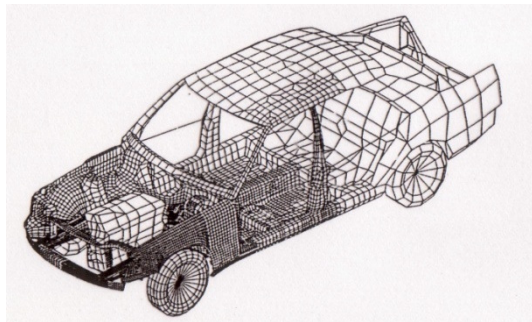
People at Dynamore (current headcount 55)

- management: Dipl.-Math. U. Franz (Managing Director)
Prof. Karl Schweizerhof (Technical Director)
- manager headquarters in Stuttgart: Dr. T. Münz
- support: Dr. K. Weimar, Kurt Schweizerhof, Oliver Graf, ...
- sales: Prof. U. Göhner, K. Ryssel
- optimization: Dr. H. Müllerschön, M. Thiele
- dummy models: S. Stahlschmidt, A. Gromer
- metal forming: P. Vogel, Dr. A. Haufe
- process modeling: Dr. A. Haufe
- LS-DYNA coding: Dr. T. Erhard
- LS-OPT coding: M. Thiele
- consulting: Dr. T. Münz
- administration: M. Lang



Company history

- 1987 LSTC incorporated in 1987 to commercialize DYNA3D as LS-DYNA
- 1988 first LS-DYNA Crash simulations in Germany at Porsche performed by Prof. Dr. Schweizerhof and Dr. K. Weimar on CRAY supercomputer
- 1995 crash simulations must be performed for every new vehicle type
- 1996 first port of LS-DYNA on PC platforms
- 1996 LS-DYNA MPP version released
- 2001 Prof. Dr. Schweizerhof and co-workers found DYNAmore
- 2008 LS-DYNA Master distributor for central Europe:
Germany+Australia+Switzerland direct, reseller network in Netherlands, Belgium, Italy, Spain, Turkey, Poland, Czech, Slovakia, Romania, Hungary, Portugal, Brazil



DYNAmore at a glance



LS-DYNA customers of DYNAmore

Airbus, Atair, Alcan, AMG, Autoliv, Arvin Meritor, Behr, Benteler, Bertrand, BMW, Brose, CADFORM, CDH, Cidaut, Concept, DaimlerChrysler, Decoma, Delphi, Dräxlmaier, EADS, Fiat Airbus, EDAG, Faurecia, FEMcon, Fraunhofer Inst. Freiburg+Stuttgart, HDW, Hilti, Idiada, Imperia, Inst f. Kurzzeitdynamik, IRB, ISE Innomotive, Johnson Controls, IVM, KOLT, KWM, Lear, LASSO, Leon, MATFEM, MTU, Nordesewerke, OK Engineering, Opel/EDS, P+Z, PART, Porsche, Prototechnik, Rheinmetall, Rücker, Siemens, Takata/Petri, Tecosim, ThyssenKrupp Stahl, TI Automotive, Tofas, Tractebel, TRW, Voers Alpin, Volkswagen, Yazaki,...



Research LS-DYNA customers

DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

- Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

Fachhochschule Aachen

- Angewandte Mathematik
- FB Luft- und Raumfahrttechnik

Fachhochschule Aalen

- CAD/CAM Zentrum

Fachhochschule Amberg-Weiden

- FB Wirtschaftsingenieurwesen

Fachhochschule Giessen-Friedberg

- FB Energie- u. Wärmetechnik

Fachhochschule Ingolstadt

- FB Elektro- und Informationstechnik

Fachhochschule Lausitz

- FB Bauingenieurwesen

Fachhochschule Reutlingen

Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

- Faserverbund Struktur- u. Verfahrensentwicklung

Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Esslingen

- Labor Karosserie - Entwicklung & Versuch
- FB Maschinenbau

Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen

Forschungszentrum Jülich

- Zentralinstitut für angewandte Mathematik

Fraunhofer Institut

- Ernst-Mach-Institut, Freiburg
- Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg
- SCAI, St. Augustin
- Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

- FB Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Montan Universität Leoben

- Institut für Werkstoffkunde

RWTH Aachen

- Institut für Leichtbau

Technische Fachhochschule Berlin

- FB Verfahrens- und Umwelttechnik

Technische Universität Berlin

- FG Kraftfahrzeuge
- FG Schienenfahrzeuge
- Institut für Luft- und Raumfahrt

Technische Universität Dresden

- Institut für Luft- und Raumfahrt
- Lehrstuhl für Statik
- Rechenzentrum

Technische Universität Graz

- Institut für Mechanik und Getriebelehre

Technische Universität Hamburg Harburg

- Schiffstechn. Konstruktion u. Berechnung
- Rechenzentrum
- FB Baustatik und Stahlbau

Universität Karlsruhe

- Institut für Mechanik

Universität der Bundeswehr Hamburg

- FB Maschinenbau
- Institut für Mechanik
- Institut für Werkstofftechnik

Universität des Saarlandes

- Lehrstuhl für Technische Mechanik

Universität Erlangen-Nürnberg

- Institut für Mechanik

Universität Hannover

- Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik

Universität Kassel

- FB Maschinenbau
- Institut für thermische Energietechnik
- Institut für Mechanik

Universität Stuttgart

- HLRS-Rechenzentrum
- Institut für Flugzeugbau
- Institut für Statik und Dynamik
- Institut für Mechanik
- Institut für Verbrennungsmotoren
- Materialprüfungsanstalt

University of Lisboa

- Instituto Superior Técnico

University of Ljubljana

- Faculty of Maritime Studies and Transport

University of Maribor

- Faculty of Mechanical Engineering

Universität Leipzig

- Rechenzentrum
- Institut Statik und Dynamik der Tragstrukturen

Research/Educational Licenses

DYNAmore at a glance



Automotive LS-DYNA customers

Autoliv, DaimlerChrysler Mercedes/DaimlerChrysler Detroit, Delphi, EDAG, Ford Australia, Ford Dearborn, Ford Australia, GM Holden, GM Detroit, GM Korea, Jaguar, Honda R&D, Kia, Landrover, Lotus, Mazda, NHTSA, Opel, Porsche, Proton, Saab, MagnaSteyr Fzt, TRW, Takata/Petri,Toyota, ...



Mercedes-Benz



TOYOTA



MAZDA

CHRYSLER



PORSCHE

TAKATA



The Power of Dreams



DELPHI

Driving Tomorrow's Technology



PORSCHE



HOLDEN
DRIVE ON



HYUNDAI
Drive your way



- **www.dynamore.de**
 - All software products
 - Actual release notes
 - Download area for software & documentation
 - FEM models
 - Training schedule

- **www.dynalook.com**
 - Database for published papers on LS-DYNA
 - Collection of simple examples
 - Problem & solution collection build by LS-DYNA users

- **www.dynaexamples.com**
 - Seminar notes
 - More than 120 examples presented
 - Download area

- **www.dynasupport.com**
 - any support information regarding LS-DYNA
 - FAQ

The image shows four overlapping screenshots of DYNAmore's e-services:

- Finite Element Solutions:** A website page with a navigation menu on the left (Software, Modelle, Seminare, etc.) and main content about LS-DYNA Forum and various seminars.
- LS-DYNA Examples:** A page titled "Welcome to LS-DYNA Examples" with a navigation menu and a list of example categories like Metal forming and ALE.
- DYNAllook:** A search interface for papers from LS-DYNA conferences, featuring a search bar and a list of conference results.
- DYNAsupport.com:** A page providing support information, including a list of conference dates and locations.

23. & 24. Mai 2011 in Strasbourg (Frankreich)

Themen:

- Crash
- Insassensicherheit
- Optimierung
- Airbag, Dummy
- Metallumformung
- Impact und Falltest
- Herstellungsprozesse
- Durchstoßprobleme
- Fluid-Struktur-Interaktion
- Automotive
- Schiffbau
- Luft- und Raumfahrt
- Transportation
- Biomechanik
- Bauwesen



FRANCE ALYOTECH

May 23rd-24th, 2011
LS-DYNA®
8th European Users Conference

- Home
- General information
- Paper submission
- Conference program
- Registration
- Accommodation
- Exhibition
- Sponsoring
- Pre-Post conference seminars
- Social events

* LS-DYNA in Strasbourg

Welcome to the 8th European LS-DYNA® Users Conference

On behalf of the Conference Committee, we are honored to invite you to the 8th European LS-DYNA® Users Conference which will take place in Strasbourg (France) on May 23rd & 24th, 2011.

The conference will be an excellent occasion to meet LS-DYNA® users from all over the world and to share LS-DYNA® applications in different

* Partners

FRANCE ALYOTECH

ARUP

DYNA MORE

ENGINEERING RESEARCH LAB

LSTC
Livermore Software Technology Corp.

Weitere Informationen unter www.lsdynauc.alyotech.fr

13. Oktober 2011, Filderstadt bei Stuttgart

Themen:

- Crash
- Insassensicherheit
- Optimierung
- Airbag, Dummy
- Metallumformung
- Impact und Falltest
- Herstellungsprozesse
- Glasumformung
- Durchstoßprobleme
- Fluid-Struktur-Interaktion
- Automotive
- Schiffbau
- Luft- und Raumfahrt
- Offshore
- Transportation
- Biomechanik
- Bauwesen
- ...

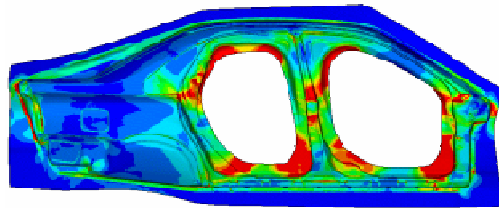


Courtesy of Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

Weitere Informationen unter www.dynamore.de

FIN

Dynamore GmbH
Industriestraße 2
70565 Stuttgart
<http://www.dynamore.de>



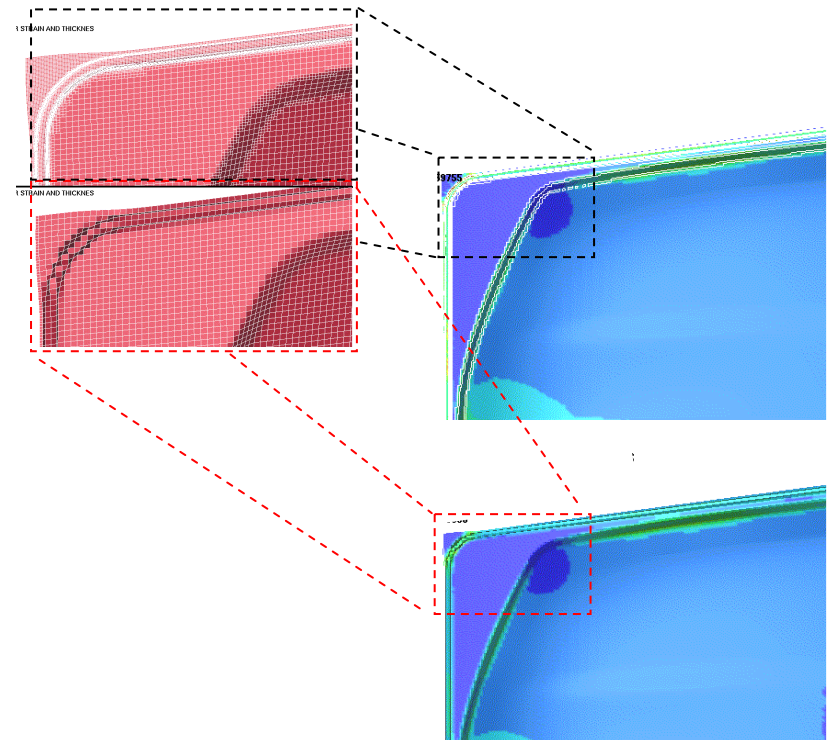
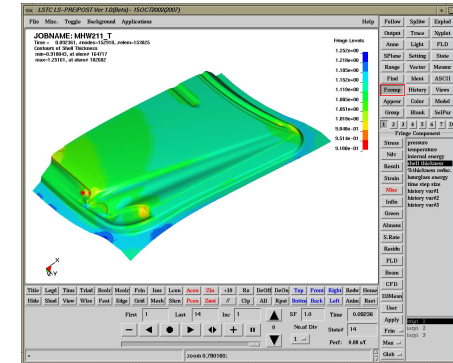
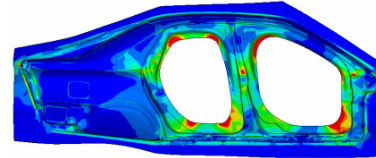
Entwicklungstrends in der Blechumformung mit LS-DYNA

Dr. André Haufe

Dynamore GmbH
Industriestraße 2
70565 Stuttgart
<http://www.dynamore.de>

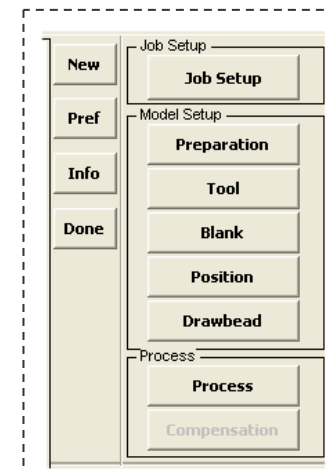
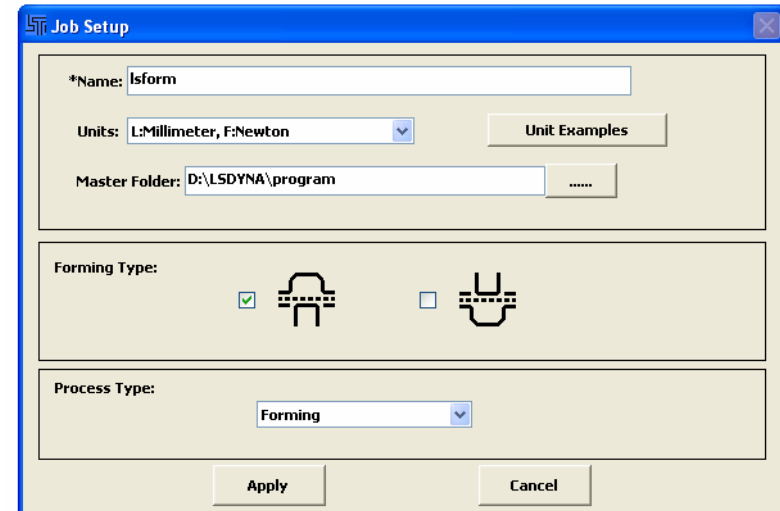
Leistungsumfang

- Prozesssimulation in der Blechumformung
 - Eigengewichtslastfall
 - Niederhalterschließen
 - Umformvorgang (starre und elastische Werkzeuge)
 - Beschneiden
 - Rücksprungberechnung
- Hydroumformen
- Rohrbiegesimulation
- Massivumformen
- Thermisch-mechanische gekoppelte Berechnung
- Geschlossene Prozesskette „Forming2Crash“
- Mapping der Dickeninformation, Dehnungen, Spannungen, interne Materialvariablen etc.
- Adaptive Vernetzung



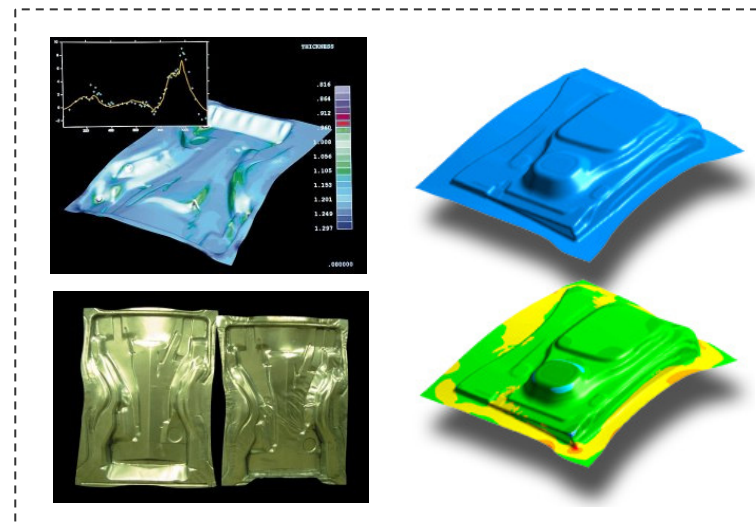
Leistungsumfang

- Prozesssimulation in der Blechumformung
 - Eigengewichtslastfall
 - Niederhalterschließen
 - Umformvorgang (starre und elastische Werkzeuge)
 - Beschneiden
 - Rücksprungberechnung
- Hydroumformen
- Rohrbiegesimulation
- Massivumformen
- Thermisch-mechanische gekoppelte Berechnungen
- Geschlossene Prozesskette „Forming2Crash“
- Mapping der Dickeninformation, Dehnungen, Spannungen, interne Materialvariablen etc.
- Adaptive Vernetzung



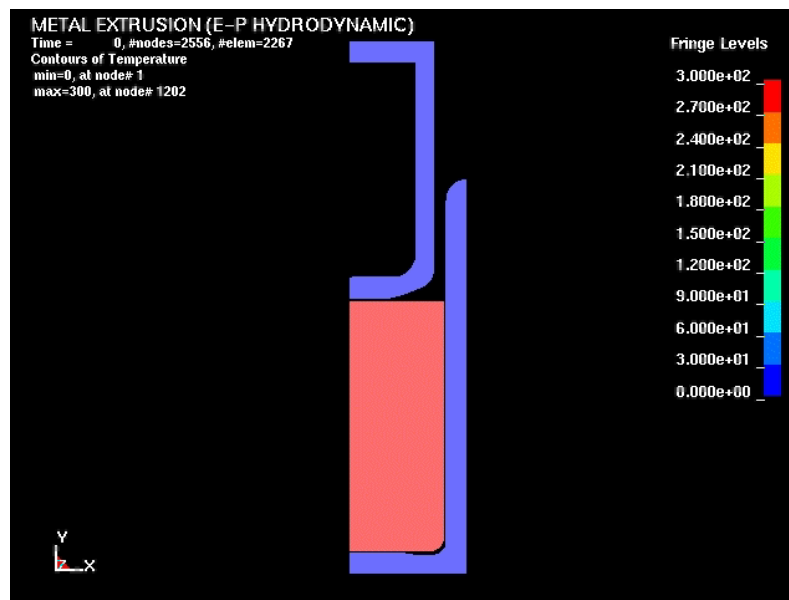
Leistungsumfang

- Die-Face-Engineering (DFE)
- Gesamter Modellaufbau für die Blechumformung
 - Eigengewichtslastfall
 - Niederhalterschließen
 - Umformvorgang (starre und elastische Werkzeuge)
 - Beschneiden
 - Rücksprungberechnung
 - Auto-Setup/Multi-Staging
- Aufsetzen thermisch-mechanisch gekoppelter Berechnungen

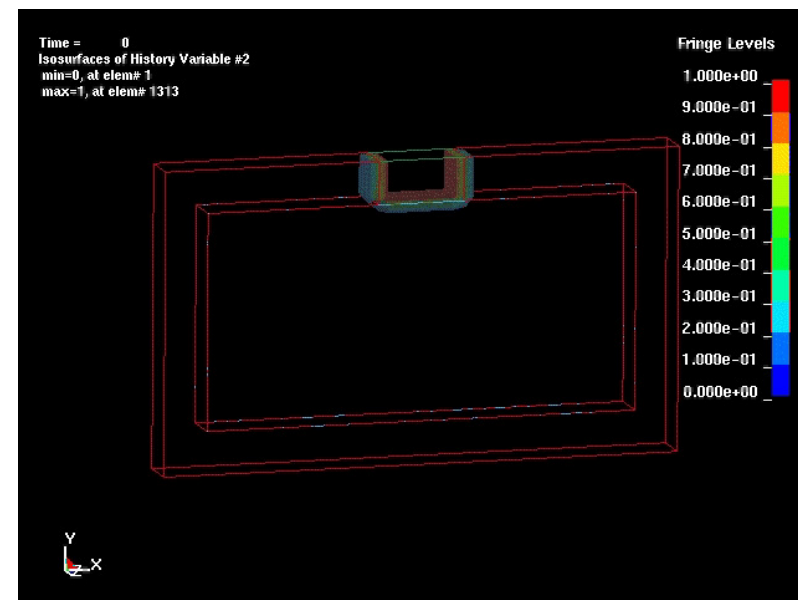


Leistungsumfang

- Produktionsprozesse



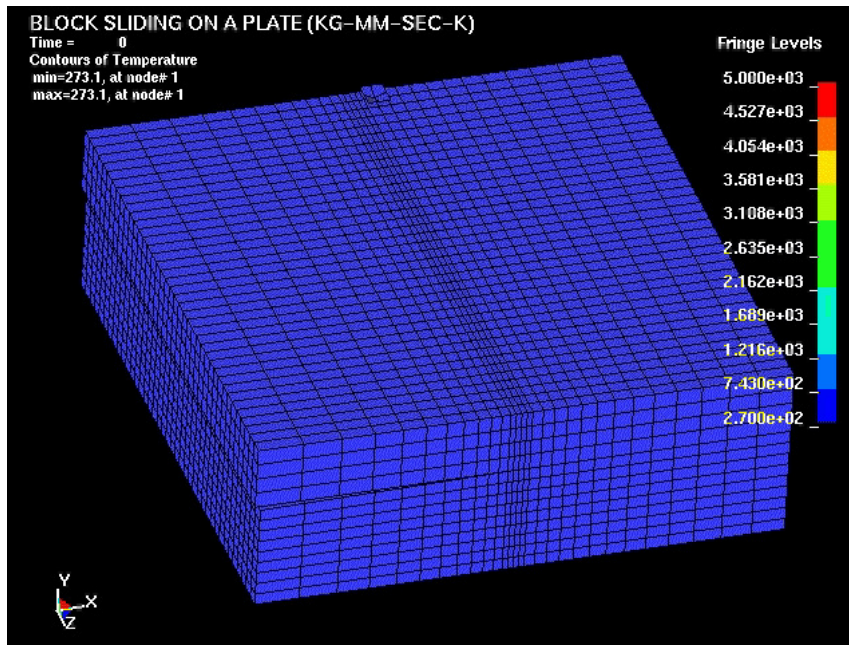
Extrusionsprozesse



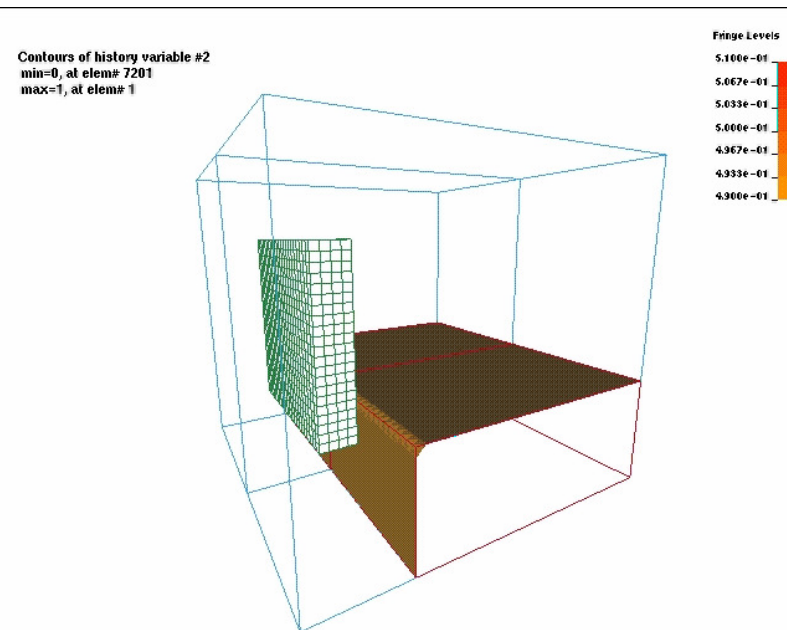
Gießsimulation (ALE/FSI)

Leistungsumfang

- Produktionsprozesse



Schweißsimulation



Schneiden/Spanen

Prozessdefinition und -kette:

Handling des Umformprozesses im Pre-Prozessor und Mapping von relevanten Geschichtsdaten auf Crashbauteile



Rückfederungsvorhersage & Kompensation

- Größere elastische Rückfederung bei hochfesten Stählen
- Herstellbarkeit
- Genauigkeit (Elementformulierung, Materialformulierung)
- Implizite Verfahren
- Methodik zur Kompensation



Multi-Physics: Thermo-mechanische Kopplung

- Warmumformen und Presshärten
- Thermischer Löser (implizit)
- Geeignete Materialmodelle



Elastische Werkzeugdeformation

- Kleinere Stückzahlen
- Geringeres Werkzeuggewicht
- Lokale Optimierung der Reibparameter
- Kondensation des 3D Werkzeugs
- Höherwertigere Reibmodelle



Springback & Compensation

Prozessdefinition und -kette:

Handling des Umformprozesses im Pre-Prozessor und Mapping von relevanten Geschichtsdaten auf Crashbauteile



Rückfederungsvorhersage & Kompensation

- Größere elastische Rückfederung bei hochfesten Stählen
- Herstellbarkeit
- Genauigkeit (Elementformulierung, Materialformulierung)
- Implizite Verfahren
- Methodik zur Kompensation



Multi-Physics: Thermo-mechanische Kopplung

- Warmumformen und Presshärten
- Thermischer Löser (implizit)
- Geeignete Materialmodelle

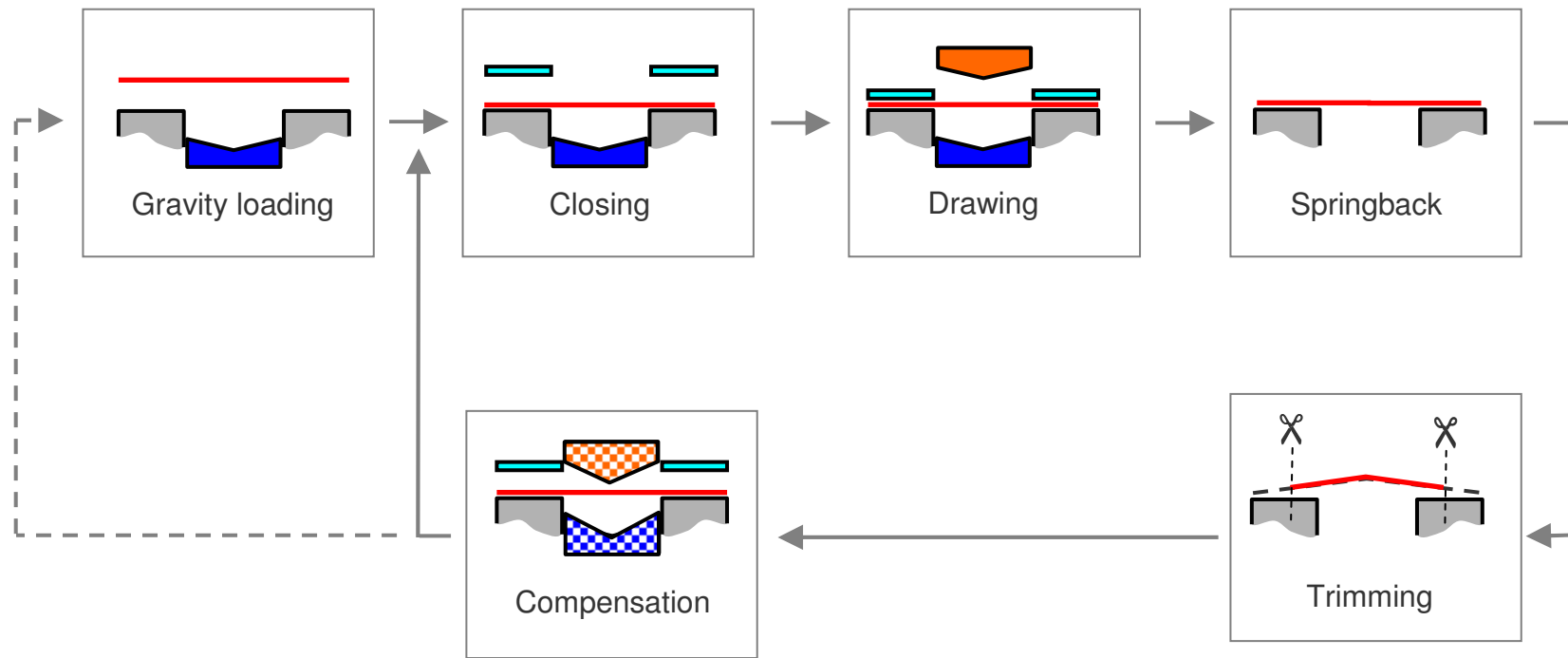


Elastische Werkzeugdeformation

- Kleinere Stückzahlen
- Geringeres Werkzeuggewicht
- Lokale Optimierung der Reibparameter
- Sinnvolle Reduzierung der Werkzeugmodelle
- Höherwertigere Reibmodelle



Process overview



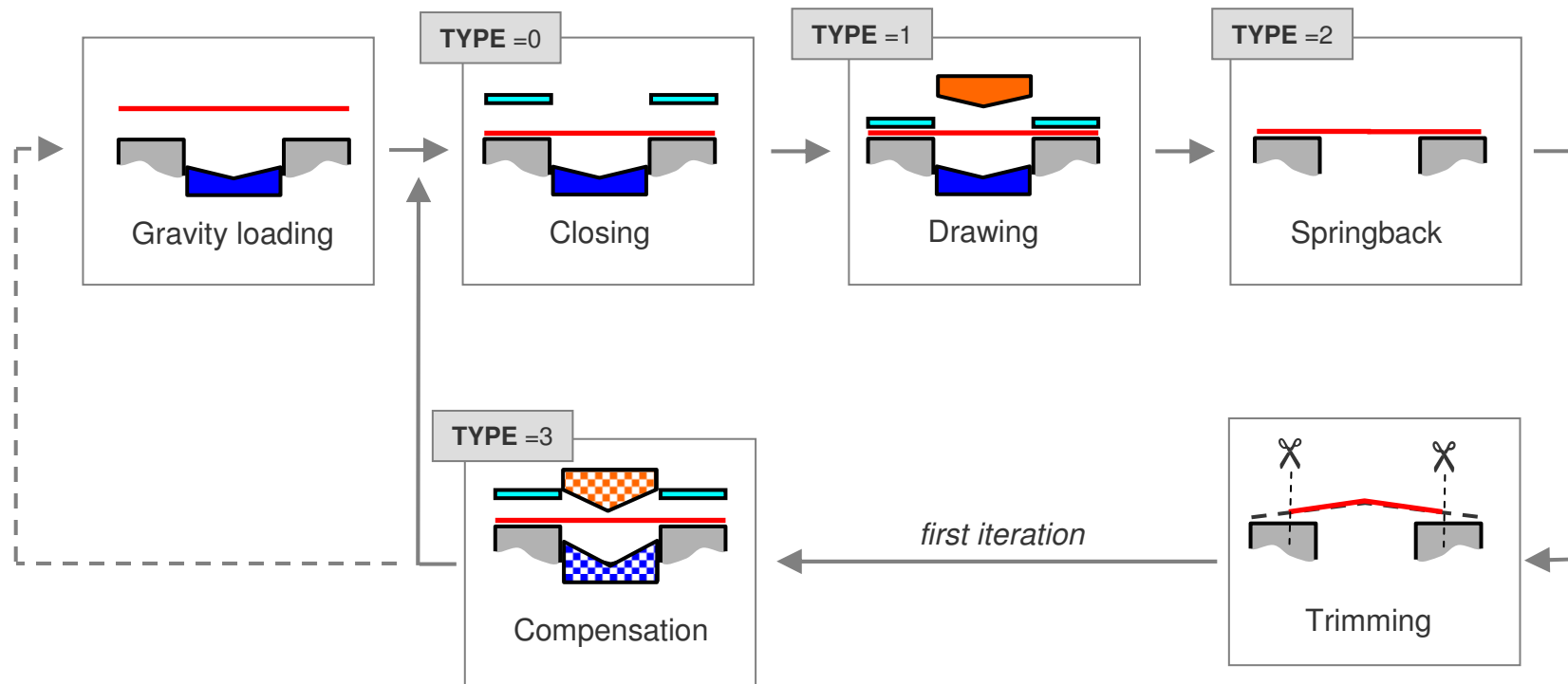
In LS-DYNA 971 a improved method is available to compensate springback deviations:

- *Automatically modify the tool based on springback behavior*
- *Iterative method is applied (usually 2~4 iterations are necessary)*
- *The maximum deviation can be easily reduced to less than 0.5mm*

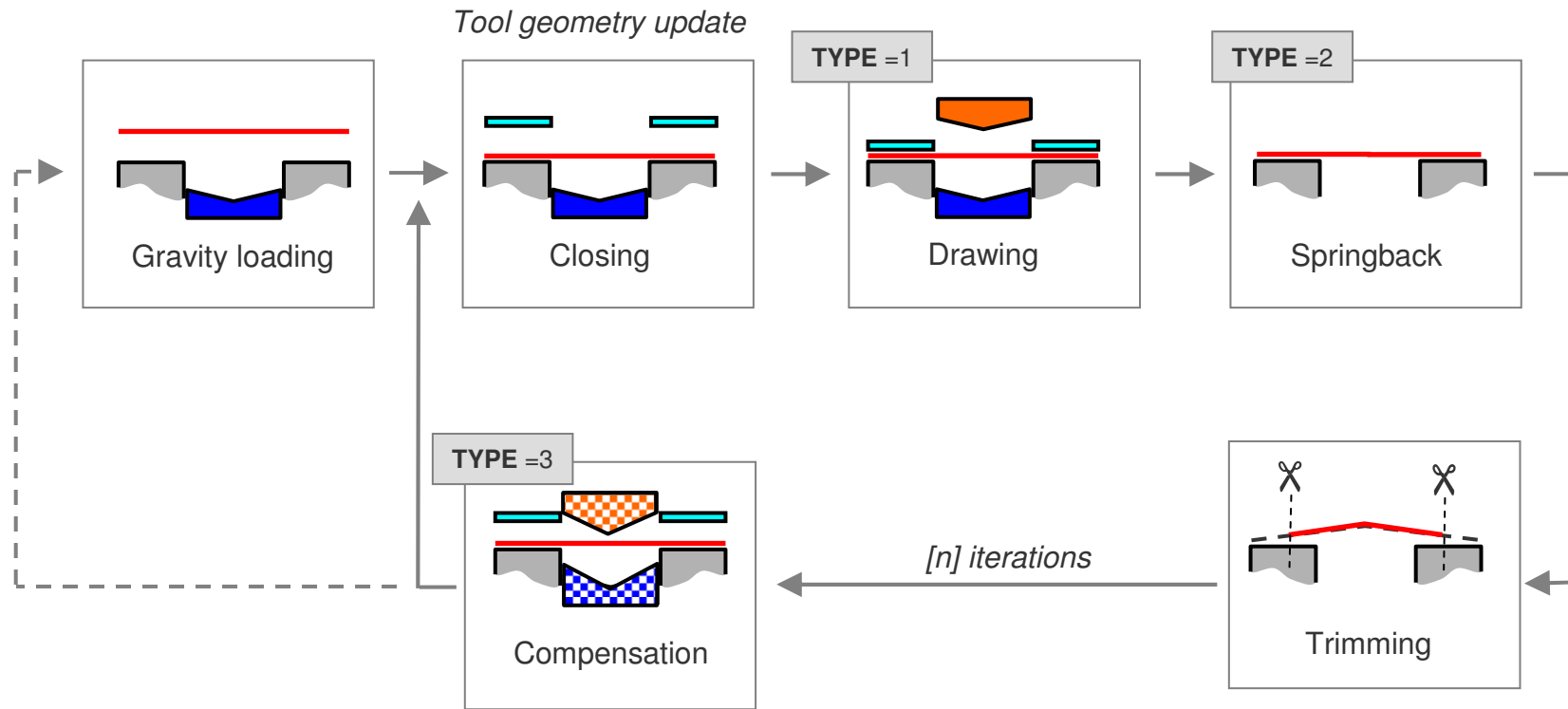
Several benchmarks have been done:

- *Numisheet'93 U-Channel, Budd Channel (not presented here)*
- *Industrial applications by major OEMs (e.g. DaimlerChrysler AG)*
- *Benchmark by VW AG*

Compensation process overview

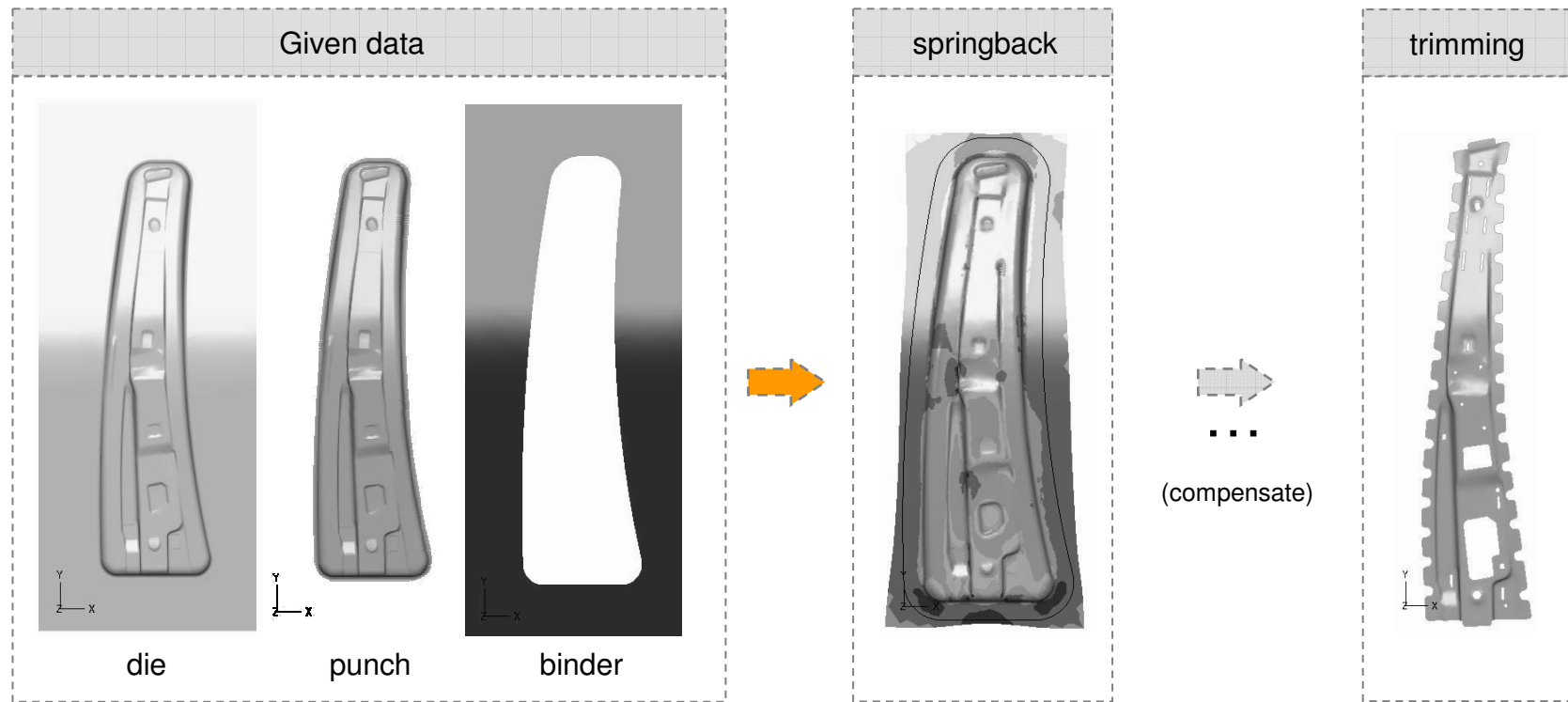


Compensation process overview

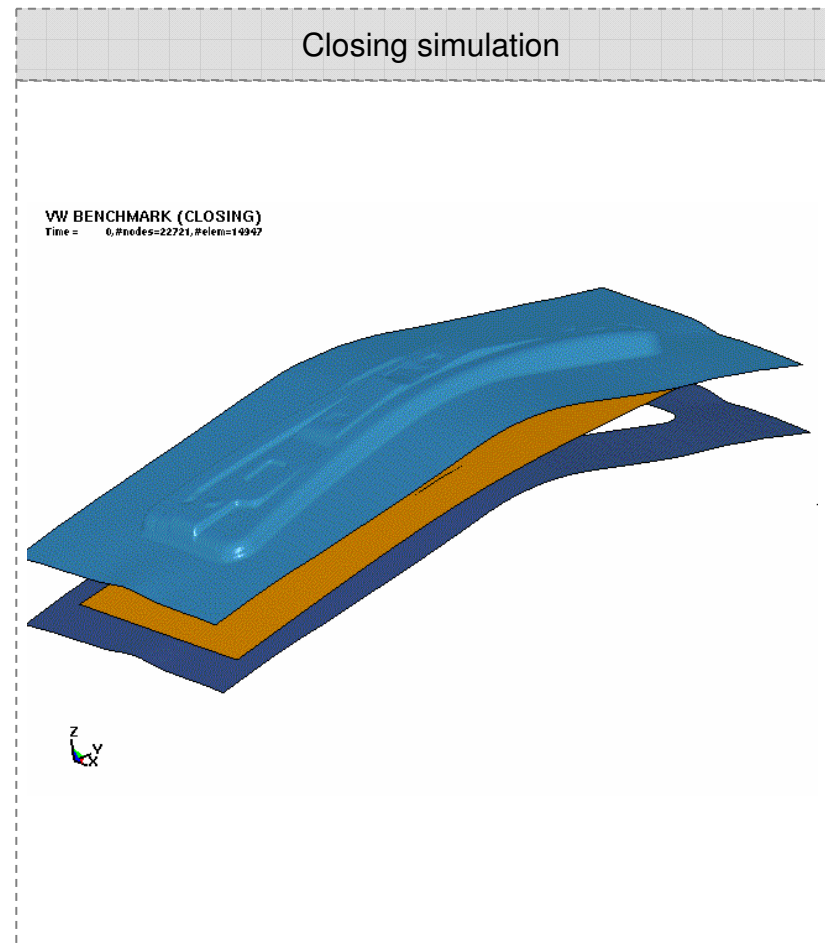
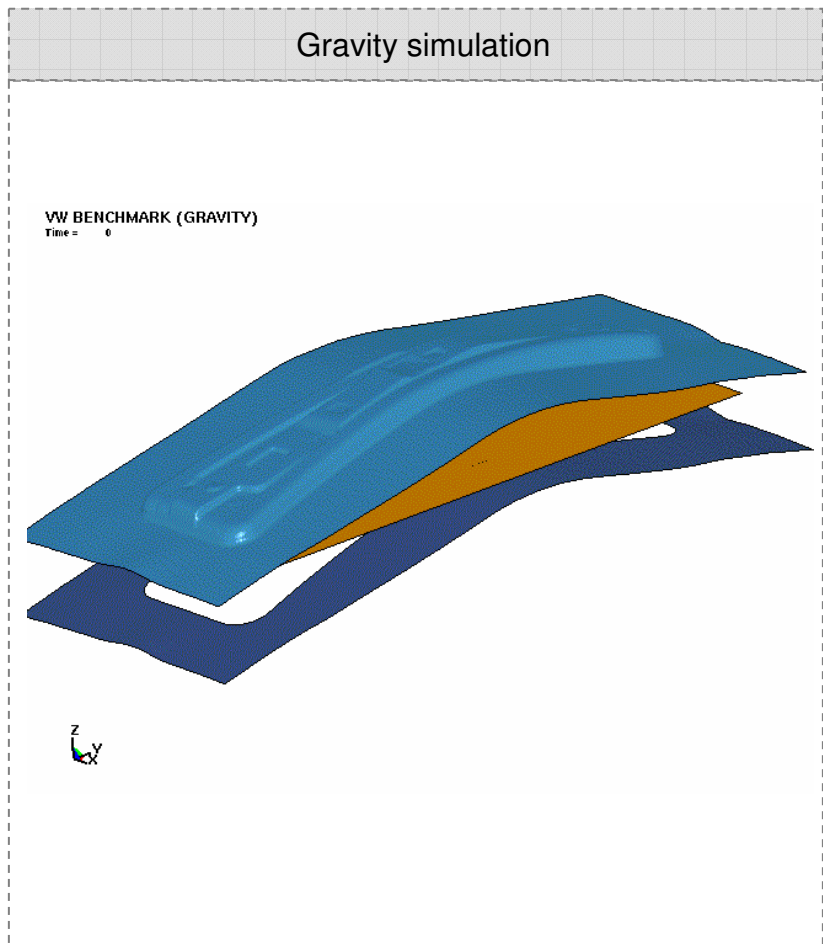


Springback & compensation

- Material: **H260PD** (ZStE260P)
Here: 3-parameter Barlat (MAT36) with exponent $n=2$ (Hill 48)
- Thickness: 1.0 mm

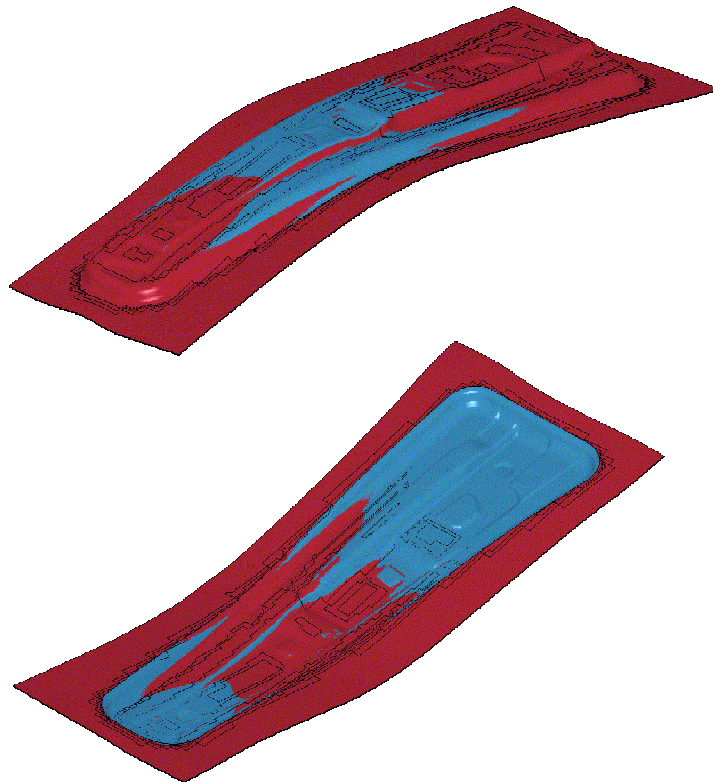


Process definition gravity and closing

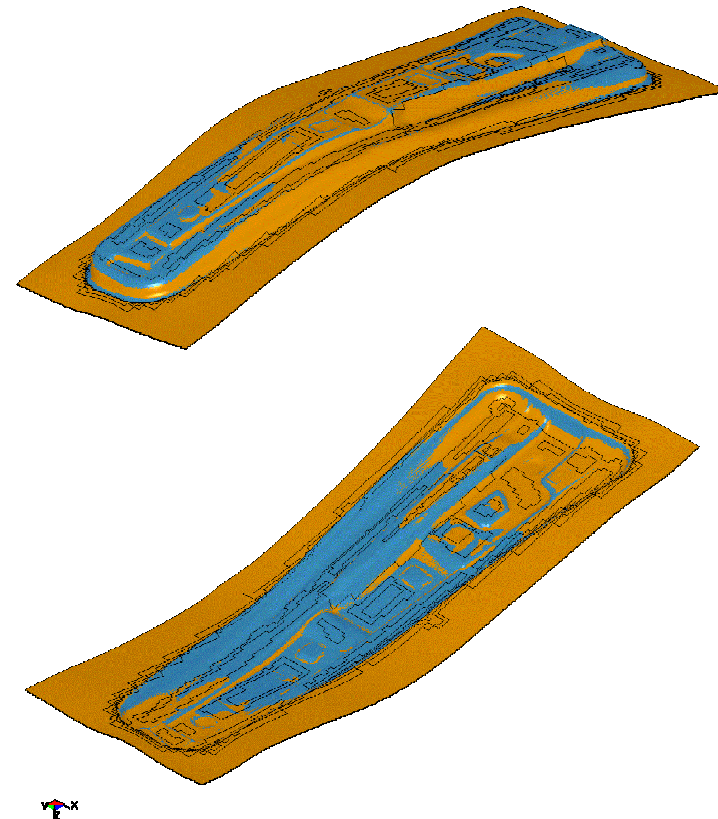


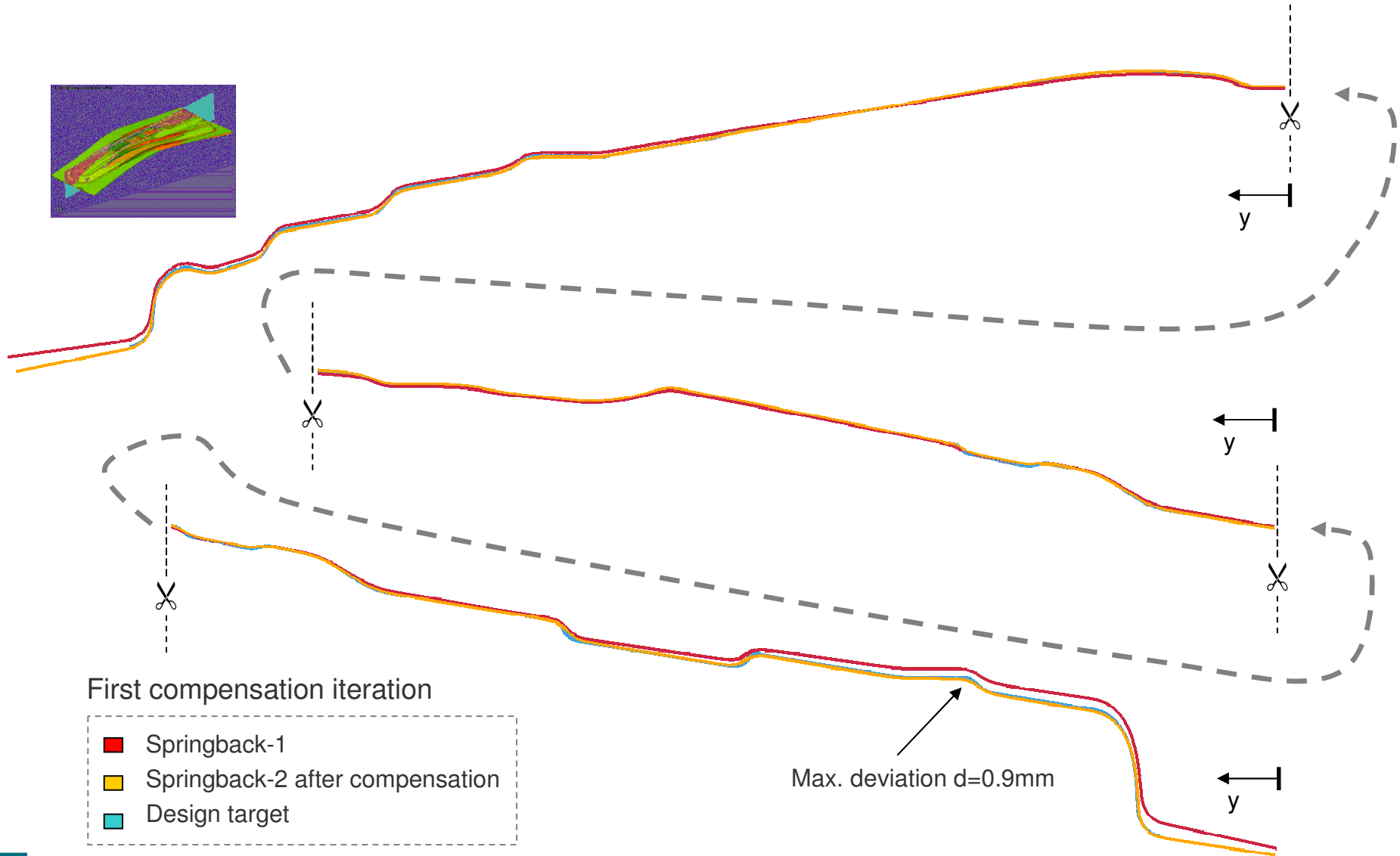
Simulation of gravity, closing, drawing, springback plus compensation and final trimming

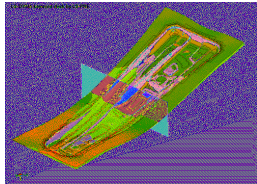
Punch vs. first springback geometry



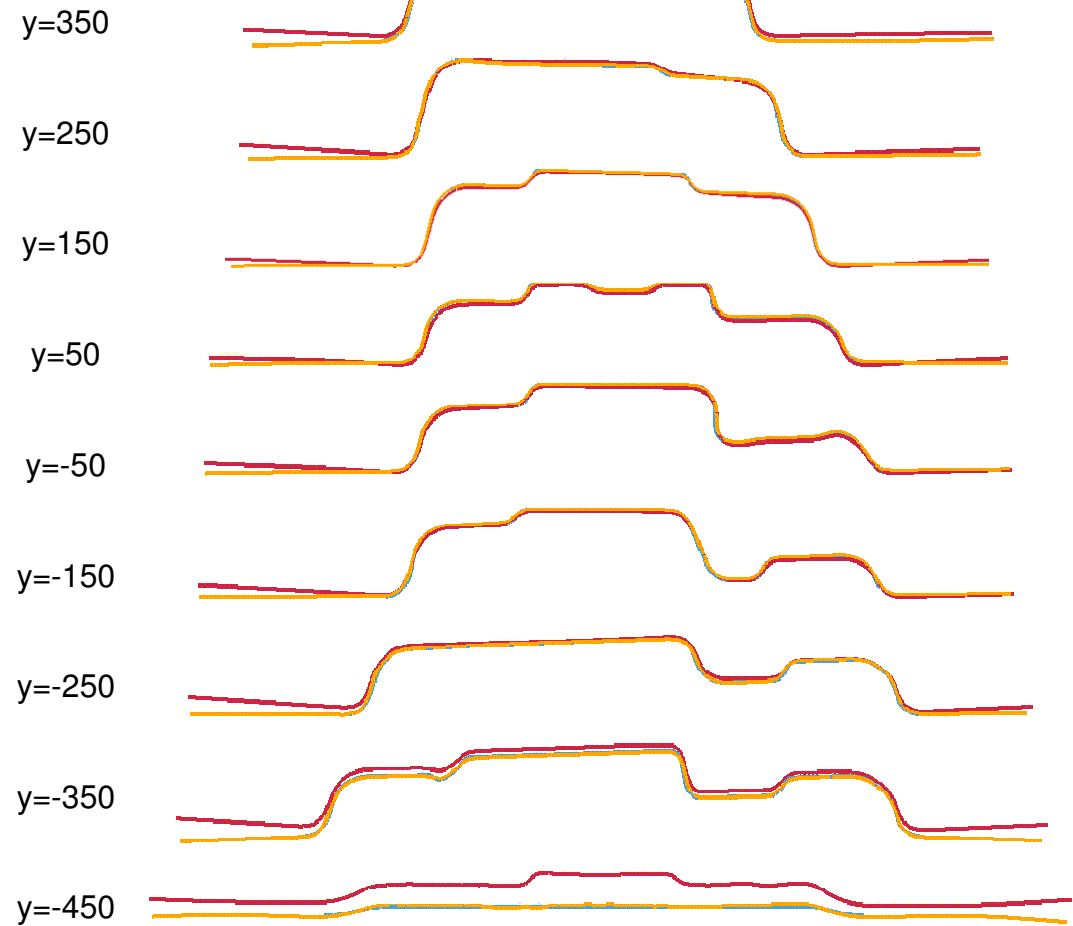
Punch vs. second (compensated) springback geom.







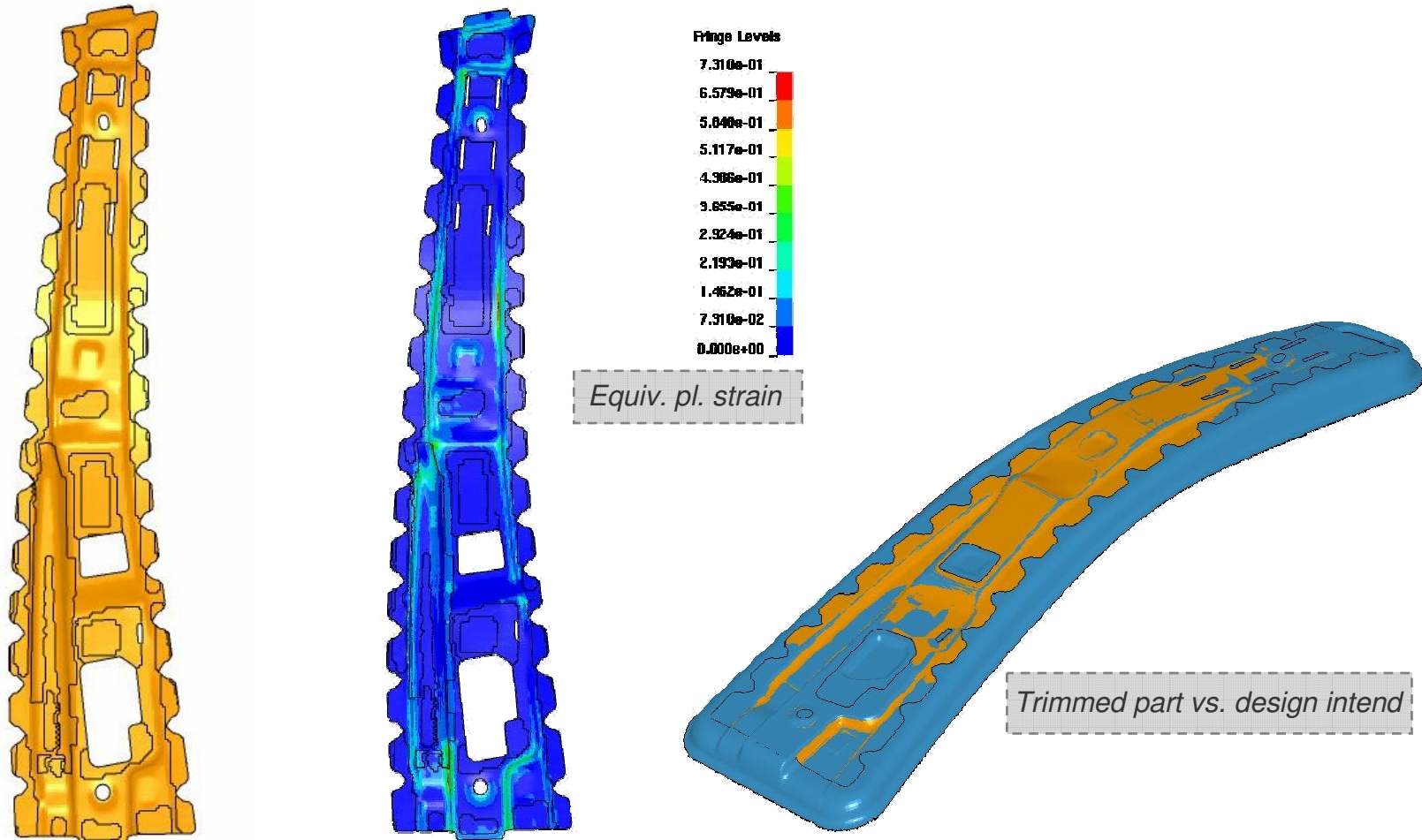
Max. deviation $d=0.9\text{mm}$



First compensation iteration

- Springback-1
- Springback-2 after compensation
- Design target

Geometric result after refinement and trimming



- The method seems to be very powerful and results are very promising
- Compensation can be done iteratively up to the desired accuracy
- Computational effort due to iterative method may be high, though
- A modified keyword is available since LS-DYNA 971 R2

Closing of the forming2crash process chain

Prozessdefinition und -kette:

Handling des Umformprozesses im Pre-Prozessor und Mapping von relevanten Geschichtsdaten auf Crashbauteile



Rückfederungsvorhersage & Kompensation

- Größere elastische Rückfederung bei hochfesten Stählen
- Herstellbarkeit

- Genauigkeit (Elementformulierung, Materialformulierung)
- Implizite Verfahren
- Methodik zur Kompensation



Multi-Physics: Thermo-mechanische Kopplung

- Warmumformen und Presshärten

- Thermischer Löser (implizit)
- Geeignete Materialmodelle



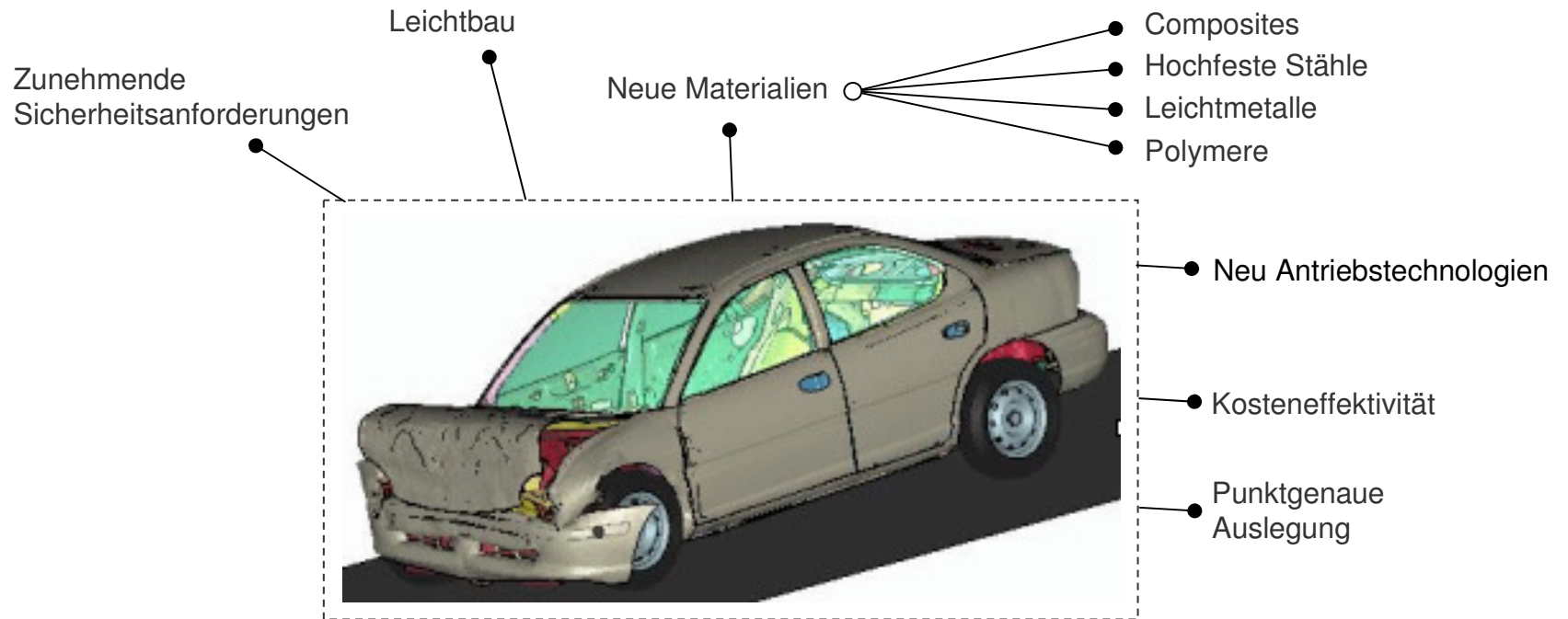
Elastische Werkzeugdeformation

- Kleinere Stückzahlen
- Geringeres Werkzeuggewicht
- Lokale Optimierung der Reibparameter

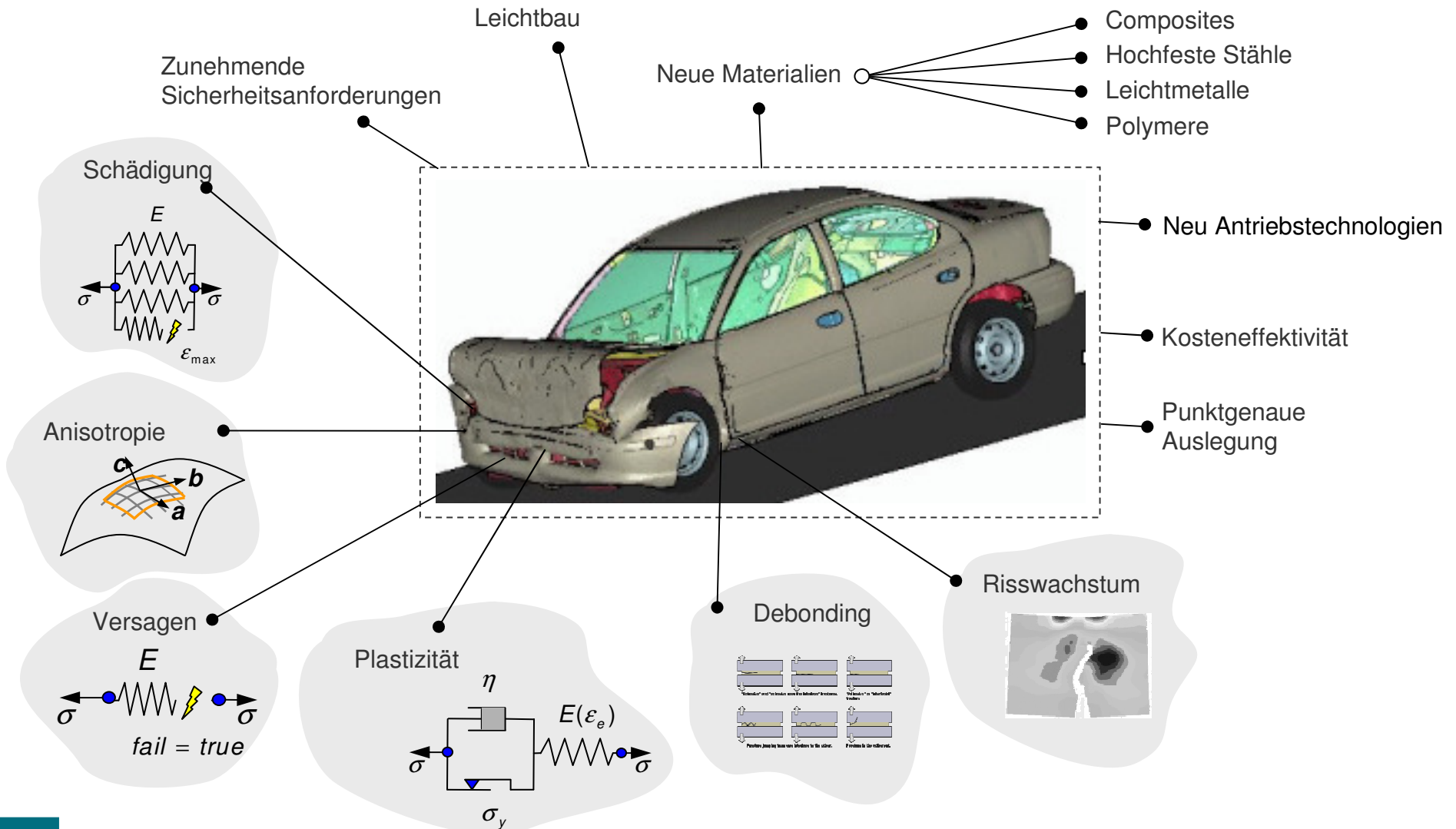
- Sinnvolle Reduzierung der Werkzeugmodelle
- Höherwertigere Reibmodelle



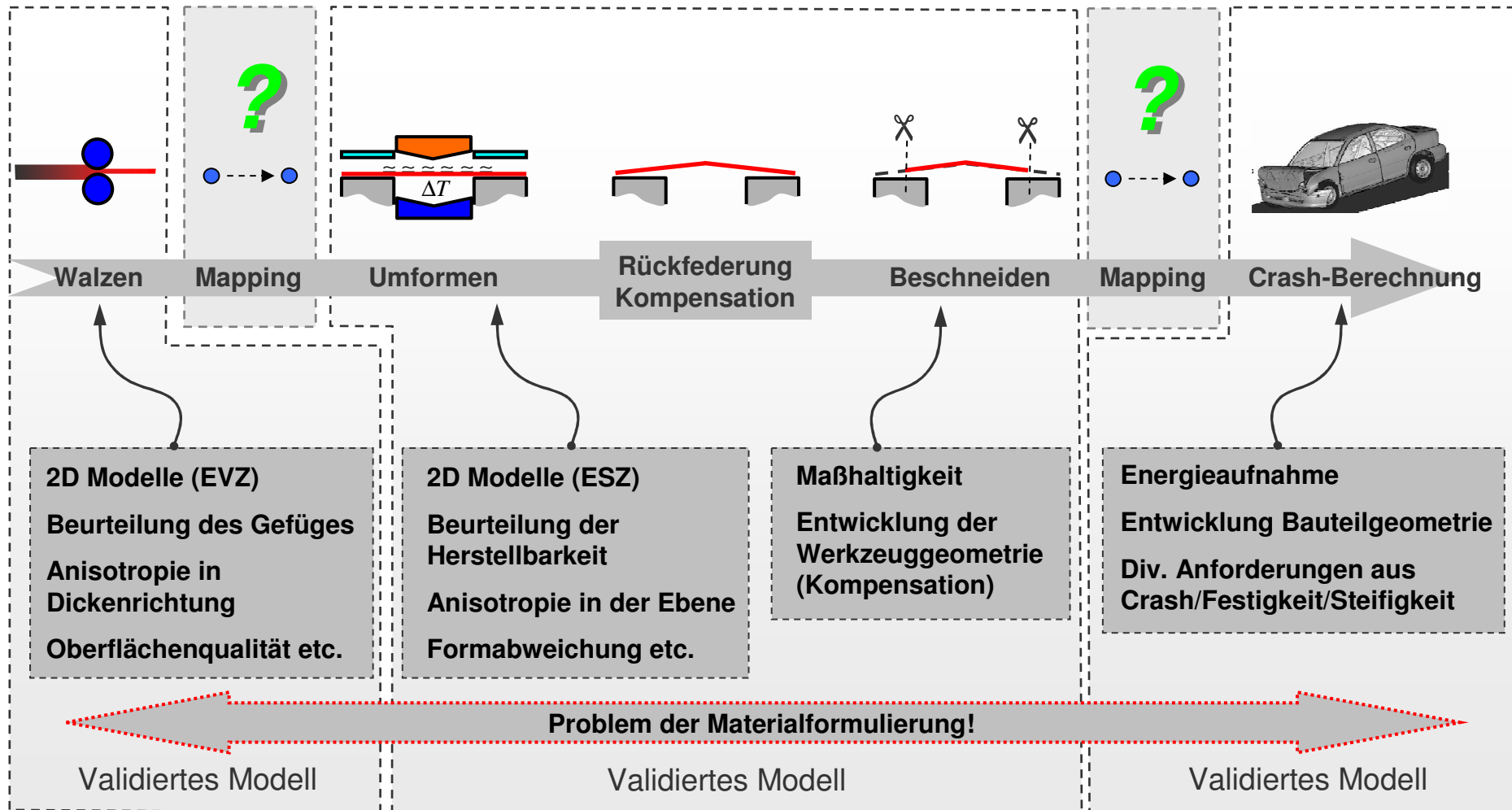
Fokus Materialmodelle



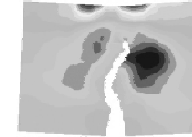
Fokus Materialmodelle



Simulationsprozesskette



Bei Crashbelastung ist bei hochfesten Stählen Versagen durch Reißen zu erwarten. Insofern ist die Vorhersage der Rissneigung auch für die Crashberechnung von großer Relevanz.

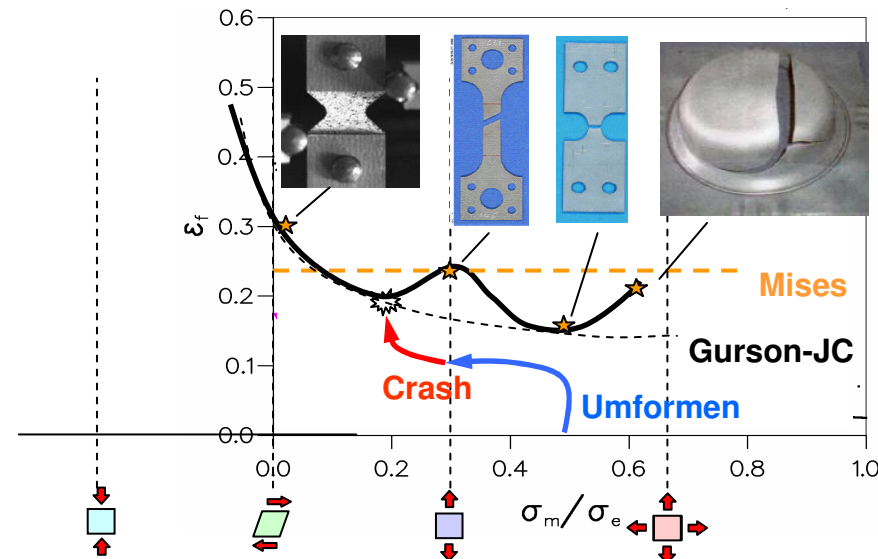


Eine mögliche Vorschädigung aus der Herstellung (Blechumformung) muss daher berücksichtigt werden. Komplexe Versagensmodi lassen sich nicht durch einfache Betrachtung der plastische Dehnungen oder der lokalen Ausdünnung erfassen.

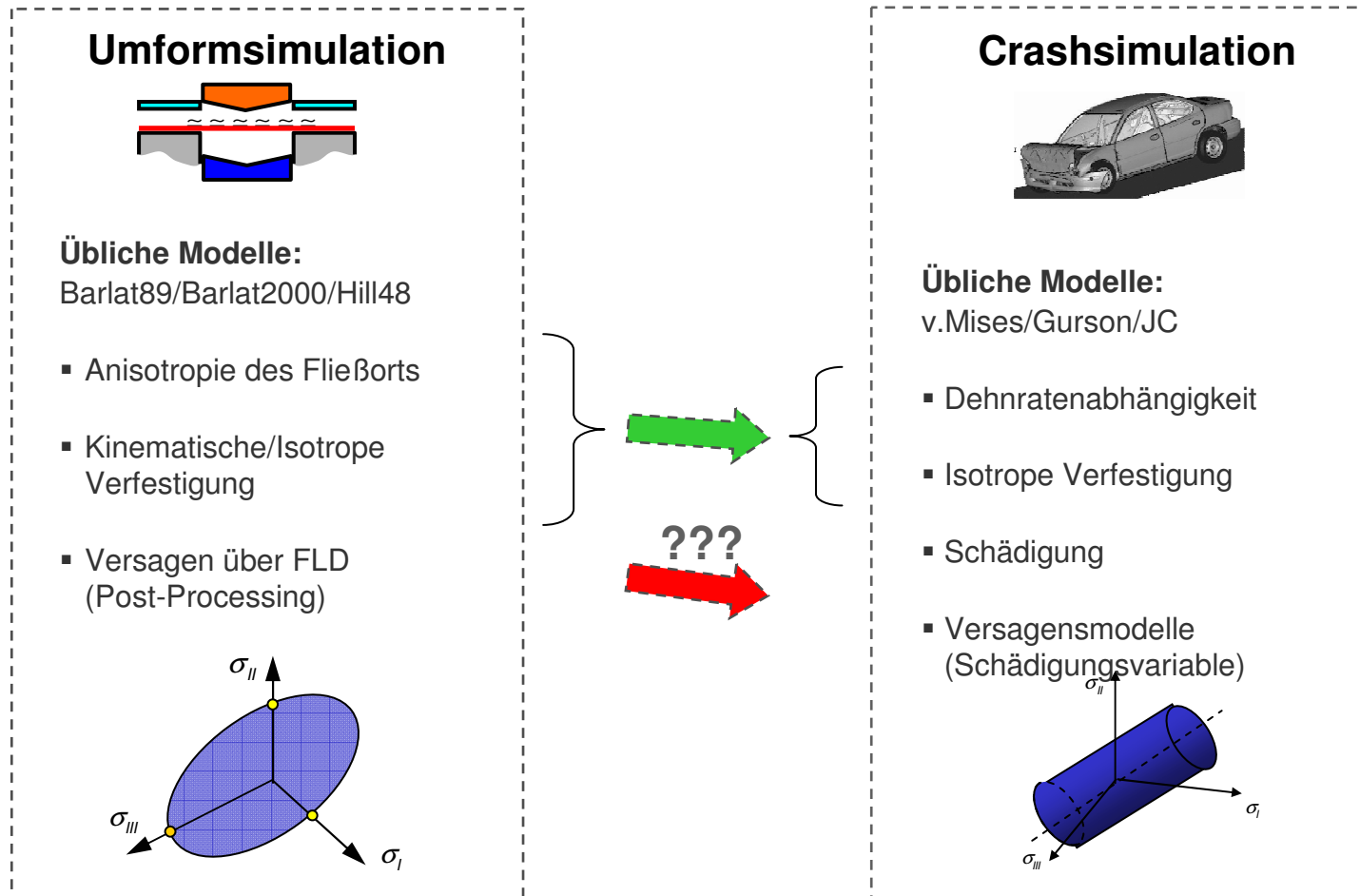
Komponententest einer B-Säule und möglicher Belastungspfad



Eine konsistente Schädigungsmodellierung für die Umform- und Crash-Berechnung ist daher notwendig.



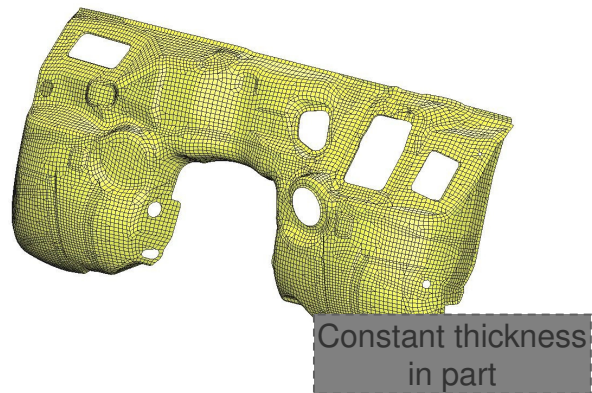
Problem: In beiden Simulationswelten existieren unterschiedliche Modelle, Standards und Validierungsmethoden!



What is “mapping”?

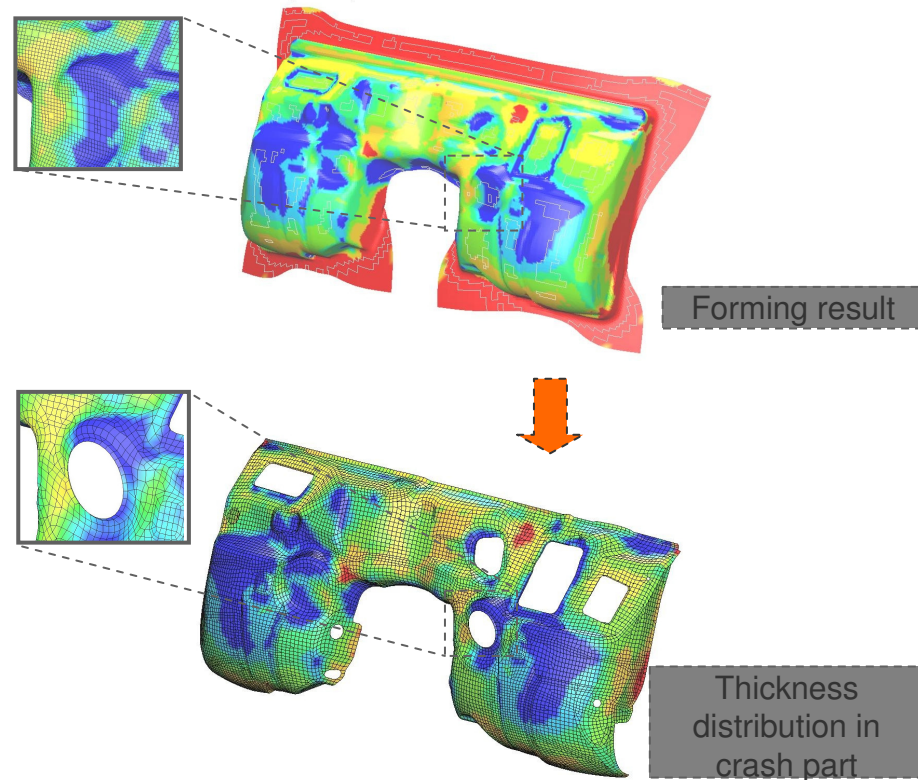
Traditional crash approach

Constant sheet metal thickness in the part



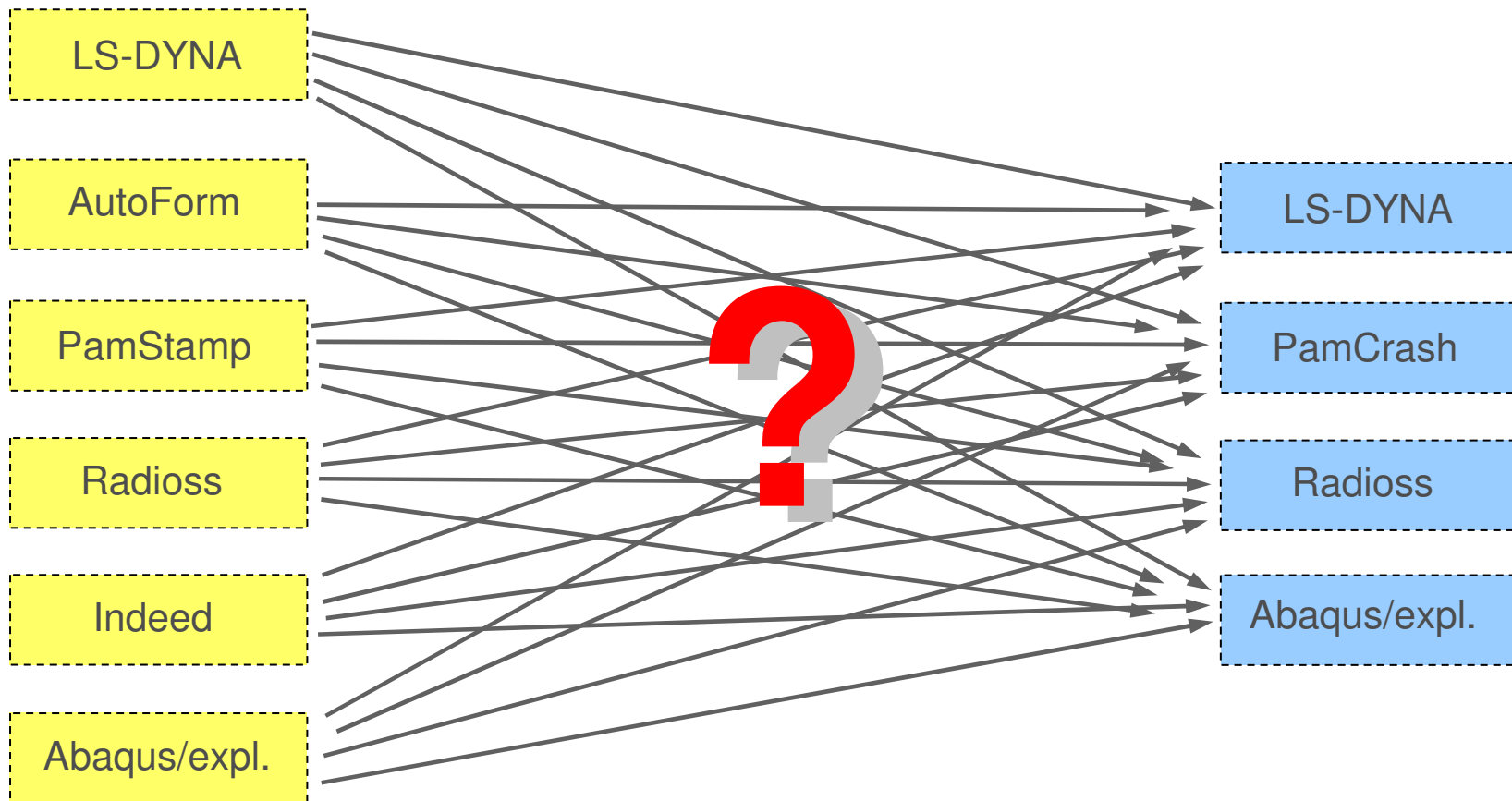
Approach to be used more often

Variable thickness (and more...) in part if forming results are mapped to crash model



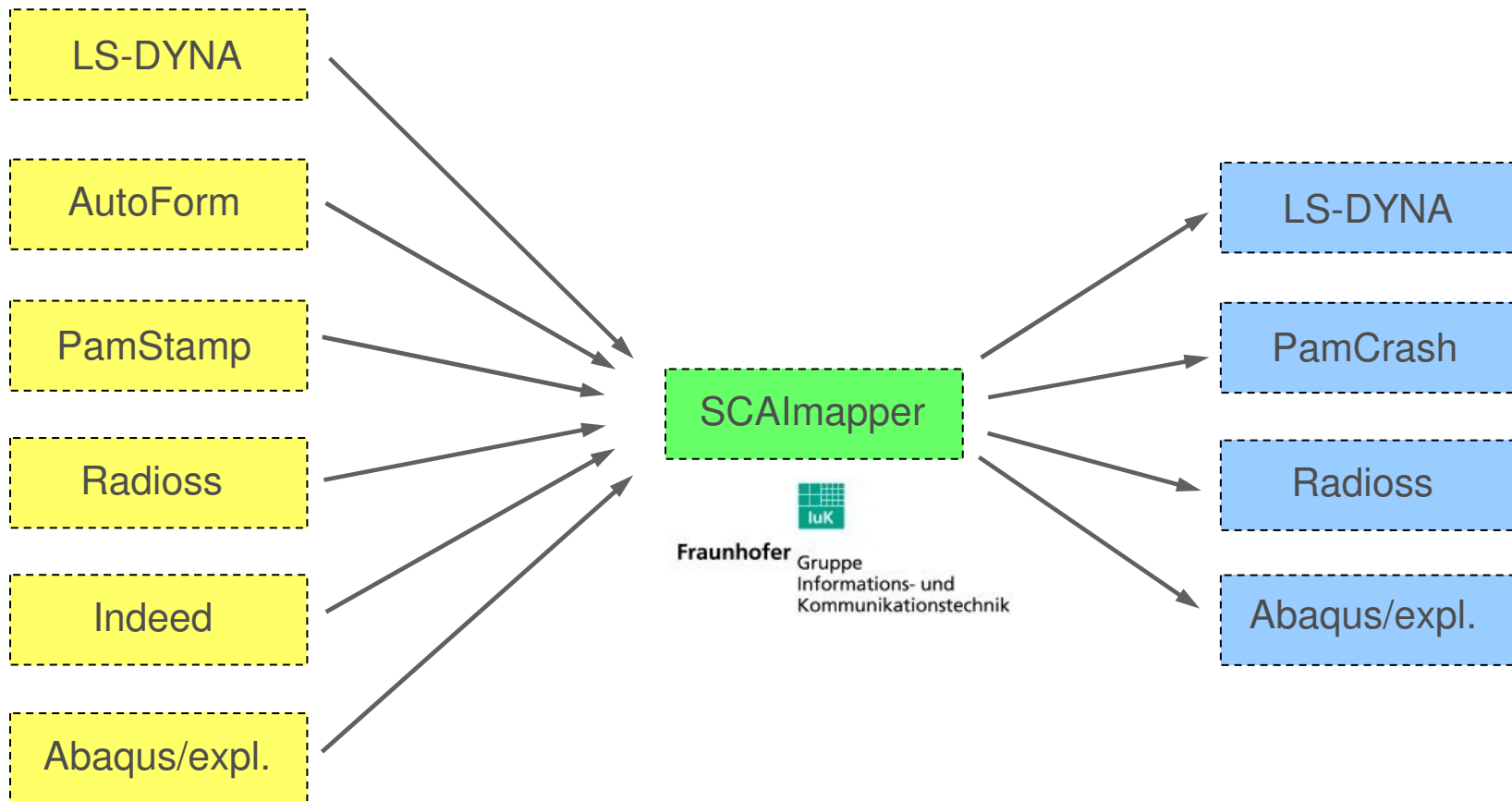
Umform-Codes

Crash-Codes



Umform-Codes

Crash-Codes

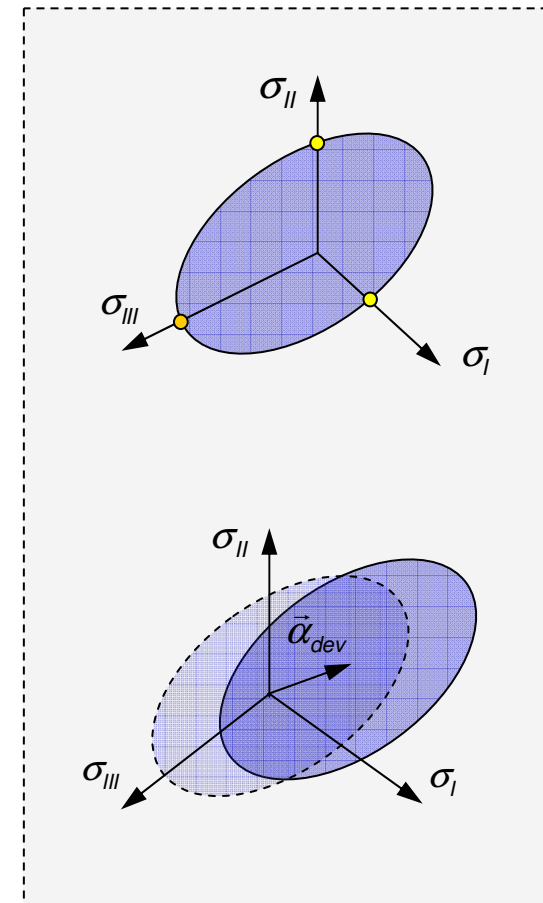


Stand der Technik in der Blechumformung

- Komplexe anisotrope Plastizitätsmodelle
- Zumeist aufbauend auf dem Hill-Kriterium oder Verallgemeinerungen (z.B. Barlat et al.) etc.

$$F_{generalized_Hill} = F |\sigma_I - \sigma_{II}|^M + G |\sigma_{II} - \sigma_{III}|^M + H |\sigma_{III} - \sigma_I|^M - 1 = 0$$

- Die Verfestigung ist zumeist isotrop. Kinematische Verfestigungsmodelle werden erst in jüngster Vergangenheit angewendet.
- Abhängig von der Formulierung kommen mehrere interne Variablen (Hauptdehnungen, Vergleichsdehnungen etc.) zum Einsatz, um das anisotrope Materialverhalten zu beschreiben
- Materialachsen müssen in der Umformsimulation korrekt berücksichtigt werden
- Die Beschreibung der Evolution nach der Gleichmaßdehnung erfolgt über Extrapolationsgesetze (Voce, Swift, Hockett-Sherby etc.) oder Tabellendefinitionen.
Problem der Praxis: Wie wird nach der Gleichmaßdehnung tatsächlich weiter extrapoliert?
- Alle in der Praxis relevanten Modelle sind lokal!
- Versagensbeurteilung erfolgt im Post-Prozessing mittels FLDs

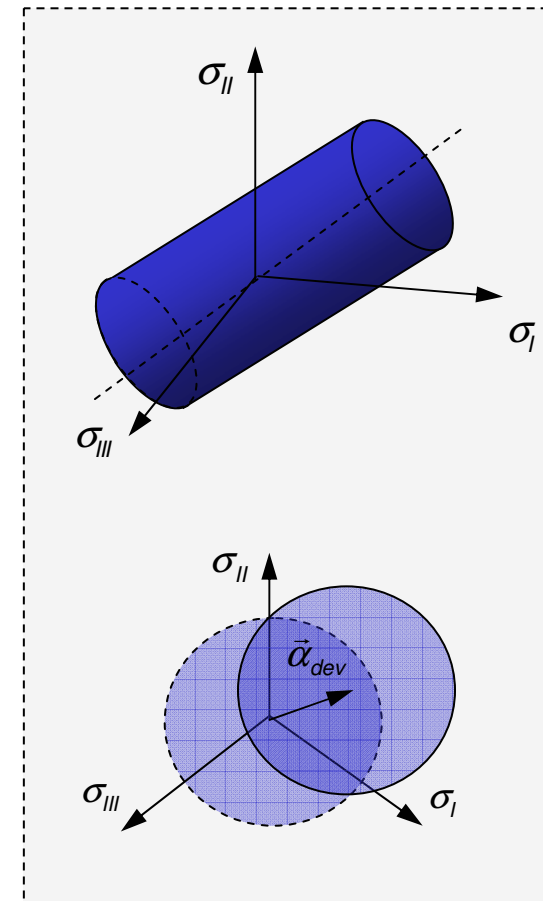


Stand der Technik in der Crash-Berechnung

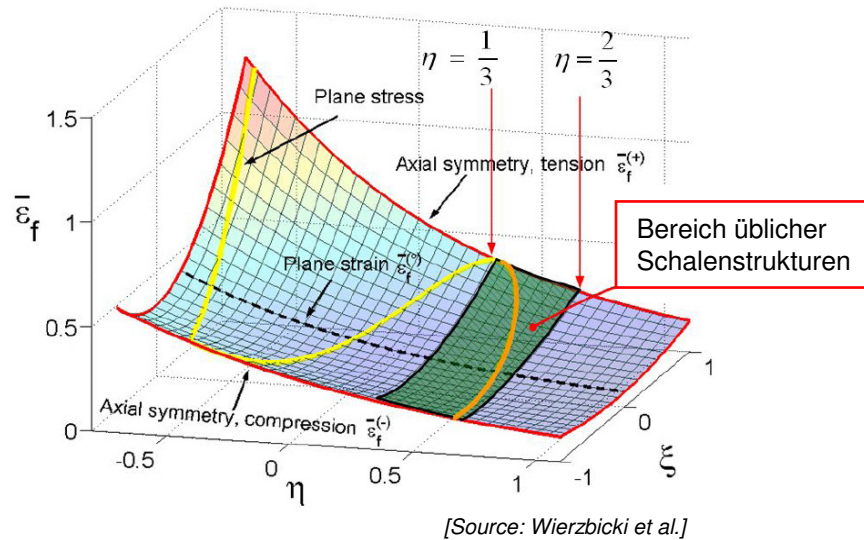
- Derzeit werden in der Regel einfache Plastizitätsmodelle aufbauend auf dem von Mises-Fließort verwendet.

$$F \equiv 0 = \sqrt{3J_2} - \bar{\sigma}_y(\bar{\epsilon}^{pl})$$

- Eine interne Variable beschreibt die Evolution; üblicherweise die plastischen von Mises-Vergleichsdehnungen. Für kinematische Verfestigung werden zudem die entsprechenden Komponenten des sog. back-stress-Tensors gespeichert.
- Spezielle Materialien werden mit komplexeren Modellen (z.B. Gurson/Johnson-Cook) abgebildet, die zudem Schädigung und Versagen beinhalten.
 - Weitere interne Variablen (z.B. zusätzliche Schädigungs- und Versagensgrößen)
 - Die Deformationsgeschichte wird u.U. sogar noch detaillierter protokolliert: Rund 100 Geschichtsvariablen für das CRACH-Model!
- Die Evolution wird in der Regel über Tabellen definiert.
- Alle in der Praxis relevanten Modelle sind lokal!



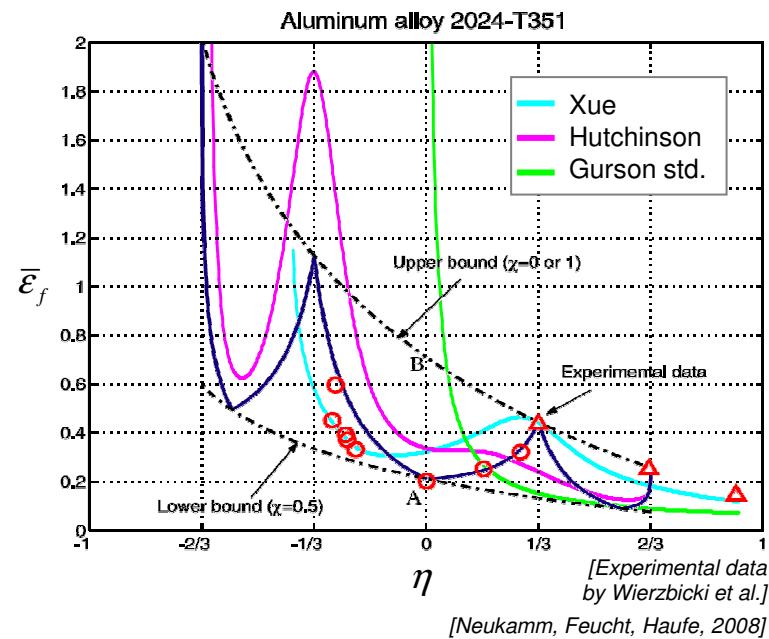
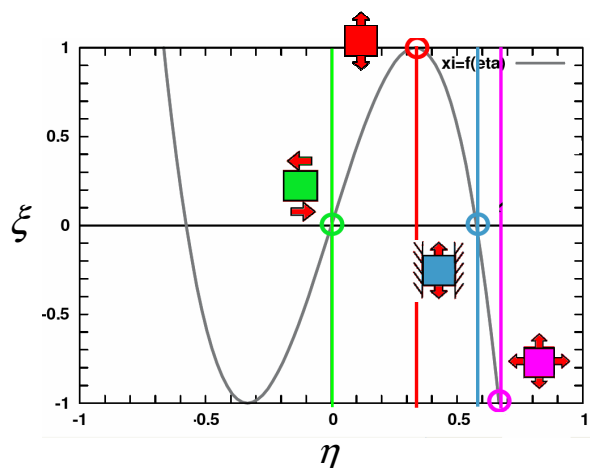
Versagensdehnung als Funktion der Dreiaxsigkeit und des Lode-Winkels



Parameterdefinition

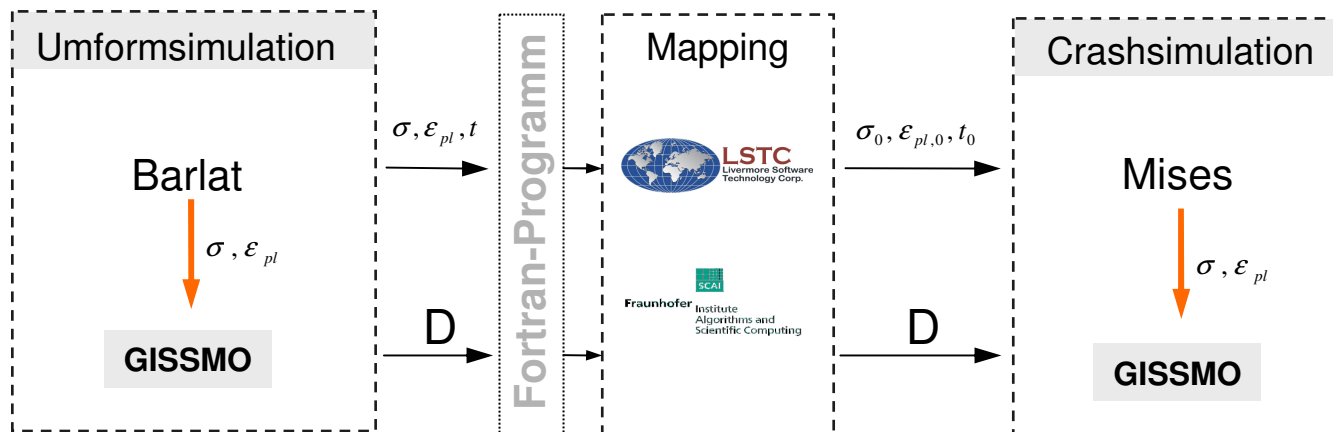
$$\eta = \frac{\sigma_m}{\sigma_{vM}} = \frac{I_1}{3\sigma_{vM}}$$

$$\xi = \frac{27}{2} = \frac{J_3}{\sigma_{vM}^3} \quad \text{mit} \quad J_3 = s_1 s_2 s_3$$



Konzept: Kopplung eines Schädigungsmodells an ein unmodifiziertes Materialmodell der Umformsimulation

- Ein reines Schädigungsmodell basierend auf dem Johnson-Cook-Ansatz
- Keine Rückkopplung an die Deformationen
- Gedacht, die Vorteile eines Gurson-Modells (Versagen, Schädigung) auch in Umformsimulationen zu nutzen, ohne sich dessen Nachteile einzuhandeln



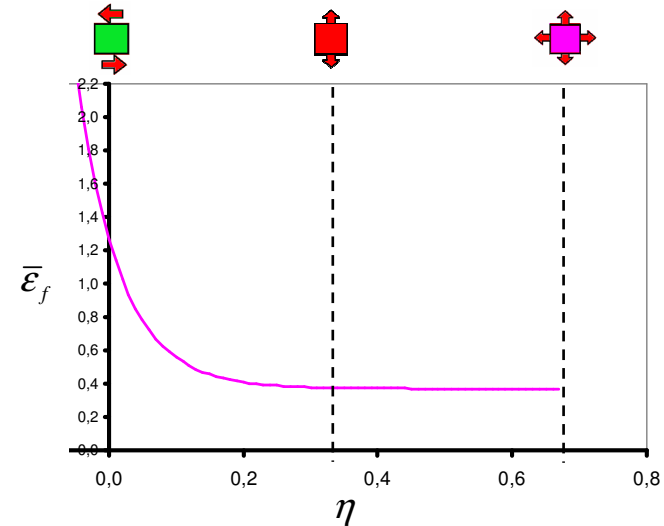
[Neukamm, Feucht, Haufe, 2008]

Das originale Johnson-Cook-Modell bestimmt die Versagensdehnung u. A. als eine Funktion der Dreiachsigkeit η :

$$\epsilon_f = d_1 + d_2 \exp(-d_3 \eta)$$

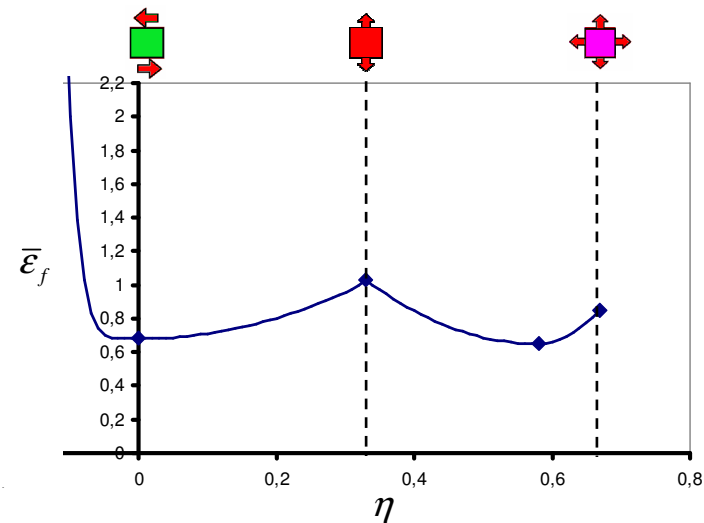
(Temperatur und Dehnratesind hier unberücksichtigt)

Damit ist die Versagensdehnung bei Schubbelastung immer höher als bei ein-axialem Zug. Dies ist für viele Materialien nicht gültig.



In GISSMO kann nun die Versagensdehnung unabhängig von einer geschlossenen Funktion über eine Kurve definiert werden:

Damit werden die obigen Nachteile vermieden und der Anwender gewinnt die maximal mögliche Freiheit, Parameter an entsprechende Versuche anzupassen.



[Neukamm, Feucht, Haufe, 2008]

Die Schädigungsakkumulation beschreibt die Zunahme der Schädigung als Funktion der plastischen Dehnung. Diese ist bei Gurson nichtlinear (selbst bei linearem Dehnungspfad); bei Johnson-Cook jedoch linear.

Eine Modifikation ist notwendig, die die Schädigungsakkumulation in GISSMO von der aktuellen Schädigung D und der Dreiachsigkeit η abhängig macht.

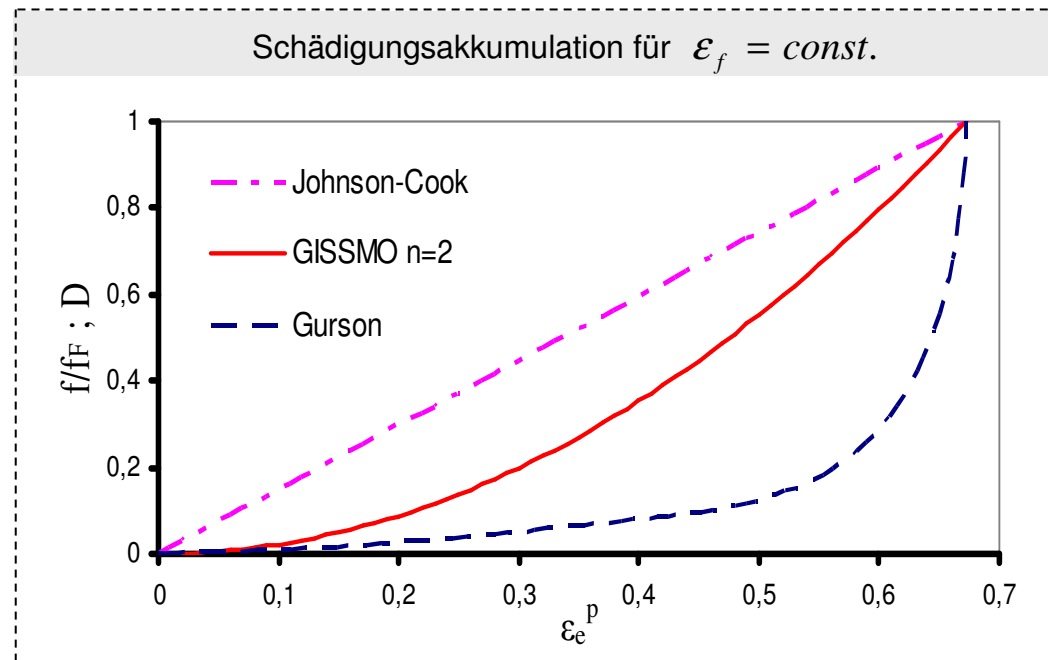
➔ $\dot{D} = f(D, \eta)$

DGL mit Exponentialansatz für die Schädigung:

➔
$$\dot{D} = \frac{n}{\epsilon_f} D^{(1-1/n)} \dot{\epsilon}_p$$

Der Exponent n erlaubt es nun, die Schädigungskurve entsprechend zu beeinflussen.

[Xue et al.]

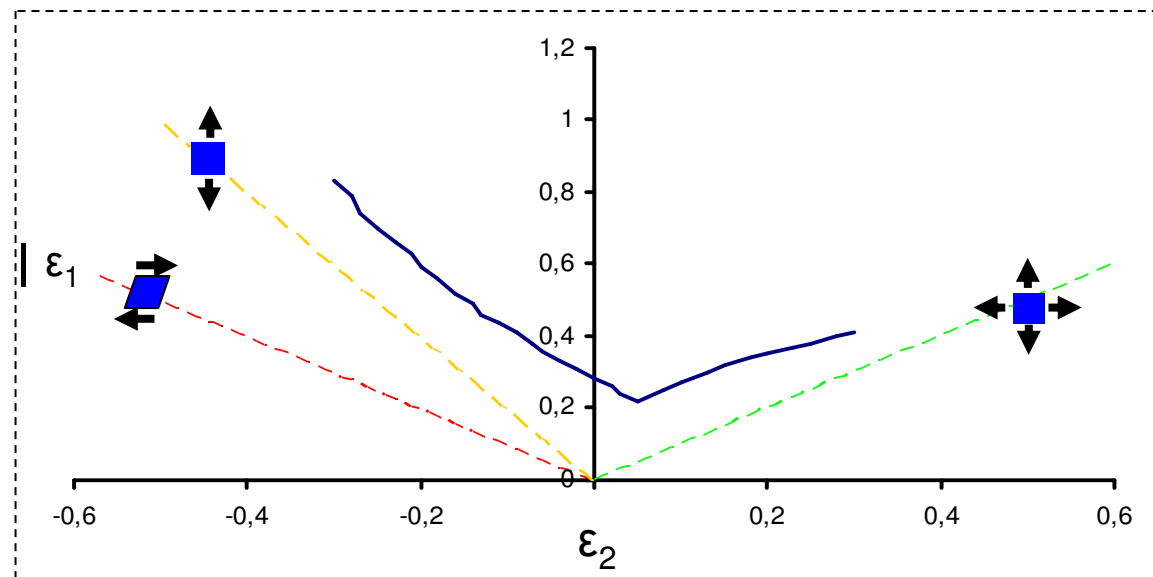


[Neukamm, Feucht, Haufe, 2008]

Die übliche Vorgehensweise, um Versagen in der Umformsimulation festzustellen, basiert auf FLDs; d.h. Vergleich der Hauptdehnungen im Post-Prozessing.

Verfahrensgrenzen:

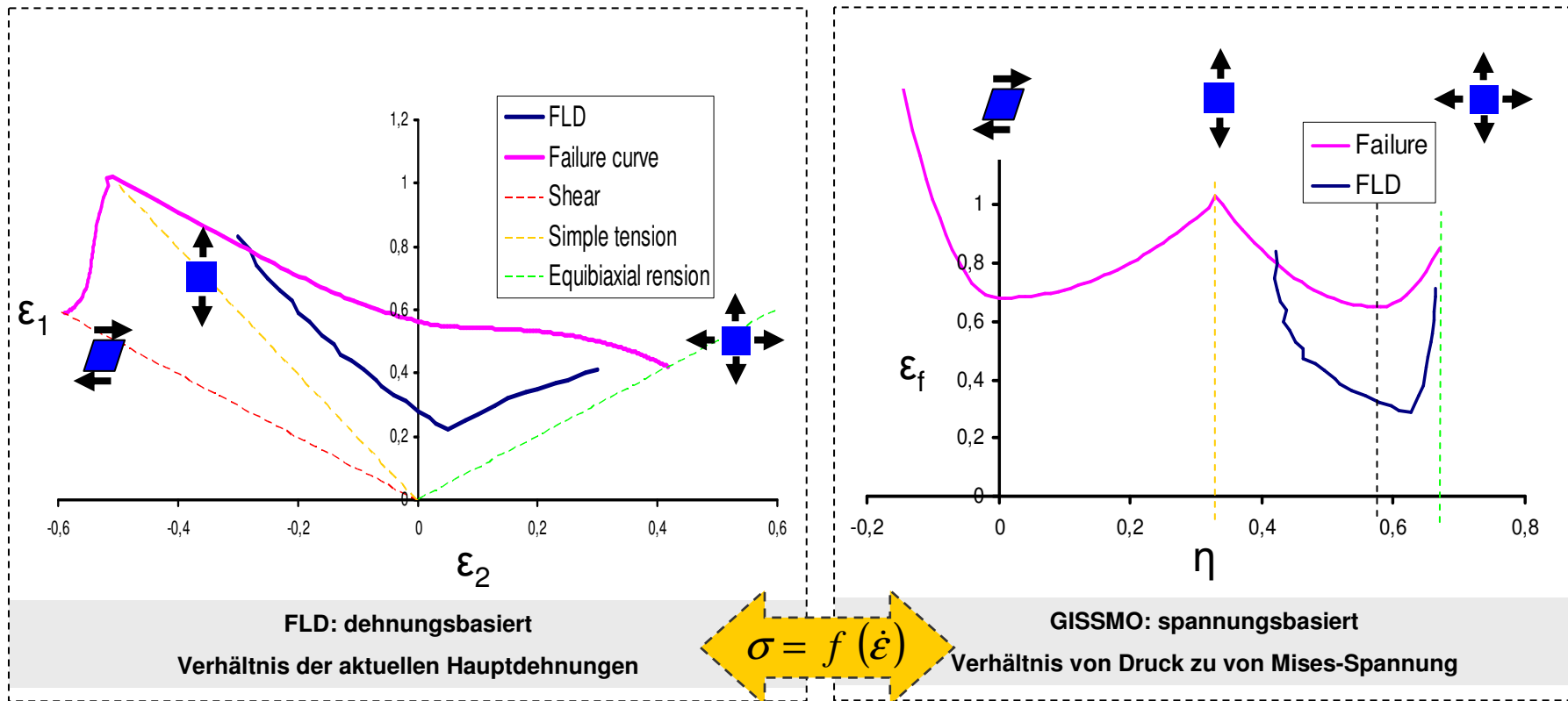
- Keine Dehnpfadabhängigkeit
- Die Bestimmung ist schwierig und mit experimentellen Unsicherheiten behaftet
- Insbesondere für hochfeste Stähle ungenau



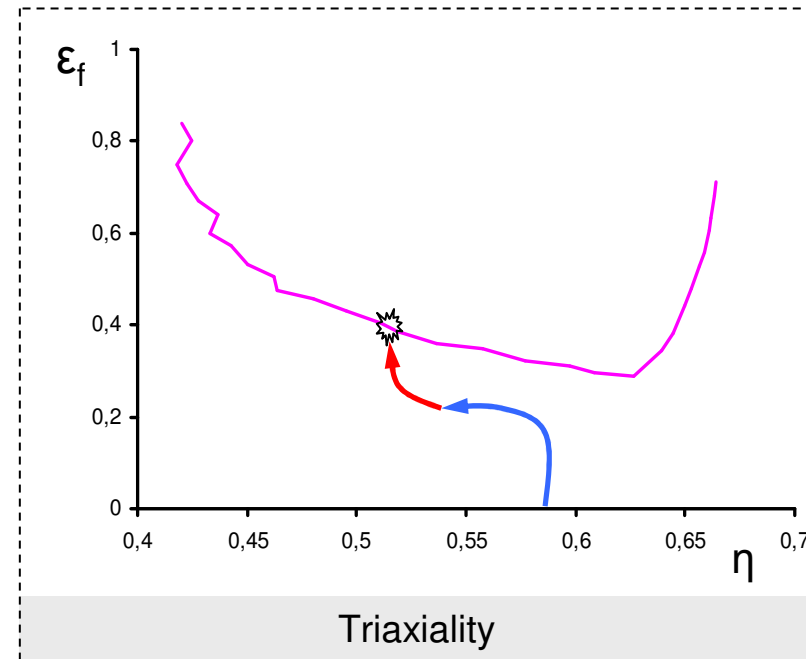
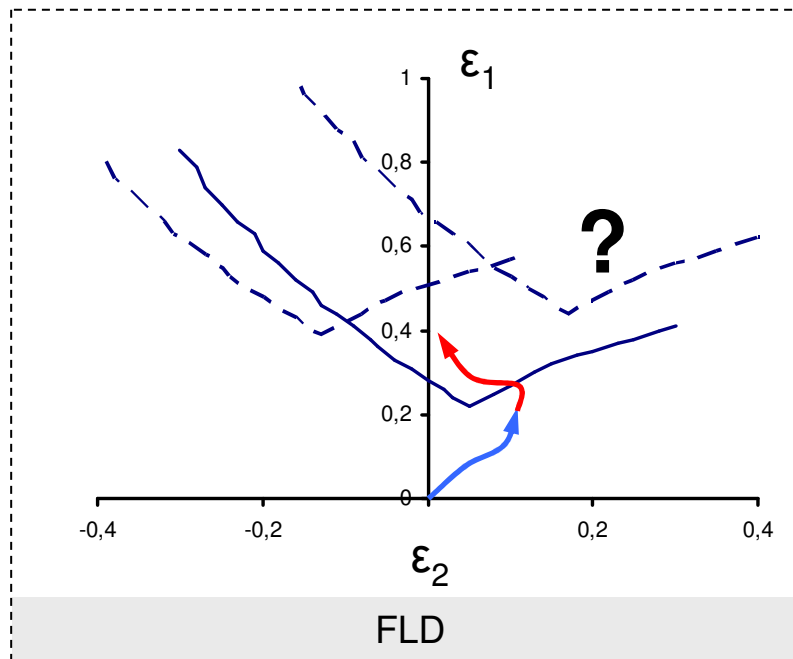
GISSMO liefert als „Nebenprodukt“ eine genauere Vorhersage des Versagens auch bereits für die Umformsimulation!

[Neukamm, Feucht, Haufe, 2008]

Unter Annahme eines ebenen Spannungszustandes und proportionaler Belastung, kann das dehnungsbasierte FLD-Kriterium mit dem spannungsbasierten Schädigungs-/Versagensmodell GISSMO verglichen werden.




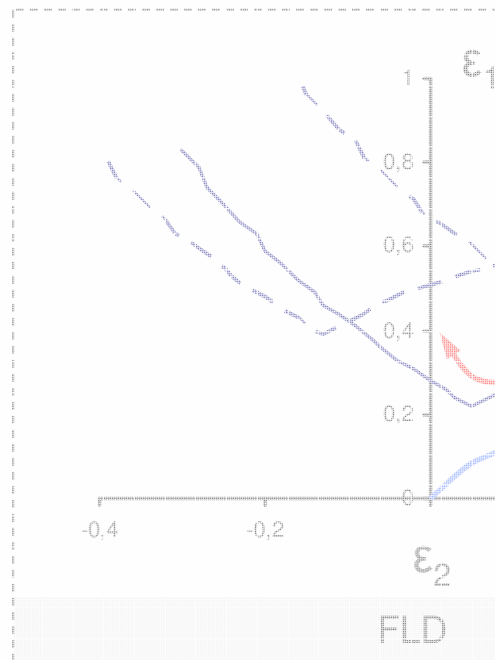
Entsprechend kann man eine solchermaßen gewandelte FLC als Input-Kurve für GISSMO heranziehen und dadurch sehr einfach eine dehnungspfadabhängige Versagensvorhersage erhalten – vorausgesetzt, die ursprüngliche FLC wäre durch dehnungsproportionale Versuche kalibriert worden. Letzteres stellt sich als äußerst schwierig heraus.



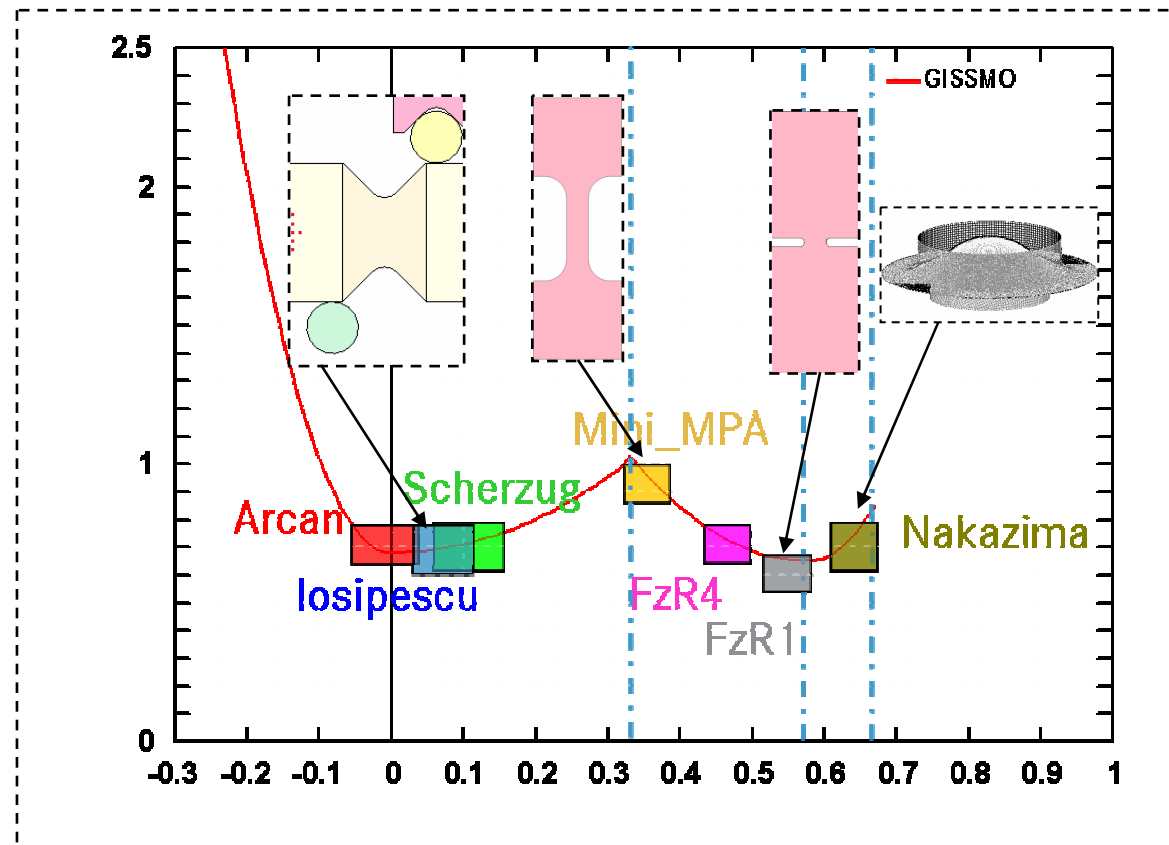
Inkrementelle, auf dem Spannungszustand basierende Schädigungsakkumulation ermöglicht die Berücksichtigung von beliebigen Spannungs- und Dehnungspfaden!

Fokus Materialmodelle: GISSMO vs. FLD

Entsprechend kann man eine solchermaßen gewandelte FLC als Input-Kurve für GISSMO heranziehen und dadurch sehr einfach eine dehnungspfadabhängige Versagensvorhersage erhalten – vorausgesetzt, die ursprüngliche FLC wäre durch dehnungsproportionale Versuche kalibriert worden. Letzteres stellt sich als äußerst schwierig heraus. 



Inkrementelle, auf dem Spar
Berücksichtigt

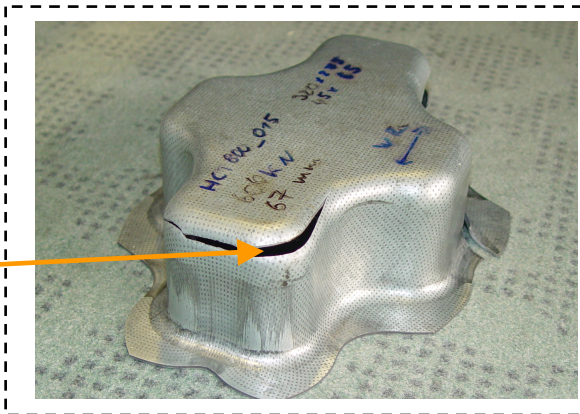


[Ebelsheiser et al., 2008]

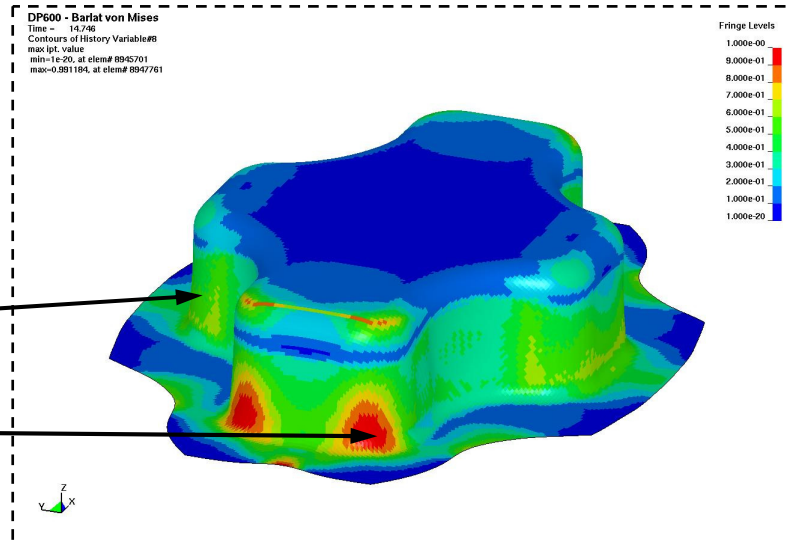
Cross die:

- Standardversuch der Umformtechnik
- Verschiedenste Spannungszustände

➔ Hier: Versagen in einem Gebiet mit dominant biaxialer Zugbelastung.



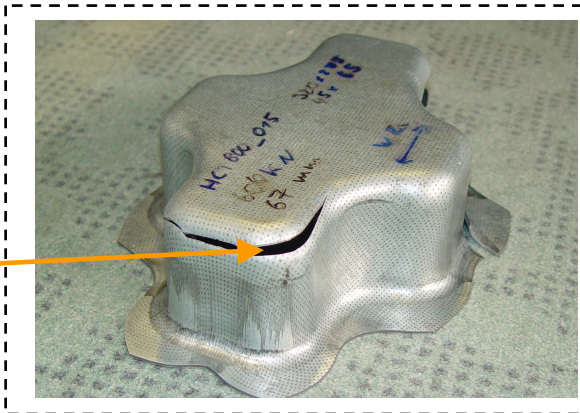
- Einfaches Versagenskriterium (von Mises)
- Lineare Schädigungsakkumulation
- Falsche Versagensvorhersage (an einer Stelle mit Schubbelastung)

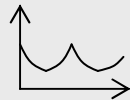




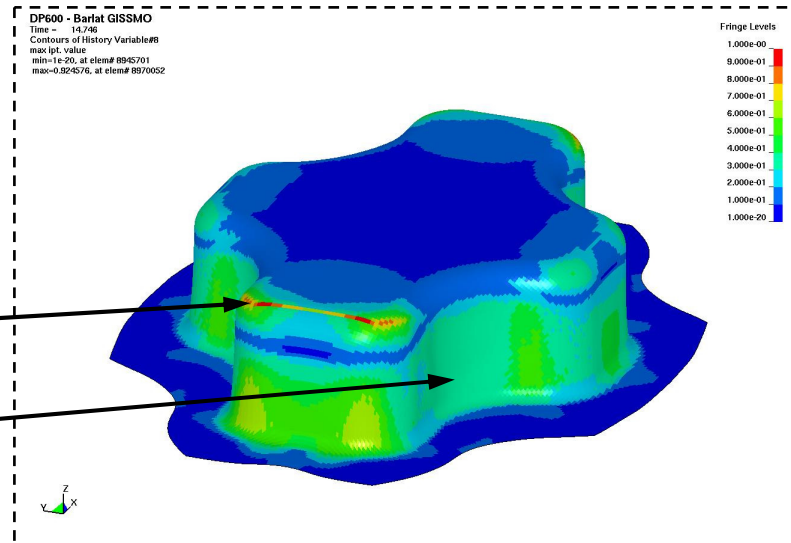
Cross die:

- Standardversuch der Umformtechnik
- Verschiedenste Spannungszustände

➔ Hier: Versagen in einem Gebiet mit dominant biaxialer Zugbelastung.



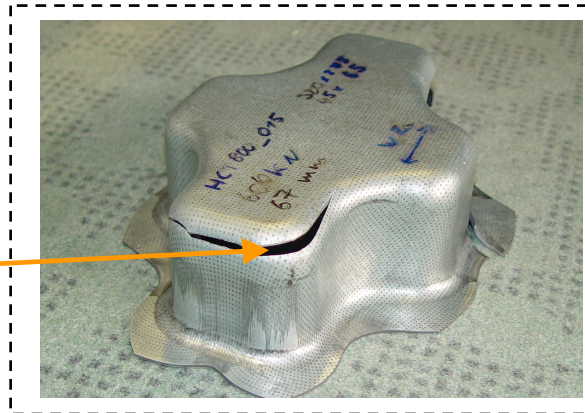
- Komplexes Kriterium (GISSMO linear, $n=1$) 
- Korrekte Versagensvorhersage 
- Lineare Schädigungsakkumulation (Bereich der Schädigung nicht i.O.) 

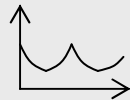


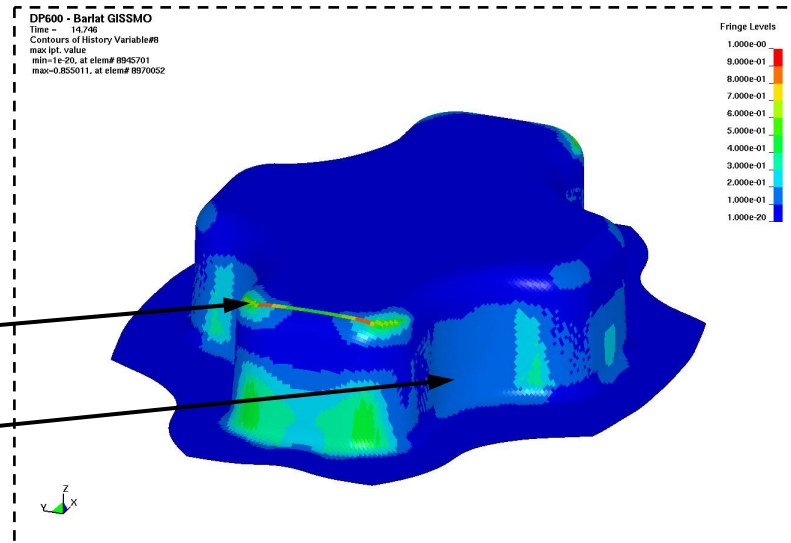
Cross die:

- Standardversuch der Umformtechnik
- Verschiedenste Spannungszustände

➔ Hier: Versagen in einem Gebiet mit dominant biaxialer Zugbelastung.



- Komplexes Kriterium (GISSMO linear, $n=2$)  ✓
- Korrekte Versagensvorhersage ✓
- Exponentielle Schädigungsakkumulation (Bereich der Schädigung i.O.) ✓



- Robuste und zuverlässige Blechumformsimulationen sind durchaus Stand der Technik. Es darf jedoch der notwendige Aufwand, belastbare Material- und Prozessparameter zu ermitteln und ausreichend detaillierte Modelle aufzubauen, nicht unterschätzt werden. Die hierzu notwendigen Expertenkenntnis (Computerorientierte Mechanik) kann durch keine noch so ausgeklügelte Bedienoberfläche ersetzt werden.
- Der Abgleich immer komplexer werdender Materialmodelle mit den Berechnungsmodellen erfordert erfahrene Experimentatoren genauso wie erfahrene Simulanten:

It is a simple task to define a complex experiment but a complex task to define a simple experiment.
(Michael P. Collins)

- Messergebnisse von Experimenten sind ebenso kritisch zu hinterfragen wie solche aus Berechnungen.
- Es scheint angebracht (überfällig), Modellierungsstandards für wohl definierte Aufgabenstellungen (Tiefziehprozess, Rücksprung, Mapping etc.) einzufordern, da die Einflüsse unterschiedlicher Modellierungstechniken nicht zu vernachlässigen sind.
- Das Selbe gilt für Experimente zur Validierung und Parameterbestimmung!

**Herzlichen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

