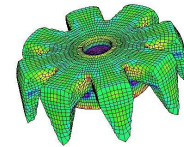
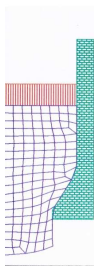
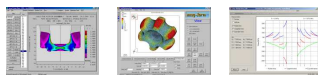


## FEM Simulation in der Kaltumformung

- ein Rück- und Ausblick -

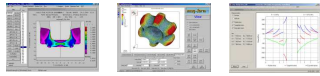


*Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
CPM GmbH, Herzogenrath*



### FEM Simulation in der Kaltumformung

1. Vorgeschichte
2. Forschungsarbeiten in den 80er Jahren
3. Industrieintroduction und spezielle Entwicklungen für die Kaltumformung (1990er)
4. Vervollständigung und Ertüchtigung technologischer Module, Werkzeuganalyse und 3D Simulation mit automatischem generieren hexagonaler Elemente (2000er)
5. Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick
6. Zusammenfassung



FEM Simulation in der Kaltumformung

Vorgeschichte

### Vorgeschichte

bis in die 1980er Jahre

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

Einführung von Rechnern im Ingenieurbereich in der Umformtechnik

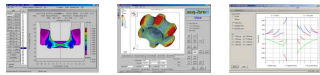
Einführung von CAD

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

1981 IBM PC



Wikipedia



FEM Simulation in der Kaltumformung

Vorgeschichte



Der „reale“  
Ingenieur

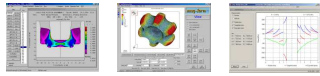


Der Ingenieur im Wandel

1980er



Der CA-Ingenieur



FEM Simulation in der Kaltumformung

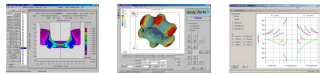
Vorgeschichte



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



Der CA-Ingenieur



FEM Simulation in der Kaltumformung

Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

### Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

#### Basientwicklungen FEM (2D)

Elementtypen

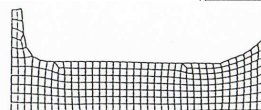
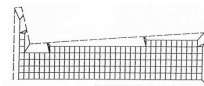
Kontaktalgorithmen

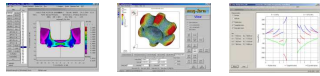
Löser von Gleichungssystemen

Vernetzungsmethoden

Einfache Handhabung

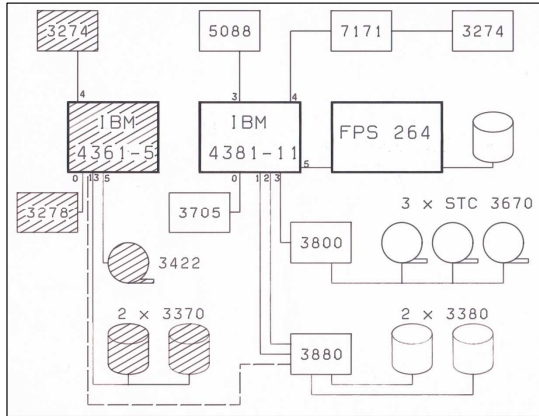
Materialgesetze





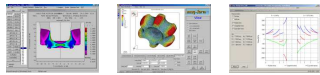
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung    Forschungsarbeiten in den 80er Jahren



<b>Leistung</b>	ca.. 60 MFLOPS
<b>Vergleich</b>	
Core i7,	
3,47 GHz, 83,2 GFLOPS	
6 Kerne	

**Entwicklungsumfeld in den 1980ern**



VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung    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

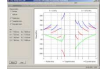
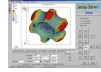
Einfache Benutzerführung durch Frage-Antwort Dialog

Starr-plastisches Materialgesetz

Thermische Kopplung

Automatisches Vernetzen





VDI

30

FEM Simulation in der Kaltumformung    Forschungsarbeiten in den 80er Jahren

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

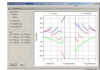
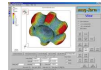
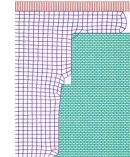
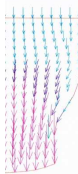
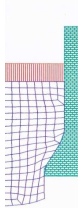
Prototyp simuliert

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



VDI

30

FEM Simulation in der Kaltumformung    **Industrieeinführung und spezielle ....**

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

**Entwicklung eines grafischen Interfaces und erste Installationen**

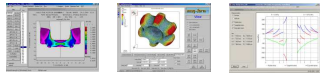
**Projekt der deutschen Schraubenindustrie**

**Verbesserung technologischer Module**

**Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse**

**Elastische Werkzeuge**

**Materialdaten**



FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

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

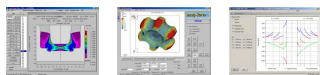
**Neuer Reibungsansatz**

**Schadenanalyse**

**Erste 3D Anwendungen**

**3D Toolbox**

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

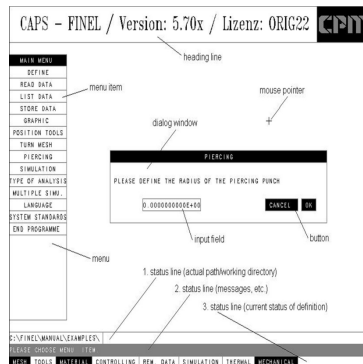


FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

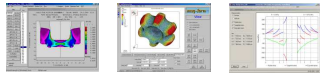
### Entwicklung eines grafischen Interfaces und erste Installationen



**Grafische Oberfläche und Menüführung CAPS-Finell**



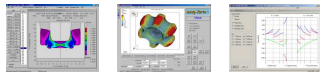
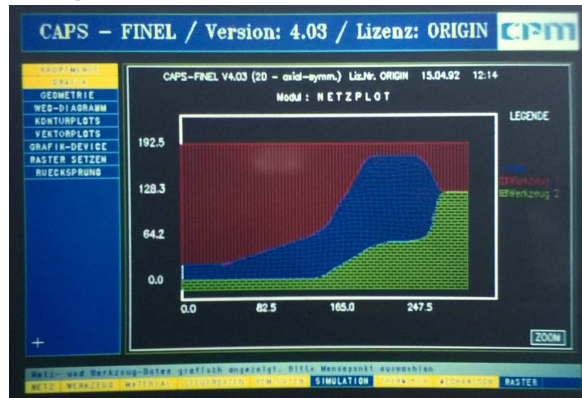
HAUPTMENUE
HANDEINGABE
EINLESEN
LISTEN
ABSPEICHERN
GRAFIK
WERKZEUG BEWEGEN
NETZ WENDEN
LOCHEN
SIMULATION
ART DER RECHNUNG
STAPEL-BETRIEB
SPRACHE
SYSTEMPARAMETER
PROGRAMM BEENDEN



FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

### Entwicklung eines grafischen Interfaces und erste Installationen

Grafische Oberfläche  
CAPS-Finel



FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

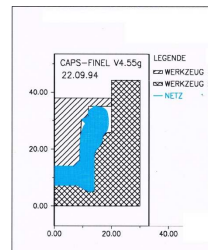
### Projekt der deutschen Schraubenindustrie

Ab 1991 Aufnahme von CPM in ein Projekt des DSV

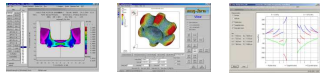
Neben Prozeßüberwachung, Stadiengangauslegung,  
Pressenbewegungsablauf und Kollisionsanalyse sollte auch

**Simulation**  
mit Hilfe der FEM

entwickelt werden.

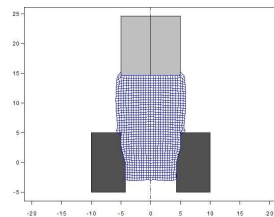


Simulation einer  
Faltenbildung 1994

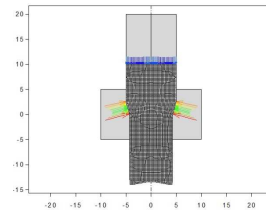


**Verbesserung technologischer Module**

Hier: Reibung

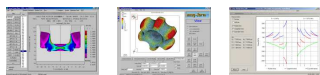


Falsches Ergebnis



Richtiges Ergebnis

Reibungsbeschreibung, hier: Reduktion



**Neuer Reibungsansatz**

**Friction**

**Coulomb**

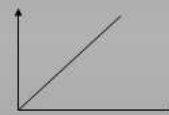
$$F_r = \mu * N$$

**Max. shear stress**

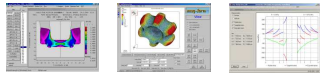
$$\tau = m * k$$

**Combined**

**Coulomb / max. shear stress**



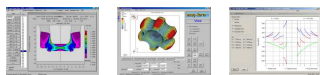
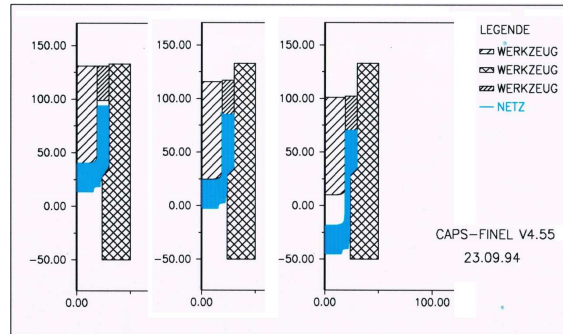




FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

**Verbesserung technologischer Module**

Hier: Werkzeuge mit Feder

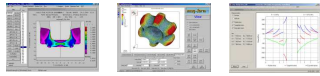


FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

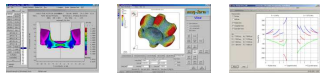
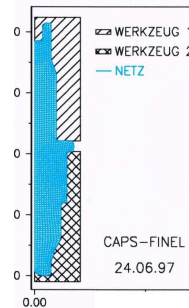
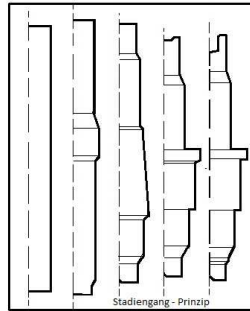
**Verbesserung technologischer Module**

Hier: Möglichkeit der Ergänzung nicht vermaschter Geometrien

Aktuelle Version Eesy-2-form



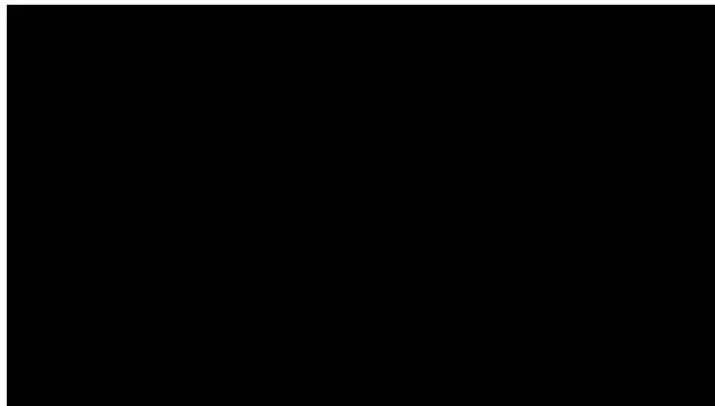
### Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse

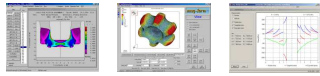


### Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse



Zündkerze 2000





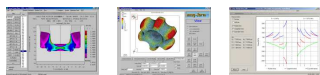
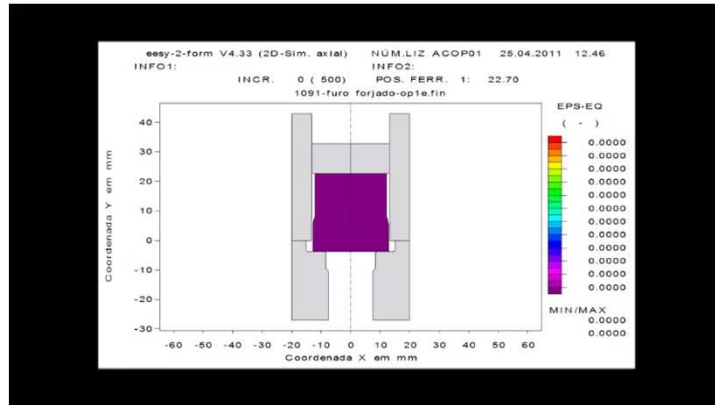
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

**Einfache Handhabung Mehrstufiger Prozesse**



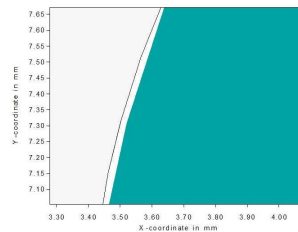
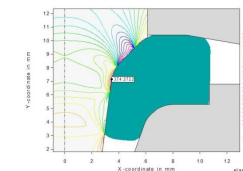
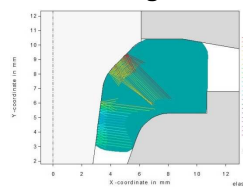
„Mehrstufen  
in einer  
Stufe“ mit  
komplexer  
Werkzeug-  
bewegung



VDI  
30

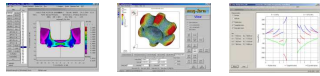
FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

**Elastische Werkzeuge**



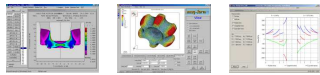
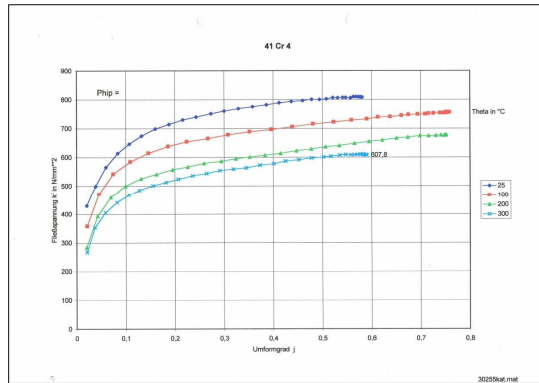
Analyse  
Druck auf der Oberfläche  
Axialspannung alternierend  
im Werkzeug  
und Erklärung  
Fehlender Kontakt  
während der Umformung  
(keine Luft oder Öl!)

Stempelbruch beim Fertigen eines Ventildertellers

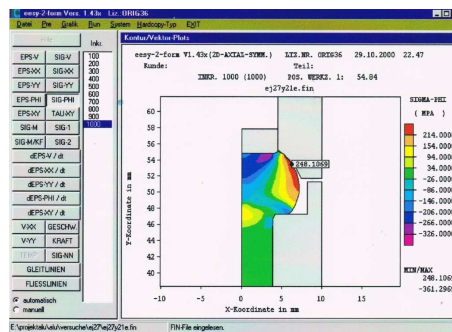


**Materialdaten**

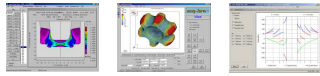
Ein Projekt des Landes NRW ermöglichte es einen ersten umfassenden Bestand von Fließkurven zu ermitteln



**Schadenanalyse**

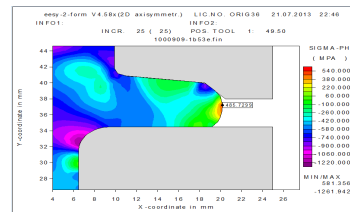
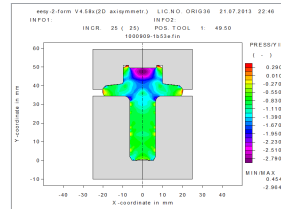


Hier Spannungsanalyse zur Erklärung eines Risses an einer Alu Schraube

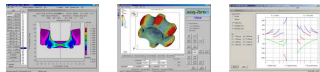


FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

**Schadenanalyse**



Hier Spannungsanalyse zur Erklärung einer Aufplattung (Materialfehler)



FEM Simulation in der Kaltumformung **Industrieeinführung und spezielle ....**

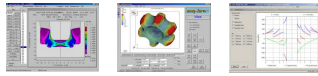
**Erste 3D Entwicklungen**

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

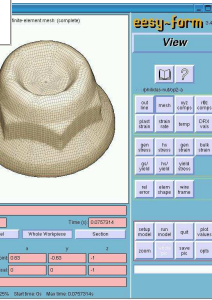
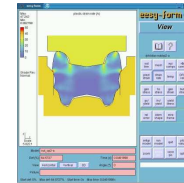
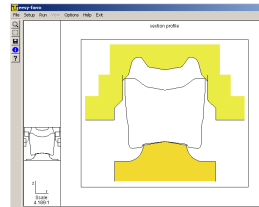
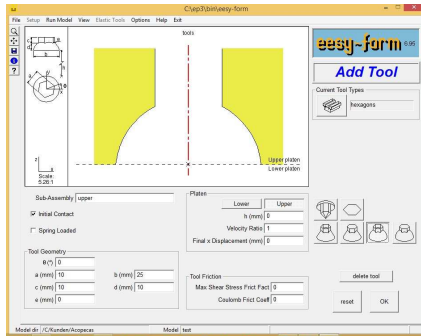
Hexaederelemente

Elastisch-plastisches Materialgesetz

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

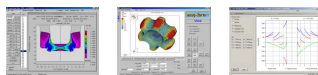


**3D Toolbox**

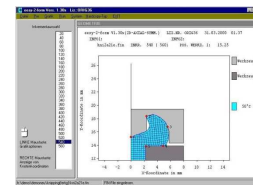
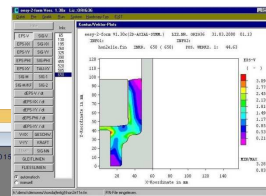
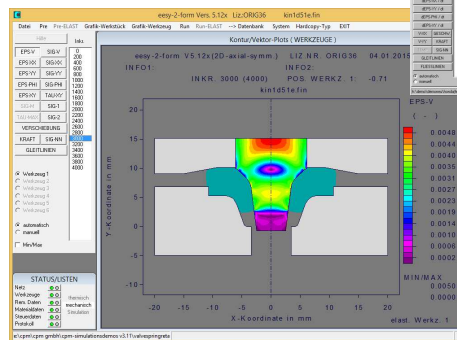


**3D Simulation Mutter – Modulierung über Toolbox**

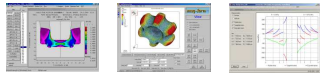
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



**Neues „easy“ Design**



(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



FEM Simulation in der Kaltumformung **Vervollständigung....3D.... (2000er)**

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

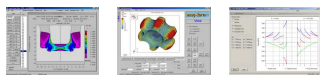
Verbesserung und Vervollständigung technologischer Module (Kontakt, Reibung, Faltenbildung, lokal unterschiedliche Reibung...)

**System zur Auslegung und Optimierung von Werkzeugen**

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

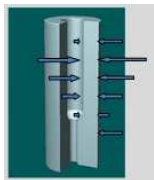
Lokale Reibungsbeschreibung

**Zusätzliche oberflächennahe Analysen -> Tribosystem**



FEM Simulation in der Kaltumformung **Vervollständigung....3D.... (2000er)**

**System zur Auslegung und Optimierung von Werkzeugen**



easy-DieOpt Vers. 2.04 License for: 11-CPM GmbH, Herzogenrath, Germany

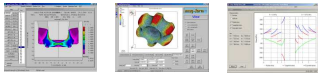
File 2-RING-SYSTEM (cold) 2-RING-SYSTEM (warm) 3-RING-SYSTEM 4-RING-SYSTEM Language System EXIT

License for: 11-CPM GmbH, Herzogenrath, Germany

3-RING-SYSTEM		Insert	Sleeve	Casing
Inner diameter Di	12.38 mm	G55	1.3343, 56.7	1.2344, 49.9
Outer diameter Da	70.00 mm			
Fitting diameter D1	22.00 mm	Material name: G55	Material name: S-6-5-2	Material name: X40CrMoV51
Interference S1	0.175 mm	Material number: 450000	Material number: 1.3343	Material number: 1.2344
	8.0 0/00	Young's modulus [MPa]: 208000	Young's modulus [MPa]: 216000	Young's modulus [MPa]: 216000
Fitting diameter D2	42.00 mm	Poisson's ratio [-]: 0.25	Poisson's ratio [-]: 0.28	Poisson's ratio [-]: 0.28
Interference S2	0.167 mm	Tensile strength [MPa]: 1850.0	Tensile strength [MPa]: 2100.0	Tensile strength [MPa]: 1670.0
	4.0 0/00	Yield strength [MPa]: 980	Yield strength [MPa]: 1850.0	Yield strength [MPa]: 1470.0
Inner pressure Pi	1560.7 MPa	Tempering temp. [°C]: 600	Equivalent stress [MPa]: 1560.7	Equivalent stress [MPa]: 1665.0
Fitting pressure P1	1027.4 MPa		Tangential stress [MPa]: 0.0	Tangential stress [MPa]: 637.6
Fitting pressure P2	423.4 MPa			
Taper angle (for D1)	1.0 °	Contraction (-) / Expansion (+): of Di 0.011 mm of Da 0.154 mm		
Axial movement	5.02 mm	<input checked="" type="radio"/> (Casing + Sleeve) <- Insert <input type="radio"/> (Insert + Sleeve) -> Casing <input type="radio"/> Without intermediate correction		

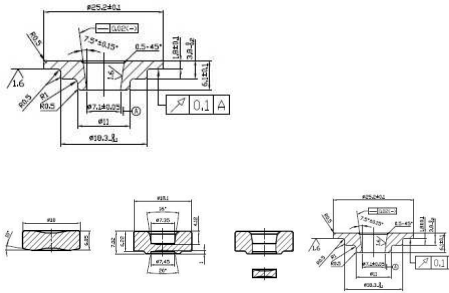
Assembly:  Assembly  Without intermediate correction

Buttons: New calculation, Optimization (Interference), Optimization (Complete), Optimization (S1,D2,S2 only), Help, Graphic

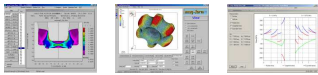


FEM Simulation in der Kaltumformung Vervollständigung....3D.... (2000er)

System zur Auslegung und Optimierung von Werkzeugen



Fertigung eines Ventilfedertellers

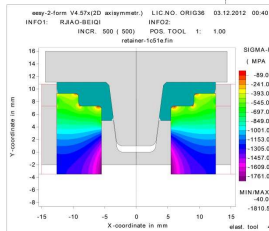


FEM Simulation in der Kaltumformung Vervollständigung....3D.... (2000er)

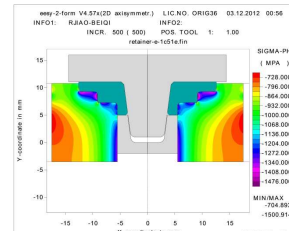
System zur Auslegung und Optimierung von Werkzeugen

Konventionell

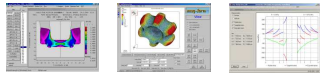
Optimiert



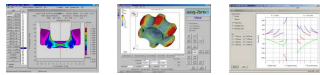
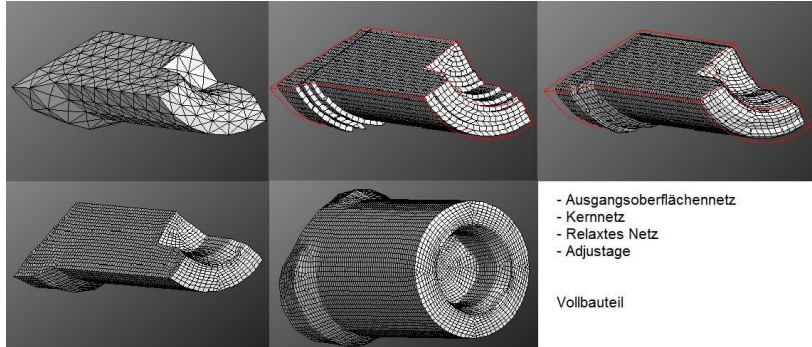
Parameter	Value	Unit
Material	1.0080	MPa
Yield Strength	1.0080	MPa
Tensile Strength	1.0080	MPa
Elongation	1.0080	%
Modulus	1.0080	MPa
Poisson's Ratio	1.0080	
Thermal Expansion	1.0080	1/K
Thermal Conductivity	1.0080	W/mK
Thermal Capacity	1.0080	J/kgK
Thermal Strain	1.0080	1/K
Thermal Stress	1.0080	MPa
Thermal Strain Rate	1.0080	1/K
Thermal Stress Rate	1.0080	MPa
Thermal Strain Rate	1.0080	1/K
Thermal Stress Rate	1.0080	MPa



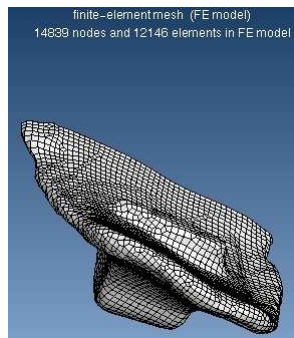


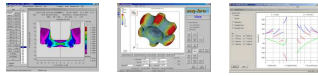


### Vollautomatisches Vernetzen (hex) in 3D



### Vollautomatisches Vernetzen (hex) in 3D

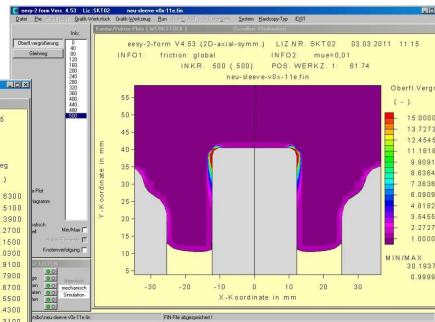
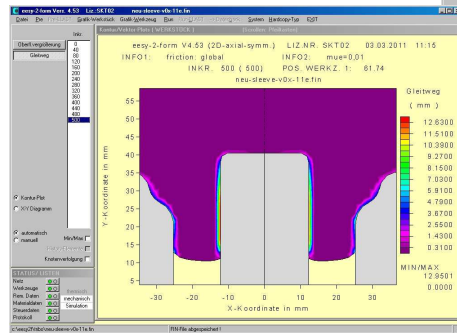




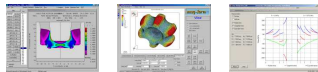
FEM Simulation in der Kaltumformung **Vervollständigung....3D.... (2000er)**

**Zusätzliche oberflächennahe Analysen -> Tribosystem**

**Oberflächenvergrößerung**



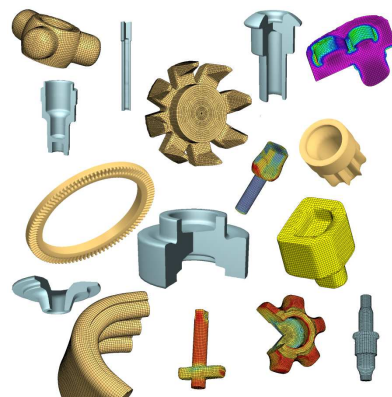
Gleitweg

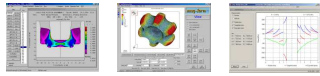


FEM Simulation in der Kaltumformung **Aktuelle .....-beispiele und Ausblick**

**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

Im Folgenden werden einige  
aktuell Anwendungsbeispiele  
gezeigt und zukünftige  
Entwicklungen angesprochen

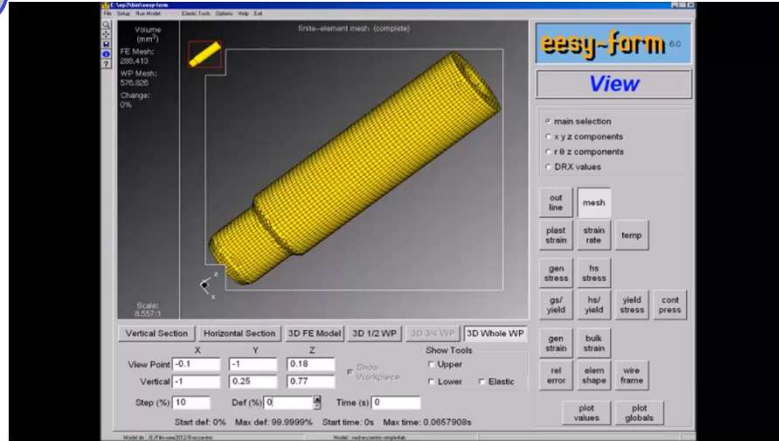




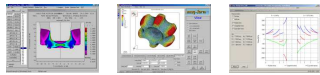
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



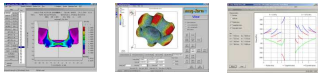
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



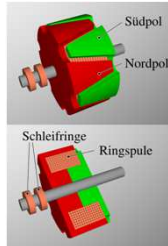
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



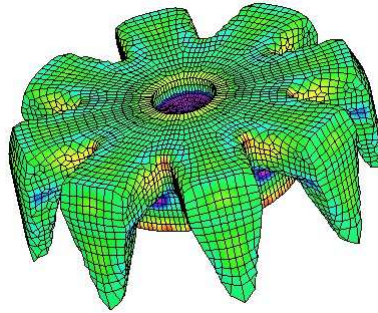
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung **Aktuelle .....-beispiele und Ausblick**

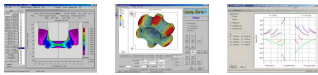
**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**



(Schenkelpolmaschine – Wikipedia)



Polklaue

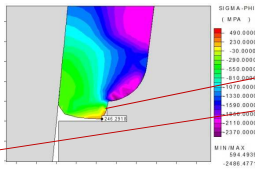
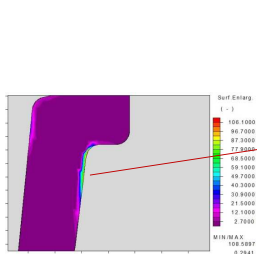


VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung **Aktuelle .....-beispiele und Ausblick**

**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

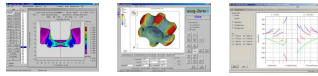
**Aufrauhung und Riss an einem Ventildfederteller**



Oberflächen  
vergrößerung

Umfangsspannung

Fehlerhafter Ventildfederteller



VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

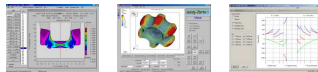


Inner Race

(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

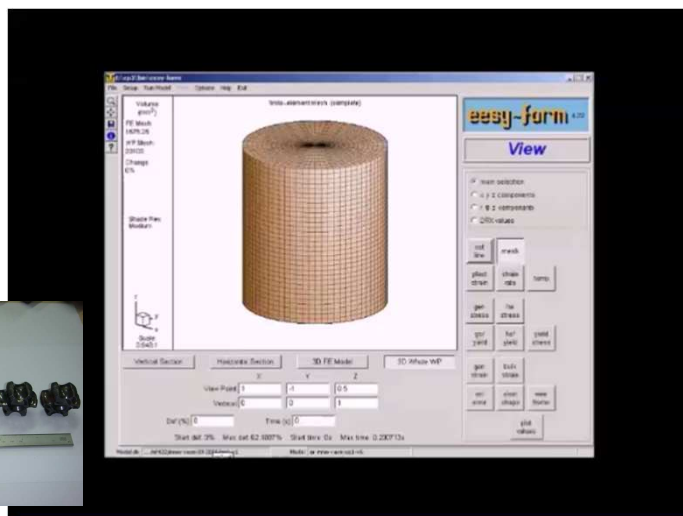
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland

41



VDI  
30

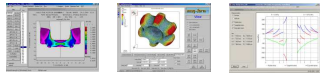
FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick



(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland

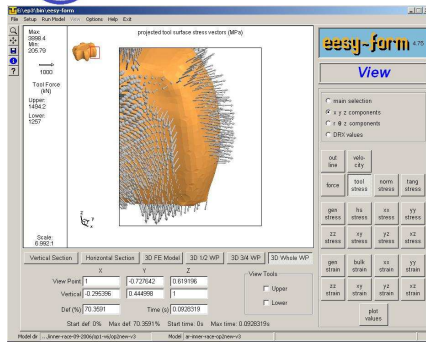
42



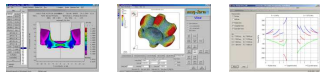
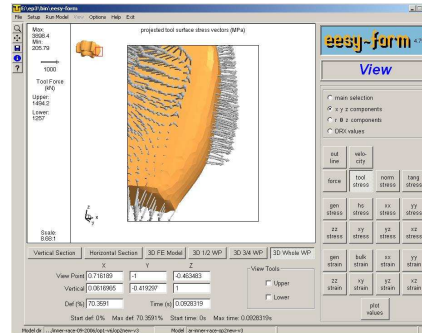
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



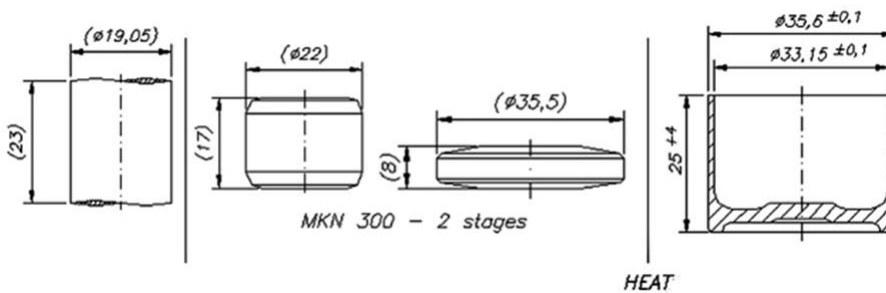
Inner Race



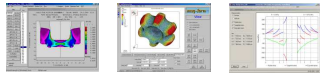
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



Ventilstößel



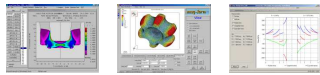
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



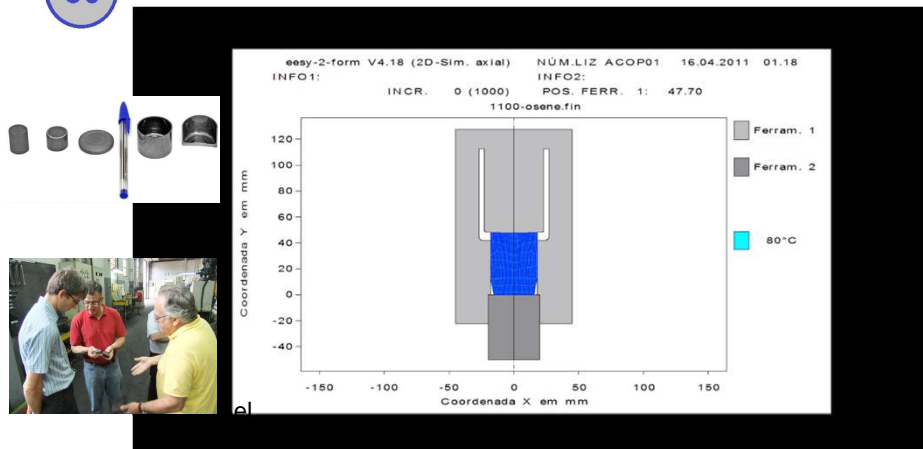
Ventilstößel

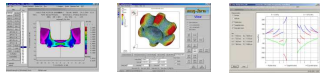


VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

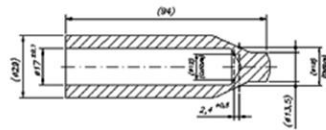
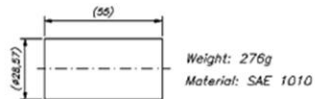




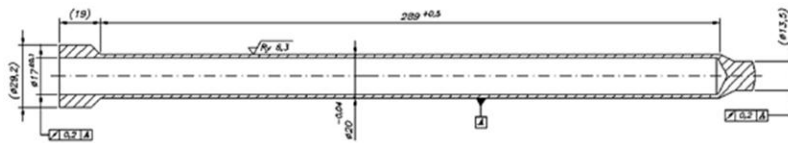
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung **Aktuelle .....-beispiele und Ausblick**

**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

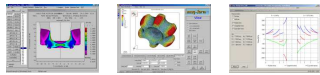


Fertigung eines Stoßdämpfers



(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland

47



VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung **Aktuelle .....-beispiele und Ausblick**

**Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick**

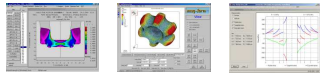


Fertigung eines Stoßdämpfers

(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland

48

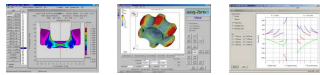
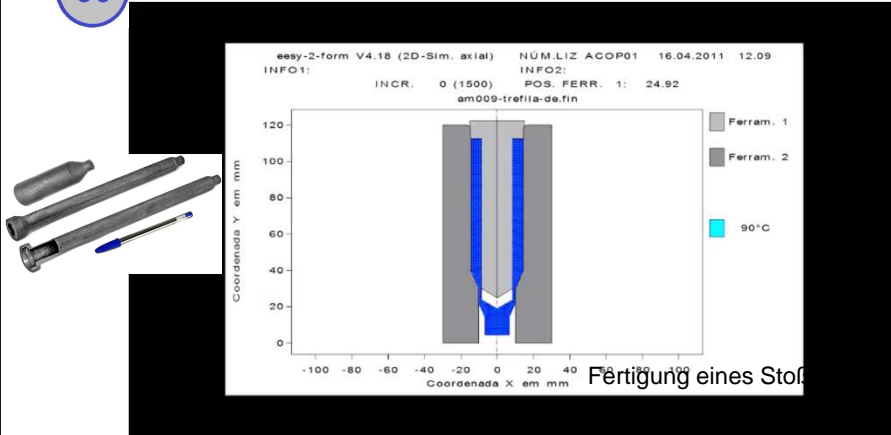




VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



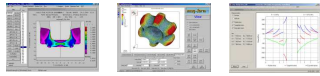
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



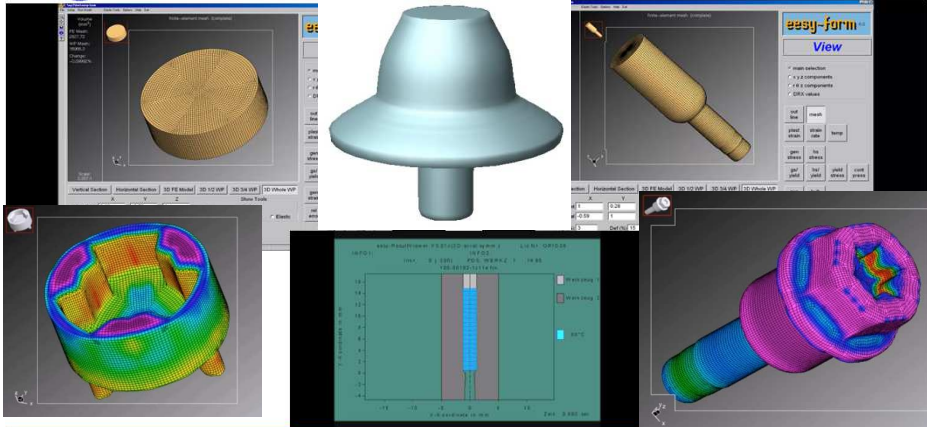
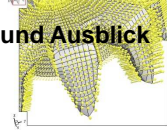
Vermeidung einer „Blume“



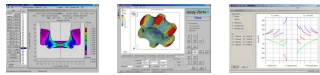
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick



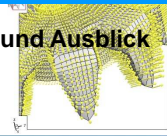
(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



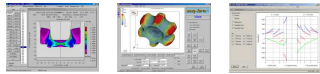
VDI  
30

FEM Simulation in der Kaltumformung Aktuelle .....-beispiele und Ausblick

Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

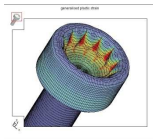


(c) 2015 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler  
30. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 11.-12-02-2015, Düsseldorf, Deutschland



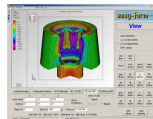
### Aktuelle Anwendungsbeispiele und Ausblick

Zukünftige Entwicklungen



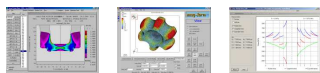
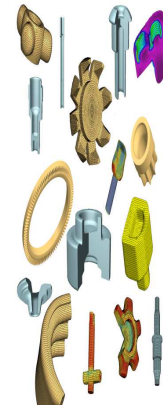
Integration der Umformtechnischen Simulation  
in die gesamte Produktionskette

Vervollständigung der benötigten Materialdaten



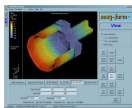
Entwicklung weiterer Teilmodule

Reduzierung von umfassenden Systemen zu  
hochspezialisierten, effizienten Spezialsystemen

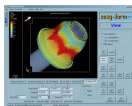


### Zusammenfassung

Dies war ein Überblick über Entwicklungen in der FEM zur Simulation  
in der Kaltumformung in den letzten 30 Jahren am Beispiel von Produkten  
der CPM GmbH.

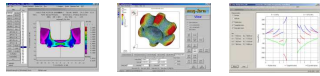


Als Rück- und Ausblick, auch mit Blick auf die hier auf den  
VDI Jahrestreffen über die Jahre vorgetragenen Entwicklungen,  
ist er aber durchaus repräsentativ und gibt einen Eindruck von den  
stattgefundenen Entwicklungen.

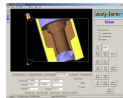


Die FEM ist heute ein etabliertes und ausgereiftes Arbeitsmittel für  
den Entwicklungsingenieur in der Kaltumformung.

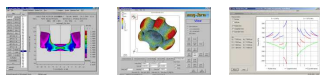
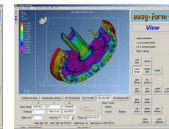
Die zukünftigen Entwicklungen werden in der Erweiterung, Verbesserung,  
Vervollständigung und Integration in die gesamte Prozesskette liegen.



## 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.



## Trust in "eesy" simulation



Customers are happy to work on their daily tasks  
with "eesy" simulation