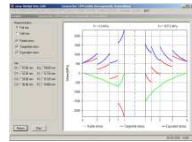
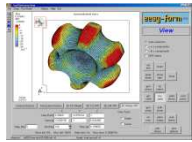
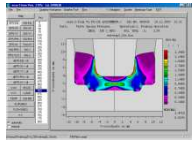


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

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



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Simulationstechnik ist heute in der Industrie weit verbreitet.

Sie wird meistens genutzt, um die Geometrieausbildung bei der Prozessauslegung zu beurteilen.

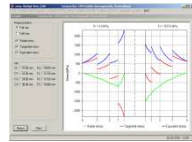
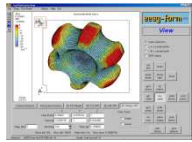
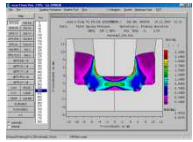
Kräfte werden auch geprüft, um z.B. die richtige Maschine zu wählen..

Detaillierte Checks lokaler Werte zum Beurteilen der Werkstückeigenschaften oder zur Voraussage bestimmter Fehler werden nur von Fall zu Fall gemacht.

Das zeigt zumindest eine Studie der ICFG aus 2010.

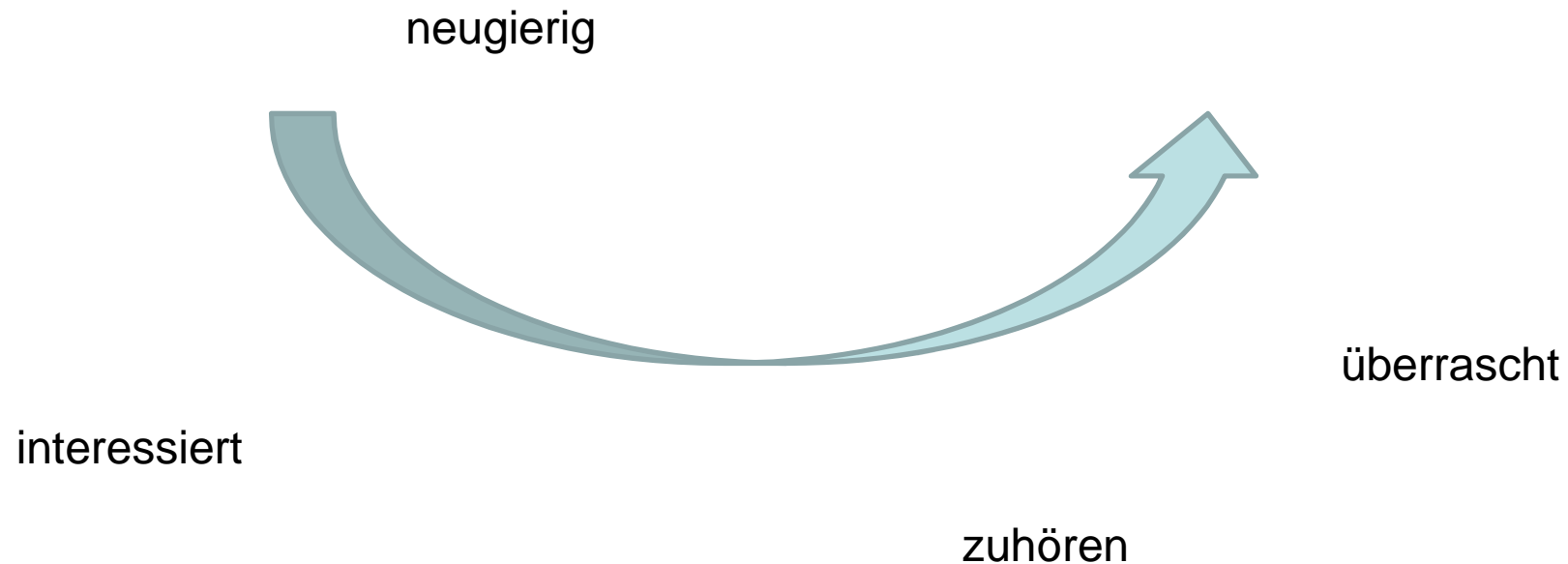
Oft fehlt das einschlägige Wissen über Zusammenhänge oder aber der Ingenieur versäumt detaillierte Auswertungen, weil er sie nicht für nötig hält.

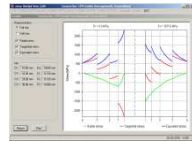
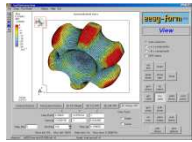
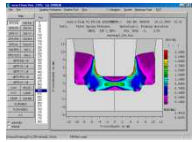
Oft fehlt schlichtweg die Zeit, um detaillierte Analysen der Berechnungen anzustellen.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Diese Präsentation will erfolgreiche Anwendungen der Simulationstechnik zeigen, um mehr Interesse am konsequenten Einsatz dieser Technologie zu wecken.





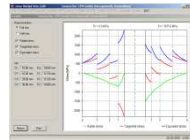
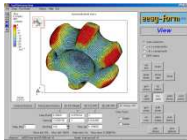
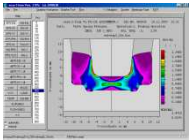
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Die Rolle der Finite Elemente Methode (FEM) in der Prozessauslegung

Ausgehend von der Produktzeichnung hat der Ingenieur die Umformsequenz zu entwickeln, die Maschine auszuwählen und die Werkzeuge auszulegen.

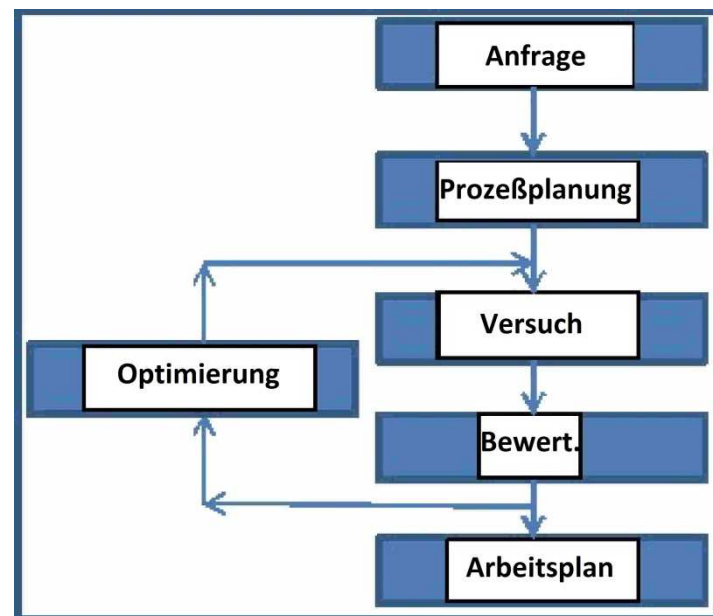
Er mag dabei von einer neuen Idee geleitet sein oder einfach versuchen eine neue Sequenz aus vorhandenen Umformsequenzen von ähnlichen Produkten. Er wird schließlich die Werkzeuge konstruieren und bestellen. Nach deren Eintreffen kann dann die “Try out” Phase auf der Maschine beginnen. Oft arbeitet der Prozess nicht direkt zufriedenstellend.

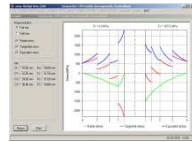
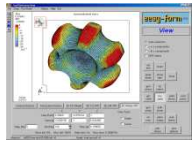
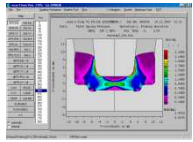
Der Ingenieur durchläuft oft mehrere “Trial und Error” Läufe, um einen geeigneten Stadiengang zu finden.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Die Rolle der Finite Elemente Methode (FEM) in der Prozessauslegung





Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Bei Nutzung der FEM wird der Ingenieur zunächst den Prozess simulieren, anstatt die Werkzeuge zu ordern. Weiterhin wird er weiterführende Informationen wie Dehnungen, Spannungen, Fließlinien und anders auswerten und versuchen, den Prozess zu optimieren.

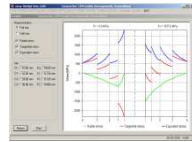
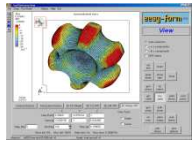
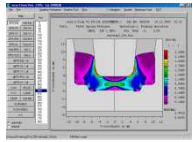
Fall der Prozess dennoch nicht erfolgversprechend ist kann er Alternativen testen. Auch kann er aufgeben, bevor viel Geld für nutzlose Tests vergeudet wird.

Im Erfolgsfall kann er direkt die Werkzeuge auslegen und ebenfalls optimieren.

So kann er eine optimierten Prozess auslegen ohne auch nur einen Versuch zu fahren. Er simuliert ihn halt im Rechner.

So erstellte Stadiengänge arbeiten dann normalerweise direkt und nur kleine Anpassungen sind nötig aufgrund nicht perfekter Modellierung /1/.

Das ist es worüber jeder redet und hofft, dass es auch zutrifft.



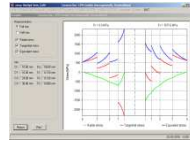
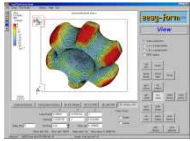
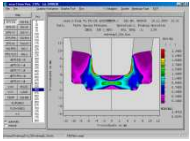
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

In der Praxis erfahren wir immer wieder von großen Erfolgen.

Aber es gibt auch nicht so erfolgreiche Anwender. Das mag verschiedenste Ursachen haben, die hier nicht im Detail ausgeführt werden sollen.

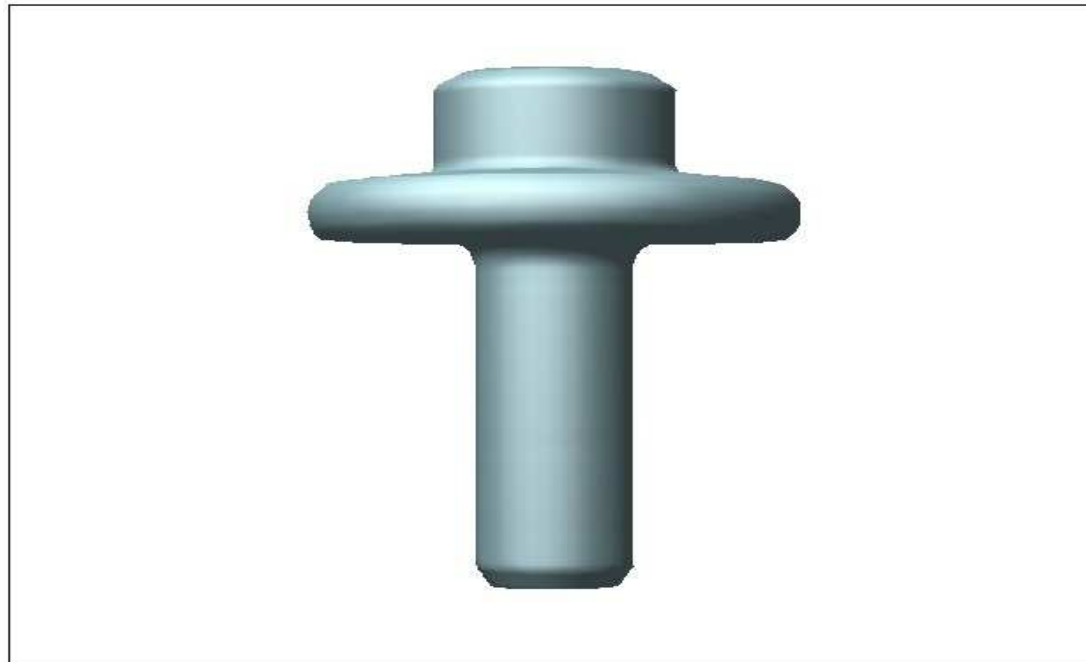
Diese Präsentation möchte

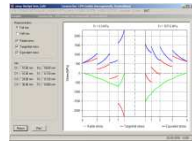
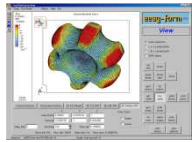
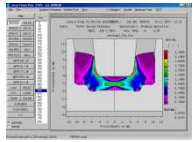
- diejenigen, die Probleme haben, anregen Hilfe und Unterstützung zu suchen, um ihre Fähigkeiten zu verbessern und
- diejenigen, die noch keine Simulation nutzen, überzeugen, diesen Schritt alsbald zu tun.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengangauslegung für eine Sechskantschraube





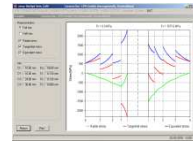
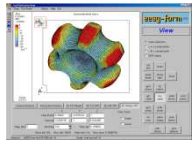
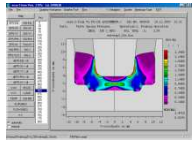
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengangauslegung für eine Sechskantschraube

Eigenes Wissen und Auslegungsunterstützungsprogramme nutzend kam der Ingenieur zu einem Stadiengang. Er simulierte seine Auslegung aber er prüfte nicht alle verfügbaren Ergebnisse.

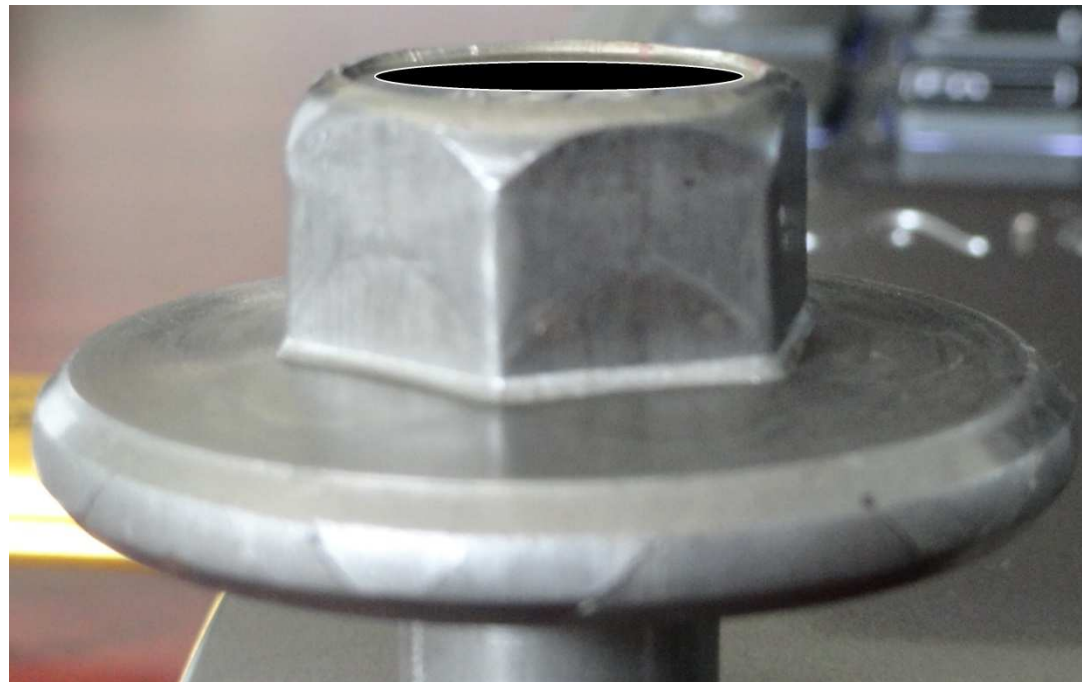
Die Kräfte sahen gut aus und die Form konnte erreicht werden. So wurden die Werkzeuge bestellt und erste Produktionsversuche wurden unternommen.

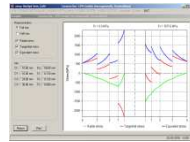
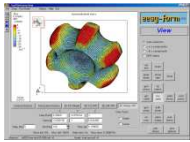
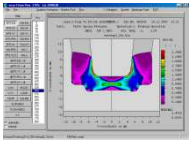
Aber die Schraube versagte im Test. Es bildeten sich Risse außen am Flansch.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengauslegung für eine Sechskantschraube

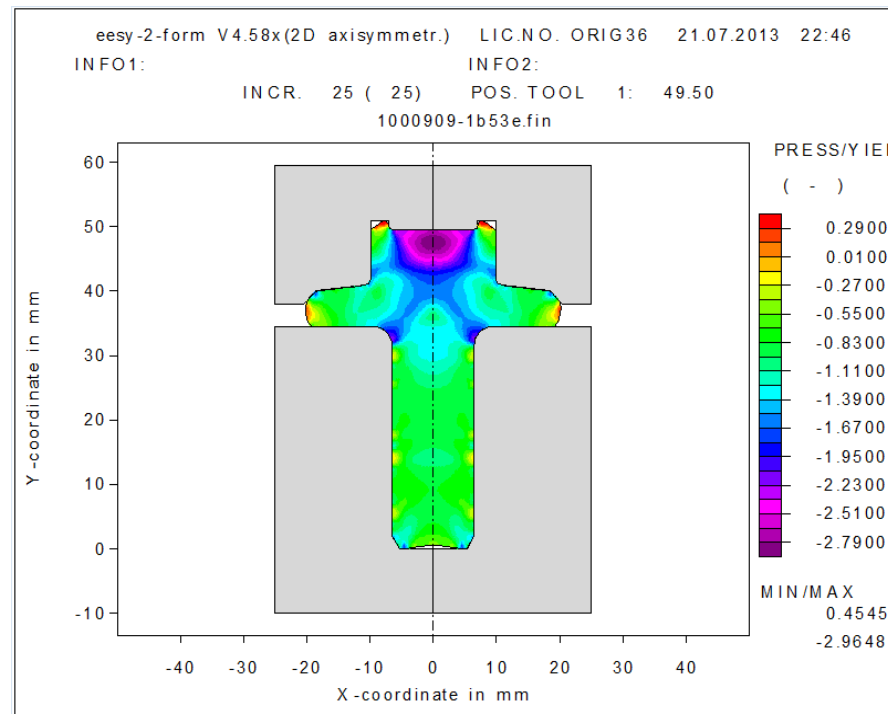


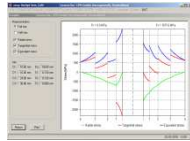
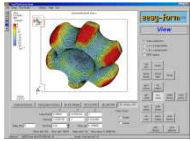
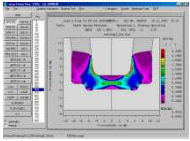


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengangauslegung für eine Sechskantschraube

Der Ingenieur prüfte seine Rechnungen und fand die ganz deutlichen Hinweise auf dieses Versagen. Bei konsequenter Auswertung hätte er das zu Beginn schon sehen können.

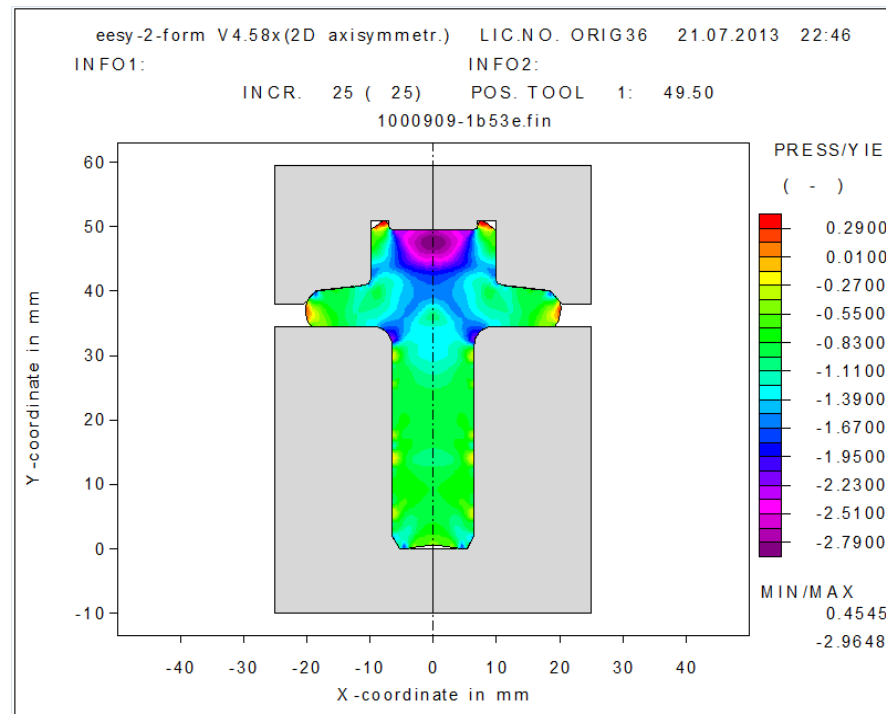


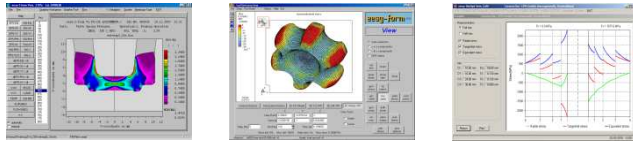


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengauslegung für eine Sechskantschraube

Das Verhältnis von Hydrostatischem Druck zur Fließspannung zeigt kritische Werte oberhalb des Sechskants und am Flansch. (Dieses Verhältnis sollte negative sein. – Werte von bis zu 0.45 besagen, dass nahezu alle Spannungs-komponenten positive sind– ein klarer Hinweis auf die Rissgefahr)

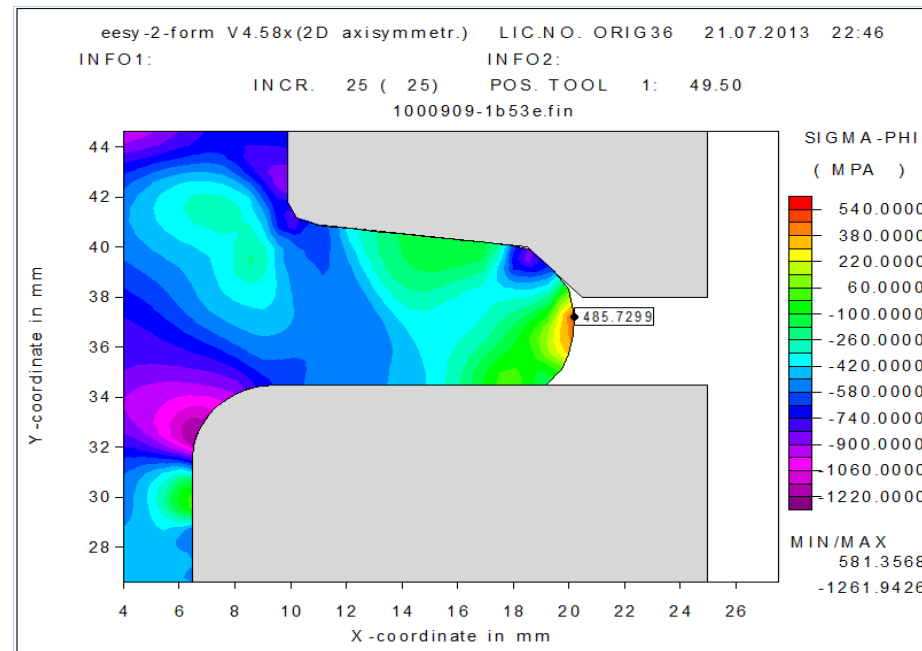


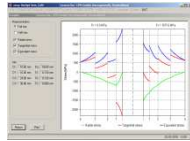
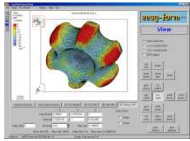
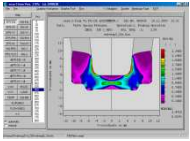


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengauslegung für eine Sechskantschraube

Die Tangentialspannung erreicht Werte von 485 MPa an der Oberfläche. Sie ist eine Hauptnormalspannung; die anderen Spannungen σ_{xx} und σ_{yy} sind praktisch Null. Die Fließspannung ist 530 MPa. Damit ist die Tangentialspannung die dominierende Spannung.





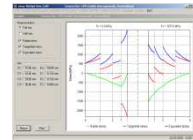
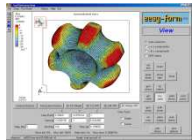
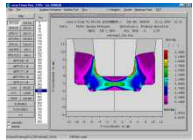
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Stadiengangauslegung für eine Sechskantschraube

Nachdem das Material der Schraube duktil ist wird es unter 45° zur dominierenden Spannung reißen, wenn diese zu groß wird. Das ist genau das, was passierte. Wegen der Unsymmetrie des Sechskants treten die Risse perfekt ausgerichtet zu dieser Unsymmetrie auf.



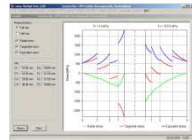
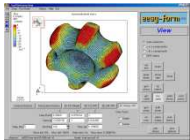
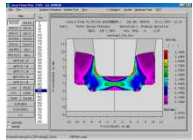
Diese Panne einmal erlebt zu haben wird den Ingenieur in Zukunft konsequenter auswerten lassen.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fehler an einer Schraube, der nicht durch den Stadiengang bedingt war



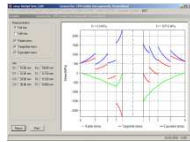
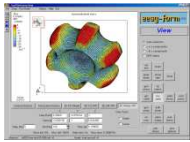
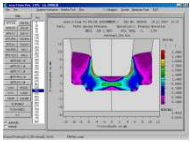


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fehler an einer Schraube, der nicht durch den Stadiengang bedingt war

Diese Beispiel zeigt einen Fehler, der nicht durch den Stadiengang bedingt war. Durchgeführte Tests von Varianten waren nicht erfolgreich.

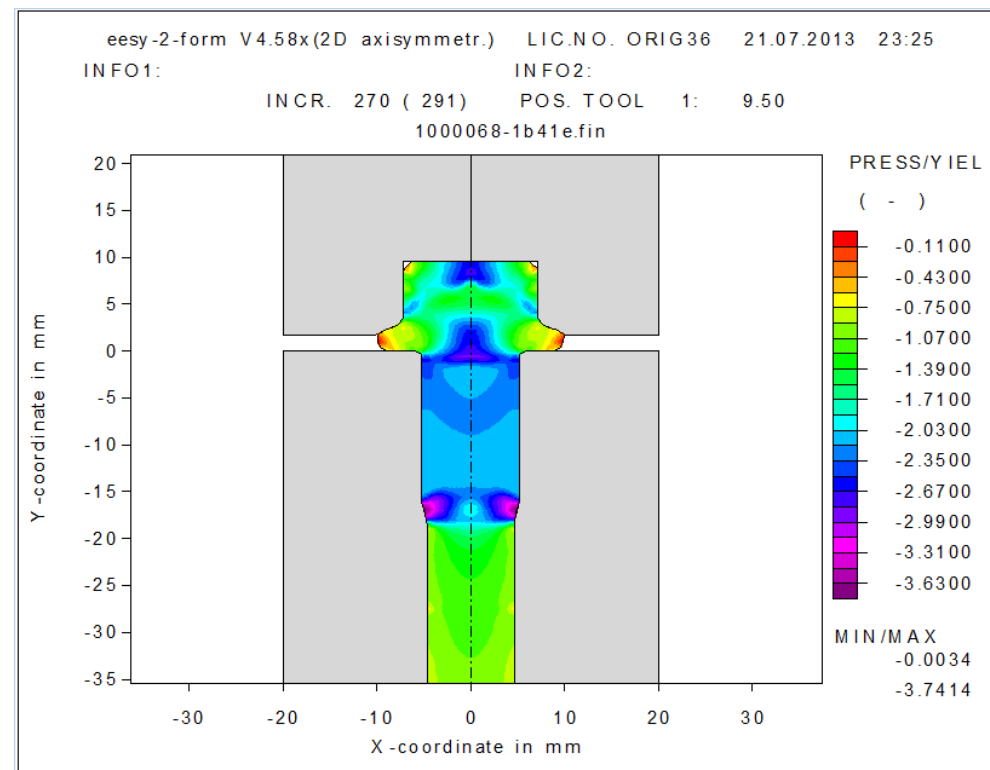
Indem er aus der Simulation lernt kann der Ingenieur solche vergeblichen Versuche vermeiden. In Diskussionen mit dem Zulieferer wird es keine großen Debatten mehr geben.

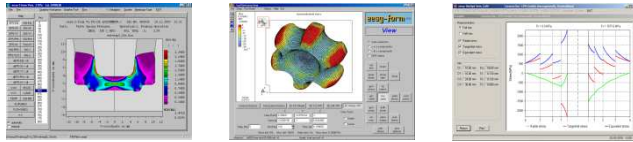


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fehler an einer Schraube, der nicht durch den Stadiengang bedingt war

Das Verhältnis von Hydrostatischem Druck zur Fließspannung ist negativ.

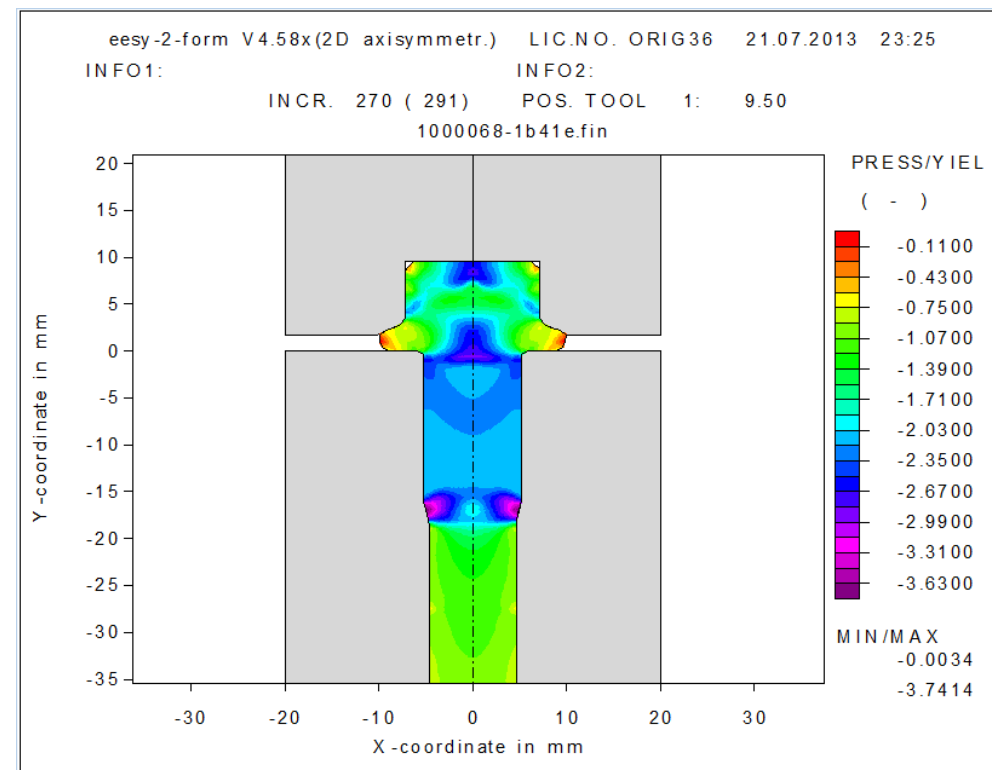


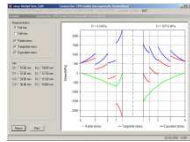
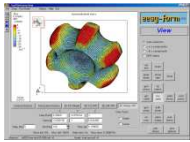
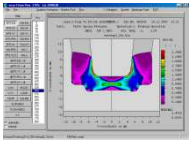


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fehler an einer Schraube, der nicht durch den Stadiengang bedingt war

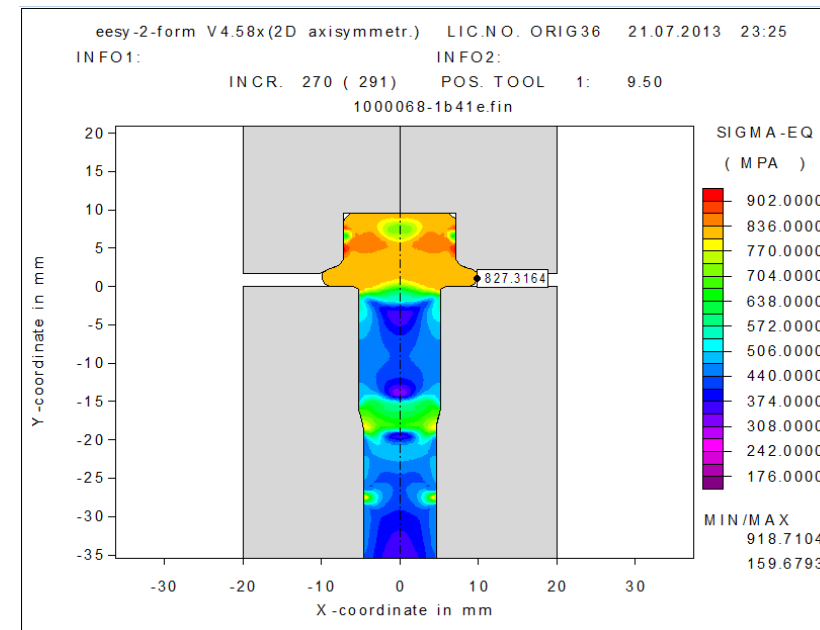
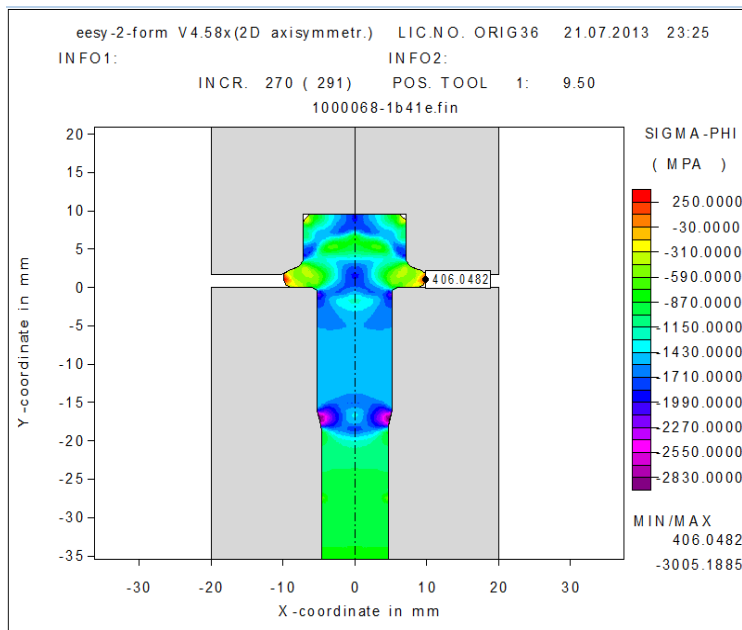
Dies bedeutet, dass die größte positive Spannung weniger als halb so groß ist wie die Fließspannung. Auch wenn die Tangentialspannung positiv ist, so kann sie nicht zum Riss führen. Darüber hinaus müsste ein solcher Riss unter 45° zur Tangentialspannung auftreten, wie oben erläutert.



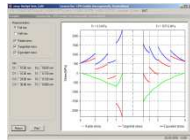
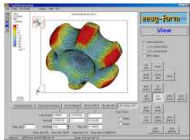
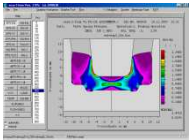


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fehler an einer Schraube, der nicht durch den Stadiengang bedingt war



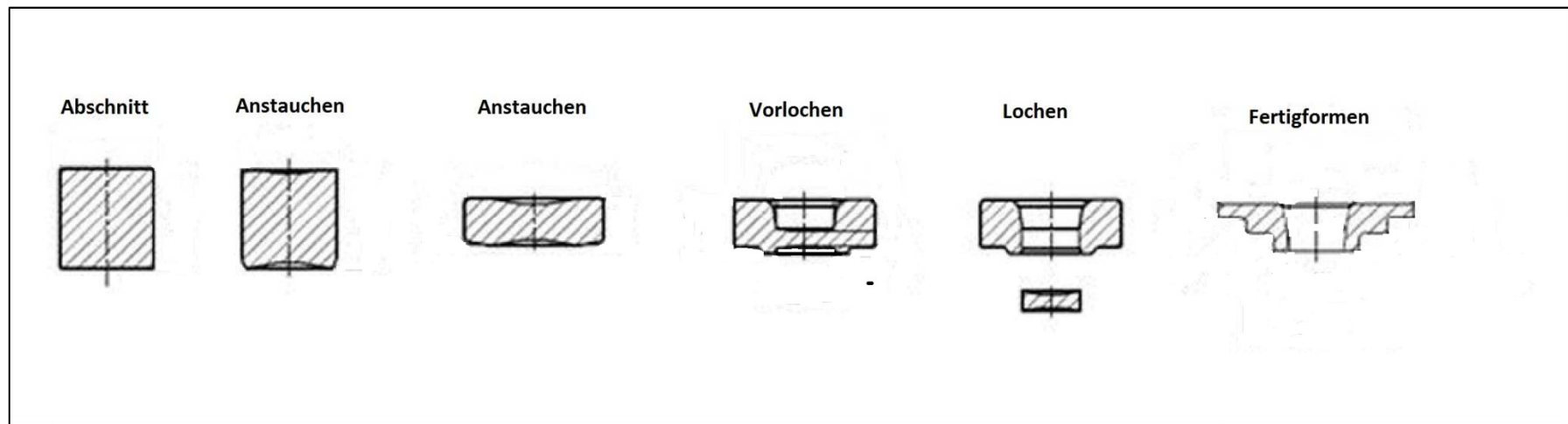
In diesem Fall hätte der Zulieferer direkt zum Ersatz des Materials aufgefordert werden können. Es handelt sich belegbar um ein Materialproblem.

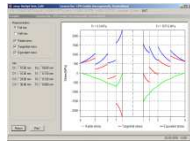
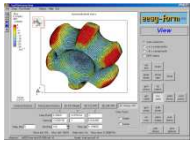
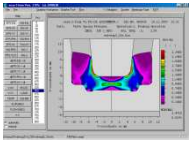


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Ungewöhnliche Werkzeugauslegung

Stadiengangidee

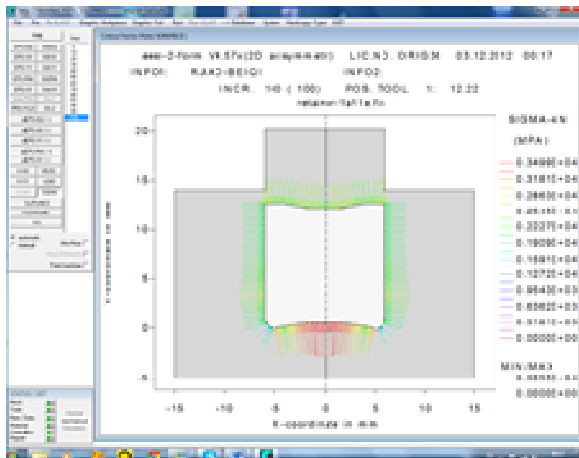




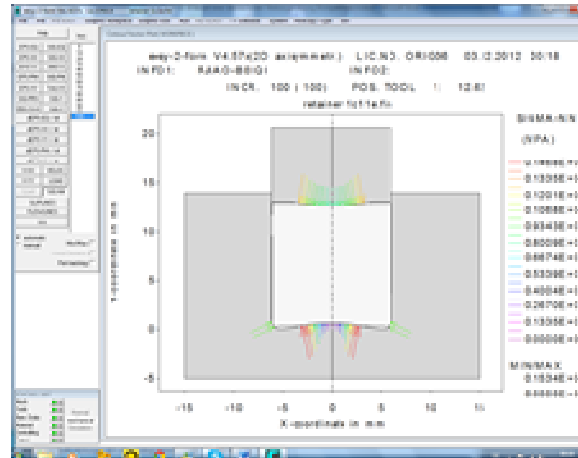
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers:

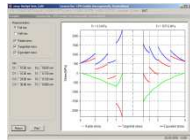
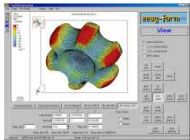
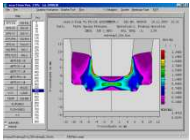
Mit Hilfe der Simulation wurde das Fine-tuning durchgeführt, um eine optimale Füllung bei geringen Kräften in den Stationen zu erreichen.



Zu viel Füllung -> hohe Kräfte

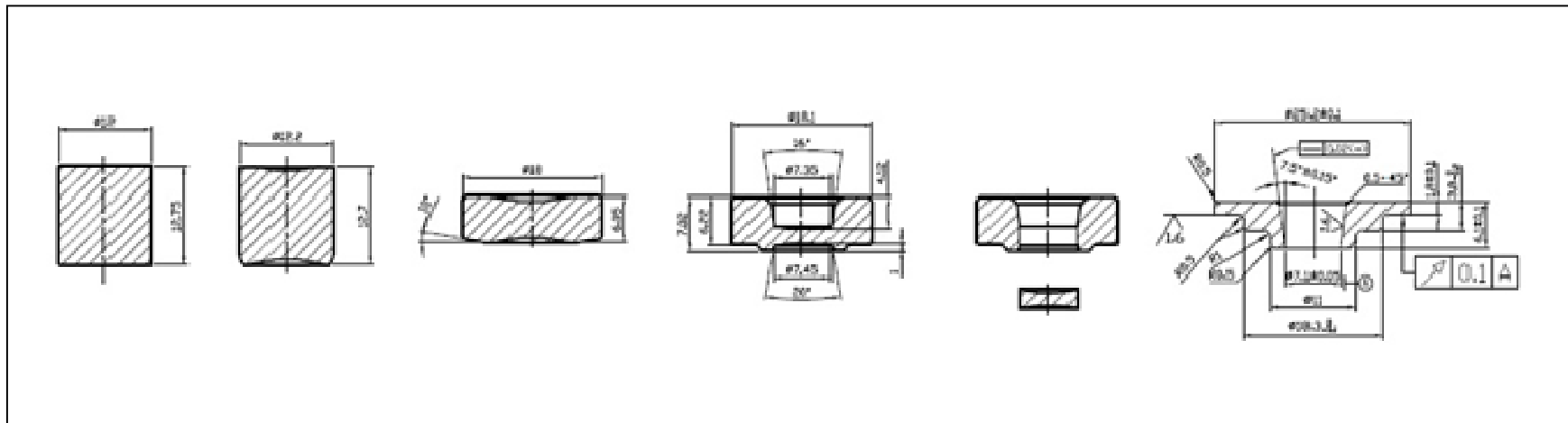


Setzen mit geringer Kraft

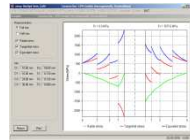
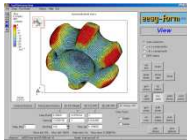
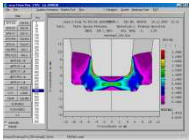


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers:

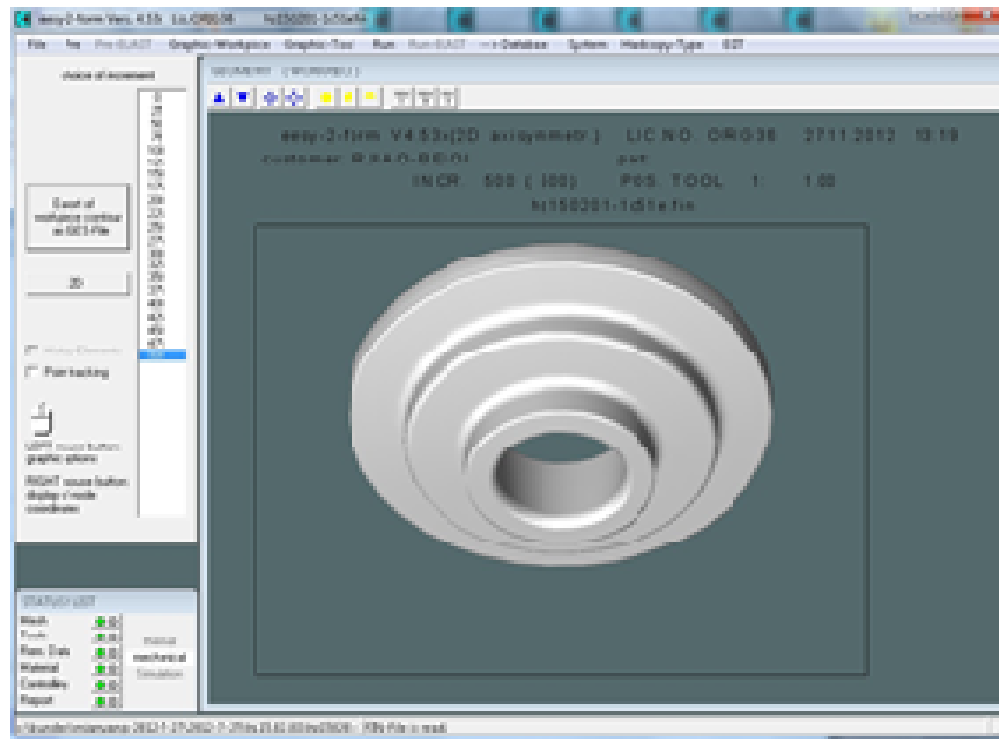


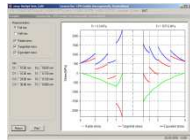
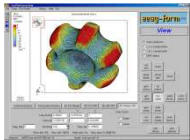
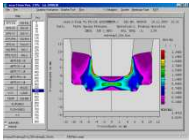
Endgültige Stadiengangauslegung



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

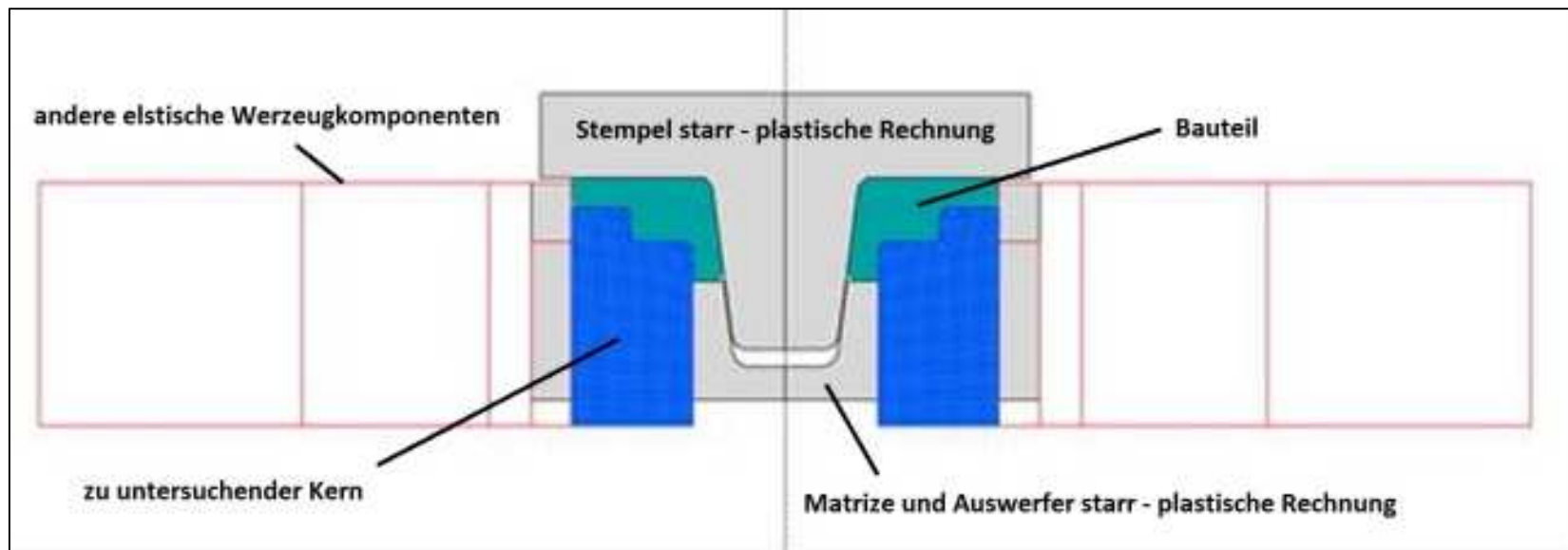
Fertigung eines Ventildfedertellers: vorausgesagte Ausformung



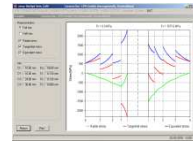
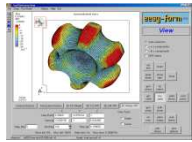
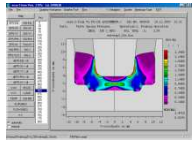


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung



Übliche Auslegung mit Einsatz, Zwischenring und Schrumpfring



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung

Typischerweise wird der Kern als Hartmetal ausgeführt. G55 ist üblich.

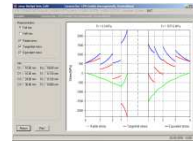
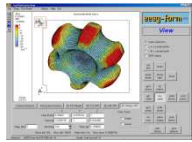
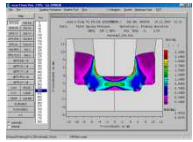
Der Kern wird durch einen Zwischenring vorgespannt.

Beide werden dann in einen weiteren Ring eingepresst.

Der Kern muss so vorgespannt werden, dass er auch unter Last keine positive Tangentialspannung erfährt. An der Innenkontur müssen Scheerspannungen vermieden werden. In kritischen Bereichen ist der Kern ggf. zu teilen.

Die Teilung zwischen Kern und Zwischenring wird oft am Außendurchmesser des Bauteils gewählt.

Generell werden Dreiringsysteme bevorzugt, um den Konstruktionsaufwand gering zu halten.



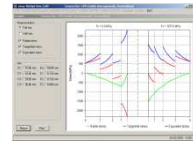
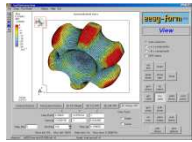
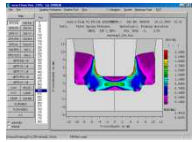
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung

Unter Nutzung einer geeigneten Software (easy-DieOpt) kann der Ingenieur das Vorspannungssystem auslegen.

Diese Auslegung wird dann in der FEM Simulation verifiziert.

Dabei kann der Ingenieur die verwendeten Materialien, deren Härte etc vorgeben und berechnet die optimalen Werte für die Dimensionen und die Interferenzen.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

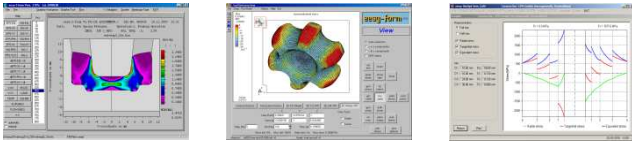
Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung

Die folgenden Bilder zeigen die Analyse einer Auslegung.

Die Analyse zeigt negative Tangentialspannungen, aber kritische Scheerspannungen.

Die Auslegung wurde für G55 als Kernmaterial und DIN 1.2344 mit HRC 50 als Ringmaterial berechnet..

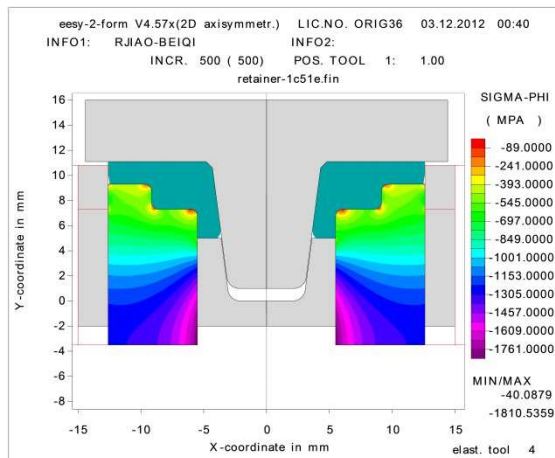
Um die kritischen Werte zu beseitigen kann der Ingenieur mit den Materialien und den Härtewerten etc. „spielen“.



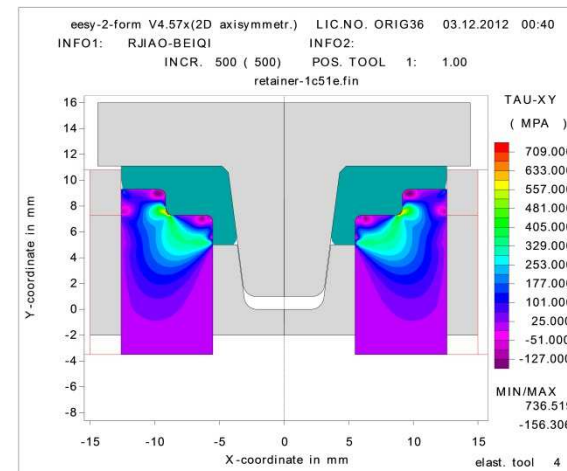
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers:

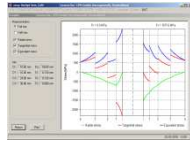
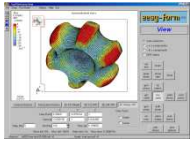
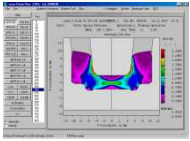
Matrizenauslegung



Tangentialspannungen

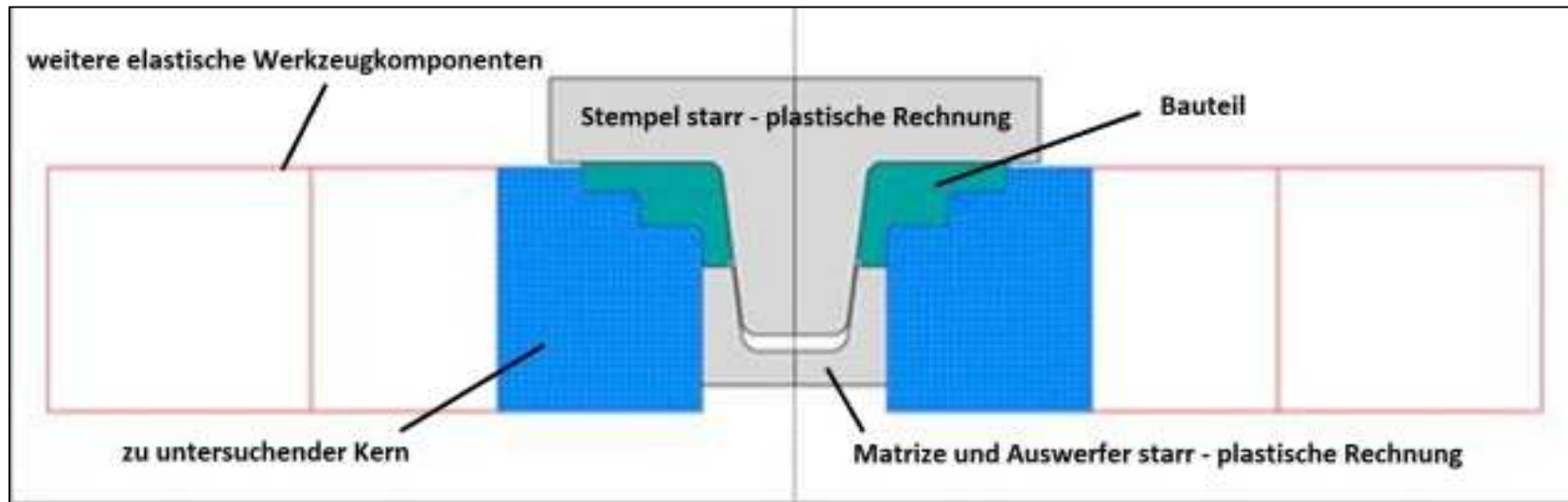


Scheerspannungen

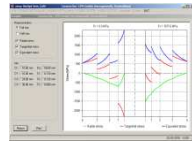
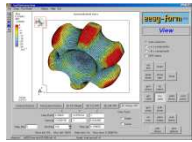
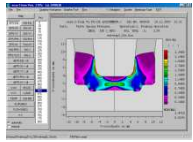


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung



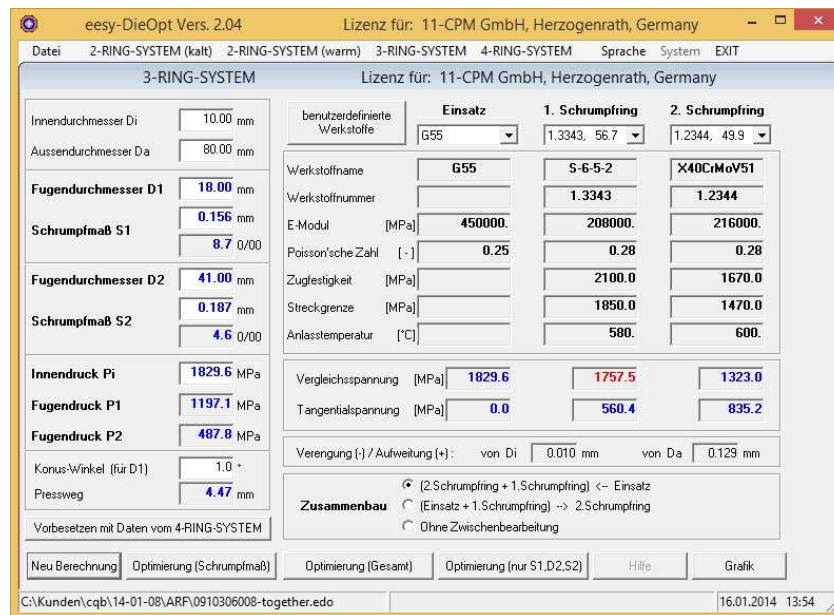
Der Ingenieur hat die Idee, den inneren Werkzeugbereich als soliden Kern auszulegen – **gegen alle üblichen Auslegungsregeln**



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers:

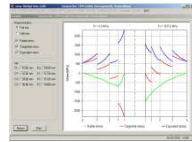
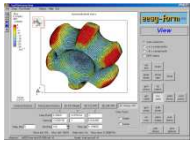
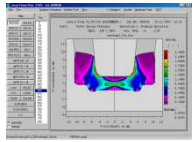
Matrizenauslegung



Der Aussendurchmesser des Kerns wurde sogar größer als der Bauteildurchmesser gewählt.

Das Auslegungssystem ermöglicht es das Material, die Härten, die Geometrien und die Interferenzen zu berechnen.

(Bild nur schematisch...)



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers: Matrizenauslegung

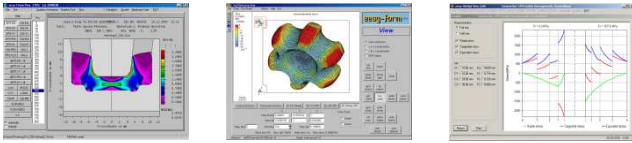
Bei Anwendung dieser Werte in der Simulation waren die Ergebnisse besser als alles vorher untersuchte.

Die Wahl eines einzigen großen Kerns war besser als alle üblichen Teilungen.

Der Praxistest bestätigte die Simulationsergebnisse

Diese Auslegung war weit besser als alles "übliche".

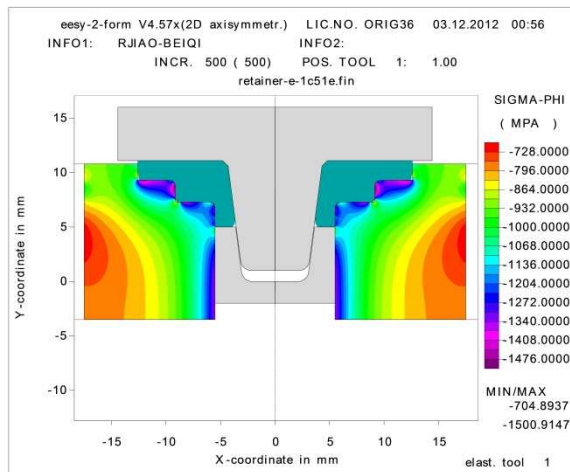
:O!



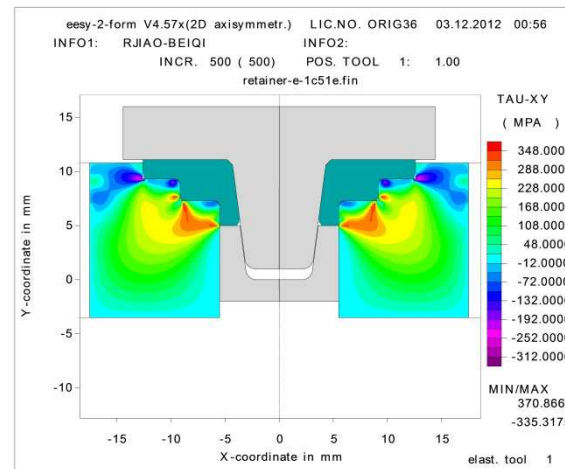
Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung eines Ventildfedertellers:

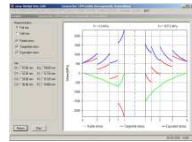
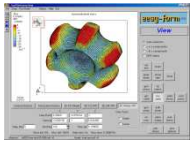
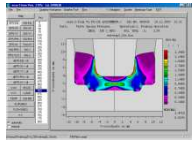
Matrizenauslegung



Tangentialspannungen



Scheerspannungen

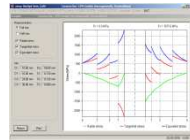
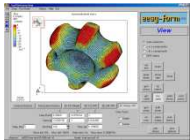
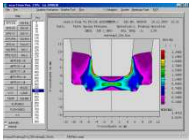


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung einer Gelenknabe

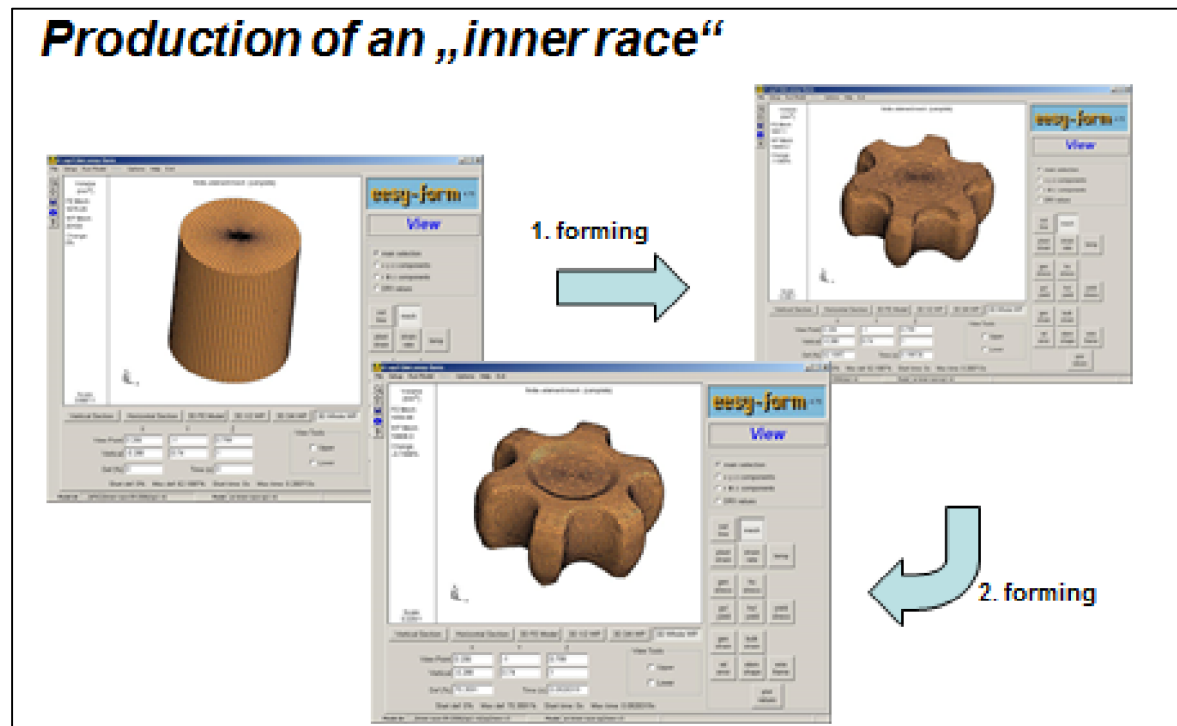
In diesem Beispiel geht es um die zweistufige Fertigung einer Gelenknabe. Mit Hilfe der Simulation waren die Werkzeuge so abzustimmen, dass ein gutes Füllverhalten bei normalen Werkzeugbelastungen erreicht werden konnte.

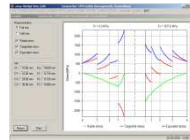
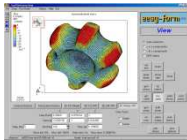
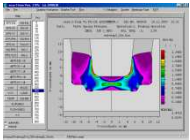
Normal heißt in diesem Fall: im Rahmen der betrieblichen Erfahrung als zulässig zu betrachten.



Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

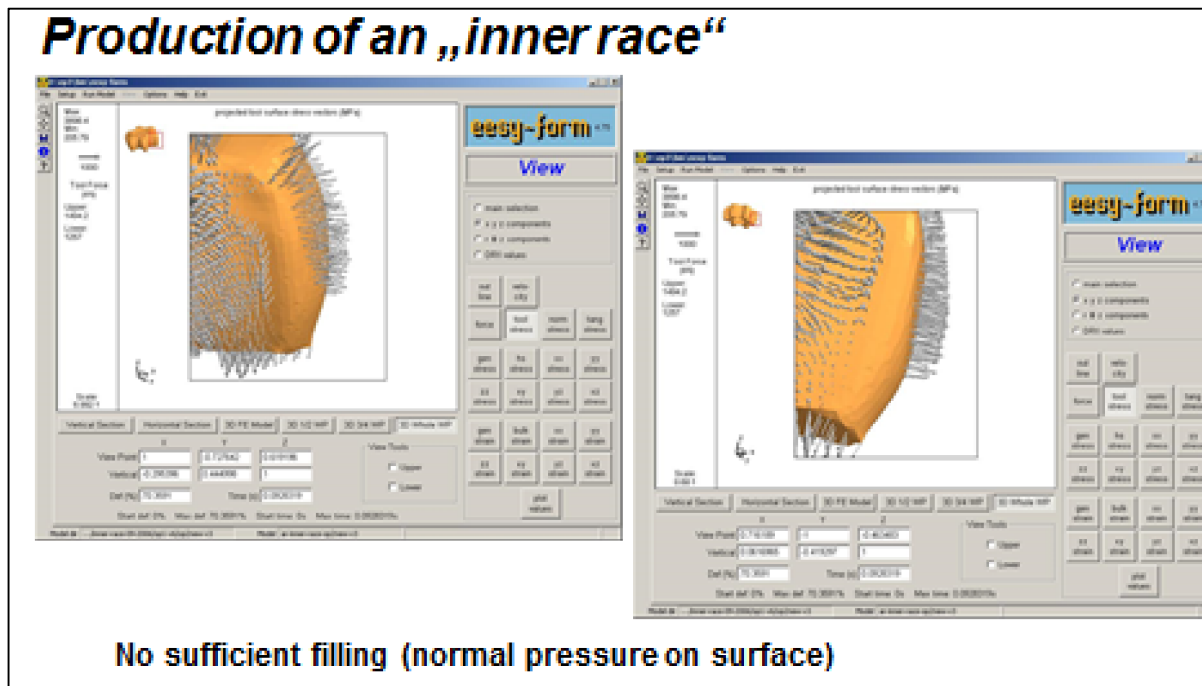
Fertigung einer Gelenknaabe

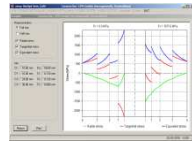
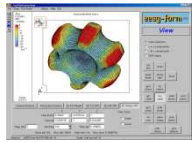
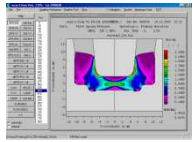




Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Fertigung einer Gelenkknabe





Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Zusammenfassung

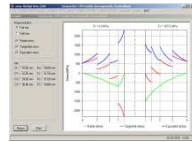
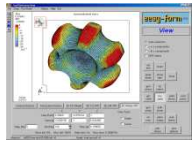
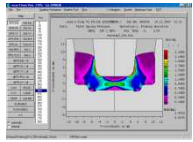
FEM ist ein sehr hilfreiches Werkzeug für die Industrie. Sie hilft Kosten zu sparen und Technologie zu entwickeln.

Das ist inzwischen eine Binsenwahrheit.

Die Beispiele zeigen aber, dass FEM wesentlich besser genutzt werden kann, als gewöhnlich angenommen.

Um die besten Resultate zu erzielen muss FEM konsequent genutzt werden. Das bedeutet sie muss immer umfassend und vollständig genutzt werden. Jeder Verzicht aufgrund von "Erfahrungen" birgt ein Risiko. Die nicht grundsätzliche Nutzung macht die Resultate zufällig etc. Ungewöhnliche Ansätze sind gewünscht und führen zu neuen Erkenntnissen.

Es ist eine Mangementaufgabe, das zu erkennen und konsequent umzusetzen, um die möglichen Vorteile im Internationalen Wettbewerb zu nutzen.

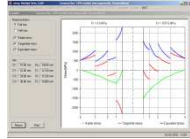
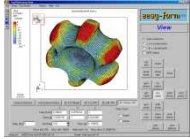
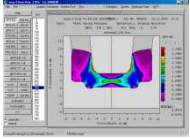


Technologievorsprung durch konsequente Anwendung von Simulationstechniken

Danksagungen

Die Autoren danken ihren Kunden, die, wenn auch anonymisiert, Informationen zu Verfügung gestellt haben.

Diese Informationen sind wichtig, um die Simulation weiter zu entwickeln, aber vor allem auch, um den Sinn ihres Einsatzes in Vorträgen wie diesen darzustellen und damit die Verbreitung zu fördern.



Vertrauen Sie in “eesy” Simulationen



**Unsere Kunden sind froh, Ihre täglichen Probleme
mit Hilfe der Simulation lösen zu können**