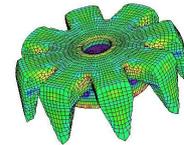
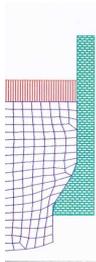
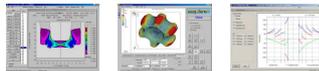


## Entwicklung der Umformsimulation in der Massivumformung von den frühen 80ern bis heute



Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
CPM GmbH, Herzogenrath



### Vorgeschichte

bis in die 1980er Jahre

Großrechner, Abteilungsrechner  
(Verwaltung, Finanzen, Ingenieurwendungen in Großbetrieben)

Einführung von Rechnern im Ingenieurbereich in der Umformtechnik

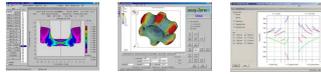
Einführung von CAD

Diverse Kleinrechner (Atari, Sinclair, Z80 etc ganz selten für  
„ernsthafte“ Anwendungen)

1981 IBM PC



Wikipedia



Entwicklung der Umformsimulation...

Vorgeschichte



Der „reale“  
Ingenieur

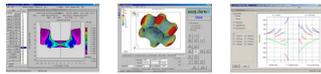


Der Ingenieur im Wandel

1980er



Der CA-Ingenieur



Entwicklung der Umformsimulation...

Vorgeschichte



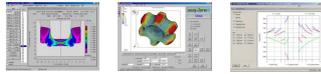
Der „reale“  
Ingenieur



Entwicklung eines einfach zu handhabenden  
Systems zur Simulation vom Massivumformung  
auf zukünftigen lokalen Rechnerstrukturen



Der CA-Ingenieur



## Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

### Basientwicklungen FEM (2D)

Elementtypen

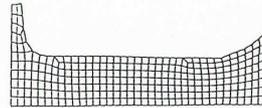


Kontaktalgorithmen

Löser von Gleichungssystemen

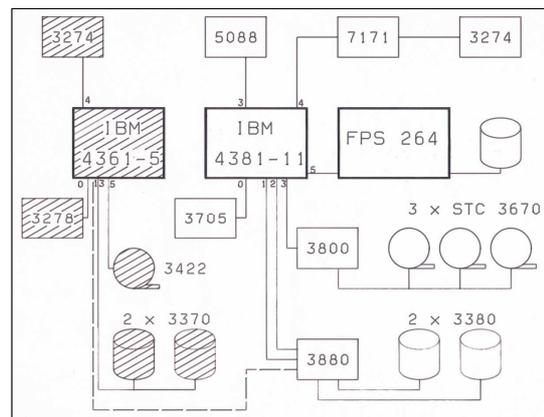
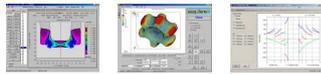


Vernetzungsmethoden



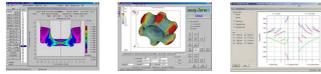
Einfache Handhabung

Materialgesetze



### Entwicklungsumfeld in den 1980ern

**Leistung** ca.. 60 MFLOPS  
**Vergleich**  
**Core i7,**  
**3,47 GHz, 83,2 GFLOPS**  
**6 Kerne**



Entwicklung der Umformsimulation... Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

### Erster Prototyp eines FEM Programms zur Anwendung auch auf PC

#### CAPS-Finel V1.0 (1989)

2D achsen-symmetrisch und eben

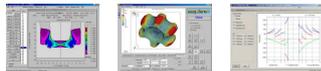
Modellierung, Simulation, Postprocessing in einem System

Einfache Benutzerführung durch Frage-Antwort Dialog

Starr-plastisches Materialgesetz

Thermische Kopplung

Automatisches Vernetzen



Entwicklung der Umformsimulation... Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

#### CAPS-Finel V1.0 (1989)

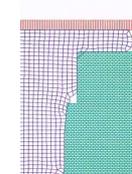
Prototyp simuliert

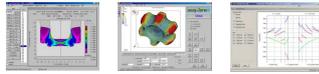
erste industrielle Prozesse in der Warm und Kaltumformung

Weiterentwicklung erfolgt in Richtung

- Einsatz auf PC
- Erarbeitung einer grafischen Benutzeroberfläche  
(-> „Windows“ gab es noch nicht)
- Randbedingungen
- Materialdaten

Beginn von Arbeiten über Mikrostruktur mit Luftfahrtfirmen

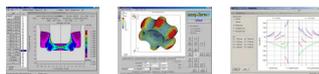
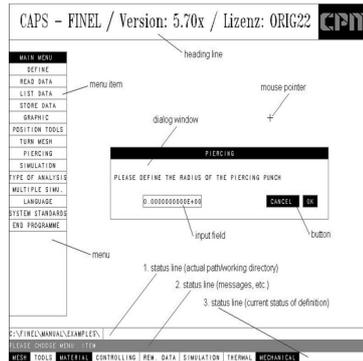




**Entwicklung eines grafischen Interfaces und erste Installationen**



Grafische Oberfläche und  
Menüführung  
CAPS-Finel



**Industrieeinführung und spezielle Entwicklungen für die  
Kaltumformung 1990er**

**Entwicklung eines grafischen Interfaces und erste Installationen**

**Projekt der deutschen Schraubenindustrie**

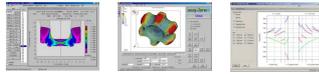
**Verbesserung technologischer Module**

**Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse**

**Elastische Werkzeuge**

**Materialdaten**

**Mikrostruktur**



## Industrieeinführung und spezielle Entwicklungen für die Kaltumformung 1990er

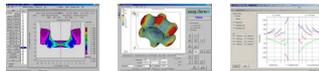
**Neuer Reibungsansatz**

**Schadenanalyse**

**Erste 3D Anwendungen**

**3D Toolbox**

**Neues „eesy“ Design (eesy-2-form, eesy-form)**



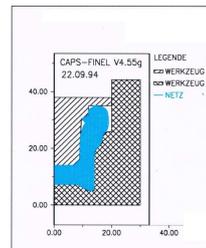
## Projekt der deutschen Schraubenindustrie

Ab 1991 Aufnahme von CPM in ein Projekt des DSV

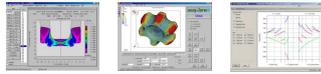
Neben Prozeßüberwachung, Stadiengangauslegung,  
Pressenbewegungsablauf und Kollisionsanalyse sollte auch

**Simulation**  
mit Hilfe der FEM

entwickelt werden.

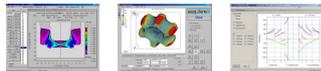
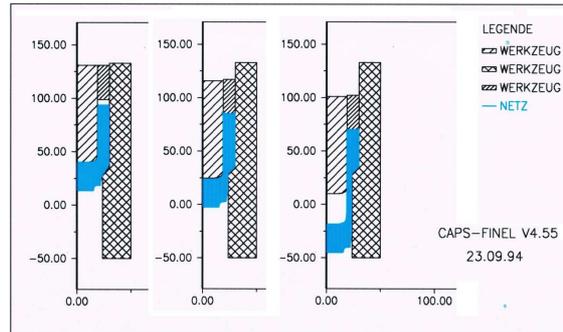


Simulation einer  
Faltenbildung 1994



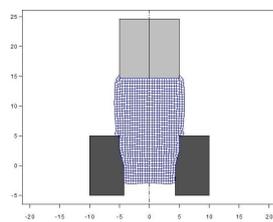
### Verbesserung technologischer Module

Hier: Werkzeuge mit Feder

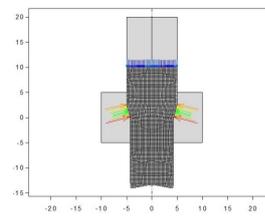


### Verbesserung technologischer Module

Hier: Reibung

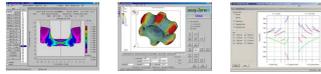


Falsches Ergebnis



Richtiges Ergebnis

Reibungsbeschreibung, hier: Reduktion



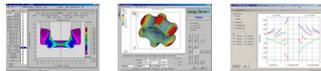
### Neuer Reibungsansatz

**Friction**

**Coulomb**  $F_r = \mu * N$

**Max. shear stress**  $\tau = m * k$

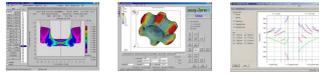
**Combined  
Coulomb / max. shear stress**



### Verbesserung technologischer Module

Hier: Möglichkeit der Ergänzung nicht vermaschter Geometrien

	XKoord	YKoord
R1	1.500	-2.500
R2	1.500	-1.500
P1	2.400	-1.400



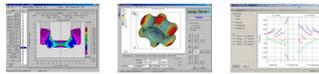
### Erste 3D Entwicklungen

Ende des 90er Jahre wurde die Entwicklung der 3D Software intensiviert

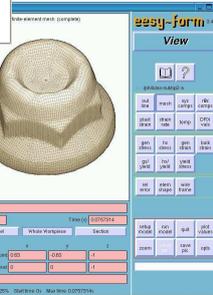
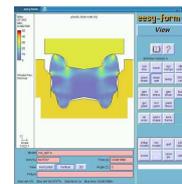
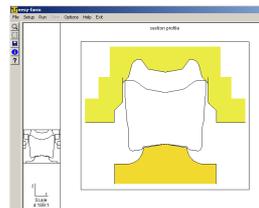
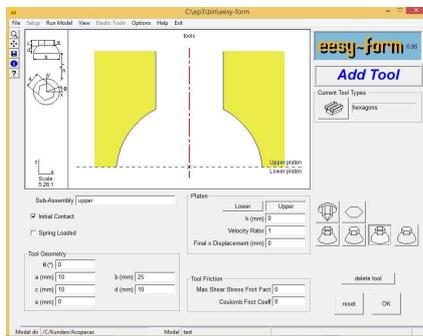
Hexaederelemente

Elastisch-plastisches Materialgesetz

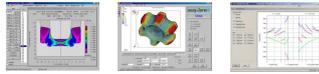
Möglichkeit der Generierung einfacher Geometrien direkt im System (zusätzlich zum üblichen Transfer via stl aus CAD Systemen)



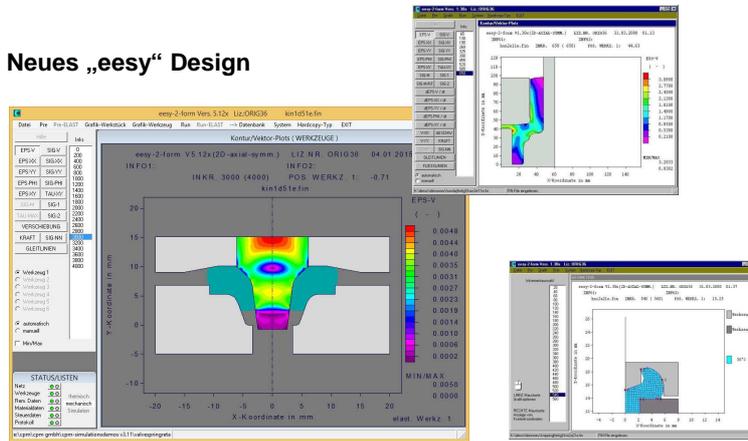
### 3D Toolbox



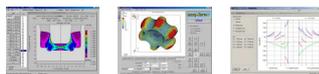
### 3D Simulation Mutter – Modulierung über Toolbox



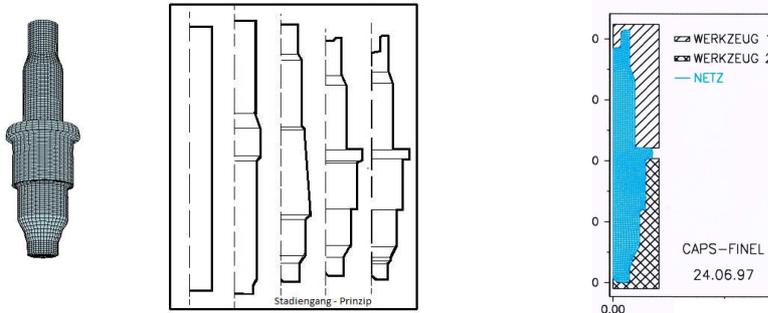
### Neues „easy“ Design



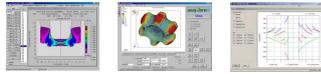
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



### Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse



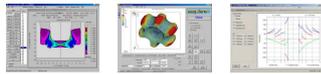
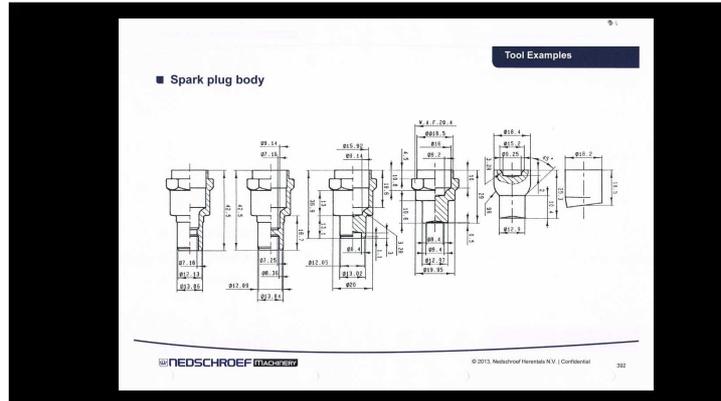
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



**Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse**



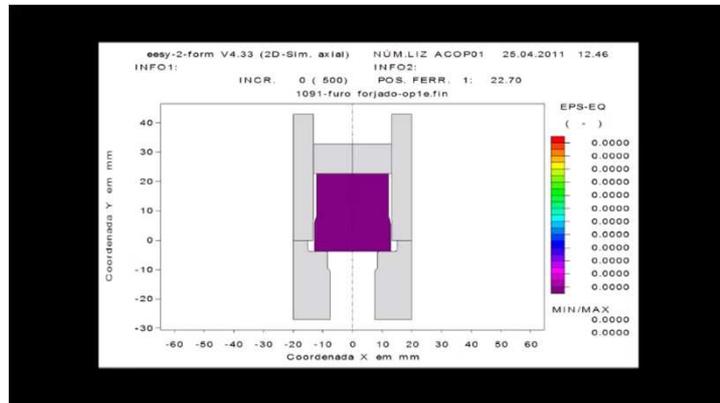
Zündkerze 2000

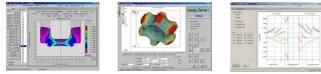


**Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse**

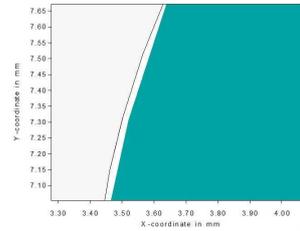
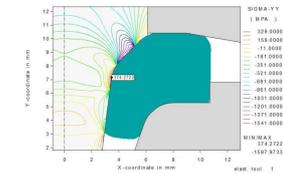
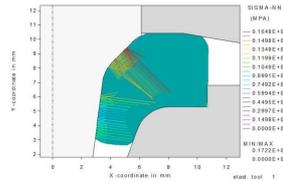


„Mehrstufen  
in einer  
Stufe“ mit  
komplexer  
Werkzeug-  
bewegung





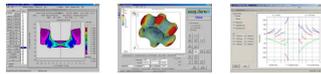
### Fehleranalyse



### Analyse

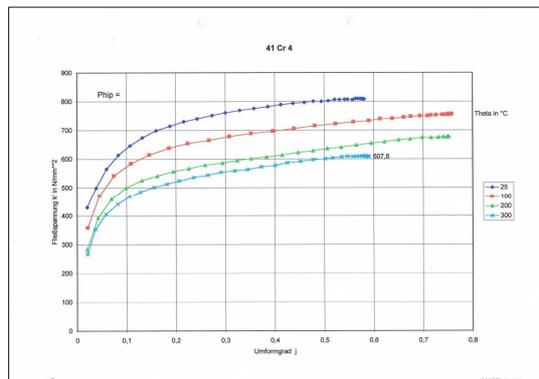
Druck auf der Oberfläche  
Axialspannung alternierend  
im Werkzeug  
und Erklärung  
Fehlender Kontakt  
während der Umformung  
(keine Luft oder Öl!)

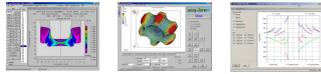
Stempelbruch beim Fertigen eines Ventildfertellers



### Materialdaten

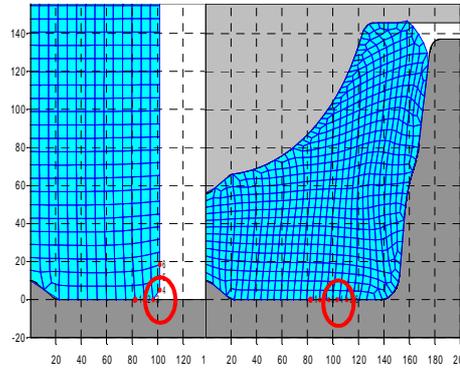
Ein Projekt des Landes NRW ermöglichte es einen ersten umfassenden Bestand von Fließkurven zu ermitteln



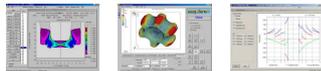


**Materialdaten**

Falsche Materialdaten führen zu einem Ergebnis ohne Falten

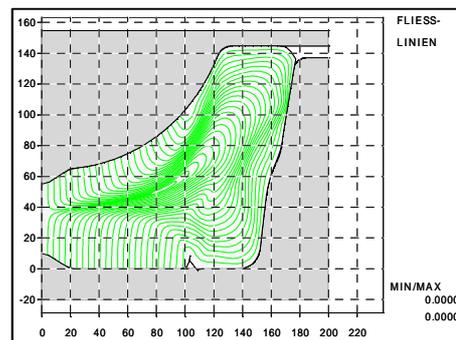


Bilder Eigentum der Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

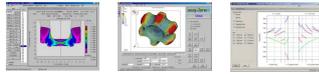


**Materialdaten**

Korrekte Materialdaten führen zu einem Ergebnis, das die Falte zeigt

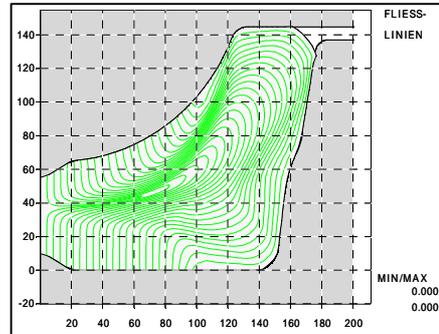


Bilder Eigentum der Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

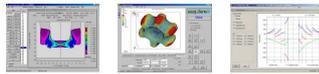


### Materialdaten

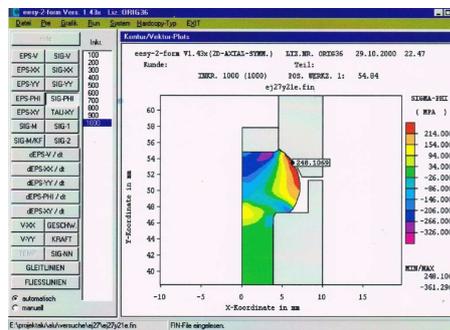
Variationen mit korrekten Materialdaten ermöglichen das Vermeiden der Falte



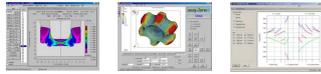
Bilder Eigentum der Leistriz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH



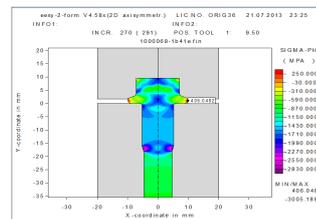
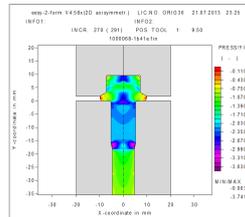
### Schadenanalyse



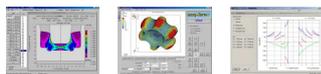
Hier Spannungsanalyse zur Erklärung eines Risses an einer Alu Schraube



### Schadenanalyse



Hier Spannungsanalyse zur Erklärung einer Aufplattung (Materialfehler)



### Vervollständigung und Ertüchtigung technologischer Module, Werkzeuganalyse und 3D Simulation mit automatischem generieren hexagonaler Elemente (2000er)

Verbesserung und Vervollständigung technologischer Module (Kontakt, Reibung, Faltenbildung, lokal unterschiedliche Reibung...)

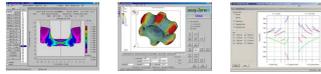
**System zur Auslegung und Optimierung von Werkzeugen**

**Vollautomatisches Vernetzen (hex) in 3D**

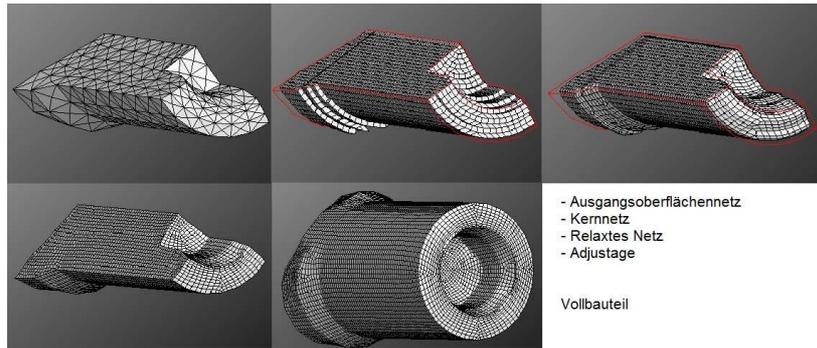
Lokale Reibungsbeschreibung

**Zusätzliche oberflächennahe Analysen -> Tribosystem**



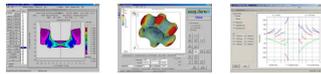


### Vollautomatisches Vernetzen (hex) in 3D

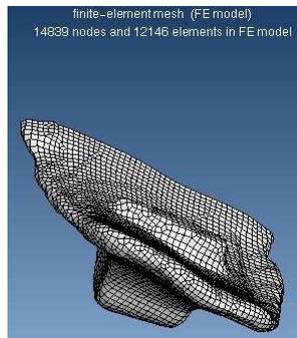


- Ausgangsoberflächennetz
- Kernnetz
- Relaxes Netz
- Adjustage

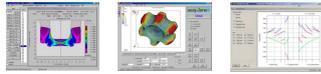
Vollbauteil



### Vollautomatisches Vernetzen (hex) in 3D

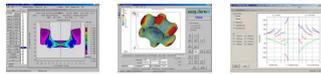


Luftfahrtteil



**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

Im Folgenden werden einige  
aktuell Anwendungsbeispiele  
gezeigt und zukünftige  
Entwicklungen angesprochen

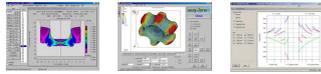


**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

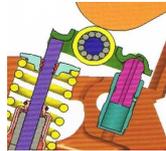


Fertigung eines Rotors  
aus Blech





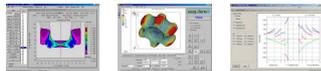
### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



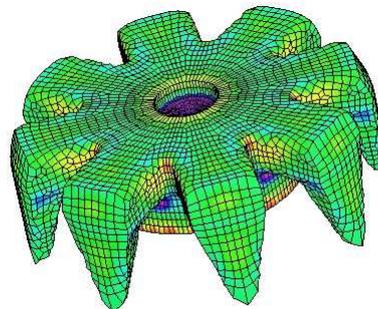
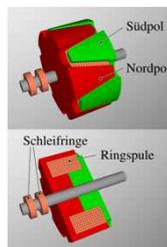
Ventilsteuerung  
Ausgleichselement

(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland

37



### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

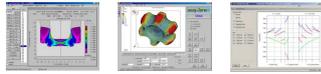


(Schenkelpolmaschine – Wikipedia)

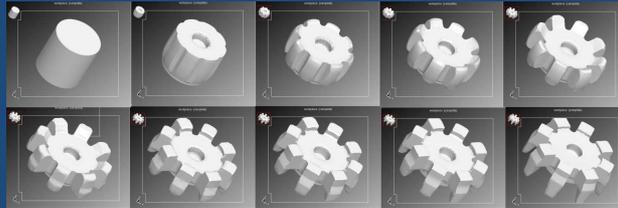
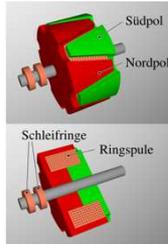
Polklaue

(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland

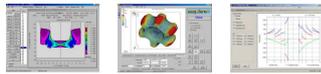
38



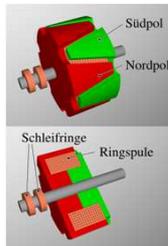
### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



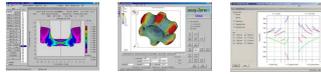
1. Stufe Warm



### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

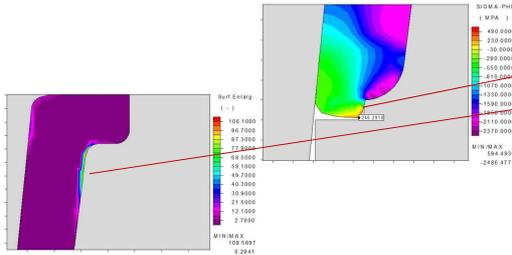


2. Stufe Kalt



**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

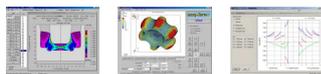
Aufrauung und Riss an einem Ventildfederteller



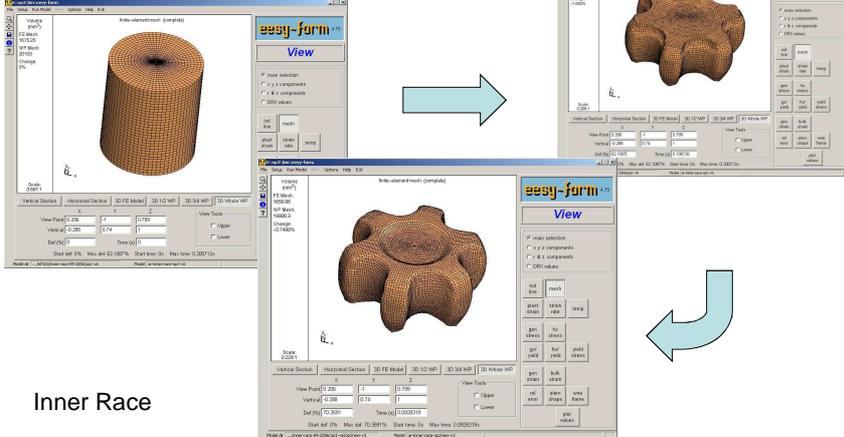
Oberflächen  
vergrößerung

Umfangsspannung

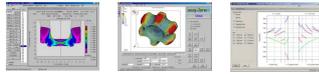
Fehlerhafter Ventildfederteller



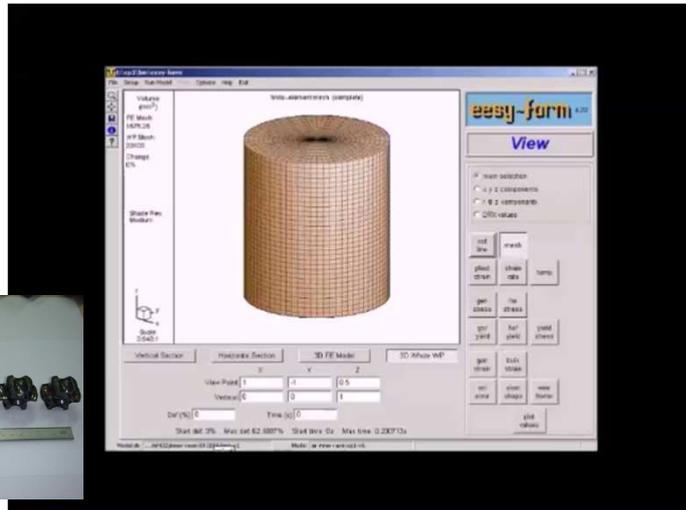
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



Inner Race

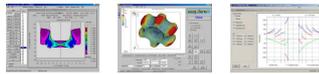


Entwicklung der Umformsimulation... Aktuelle .....-beispiele und Ausblick



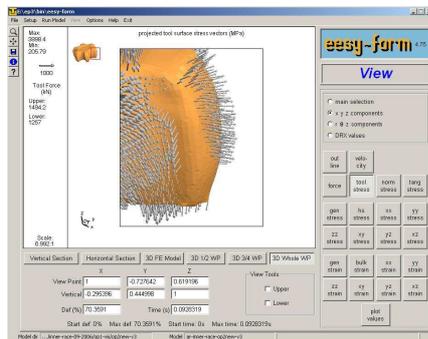
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland

43

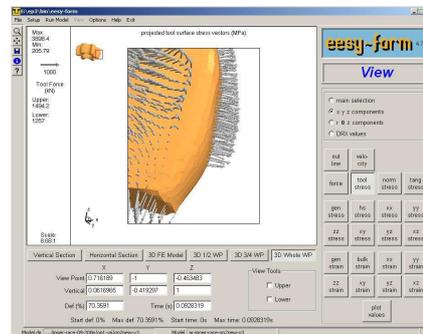


Entwicklung der Umformsimulation... Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

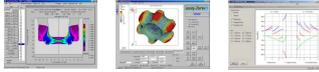


Inner Race

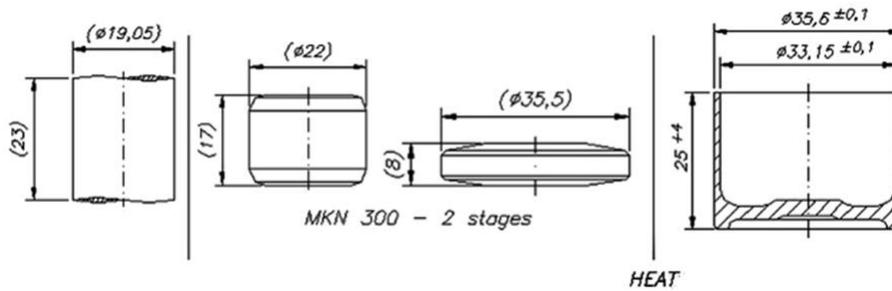


(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland

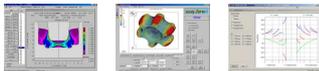
44



### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



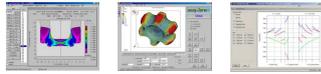
Ventilstößel



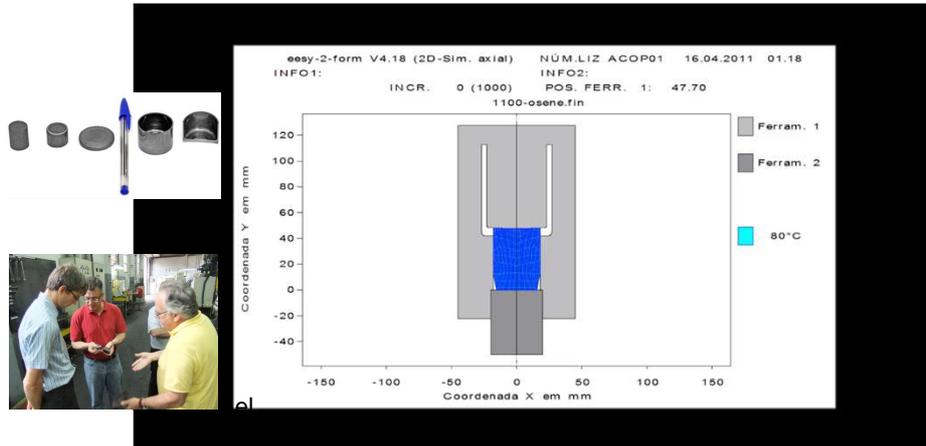
### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



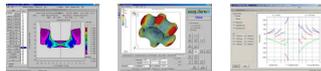
Ventilstößel



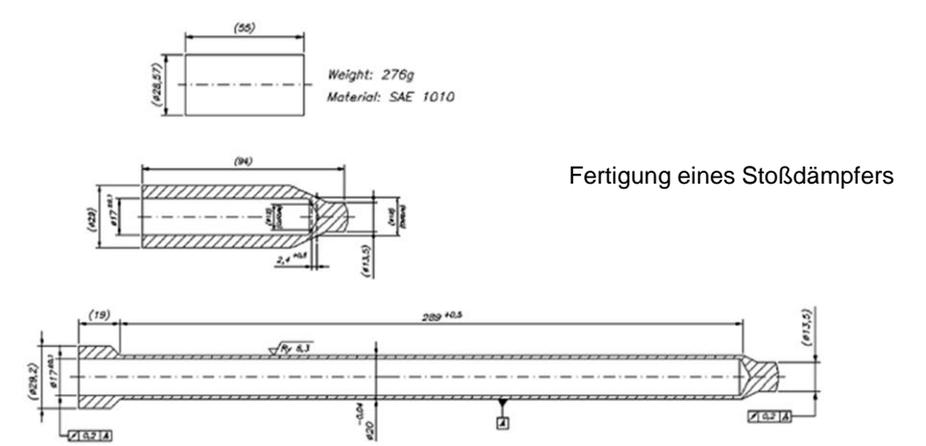
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



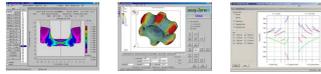
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



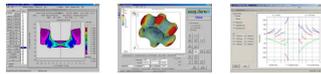
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



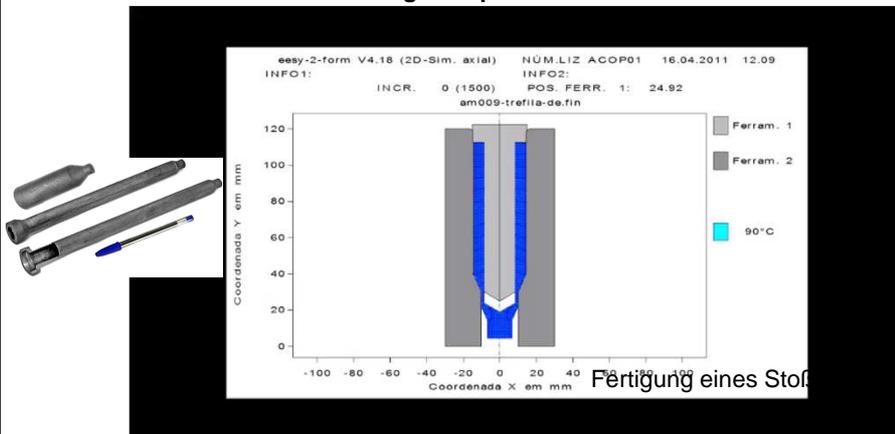
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



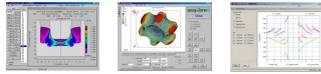
Fertigung eines Stoßdämpfers



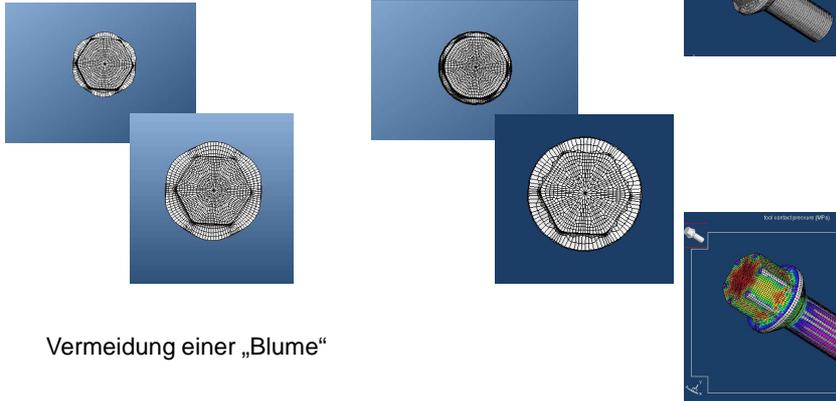
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



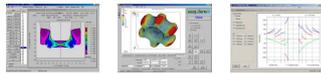
Fertigung eines Stoßdämpfers



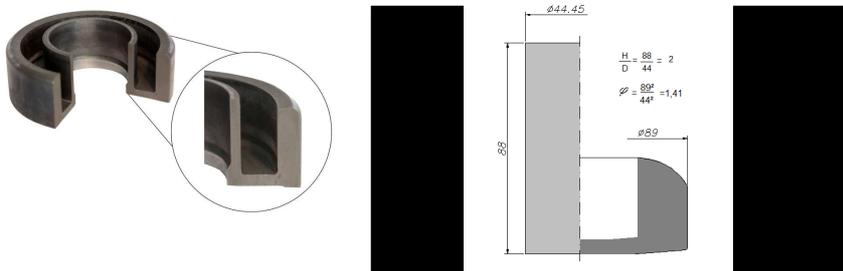
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



Vermeidung einer „Blume“

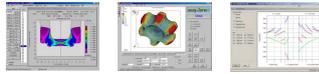


**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



Fertigung eines Rotors

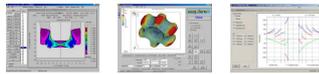




**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

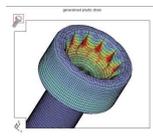


(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

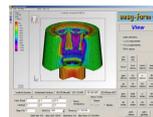
Zukünftige Entwicklungen



Integration der Umformtechnischen Simulation  
in die gesamte Produktionskette

Vervollständigung der benötigten Materialdaten

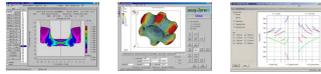
Entwicklung weiterer Teilmodule



Reduzierung von umfassenden Systemen zu  
hochspezialisierten, effizienten Spezialsystemen



(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
Projektpräsentation Nb-Schmiedesimulation, 17.06.2015, Haus der Stahlverformung, Hagen, Deutschland



Entwicklung der Umformsimulation...

## Danksagung



Die Autoren danken ihren Kunden, die relevante Informationen zu den praktischen Beispielen und generelle Informationen zur Anwendung der FEM beigetragen haben. Solche Informationen sind sehr hilfreich, um Simulationssysteme weiter zu entwickeln, aber auch um die sachgerechte Anwendung der Simulationstechnik durch Vorträge wie diesen zu unterstützen.

