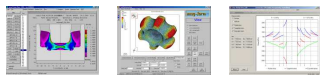


## Beispiel einer überraschenden Werkzeugauslegung als Ergebnis simulationsgestützter Prozessoptimierung

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



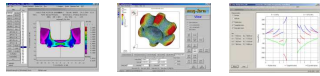
## Situation nach 20 Jahren industrieller Simulationsanwendung

### Zwei generelle Missverständnisse:

- Mit Simulation bekommt man immer die besten Lösungen
- Nach der Simulation muss man den Prozess letztendlich doch in Versuchen entwickeln.

### Systeme zur Prozessauslegung

Es gibt zur Zeit etwas Verwirrung, da Prozessauslegungssysteme angeboten werden, die es erscheinen lassen, als bräuchte man kein eigenes Wissen und keine gute Simulation.



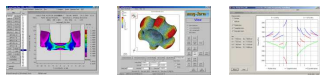
## Situation nach 20 Jahren industrieller Simulationsanwendung

**Die Wahrheit liegt, wie immer, irgendwo dazwischen**

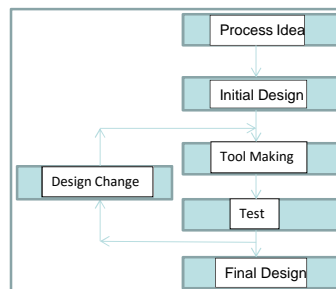
**Dieser Beitrag möchte aufzeigen, wie man im Zusammenspiel von  
eigenem Wissen und guter Simulation beste Resultate erzielt.**

**Auslegungsunterstützungssysteme mögen dabei helfen.**

**Einfache Beispiele sollen dies untermauern.**



## Prinzip der Prozessauslegung



Veröffentlicht durch den Autor in den 80er Jahren, um zu zeigen, wo zukünftige CA Systeme der Ingenieur unterstützen können.



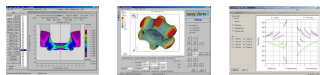
Ausgehend von der Produktzeichnung muss der Ingenieur

**den Stadiengang auslegen,  
die Maschine auswählen und  
die Werkzeuge konstruieren.**

Traditionell beginnt er seine Arbeit mit einer **anfänglichen Auslegung**  
und **bestellt Werkzeuge**.

Nach deren Eintreffen beginnt er mit **Versuchen**.

In einigen Versuchs- und Korrekturläufen erarbeitet (und ertestet) er die  
Lösung .

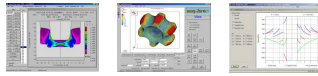


### **Die Prozessidee**

Die erste Prozessidee kommt gewöhnlich vom Entwicklungsingenieur.

Sie kann auf seinem eigenen Erfahrungsschatz aufbauen  
oder aus der Literatur abgeleitet sein;

Sie kann aber auch oft auf Hinweisen von dritter Stelle aufbauen.



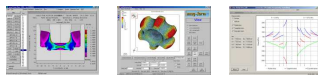
### Die erste Auslegung

Normalerweise versucht der Ingenieur vorhandene Stadiengänge an die Erfordernisse des zu produzierenden Teils anzupassen..

Eher selten wird ein neues Teil von Grund auf neu entwickelt.

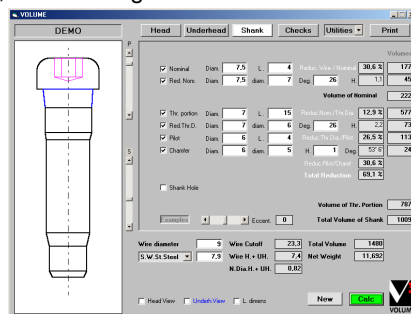
**Verfügbare Auslegungssysteme, die auf empirischen Auslegungsmethoden oder auf gespeicherten Beispielen aufbauen mögen dabei helfen.**

Wie auch immer: **Der Ingenieur muss eine erste Auslegung festlegen!**



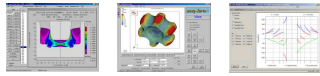
### Die erste Auslegung

Beispiel eines Systems, das dem Ingenieur beider ersten Auslegung hilft:



Volume von Serte aus Italien

Solche Systeme gibt es von verschiedenen Herstellern oder auch von Maschinenherstellern.



### Versuch und Anpassung

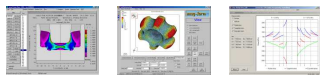
**Traditionell** bestellt der Ingenieur den Werkzeugsatz und beginnt nach dessen Eintreffen mit dem Ausprobieren.

Oft arbeitet der Prozess nicht zufriedenstellend.

So hat der Ingenieur **mehrere Testläufe** zu machen, um die richtige Auslegung zu finden.

**Dies kostet Zeit und Werkzeuge und bedeutet Verlust an Produktivität.**

**Manchmal wird das Produkt nach erfolglosen Testreihen auch aufgegeben.**



### Die Rolle der FEM (Methode der finiten Elemente) in der Prozessauslegung

Anstatt die Werkzeuge direkt zu bestellen wird der Ingenieur seine Idee simulieren, um herauszufinden ob sie funktioniert.

Zusätzlich verhilft die FEM ihm zu weiteren Informationen wie Spannungen und Dehnungen, mit deren Hilfe er seine Idee verbessern kann.

Falls seine Idee auch nach einigen Variationen nicht funktioniert kann er sie verwerfen, ohne unnötige Kosten verursacht zu haben.

Hat er Erfolg, so kann er sogleich auch die Werkzeugkonstruktion optimieren.

So kann er eine optimierte Prozessfolge erarbeiten, ohne einen einzigen realen Versuch zu machen..

Der erste Versuch auf der Maschine wird funktionieren, wobei kleine Anpassungen, die ungenauer Modellierung geschuldet sein mögen, noch sinnvoll sein können.

Die FEM vermeidet Kosten und verhilft dem Ingenieur zu besseren Auslegungen.



### Die beliebtesten Missverständnisse über die FEM (1)

Einige Ingenieure glauben, dass die Methode an sich zu ungenau ist und praktisches Austesten auf jeden Fall nötig ist.

Also wären die Kostenersparnisse nicht so groß, die Simulation wäre verschenkte Zeit und würde die Entwicklungszeit verlängern..

Aus diesem Grunde lehnen sie die Verwendung der FEM ab..

Andere befürchten, dass die FEM sie sogar irreführen könnte und sie schlechte Lösungen erarbeiten würden, für die sie dann verantwortlich gemacht würden.

Einige entscheiden dann, nur auf Ihre Erfahrung zu setzen.

Sie mögen auch befürchten, dass die erforderlichen Eingaben zur Simulation aufgrund von mangelhaften Wissen (Halbwissen) nicht gemacht werden können.

Beide Positionen sind nicht hilfreich.



### Die beliebtesten Missverständnisse über die FEM (2)

Erstens: Wenn die verfügbaren Informationen zur Prozesssimulation gut sind, dann liefert die FEM exakte Ergebnisse.

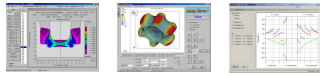
Die Gerüchte, dass ungenaue Materialdaten oder nicht bekannte Reibwerte die Simulationsergebnisse unbrauchbar machen sind übertrieben.

Nach 25 Jahren Anwendung der FEM in der Umformtechnik sind diese Dinge weitgehend gelöst (wenn auch nicht wissenschaftlich, so doch in der Praxis).

Zumindest können sie in der Praxis zufriedenstellend mit guten Resultaten gehandhabt werden. Darüberhinaus zeigt auch eine nicht 100% genaue Simulation weitgehend alle Ergebnisse mit ausreichender Praxisrelevanz.

Die Befürchtung, die FEM würde die Anzahl erforderlicher Versuche nicht drastisch reduzieren ist überholt. Langjährige Anwender der FEM bestätigen, dass eine konsequente Anwendung der FEM in der Entwicklung die Gefahr eines fatalen Versagens im Versuch nahezu zu null eliminiert.

Normalerweise sind nur kleinere Anpassungen und Korrekturen, die menschlichen Fehlern und Ungenauigkeiten zuzuordnen sind, notwendig..

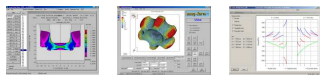


### Die beliebtesten Missverständnisse über die FEM (3)

Die Gefahr, dass die FEM den Ingenieur fehleitet ist auch eher theoretisch..  
Das Gegenteil ist der Fall.

Durch Anwendung der FEM versteht der Ingenieur den Prozess und die technologischen Hintergründe wesentlich besser, so dass er wesentlich sensibler wird für Fehlerurteile (verglichen mit dem nur aus der Erfahrung urteilenden Praktiker).

**Natürlich:** Ein gutes Wissen und Verstehen der Umformtechnik und der praktischen Gegebenheiten hilft zu Beginn der Anwendung der FEM immens, um Fehler zu vermeiden und schnellstmöglich nutzbringende Ergebnisse zu erzielen. Ein reiner "Simulant" tut sich damit sehr schwer.



### Die beliebtesten Missverständnisse über die FEM (4)

Die folgenden Beispiele zeigen anhand dreier einfacher Beispiele den Nutzen der FEM..

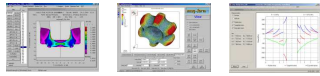
Sie scheinen zu einfach zu sein, aber sie sind die tägliche Realität.

**All Beispiele stammen von Firmen, die lange im Markt sind und einen guten technologischen Ruf haben.**

**Sie zeigen "eigentlich ganz Normales" aber auch durchaus Überraschendes.**





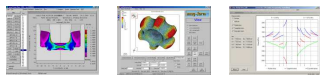


### Stadiengauslegung zur Herstellung einer Schraube

Der Konstrukteur hatte über die Volumenverteilung und die zu verwendenden Umformmethoden, wie Stauchen und Fließpressen, sowie deren Verteilung entschieden. Er berechnete die zu erwartenden Kräfte und wählte eine Drei-Stufen-Maschine.

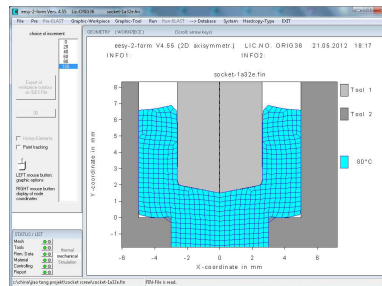
Der Praxisversuch zeigte dann, dass der Kopf nicht plan war und unter Kopf ebenfalls die Geometrie nicht erreicht wurde.  
Basierend auf seiner Erfahrung führte der Ingenieur einen Freischliff am Stempel ein – ohne Erfolg.  
Dann versuchte er eine andere Vorform in Operation zwei. Auch hier führen seine Erfahrungswerte nicht zum gewünschten Erfolg.

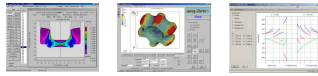
Schließlich suchte er Hilfe.....



### Stadiengauslegung zur Herstellung einer Schraube

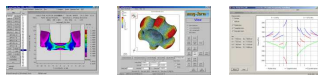
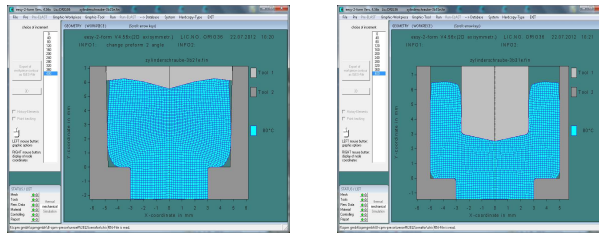
Anschließend durchgeführte Simulationen zeigten das gleiche Ergebnis:





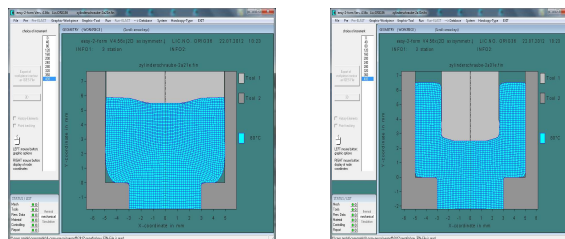
## Stadiengangauslegung zur Herstellung einer Schraube

Simulation einer nicht erfolgreichen Variante



## Stadiengangauslegung zur Herstellung einer Schraube

Ausgehend von der Interpretation der Simulationen und einer detaillierten Analyse des Stoffflusses wurde eine neue Auslegung entwickelt und erfolgreich getestet.

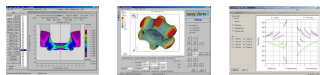
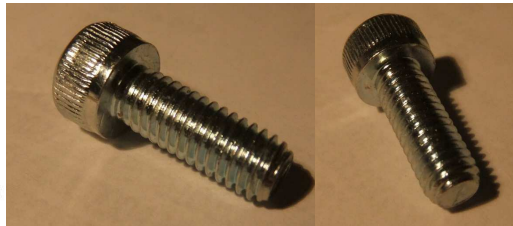
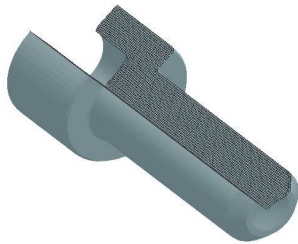




## Stadiengangauslegung zur Herstellung einer Schraube

Simulation

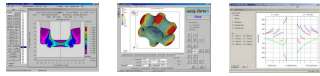
Reales Bauteil



## Stadiengangauslegung zur Herstellung einer Schraube

**Diese Beispiel zeigt klar, dass Stadiengangauslegungen, die rein empirisch entworfen werden, die aus anderen bekannten Lösungen abgeleitet werden oder auch jene, die mit Design-Systemen entworfen werden (u.a. angeboten von Maschinenherstellern etc.) durch eine genaue Simulation verifiziert werden sollten, um Kosten zu vermeiden und sicher zu sein, dass in die richtige Richtung gearbeitet wird.**

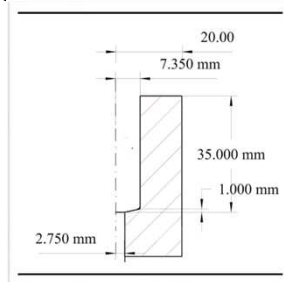
**Nur die Simulation kann dem Ingenieur den detaillierten Einblick in den Prozess geben, der erforderlich ist, um systematisch einen gesicherten Erstentwurf eines Umformprozesse durchzuführen.**



### Werkzeugauslegung in einer Vorformoperation

Der Konstrukteur entwarf eine Setzoperation, um ein Produkt symmetrisch zu formen. Rein zufällig wählte er eine mögliche Variante einer Werkzeugauslegung in der Matrize.

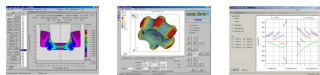
Im Praxistest versagte die Matrize direkt in der unteren rechten Ecke.



(c) 2013 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

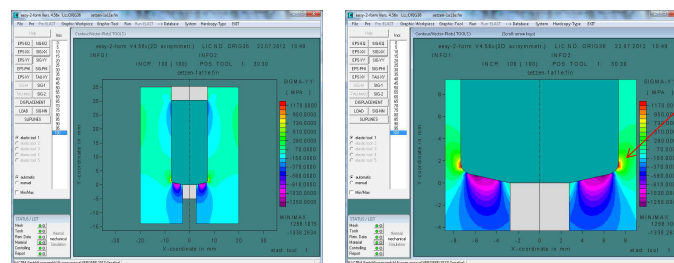
28. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 06.-07-02-2013, Düsseldorf, Deutschland

23



### Werkzeugauslegung in einer Vorformoperation

Auch dieses Problem hätte bei Nutzung der Simulation vermieden werden können.

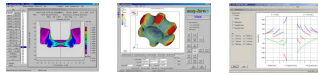


Die hohe Axialspannung im Hartmetall ist ein klarer Indikator für das Versagen.

(c) 2013 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

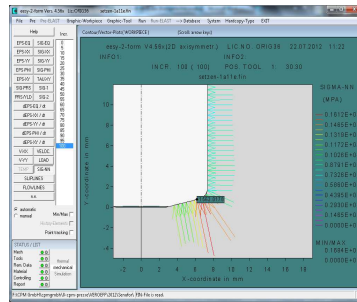
28. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 06.-07-02-2013, Düsseldorf, Deutschland

24



### Werkzeugauslegung in einer Vorformoperation

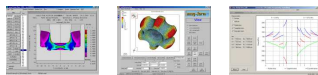
Die hohen Drücke am Boden des Werkzeugs führen zu den hohen Axialspannungen im Einsatz, was insbesondere bei Hartmetallen zu Problemen führt.



(c) 2013 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

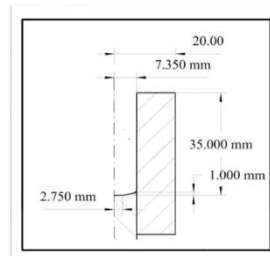
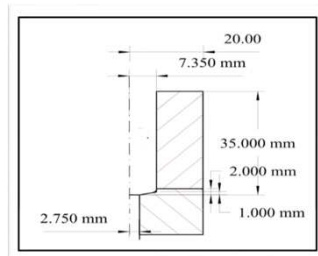
28. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 06.-07-02-2013, Düsseldorf, Deutschland

25



### Werkzeugauslegung in einer Vorformoperation

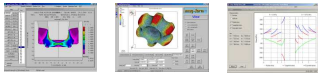
Wenn ihm diese Situation bewusst ist, kann der Konstrukteur das Problem durch einfache Änderungen im Werkzeug vermeiden. Es könnte der Hartmetaleinsatz geteilt werden oder der Einsatz könnte zylindrisch ausgeführt und der Auswerfer angepasst werden.



(c) 2013 Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler

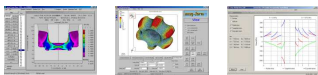
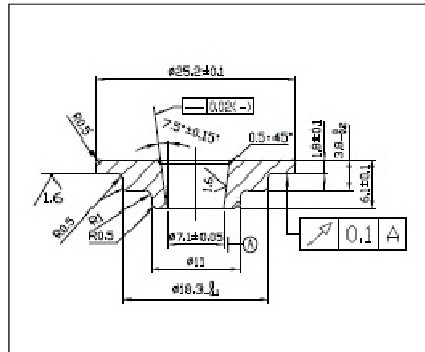
28. VDI Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 06.-07-02-2013, Düsseldorf, Deutschland

26



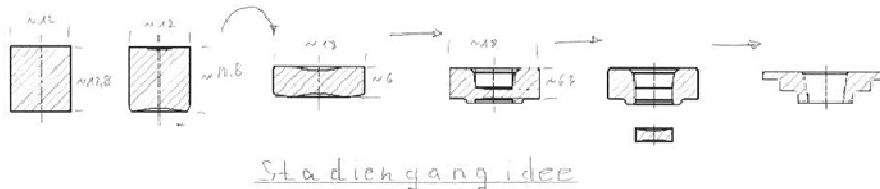
### Fertigung eines Ventildfedertellers

Das letzte Beispiel behandelt schließlich die Herstellung eines Ventildfedertellers.

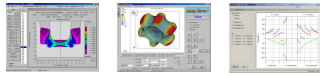


### Fertigung eines Ventildfedertellers

Stadiengangidee.

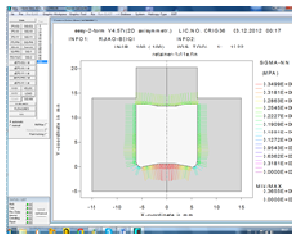


Stadiengangidee

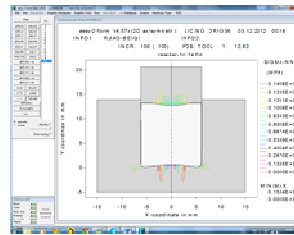


### Fertigung eines Ventildfedertellers

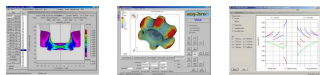
Mit der Simulation erfolgte die generelle Anpassung des Stoffflusses und eine Feinabstimmung des Füllverhaltens zur Reduzierung der Umformkräfte.



Zu starkes Ausfüllen  
unter hohem Druck

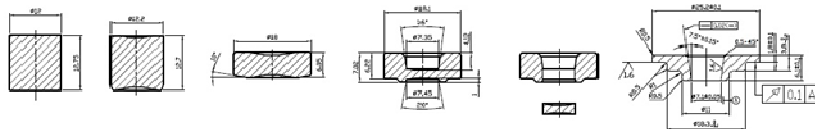


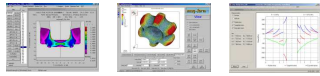
Symmetrisches Ausformen  
unter geringem Druck



### Fertigung eines Ventildfedertellers

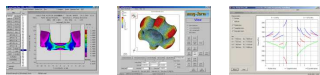
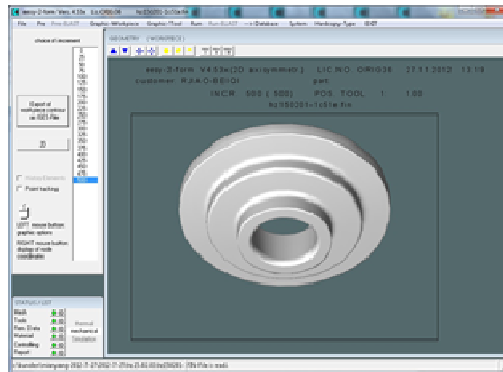
Abgestimmter Stadiengang nach Simulation





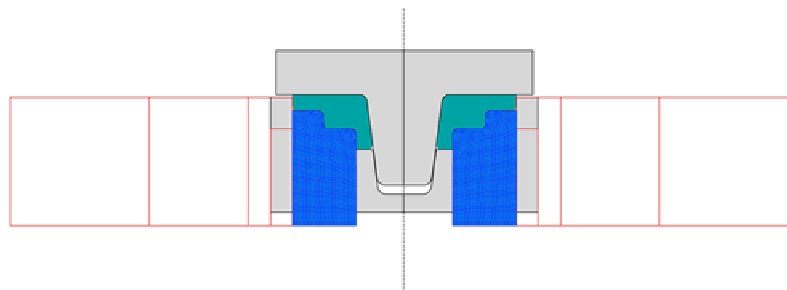
## Fertigung eines Ventildfedertellers

Zu erwartende Produktgeometrie



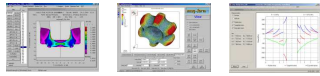
## Fertigung eines Ventildfedertellers

Auslegung der Werkzeuge- Matrize



Übliche Werkzeugauslegung mit Kern, Zwischenringen und Matrizenkörper

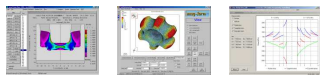




## Fertigung eines Ventildfedertellers

### Auslegung der Werkzeuge- Matrize

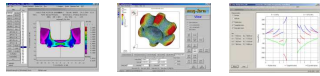
Üblicherweise wird der Kern als Hartmetall ausgelegt (G55), der mit einem Zwischenring vorgespannt ist. Beides ist dann in die Matrizenaufnahme eingepresst. Der Hartmetallkern ist so vorzuspannen, dass er unter Last keine positiven Umfangsspannungen erfährt. Am Innenradius dürfen auch keine nennenswerten Scherspannungen auftreten. Hier könnte das Werkzeug auch noch einmal geteilt werden, um lokale Spannungen zu vermeiden. Die Teilung zwischen Hartmetallkern und Zwischenring wird oft am Außendurchmesser gewählt, um auch dort lokale Spannungen zu vermeiden. In der Regel werden Dreiringsysteme bevorzugt, um das Werkzeug nicht zu sehr zu komplizieren.



## Fertigung eines Ventildfedertellers

### Auslegung der Werkzeuge- Matrize

Der Ingenieur kann einen solchen Verbund mit entsprechender Software optimal dimensionieren lassen. Die gefundene Lösung untersucht er dann mit Hilfe der Simulation auf kritische Bereiche, die dann zu verbessern wären. Dabei kann er die eingesetzten Materialien, die Interferenzen oder auch die generelle Konstruktion so variieren, dass ein zuverlässiges Werkzeug gefertigt werden kann



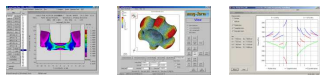
## Fertigung eines Ventildfedertellers

### Auslegung der Werkzeuge- Matrize

Die Abbildungen zeigen die Analyse dieser Auslegung des Werkzeuges. Die Analyse des Kerns auf kritische Spannungen zeigt, dass die Umfangsspannungen zwar noch negativ sind, aber die Schubspannungen erreichen ein kritisches Niveau.

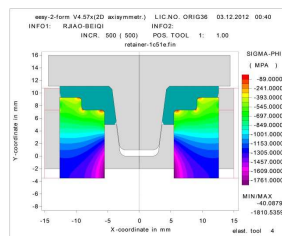
Die Auslegung war für G55 als Kernmaterial und 1.2344 mit HRC 50 gerechnet worden.

Nun konnten zur Vermeidung dieser Spannungen andere Werkzeugaufteilungen untersucht werden / oder mit anderen Werkstoffen experimentiert werden.

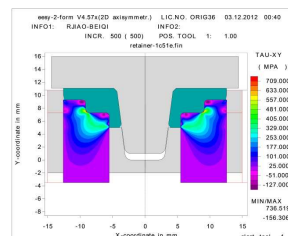


## Fertigung eines Ventildfedertellers

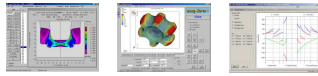
### Auslegung der Werkzeuge- Matrize



Umfangsspannungen

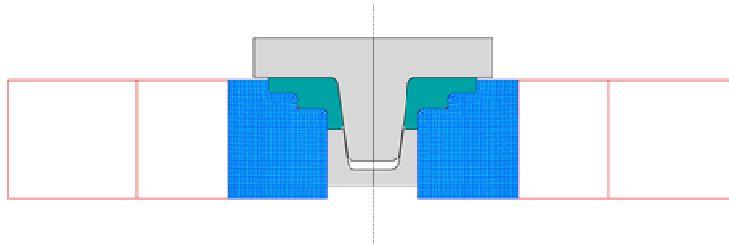


Schubspannungen

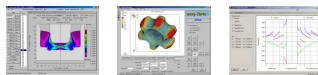


## Fertigung eines Ventildfedertellers

Auslegung der Werkzeuge- Matrize

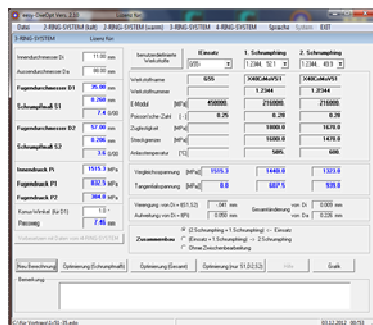


**Der Ingenieur hatte die Idee, entgegen den üblichen Konstruktionen, den gesamten Innenbereich als einen massiven Kern ausulegen!**

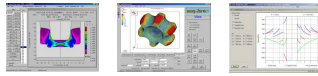


## Fertigung eines Ventildfedertellers

Auslegung der Werkzeuge- Matrize



Der Kerndurchmesser wurde so gewählt, dass er größer ist als der Außendurchmesser des Federtellers. Das Auslegungsprogramm gibt dann die optimalen Werte für den Außendurchmesser des Zwischenringes und die Schrumpfmaße zwischen den Ringen nach Wahl der Werkstoffe und der Härten aus.

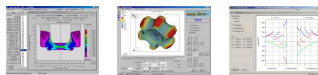


## Fertigung eines Ventildfedertellers

### Auslegung der Werkzeuge- Matrize

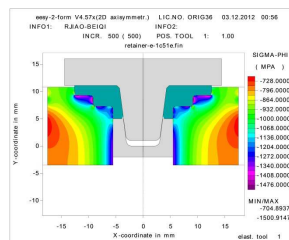
Unter Verwendung dieser Werte wurde dann die Werkzeuganalyse durchgeführt. Überraschender Weise war diese Auslegung wesentlich besser als alle anderen zuvor betrachteten. In diesem Fall war die Wahl eines massiven Kerns besser als eine Strukturierung des Werkzeuginnenbereiches.

Die praktische Überprüfung in der Produktion bestätigte diese Auslegung. Es wurden Standzeiten erreicht, die anderen Auslegungen weit überlegen waren.

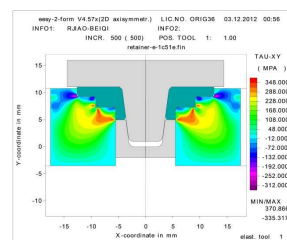


## Fertigung eines Ventildfedertellers

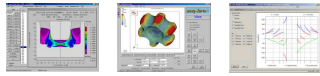
### Auslegung der Werkzeuge- Matrize



Umfangsspannungen



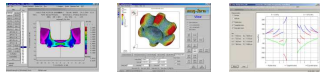
Schubspannungen



## Zusammenfassung

Die systematische Anwendung der FEM nicht nur zur Stoffflussuntersuchung und –optimierung, sondern auch zur optimalen Auslegung der Werkzeuge ist heute Stand der Technik und sollte konsequent angewendet werden. Dabei dürfen auch gern mal unkonventionelle Lösungen ausprobiert werden, um technologisch zu neuen Erkenntnissen und auch zu besseren Lösungen zu kommen.

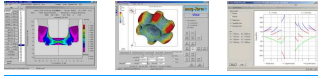
In der Hand des umformtechnisch erfahrenen und dennoch gegenüber neuen Ideen und Methoden offenen Ingenieurs ist die Simulation die stärkste Waffe, um im heutigen Wettbewerb immer wieder neue und bessere Lösungen zu finden. Die Simulation muss in den täglichen Ablauf zwischen Prozessplanung und Produktion fest verankert sein. Der Simulant ohne Prozesskenntnis nützt ebenso wenig, wie der Praktiker, der sich den neuen Methoden verschließt. Nicht zu vergessen ist das Management, das die entsprechenden organisatorischen Randbedingungen schaffen muss.



## 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 solve their daily problems  
with simulation**