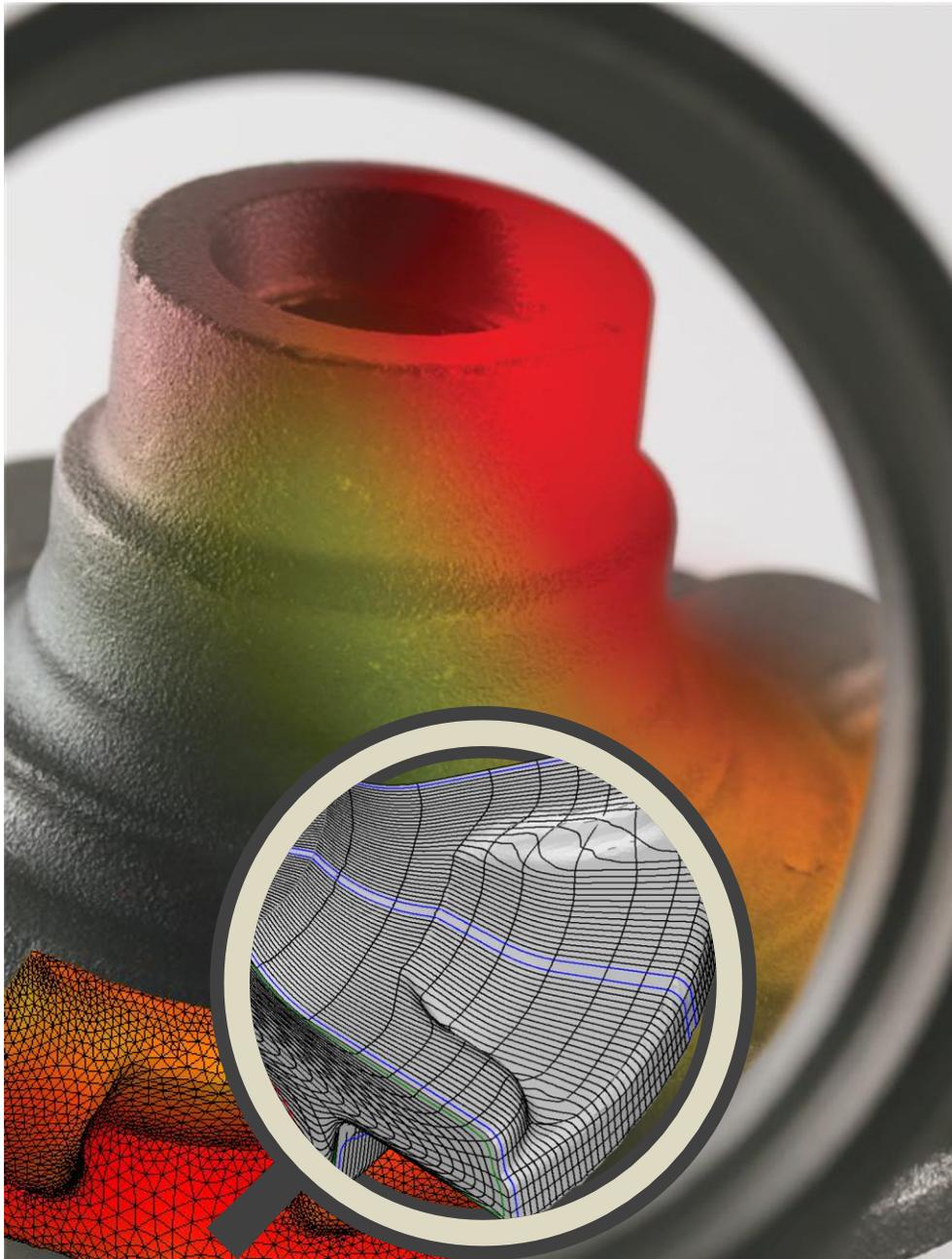
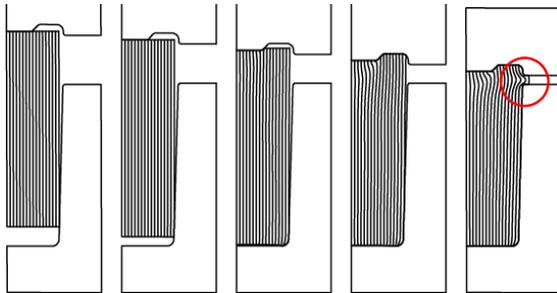


AFDEX

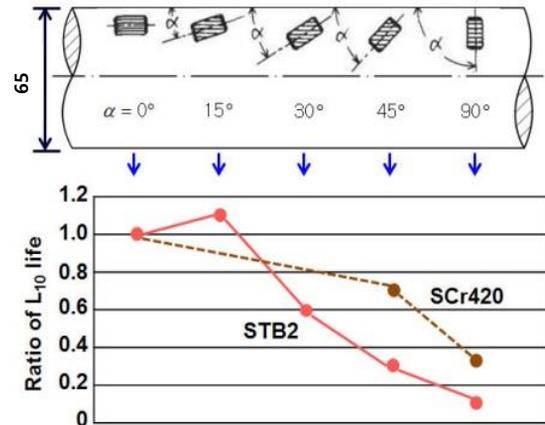
Intelligent Metal Forming Simulation Software



❖ Verbesserung der Produktqualität durch optimierten Metallfluss



Old

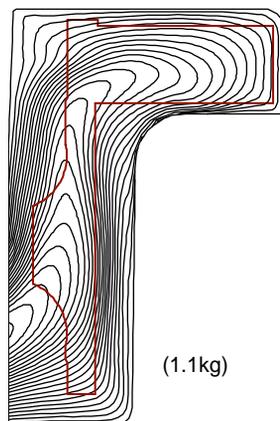


Ito, S., Tusuhima, N., Muro, H.

Metallfließlinien oder Kornströme sind für die Lebensdauer von metallumgeformten Produkten bedeutsam. Ito und weitere Autoren (1982, ASTM, S. 125-135) stellten die Lebensdauerabhängigkeit der Kegelwalze auf Metallfließlinien dar (siehe Grafik rechts). Mitte der 1990er Jahre erzielte ein Wälzlagerunternehmen mit AFDEX einen großen Durchbruch bei der Herstellung von Kegelrollen, der in den kommenden Jahren dazu führte, dass es die Wettbewerbsfähigkeit aufgrund der erzielten Qualität in der Kegelrollenlagerindustrie verbesserte.

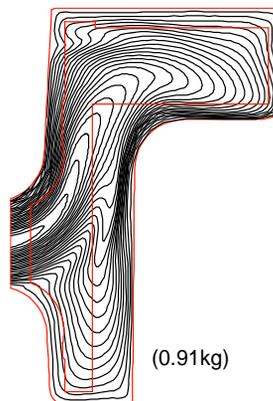
❖ Gewichtsminimierung von Teilen bei verbesserter Produktqualität

Bisheriges Umformverfahren

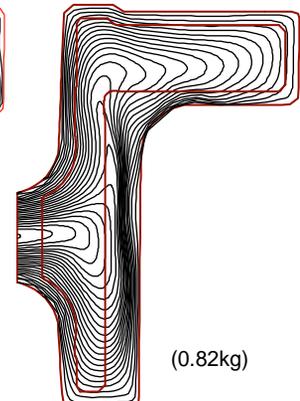


(1.1kg)

Optimiertes Umformverfahren



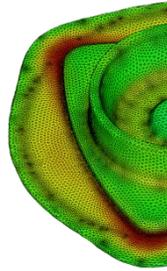
(0.91kg)



(0.82kg)

Eine erfahrungsbasierte Optimierung des Umformprozesses ist sehr zeit- und kostenintensiv, insbesondere wenn der Prozessingenieur optimierte Metallfließlinien anstrebt (siehe Bild rechts). Dieses Beispiel zeigt eine typische Innovation des Prozessdesigns durch die Optimierung mit AFDEX durch einen Wälzlagerhersteller. Einem Automobilzulieferer ist es gelungen, die Fließlinien aus Metall in den Teilen zu optimieren, um das Gewicht erheblich zu reduzieren.

❖ Ökologische Fertigung und Prozessoptimierung bei der Automatisierung



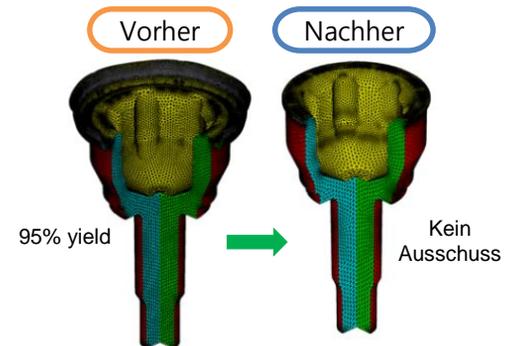
Bisheriger Ausschuss



Minimierter Ausschuss



Optimierter Ausschuss bei der Automatisierung



Process development duration reduced by 40% more

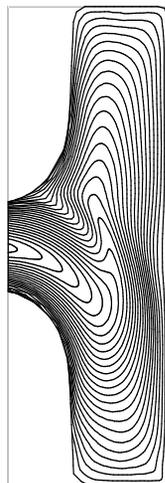
Durch AFDEX wird die Menge an nutzlosem Ausschuss drastisch reduziert und es hilft den Anwendern, die Optimierung des Prozessdesigns für die Automatisierung zu entwickeln, was aufgrund des optimalen Prozessdesigns, der Metallfließlinien und der Festigkeit sehr komplex ist. Es trägt dazu bei, die gesamte Prozessentwicklungszeit um durchschnittlich 40 % zu reduzieren.

❖ Verlängerung der Werkzeuglebensdauer und Senkung der Herstellungskosten

Versuch



Simulation

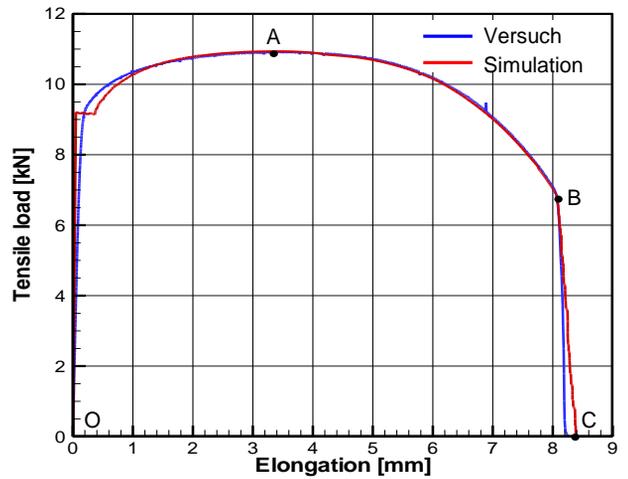
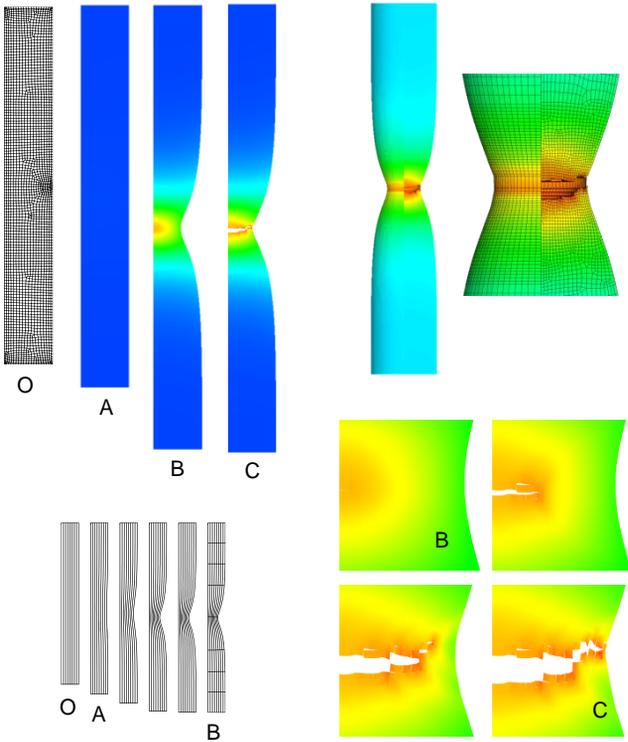


Die Erhöhung der Werkzeuglebensdauer um das Dreifache führte zu einer Reduzierung der Werkzeugkosten um 60.000 € pro Jahr durch diesen vereinfachten Prozess!

Bei der MFC AE Messe 2006 präsentierte einer der AFDEX-Anwender die Verkürzung der Entwicklungszeit von 6 Monaten auf zwei Wochen.

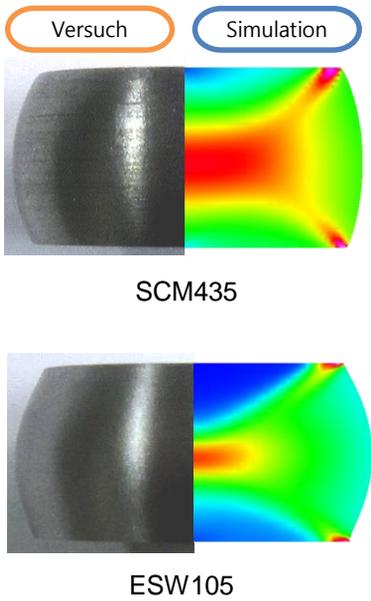
Bei der MFC AE 2001 präsentierte ein Anwender eine um das Dreifache verlängerte Lebensdauer des Gesenks, was die zu einer signifikanten Reduzierung der Gesenkkosten führte, wobei 60.000 € pro Jahr bei dem Warm Schmiedeprozess des Automobilteils eingespart wurden.

❖ Zugversuch | 2D

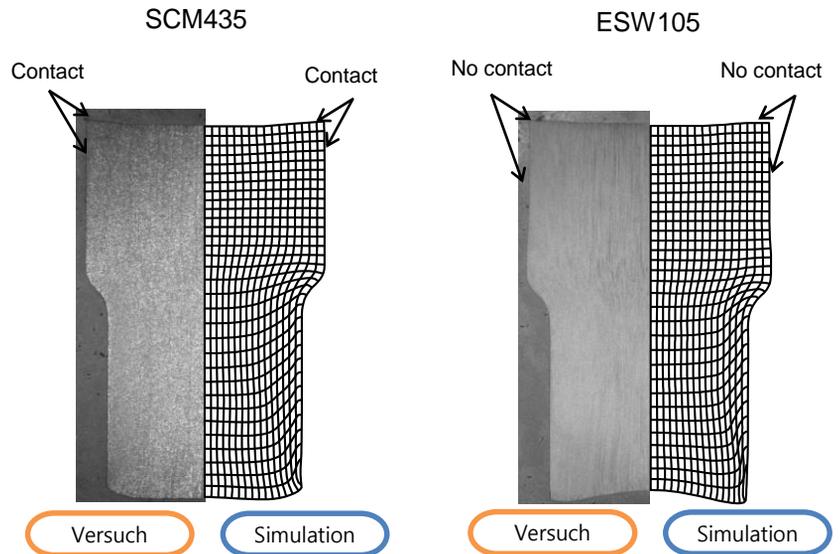


Der Zugversuch ist eines der typischen „Umformverfahren“, das nützlich ist, um Vorhersagen durchführen zu können, Prinzipien zu erlernen, die in die Festkörpermechanik eingebettet sind, und das Materialverhalten in der Metallumformung zu verstehen. Die Grafik zeigt das Ergebnis des gesamten Prozesses in einem simulierten Zugversuch einschließlich der Rissausbreitung nach dem Bruchpunkt und zeigt, dass die Vorhersagen sehr nahe an denen von Versuchen liegen. Das hierzu verwendbare Modul ist AFDEX MAT.

❖ 2D - Umformen | Strangpressen

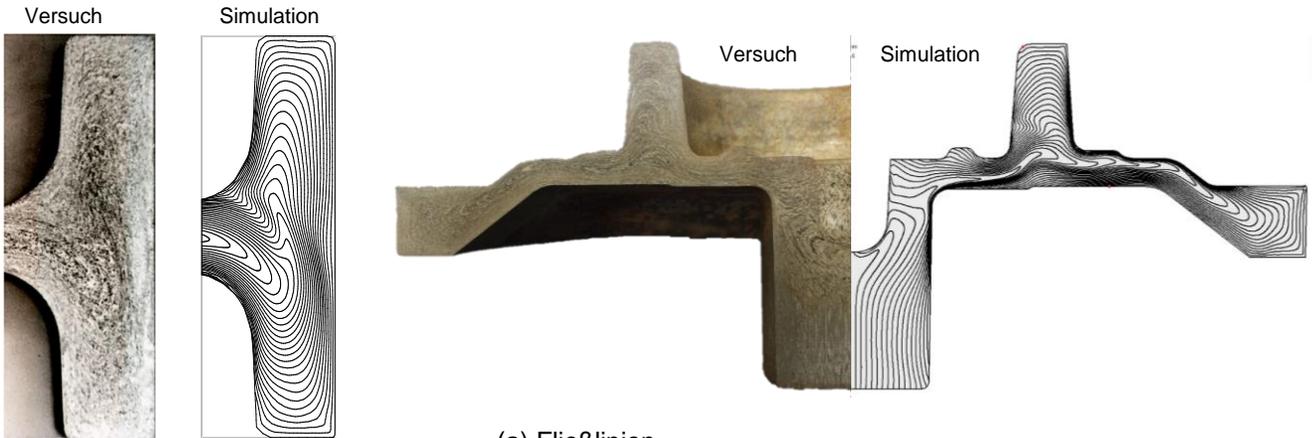


(a) Kompression eines Zylinders

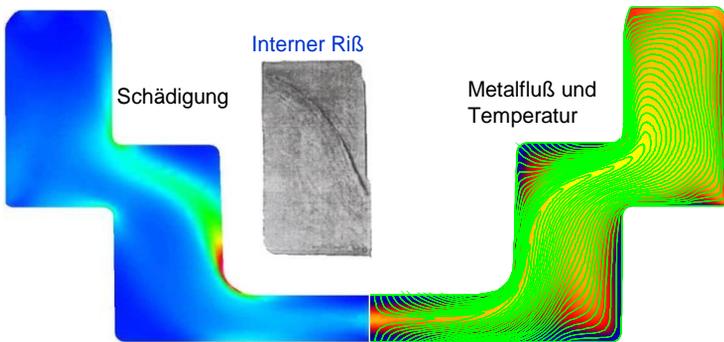


(b) Vorwärts-Strangpressen

❖ 2D-Simulation der Warmumformung von Lagerring sowie Zahnrad und Welle



(a) Fließlinien



(b) Risse und ihre möglichen Ursachen

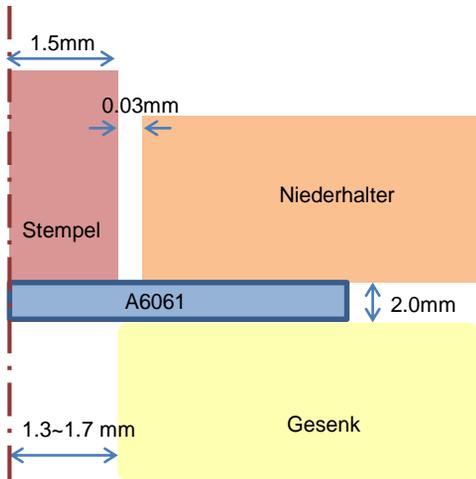
In Abbildung (a) werden die Vorhersagen mit den Metallfließlinien aus Versuchen verglichen, die durch automatisches dreistufiges Warmschmieden und ein mechanisches Pressschmieden erzeugt werden, bei denen die Produktqualität entscheidend von der Festigkeit der Metallfließlinien abhängt. Abbildung (b) zeigt die inneren Risse des Produkts mit ihren möglichen Ursachen, die durch die Fließlinien und die Temperaturverteilung des Metalls identifiziert werden können.

❖ Automatisierte 5-stufige Kaltumformung - Motorbauteil | 2D

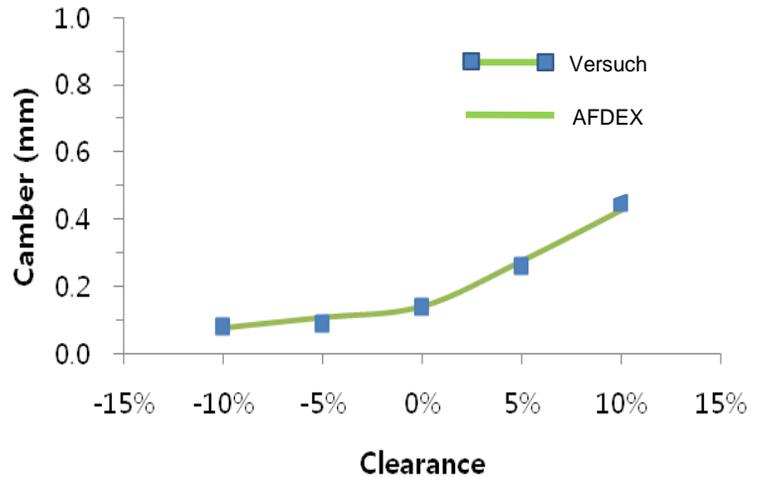


Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der prognostizierten Ergebnisse mit Versuchsergebnissen eines automatischen fünfstufigen Kaltumformprozesses. Es ist zu beachten, dass die Simulation von automatischen mehrstufigen Schmiedeprozessen (auch als Umformprozesse bezeichnet) durch entsprechende Fähigkeiten AFDEX unterstützt werden sollte, da ihre aufeinanderfolgenden Stufen eng miteinander verbunden sind und die Toleranz zwischen Gesenk und Werkstück in jeder Phase sehr eng gewählt ist.

❖ Prägen und Schmieden | 2D

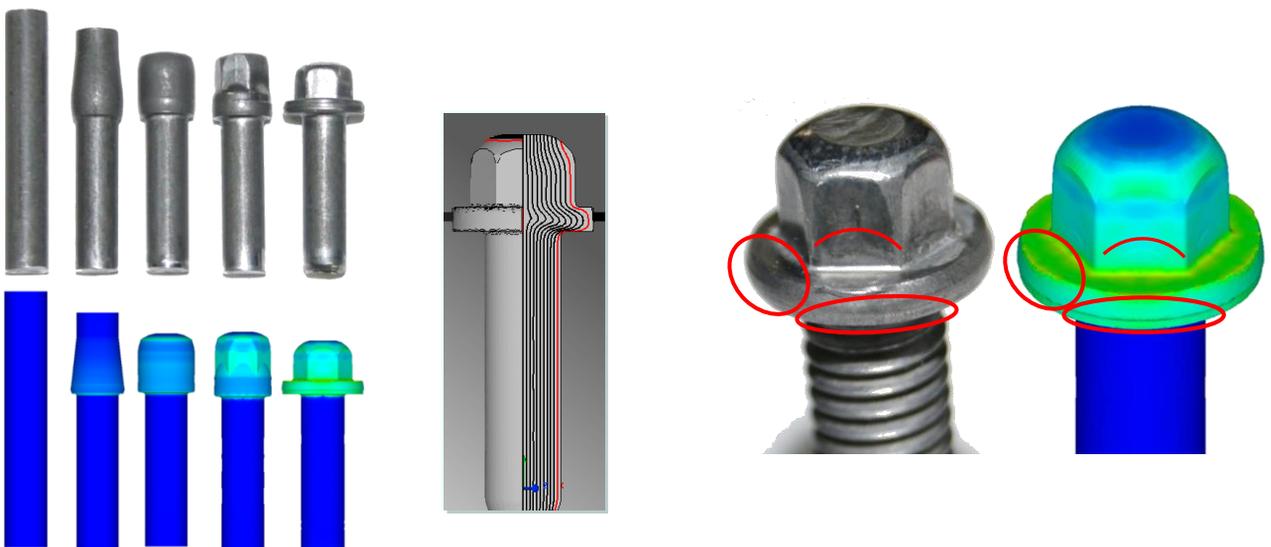


Parameter	Wert
N	0.194
K (MPa)	207.6
Reibungskoeffizient	0.15
Stempelgeschwindigkeit	0.83 mm/s
Stempelkraft	210.9 N



Die untere rechte Grafik vergleicht die Versuche und Simulationen der Einzugstiefe in einem Prägeprozess und zeigt, dass die Simulationen über den gesamten Spielbereich in guter Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen sind.

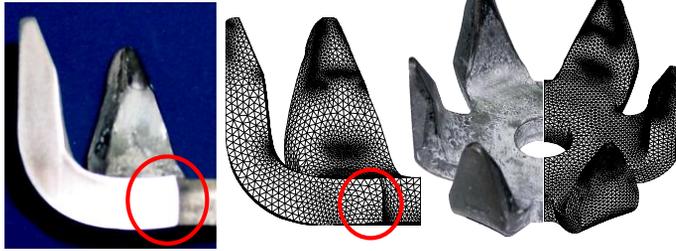
❖ Schraubenherstellung durch Kaltumformen | 3D



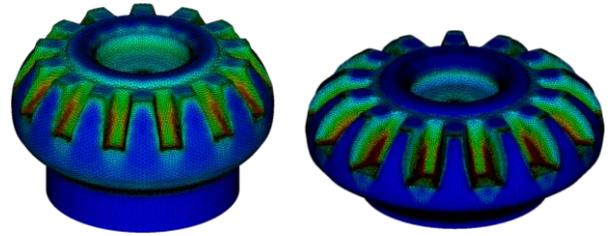
Die Abbildungen zeigen einen Vergleich zwischen den Versuchen und Simulationen eines automatisierten vierstufigen Kaltumformprozesses für eine hochfeste Schraube und zeigen, dass die wichtigsten Merkmale in den Versuchen durch die Simulationen gut abgebildet werden.

❖ Kaltumformung - Rotor | 3D

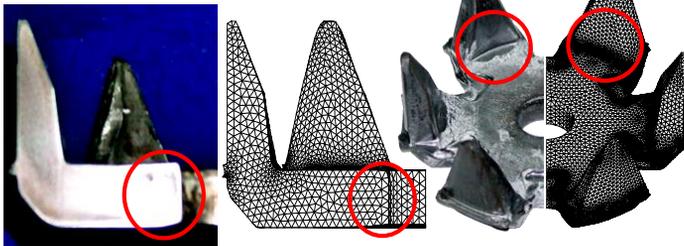
❖ Gesenkschmieden - Kegelrad | 3D



Biegevorgang



Geschlossenes Gesenkschmieden



Dimensionierung



Schmiedevorgang

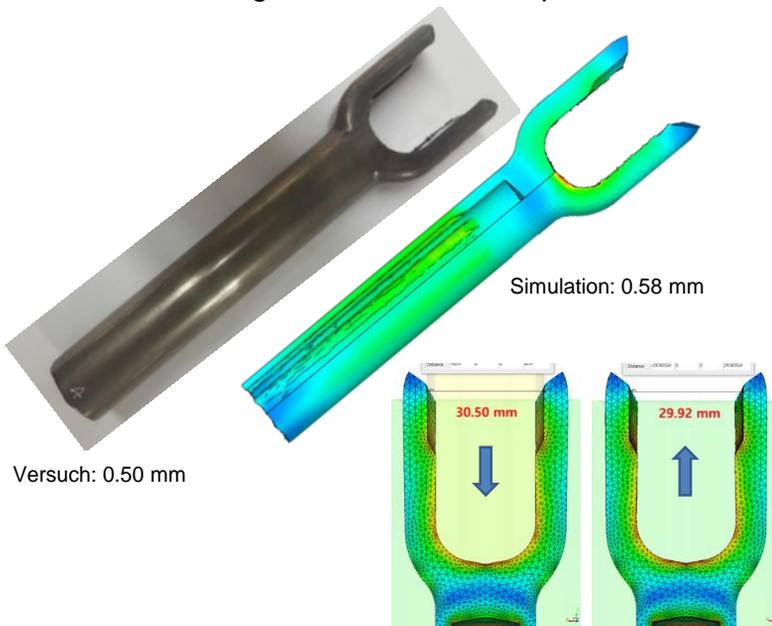
Dimensionierung

Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der Simulationen und Versuche eines kaltgeschmiedeten Rotors (links) und eines Kegelrads, hergestellt durch Gesenkschmieden mit anschließender Dimensionierung (rechts). Es ist zu beachten, dass bei der Simulation eines Präzisionsschmiedeprozesses wie dem in der rechten Abbildung gezeigten Gesenkschmieden eine hochpräzise Simulation erforderlich ist.

❖ Rückfederung - Automatisierte Mehrstufen-Kaltumformung | 3D

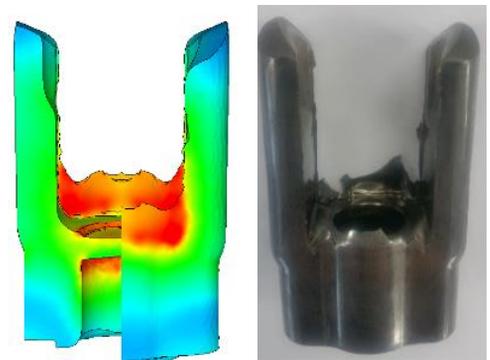
✓ Rückfederung bei einem Gabelkopf

✓ Exzentrizität eines Spannjochs



Versuch: 0.50 mm

Simulation: 0.58 mm

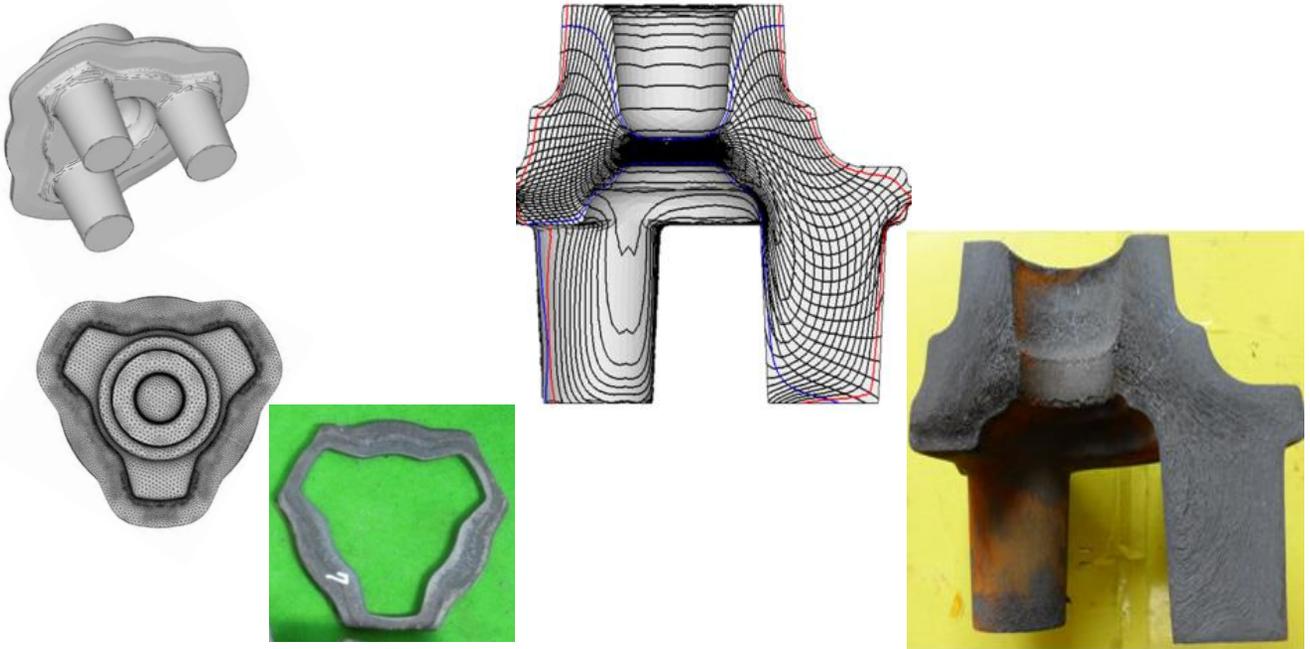


Simulation: 1.030

Versuch: 1.038

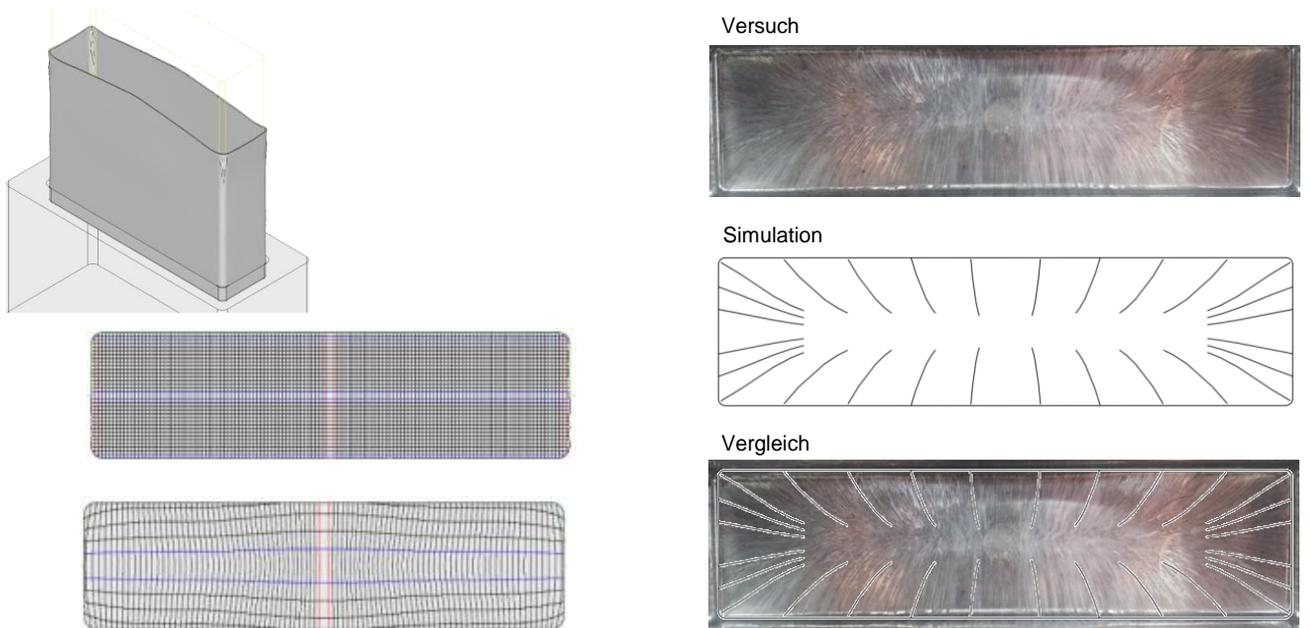
Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der Ergebnisse von Versuch und Simulation bei der mehrstufigen Kaltumformung. Sie zeigen, dass die Simulationen die wichtigsten Merkmale der Versuche gut widerspiegeln. Es wird darauf hingewiesen, dass der Auswurfprozess simuliert wurde, um die Rückfederung mit Hilfe der elastoplastischen 3D-Finite-Elemente-Simulation vorherzusagen. Die prognostizierte Rückfederungen liegen sehr nahe an den Versuchswerten.

❖ Warmumformung - Bauteil Planetengetriebe | 3D



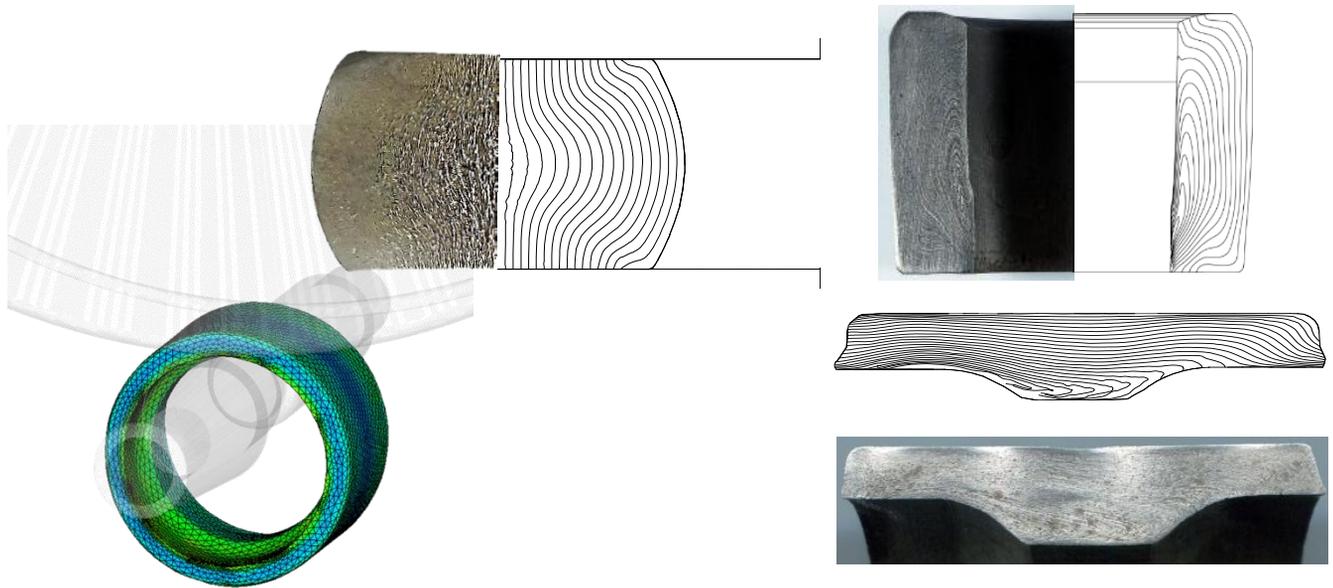
Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der Simulationen und Versuche eines Warmumformprozesses für Planetengetriebeteile mit Schwerpunkt auf dreidimensionalen Metallfließlinien.

❖ Rückwärtsstrangpressen - Batteriegehäuse | 3D



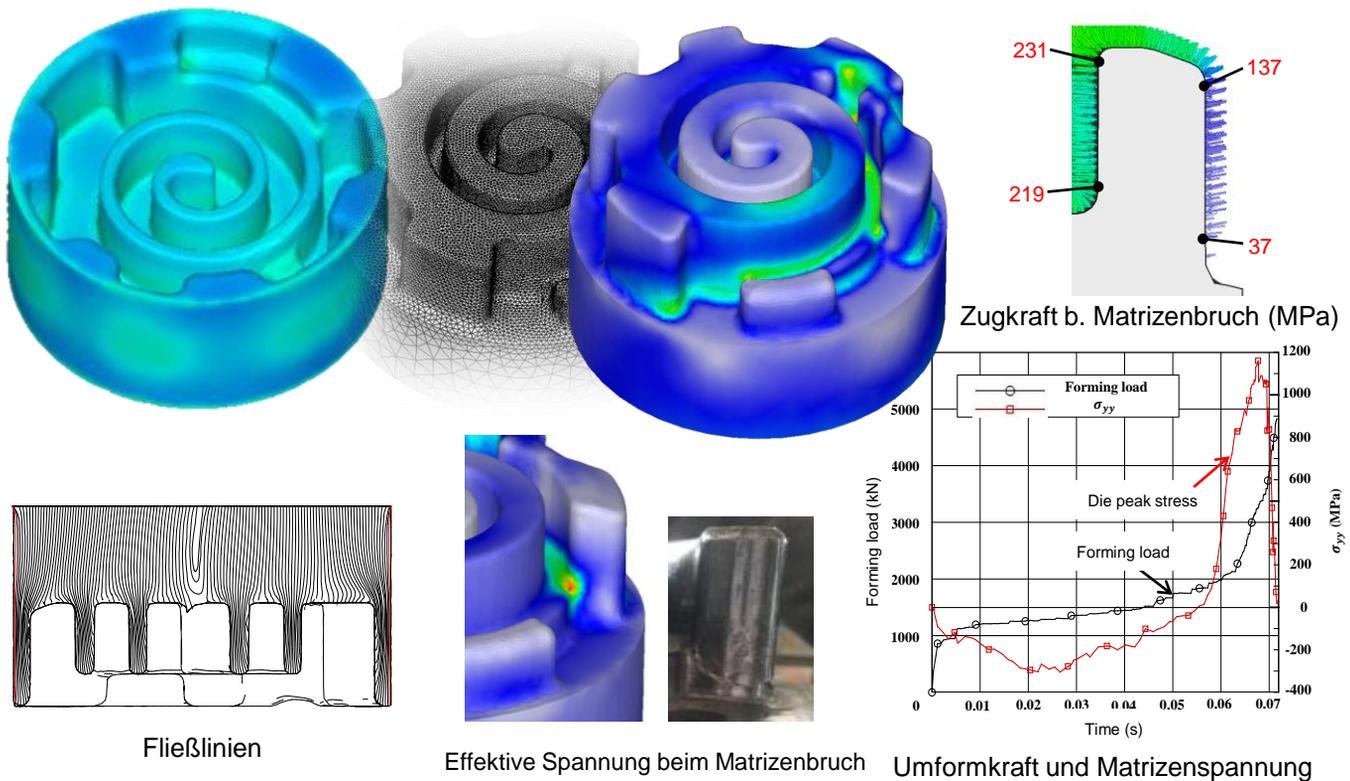
Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der Simulationen und Versuche eines Batteriegehäuses hergestellt im Rückwärts-Strangpressverfahren. Zu beachten ist, dass dieser Prozess recht empfindlich auf Reibung reagiert. Für diese Art von Verfahren wird die Anwendung des hybriden Reibungsgesetzes empfohlen.

❖ Ringwalzen nach dem Warmschmieden - Lagerschale | 3D



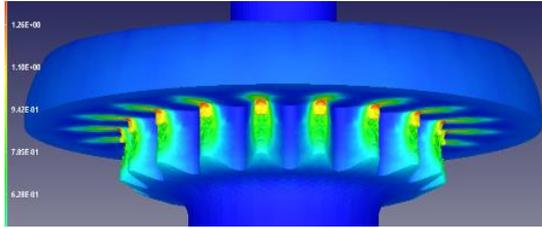
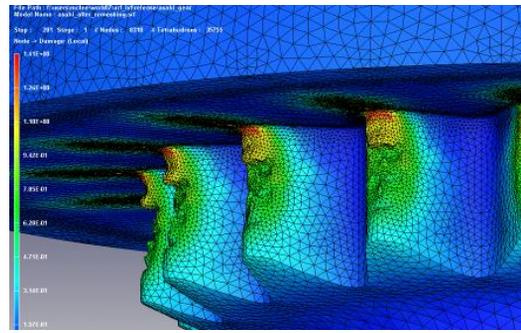
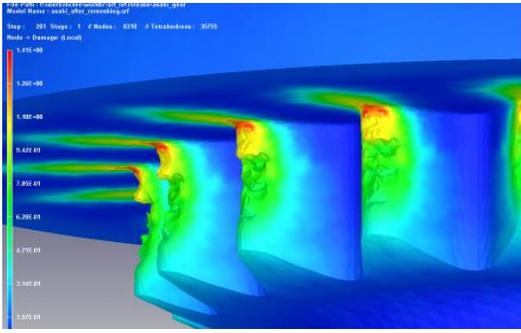
Die Simulationsergebnisse und Versuche des Ringwalzens nach dem Warmschmieden für den Außenring der ersten Generation von Lageschalen sind in den obigen Abbildungen dargestellt, wobei der Schwerpunkt auf dreidimensionale Fließlinien liegt, was zeigt, dass die Simulationsergebnisse in guter Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen sind. Zu beachten ist, dass die Fließlinien während des gesamten Prozesses, bestehend aus Stauchen, Rückwärts-Strangpressen, Lochen und Ringwalzen, automatisch verfolgt werden.

❖ Warmumformung von Aluminium - Bruchmechanik | Fixierte Spirale | 3D



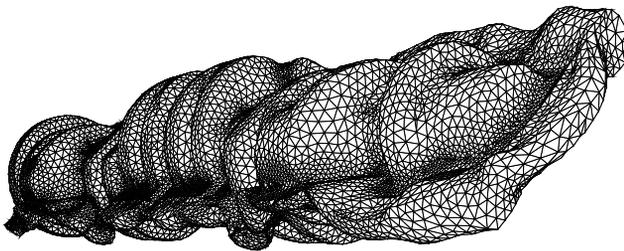
Die Abbildungen zeigen die Ursache für den Gesenkbruch, der beim Warmumschmieden einer fixierten Aluminiumspirale auftritt. Es ist ersichtlich, dass die Spannung in der Nähe der Wurzel der Wicklung vor dem letzten Hub die Ursache für den Gesenkbruch ist.

❖ **Duktiler Bruch**



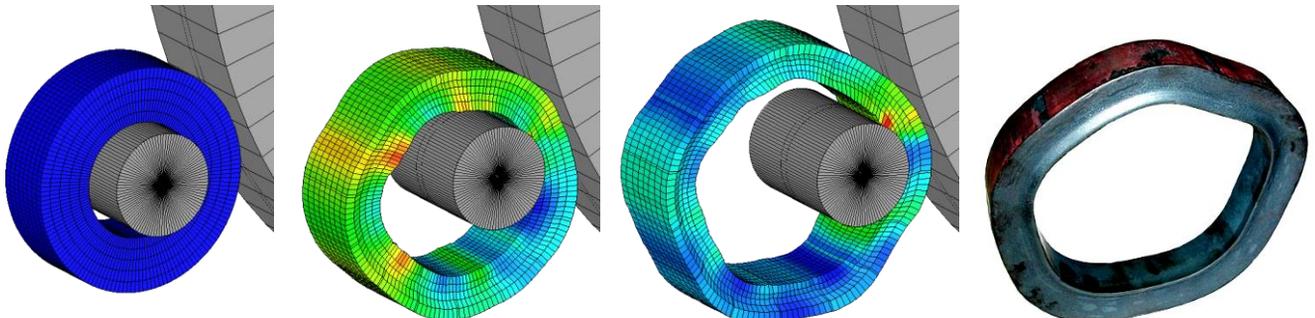
Der duktile Bruch ist eines der komplexesten Probleme, die bei der Metallumformung auftreten. Die Umformsimulationstechnologie unterstützt die Prozessingenieure dabei, die Phänomene zu verstehen und hilft ihnen, umfangreiches Wissen und Know-how systematisch anzusammeln.

❖ **Hammerschmieden - Kurbelwelle eines Schiffsmotors | 3D**



Für einen Hammerschmiedeprozess in einem Schiffsmotor wurde eine gekoppelte Analyse von Temperatur und Verformung durchgeführt, wobei die erforderliche Schlagzahl bei der Gegenschlaghammer-Schmiedemaschine mittels Simulation ermittelt wurde.

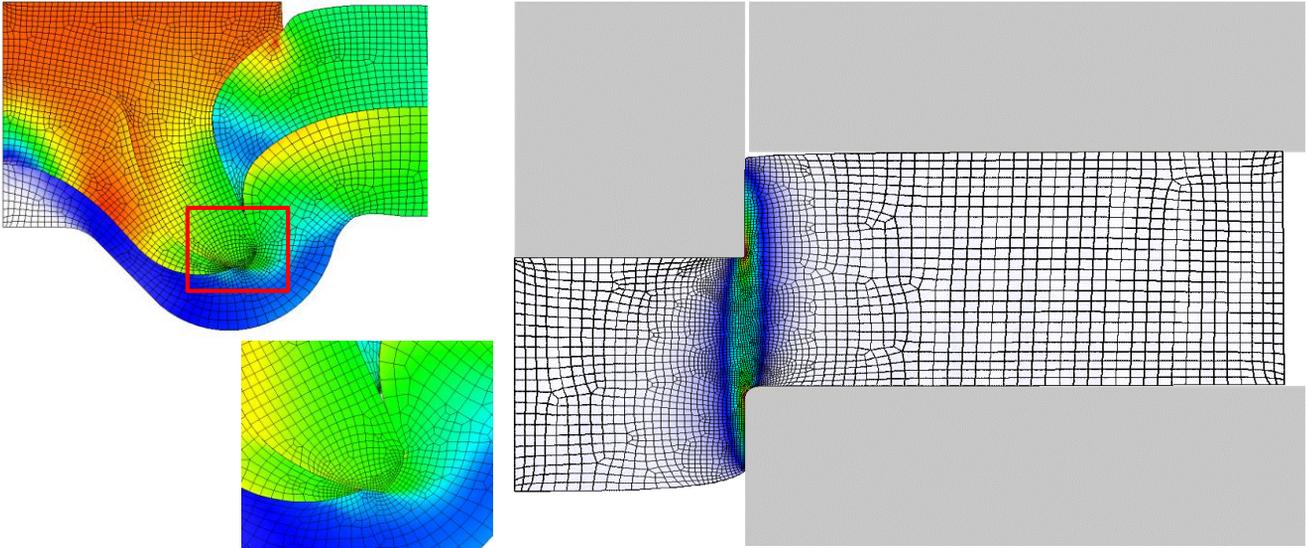
❖ **Polygon-Ringwalzen - Formfehlerreduzierung | 3D**



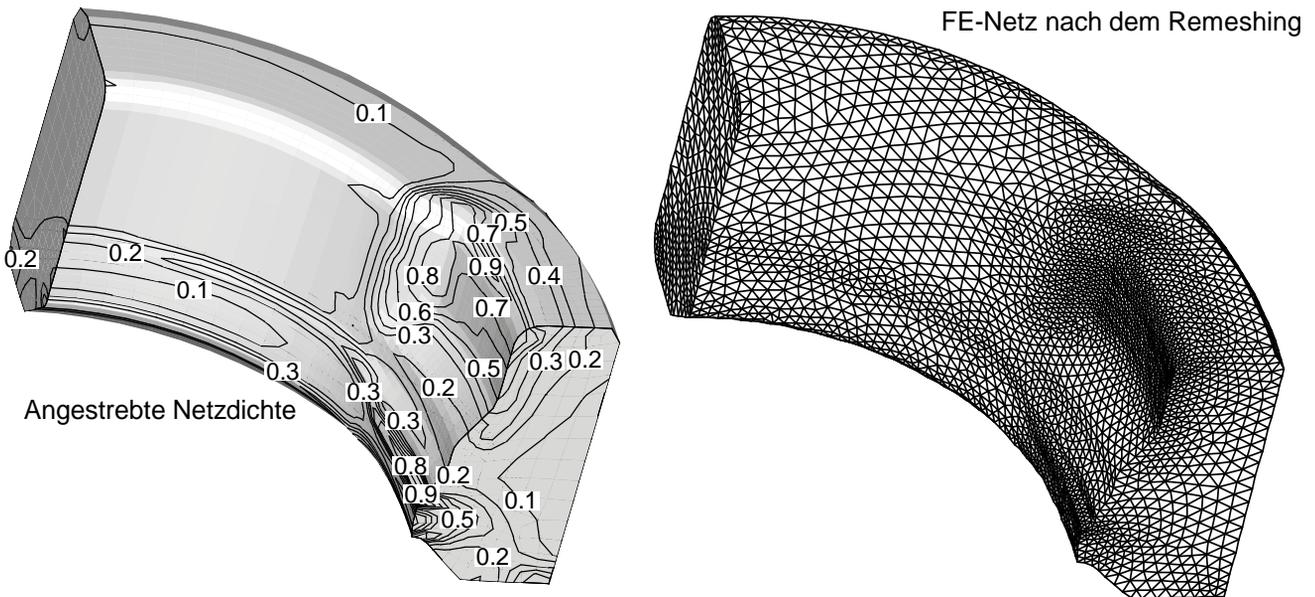
Die Bildung von Formfehlern beim Polygon-Ringwalzen wird vorhergesagt, wobei sich herausstellt, dass eine unerwünschte Reduzierung bei unzureichender Führungslast verschiedene Arten von Formfehlern verursachen kann.

❖ Adaptives Remeshing

✓ Viereckige Elemente | 2D

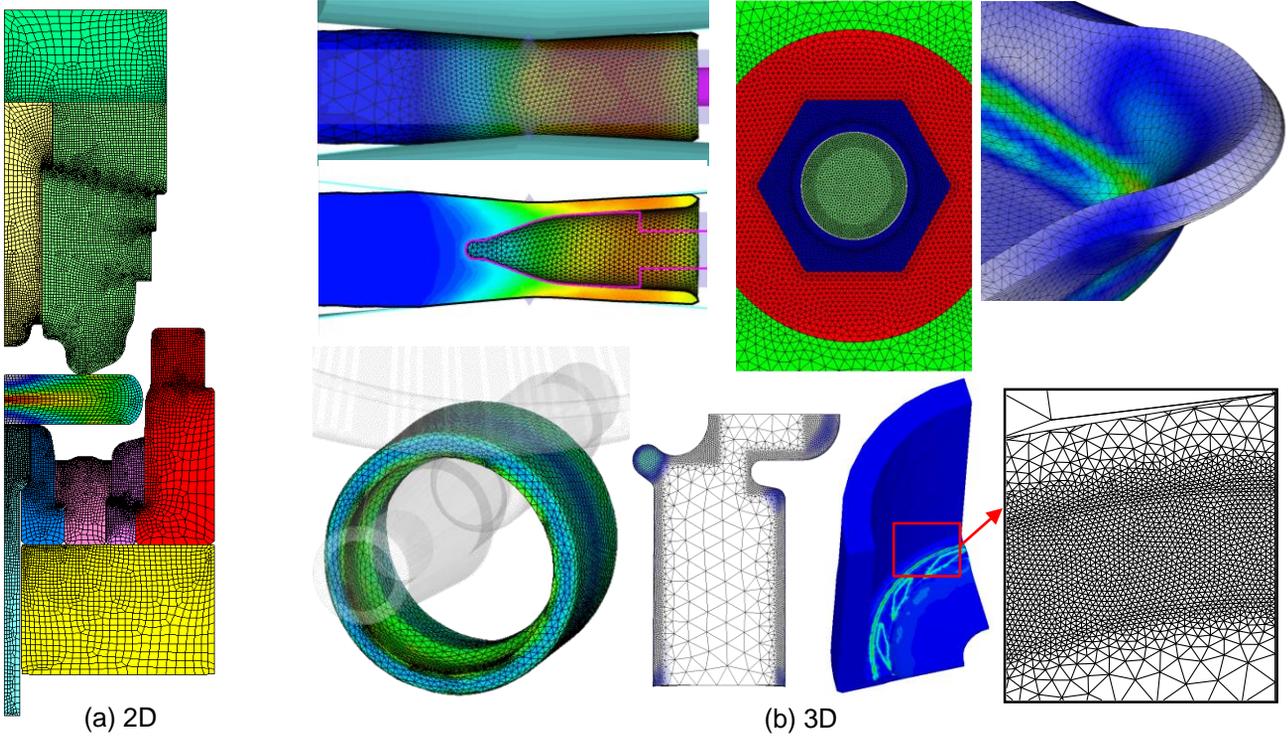


✓ Tetraederelemente | 3D



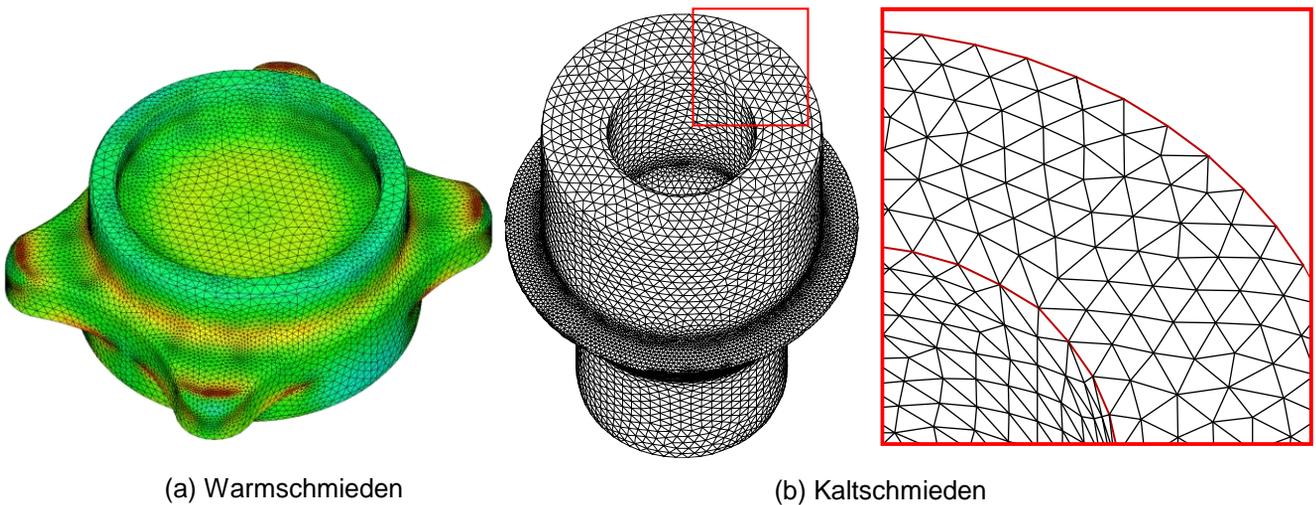
Die beiden Abbildungen veranschaulicht die Neuvernetzung bei der Verwendung von Tetraederelementen. Hervorzuheben ist, dass die Abweichung zwischen den gewünschten und erzeugten Netzichten und der Anzahl der Übergangselemente bzw. -bereiche bei der Neuvernetzung minimiert wird. Darüber hinaus wird die Netzqualität insbesondere zwischen Werkstück und Matrize optimiert, um numerische Ungenauigkeiten signifikant zu reduzieren. Die Remeshing-Funktionen führen dazu, die angestrebte Lösungsgenauigkeit sicherzustellen.

❖ Beispiele für speziell generierte Finite-Elemente-Netze



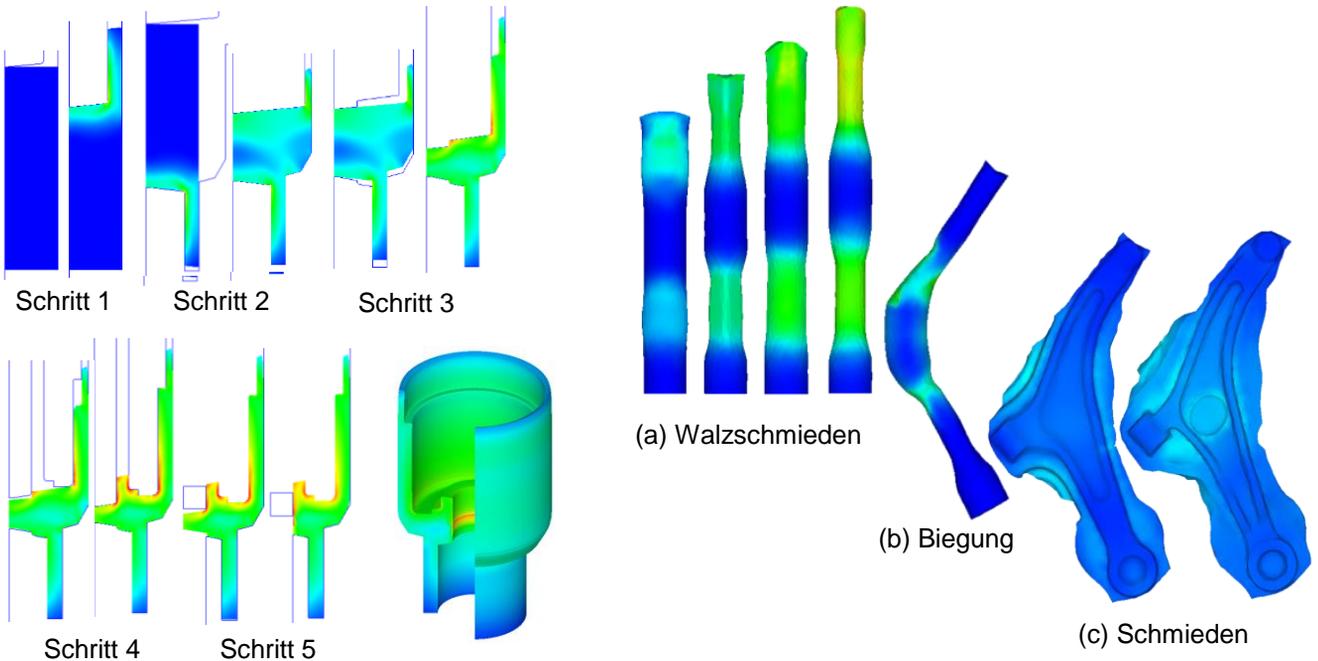
Die Netzdichte für spezielle Probleme kann vom Benutzer manuell eingestellt werden, und es steht eine lokale Neuvernetzungsfunktion zur Verfügung, die ein Eingreifen des Benutzers während der Neuvernetzung erfordert. Die Abbildungen zeigen einige speziell konstruierte Netzsysteme während automatisierter und manueller Simulationen.

❖ Abbildung von Kanten beim Schmieden



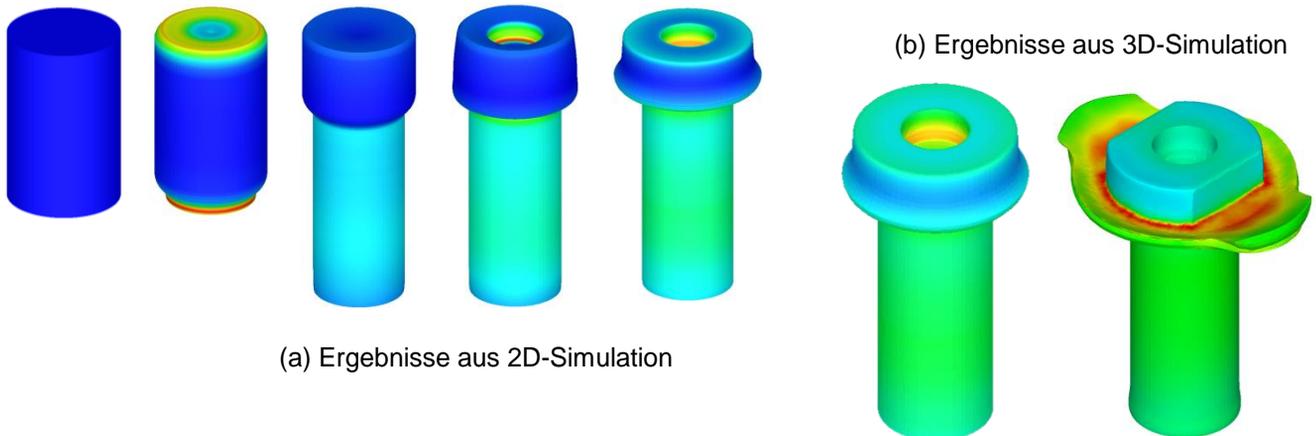
Die Abbildungen zeigen die bei der Warm- bzw. Kaltumformung erzeugten Kanten. Es sollte betont werden, dass eine detaillierte Beschreibung der Werkstückgeometrie ein sehr wichtiger Bestandteil der Simulation ist, um die in den Abbildungen gezeigten genauen Ergebnisse zu erhalten. Das in Abbildung (b) dargestellte Netzsystem beschreibt die abgeschrägte Ecke klar und genau mit der begrenzten Anzahl von tetraedrischen Elementen.

❖ Automatisierte Simulation | 2D 3D



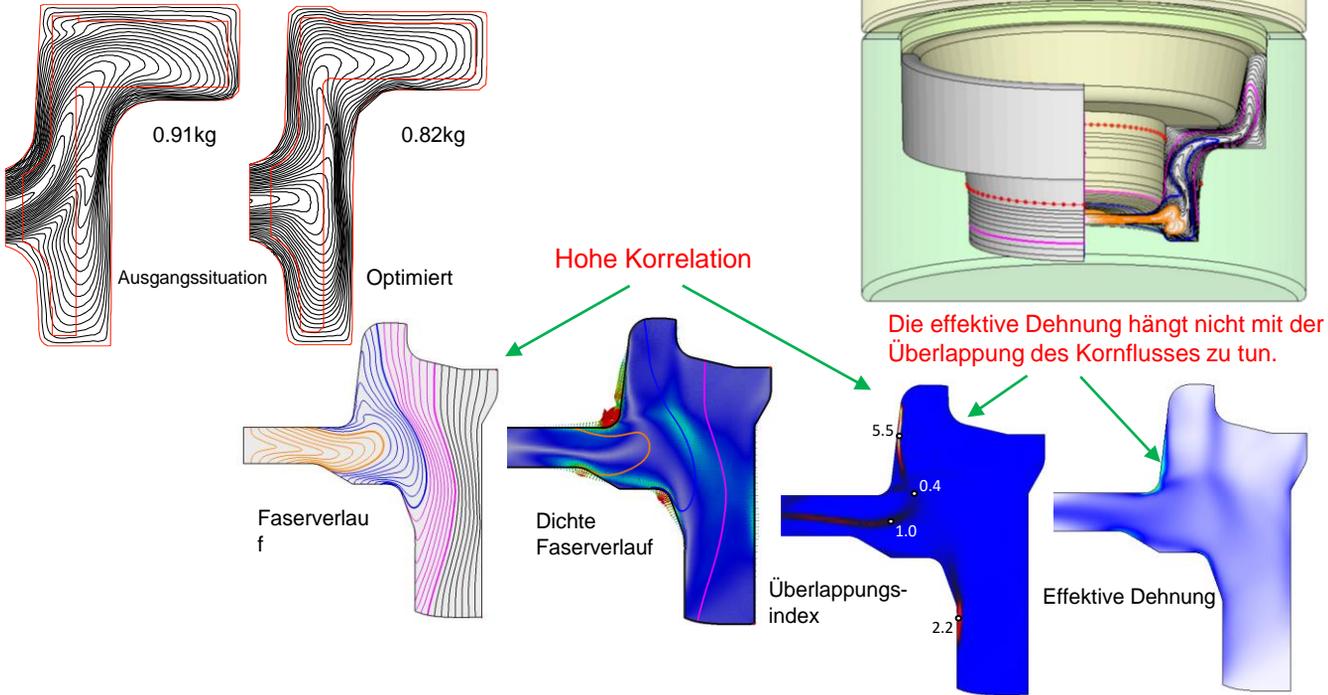
Ein intelligenter Schmiedesimulator sollte in der Lage sein, eine Abfolge von mehrstufigen Schmiedeprozessen automatisch zu simulieren, um die Gesamtsimulationszeit zu minimieren, einschließlich der Rechenzeit und der Bearbeitungszeit des Benutzers zwischen den Phasen. Die Abbildungen zeigen Simulationen für einen achsensymmetrischen automatischen fünfstufigen Kaltumformprozess und einen dreidimensionalen siebenstufigen Verbundwarmumformungsprozess, die automatisiert durch AFDEX 2D (links) bzw. AFDEX 3D (rechts) erzielt wurden.

❖ Gekoppelte Simulation von 2D und 3D FE-Modellen

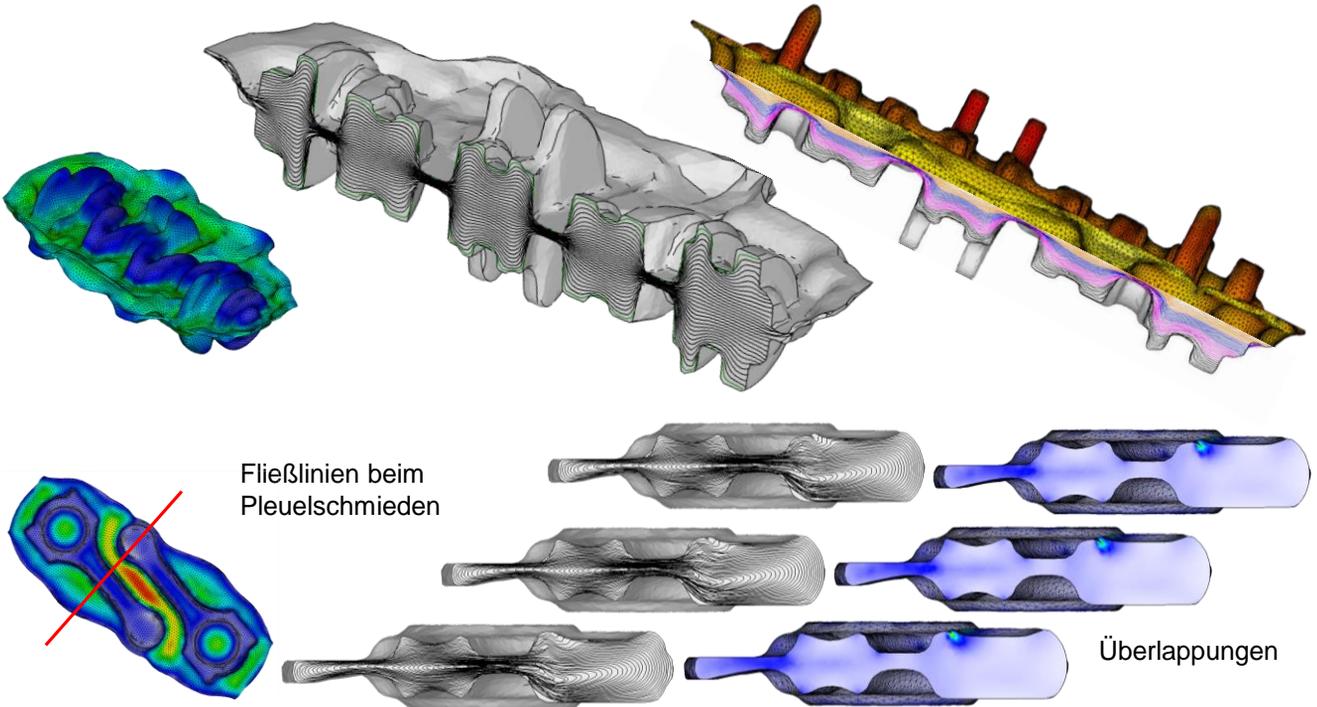


AFDEX 3D kann AFDEX 2D-Ergebnisdateien entweder direkt oder über eine Schnittstelle einlesen, so dass 2D- und 3D gekoppelte Simulationen durchgeführt werden können. Die 2D-Ergebnisse vom 3D-Postprozessor können mit leistungsfähigen Grafikalgorithmen ausgewertet werden. Die Abbildung zeigt die Simulationen eines fünfstufigen Präzisions-Kaltumformprozesses mit einer Einstechstufe und einer abschließenden dreidimensionalen Stufe, die durch die Verwendung der automatisierten 2D- und 3D-Simulationkoppelung mit minimalem Benutzereingriff (d. h. mit nur einem ersten Durchlauf und einem Verbindungslauf) erzielt wurden. Es sollte beachtet werden, dass diese Eigenschaft besonders effizient für die Simulation des Umformprozesses von Verbindungselementen ist. Die gekoppelte 2D- und 3D-Simulation dient dazu, die Rechenzeit, die Zuverlässigkeit der Lösung und die technische Produktivität zu verbessern, sofern wenige Stufen dreidimensional zu simulieren sind.

❖ Quantifizierung von Fließlinien | 2D



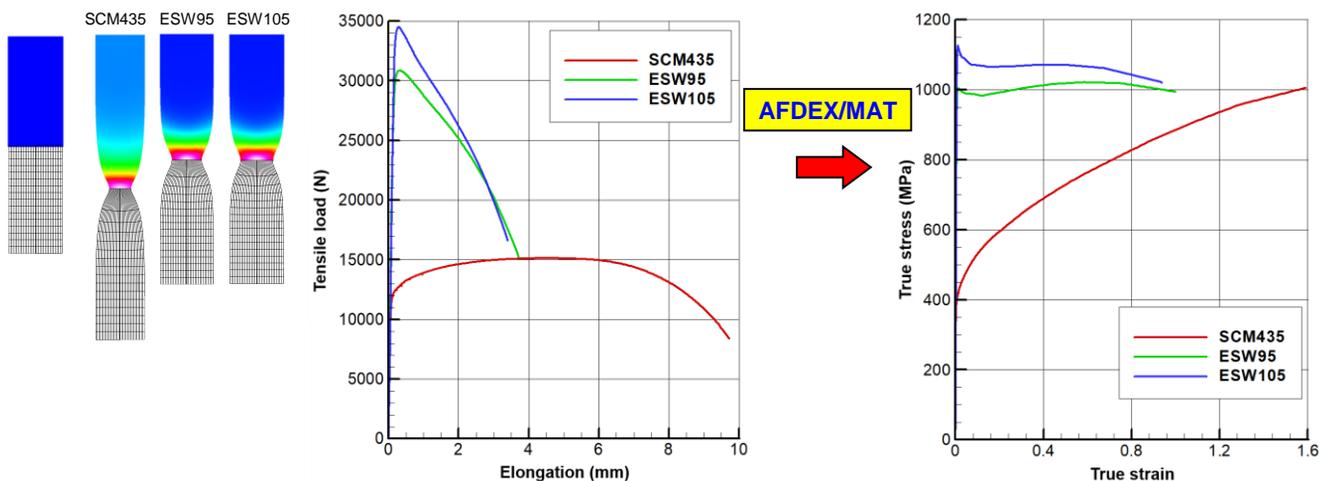
❖ Quantifizierung von Fließlinien | 3D



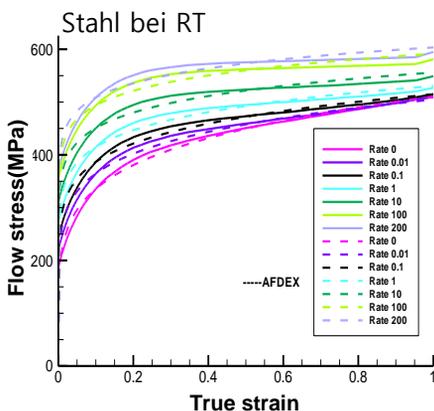
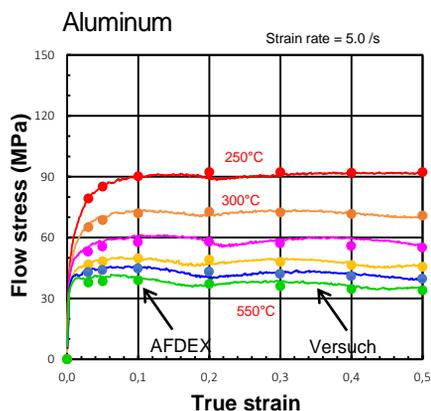
Die Metallfließlinien in metallumgeformten Produkten haben einen großen Einfluss auf die Festigkeit des Materials und ist daher der wichtigste Faktor bei der Prozessauslegung. Selbst äußerlich einwandfrei wirkende Produkte weisen aufgrund der ungünstigen Metallfließlinien oft entscheidende innere Mängel auf. Daher werden für die meisten Bauteile die hohen Belastungen unterliegen, bspw. Zahnräder, Lager und dergleichen, in der Regel Vorgaben für die interne Metallflussleitung auferlegt. Folglich wird die präzise Simulation der Metallfließlinie und deren Visualisierung sehr wichtig. AFDEX ist in diesem Bereich leistungsstark, wie die Abbildungen zeigen, die die 2D- und 3D-Metallfließlinien zeigen, die während der Metallumformung gebildet werden.

❖ Materialversuche

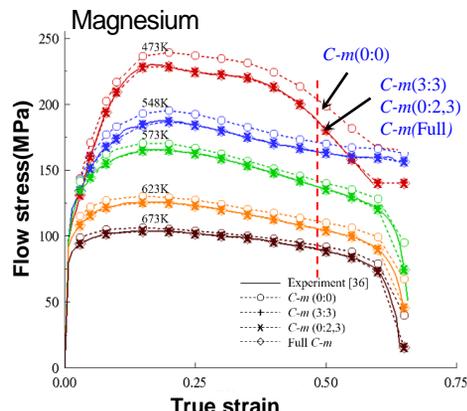
✓ Zugversuch bei RT – Verbessertes Hollomon's Materialmodell



✓ Power Law Modell (C-m)

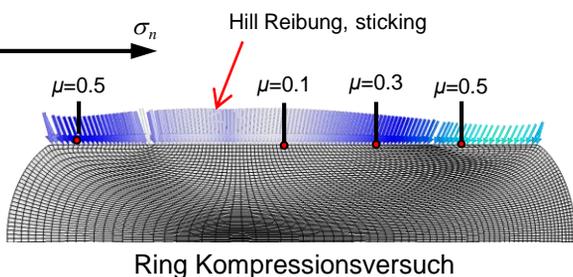
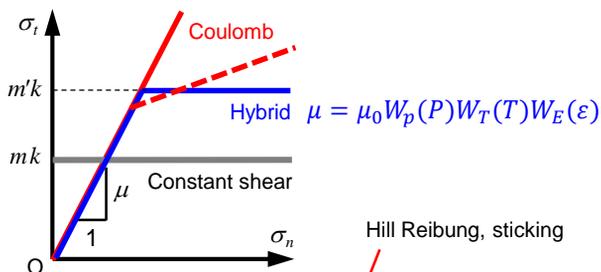


✓ Allgemeines Power Law Modell

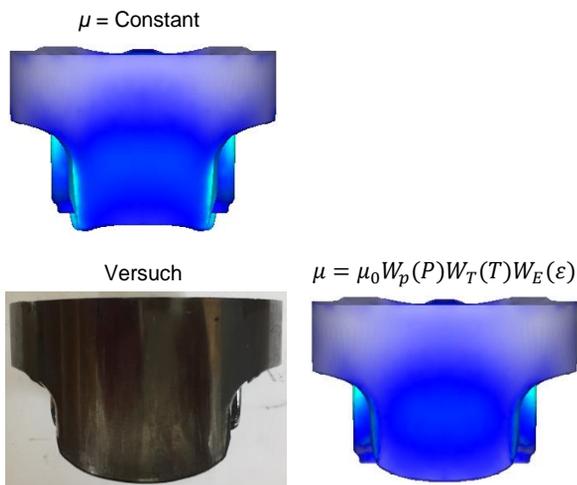


❖ Reibung

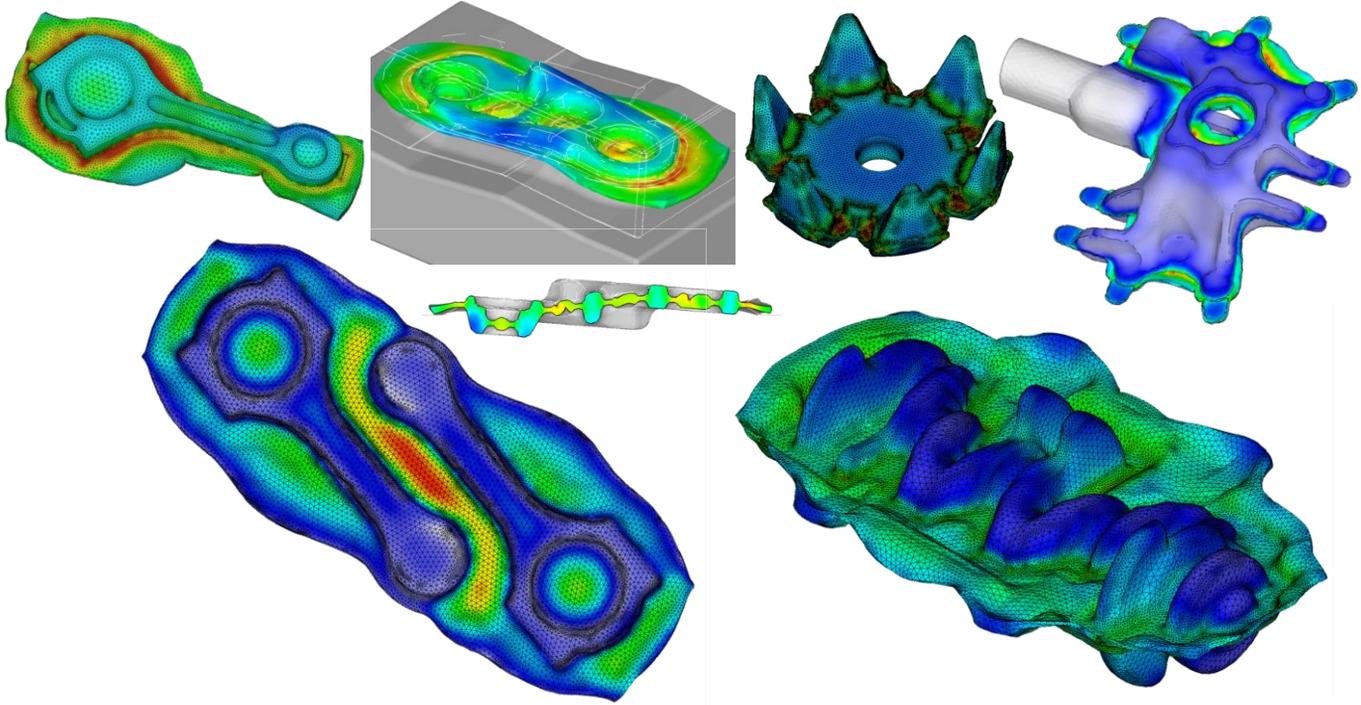
✓ Reibungsmodelle



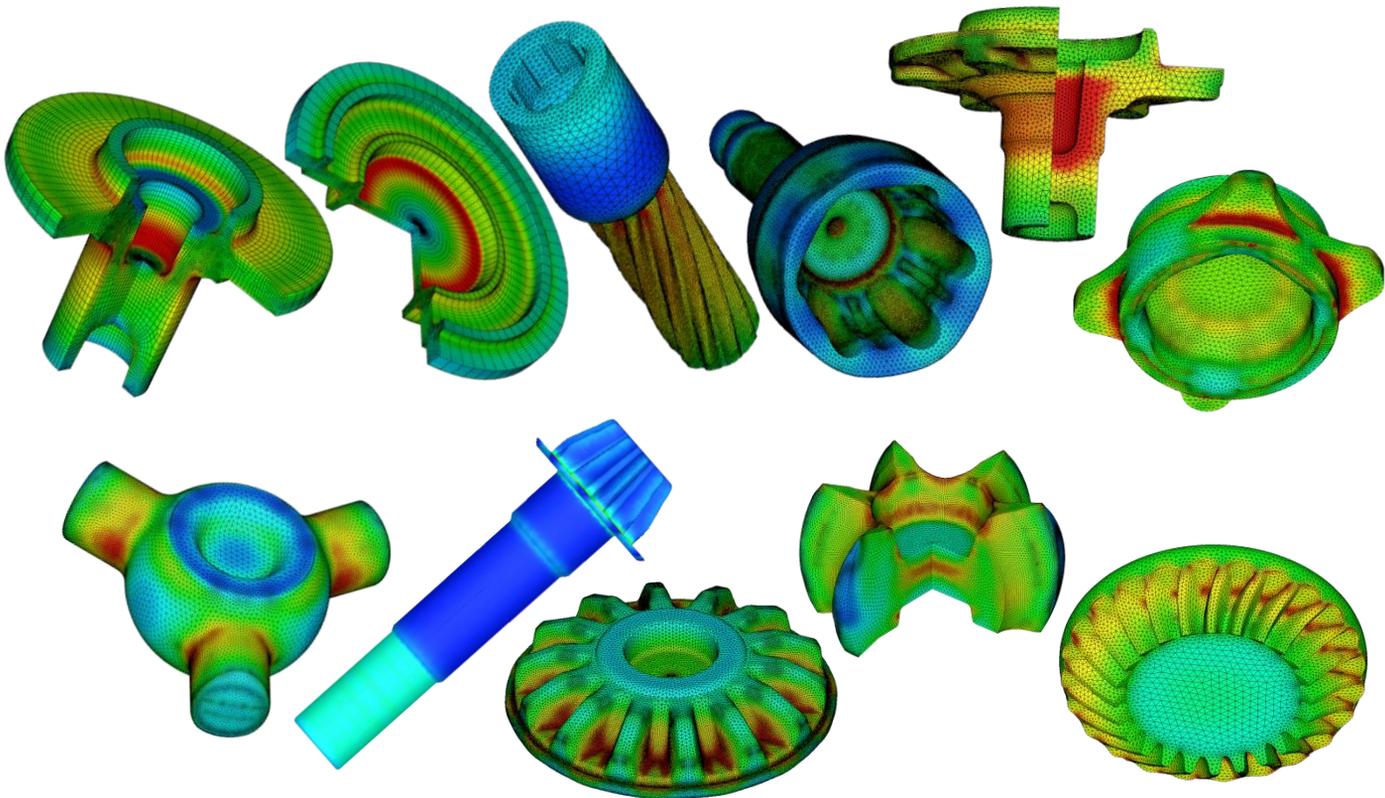
✓ Reibungsverhalten



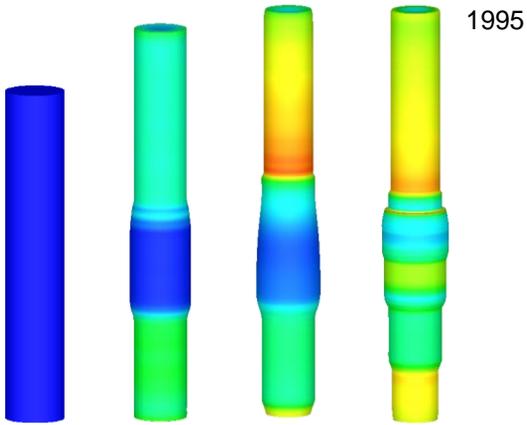
❖ Gesenkschmieden mit Grat



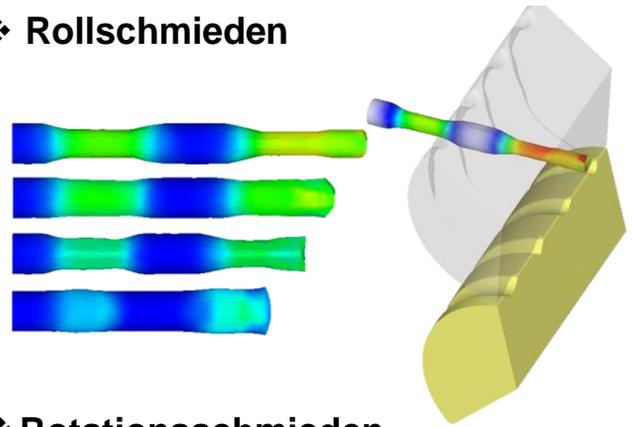
❖ Gesenkschmieden ohne Grat



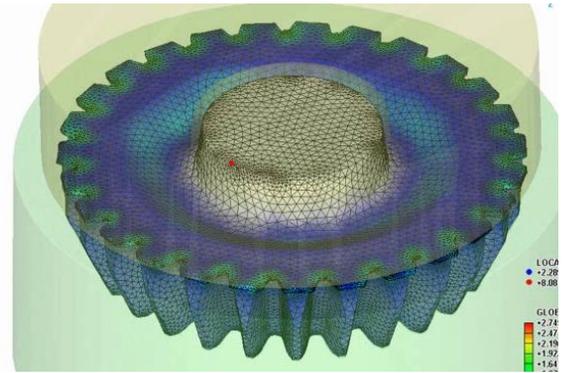
❖ Mehrstufiges Schmieden



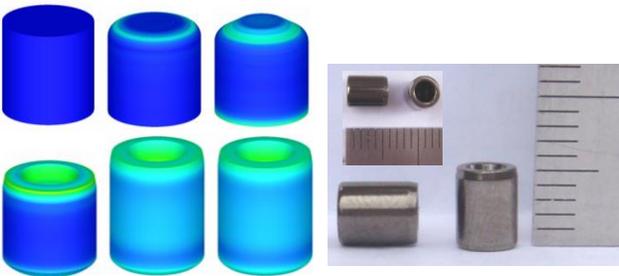
❖ Rollschmieden



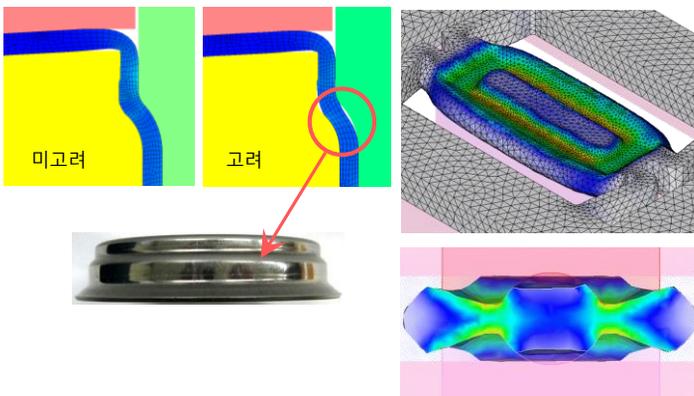
❖ Rotationsschmieden



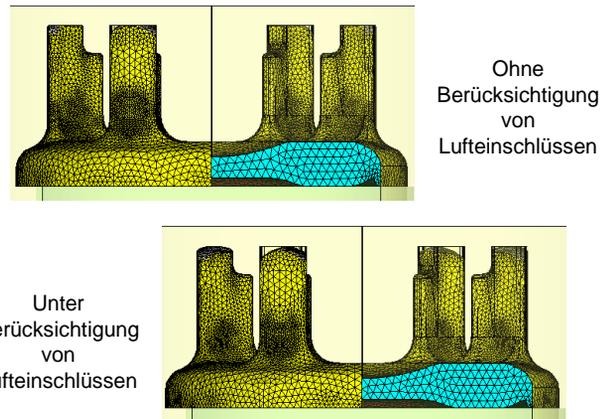
❖ Mikroumformung



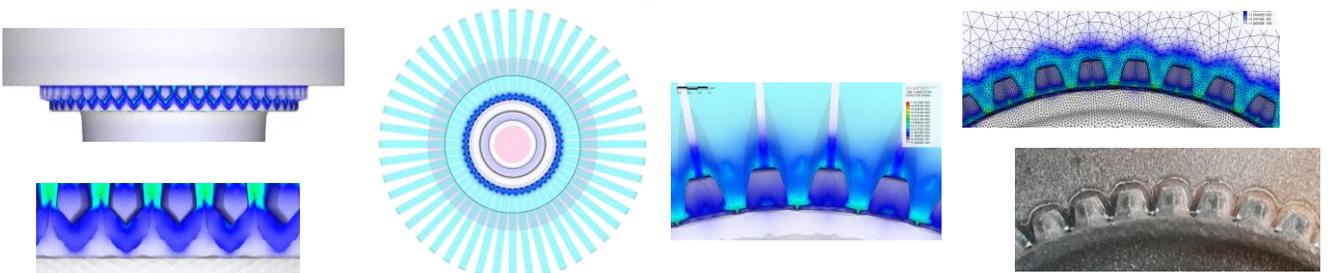
❖ Blechschmieden mit Lufteinschluss



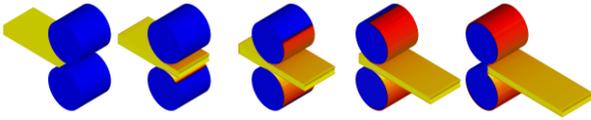
❖ Lufteinschlüsse beim Schmieden



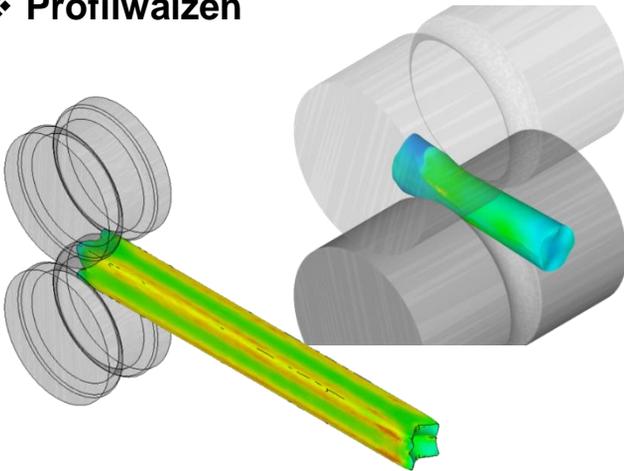
❖ Präzisionsschmieden von Zahnrädern



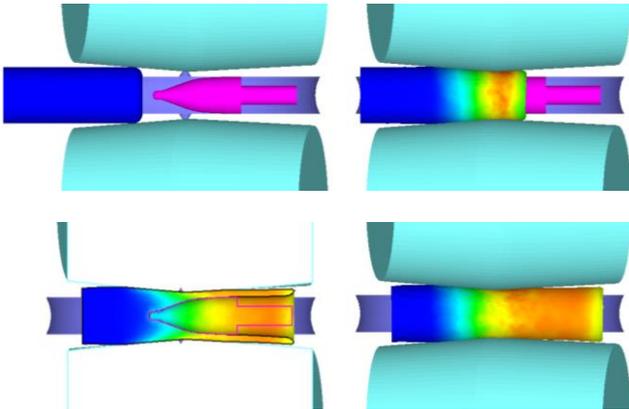
❖ Walzen von Bändern oder Platten



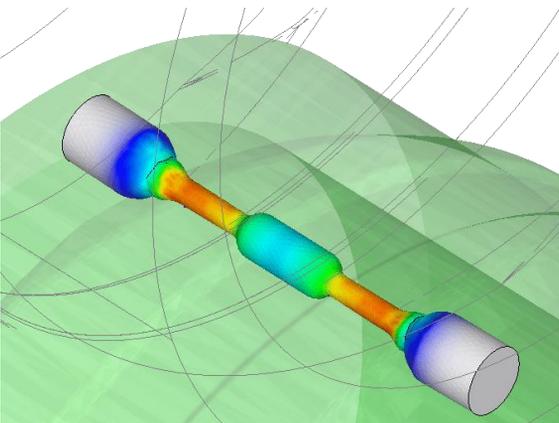
❖ Profilwalzen



❖ Mannesmann-Verfahren



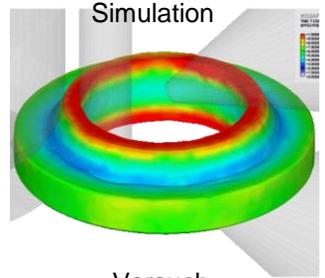
❖ Kreuzwalzen



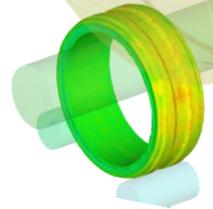
❖ Ringwalzen



Profiled ring



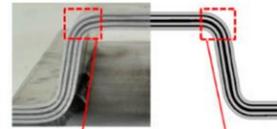
Simulation



Versuch

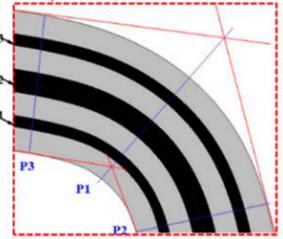
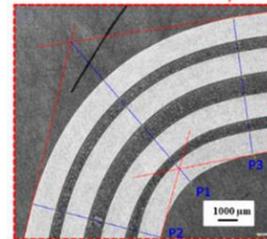


❖ CFK

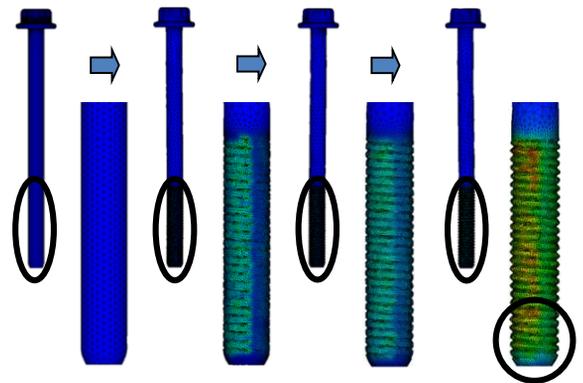


Versuch

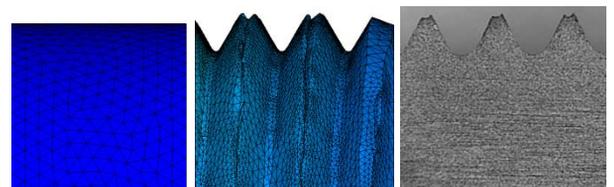
Simulation



❖ Gewinderollen

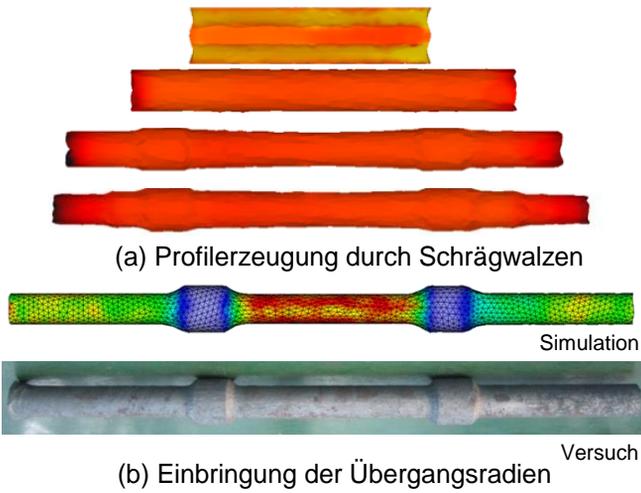


Modellansicht

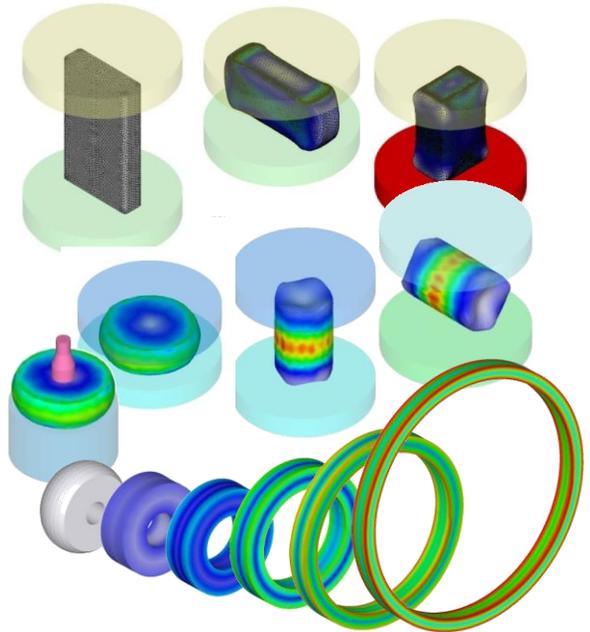


Lokale Ansicht

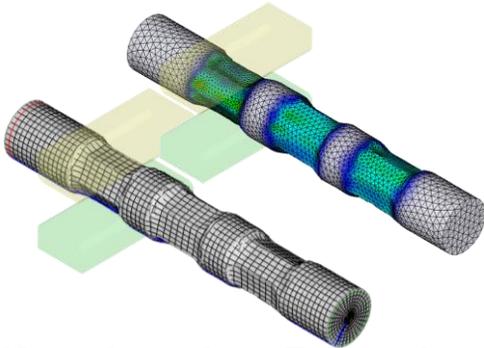
❖ Schrägwalzen einer Welle



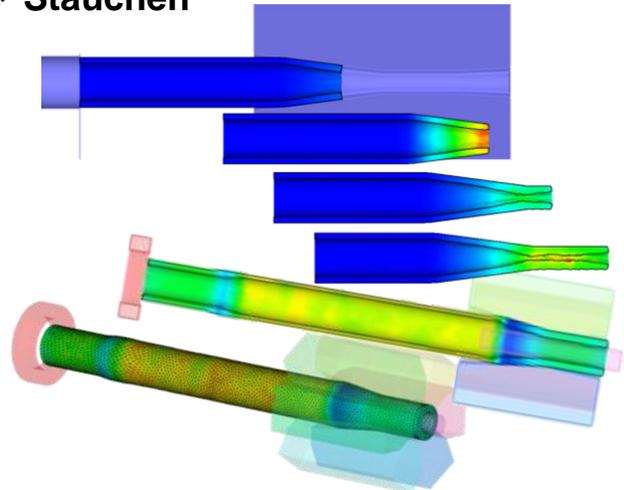
❖ Freiformen



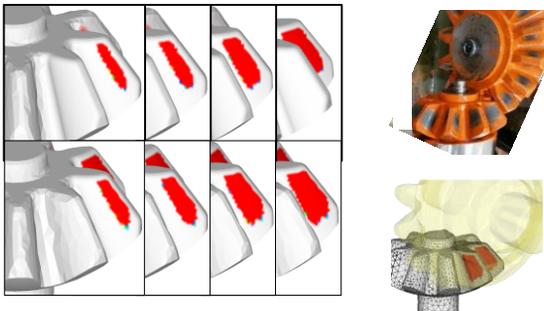
❖ Offenes Gesenkschmieden



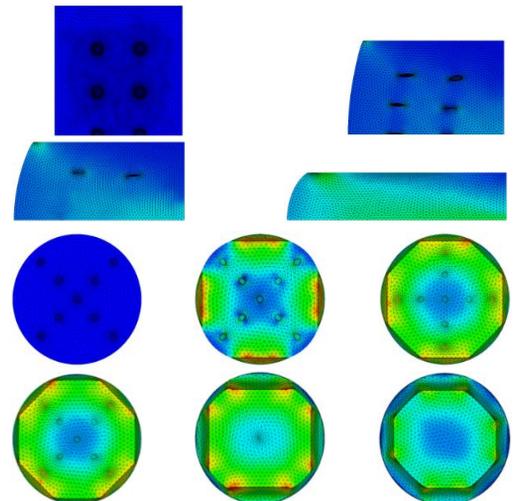
❖ Stauchen



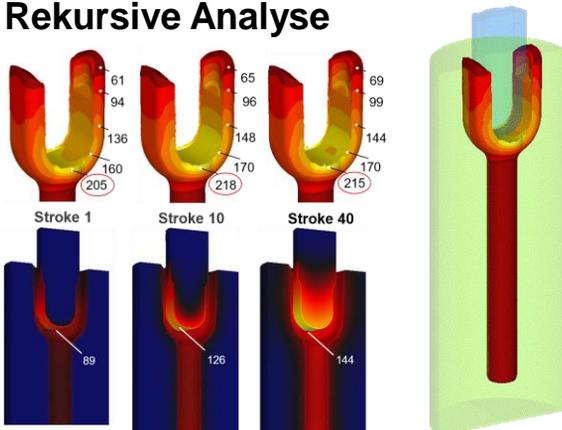
❖ Kontaktanalyse Zahnrad



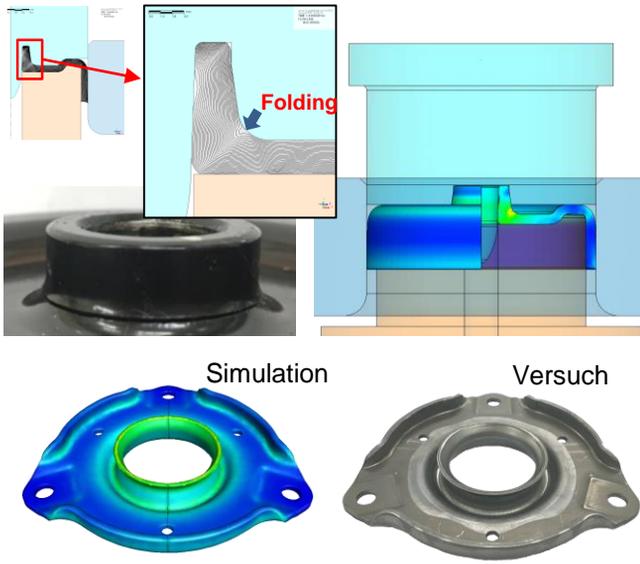
❖ Porenschließung beim Stauchen



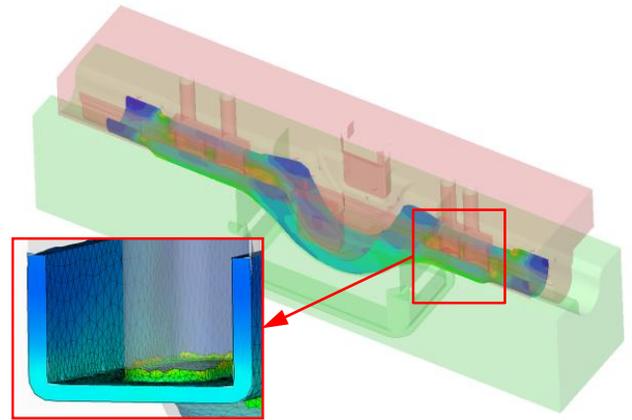
❖ Rekursive Analyse



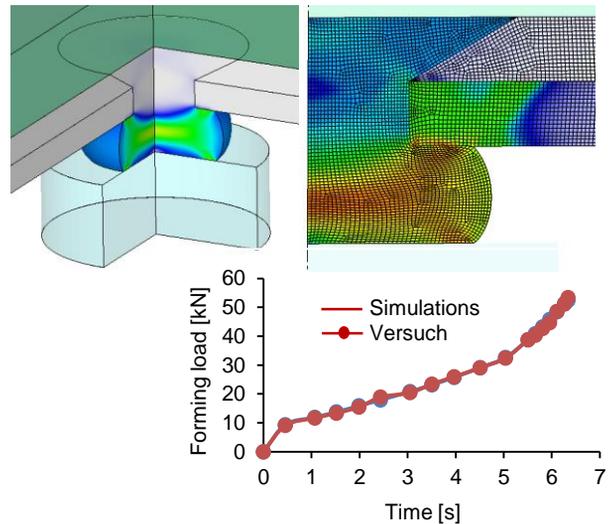
❖ Kaltumformung von Blechen



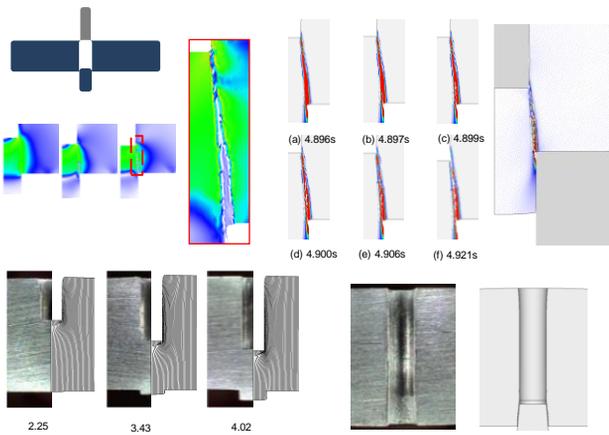
❖ Warmumformung von Blechen



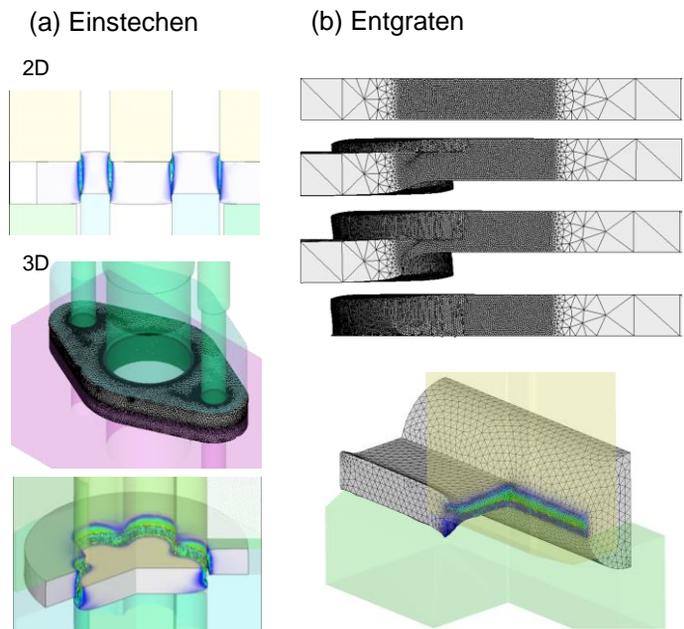
❖ Nietumformung



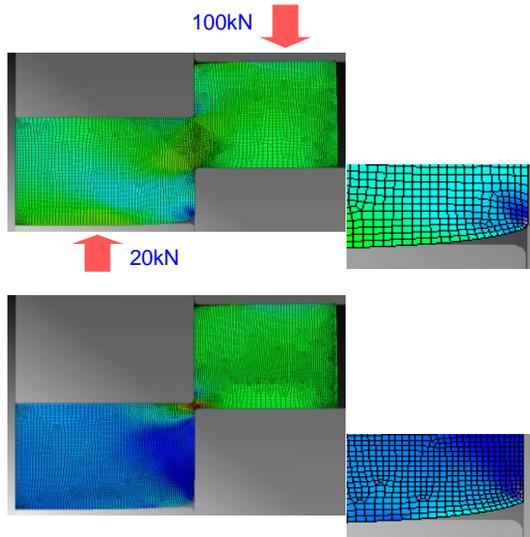
❖ Umformen | Einstechen



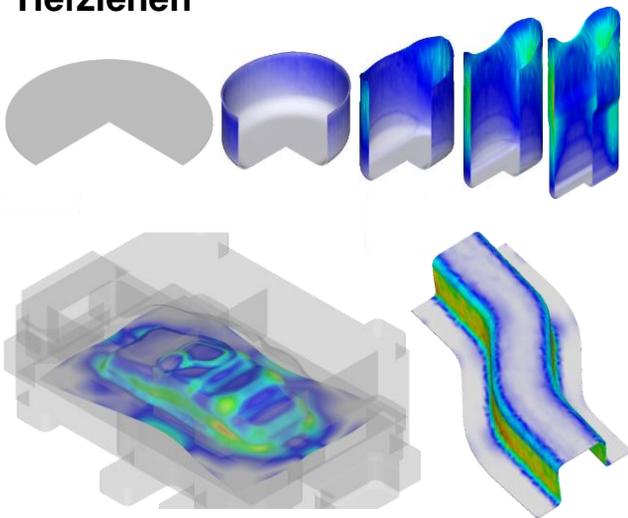
❖ Einstechen | Entgraten



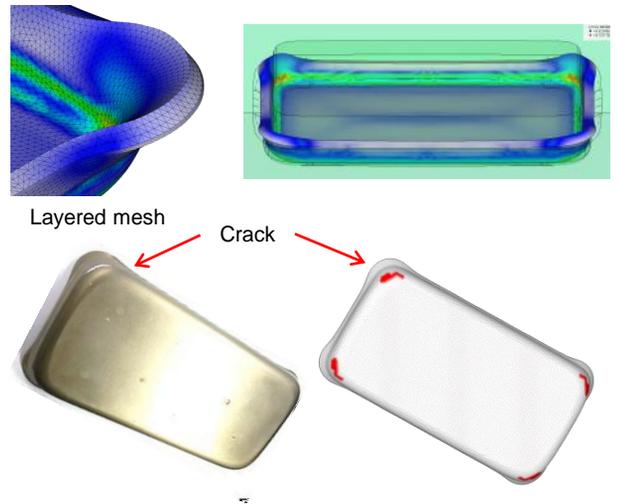
❖ Feinschneiden



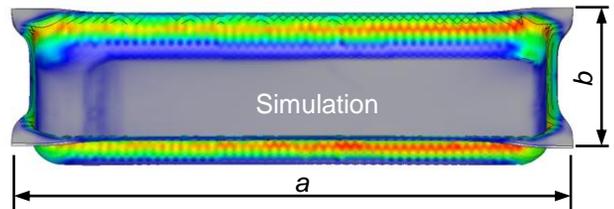
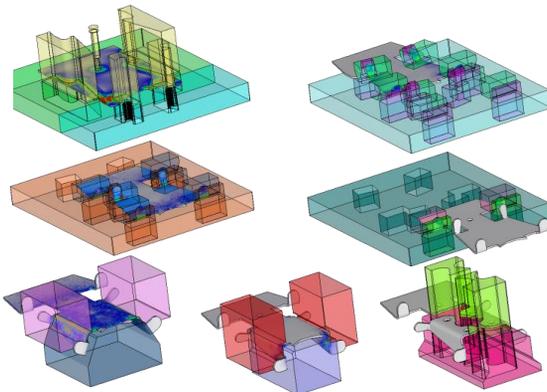
❖ Tiefziehen



❖ Umformung von Verbundblechen

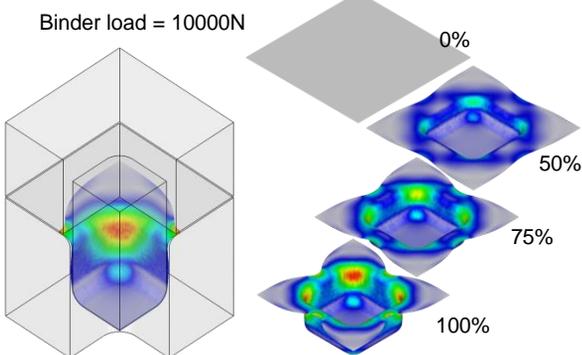


❖ Progressives Umformen

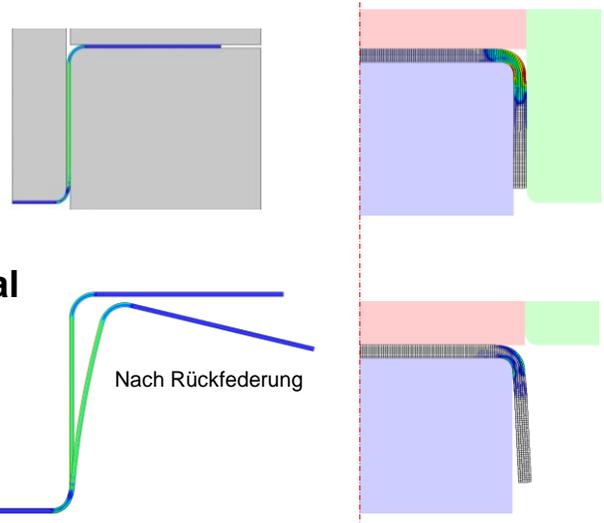


	a (mm)	b (mm)
Versuch	126.9	67.9
Simulation	126.7	68.3

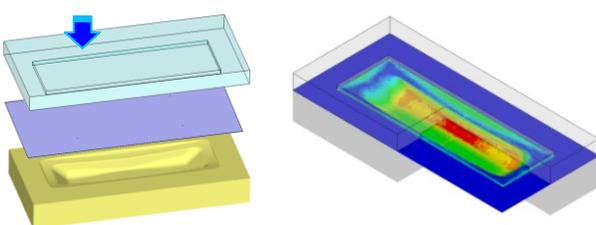
❖ Tiefziehen | Viereckig



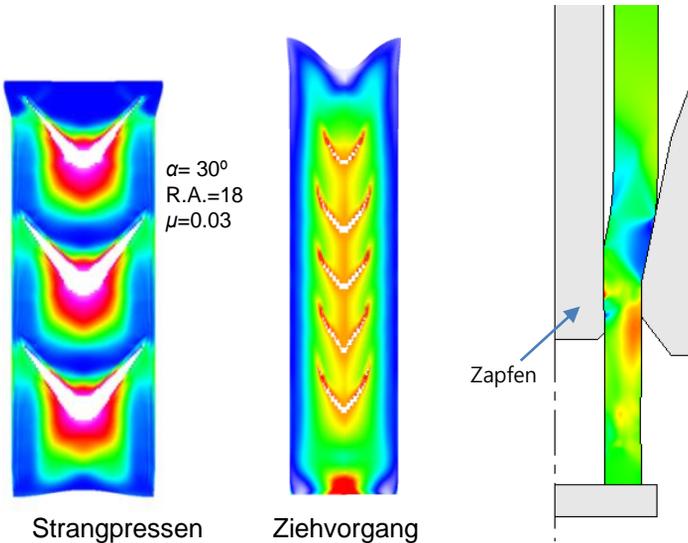
❖ Rückfederungsanalyse



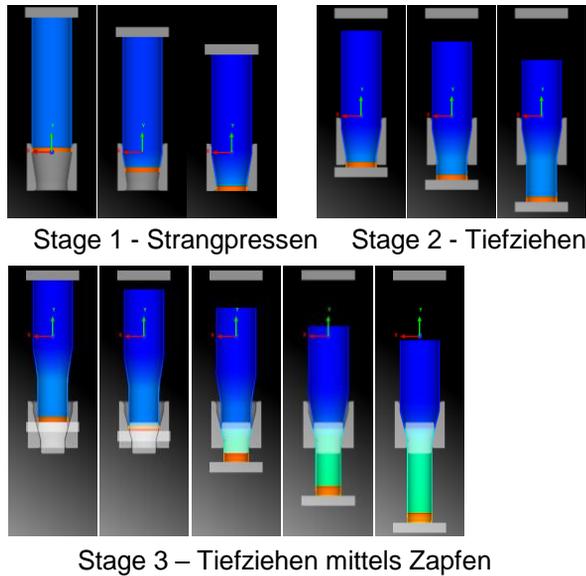
❖ Umformen von hochplastischem Material



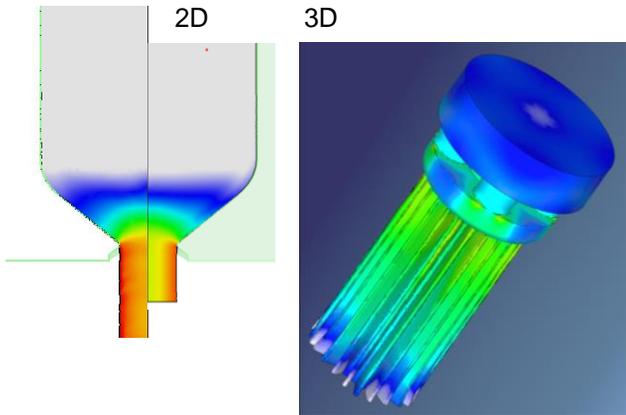
❖ Strangpressen mit Rissentstehung



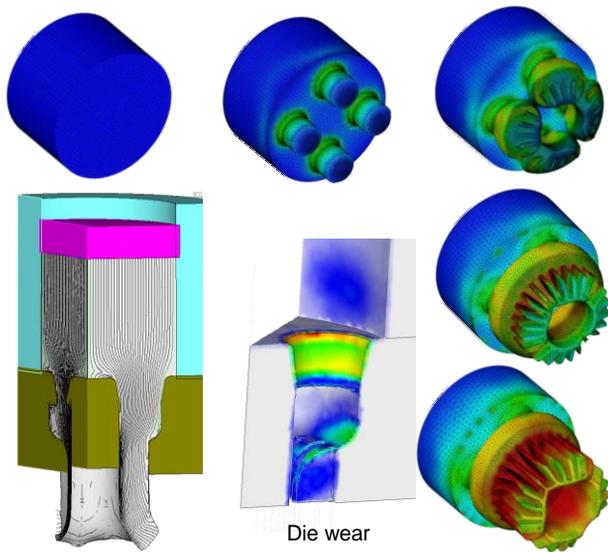
❖ Rohrstrangpressen



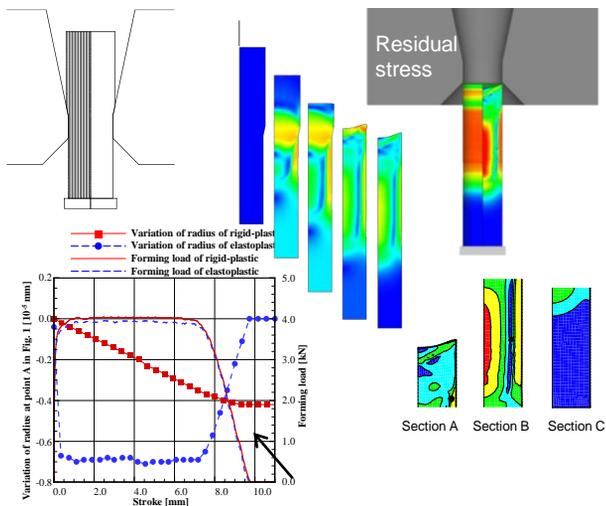
❖ Strangpressen



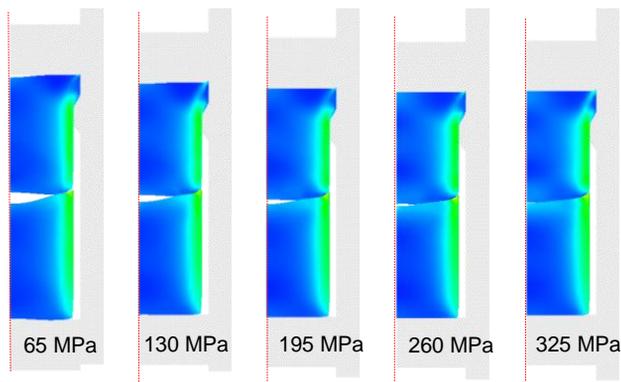
❖ Strangpressen von Hohlprofilen



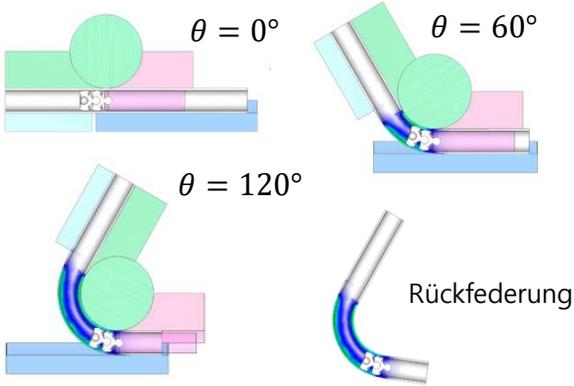
❖ Simulation der Eigenspannung



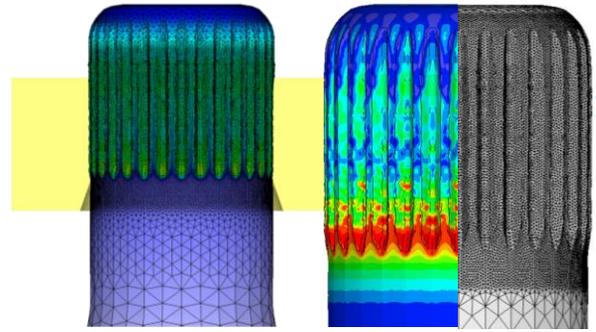
❖ Strangpressen mit Gegendruck



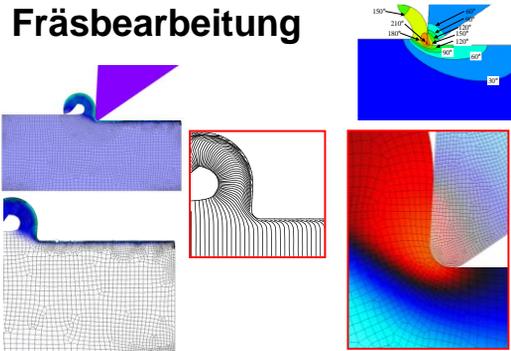
❖ Rohrbiegen



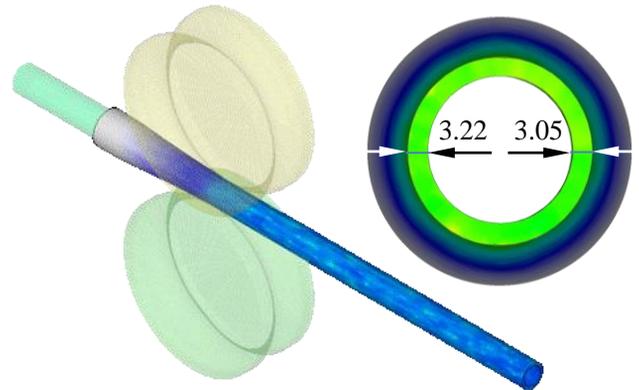
❖ Umformen mit oszillierender Matrize



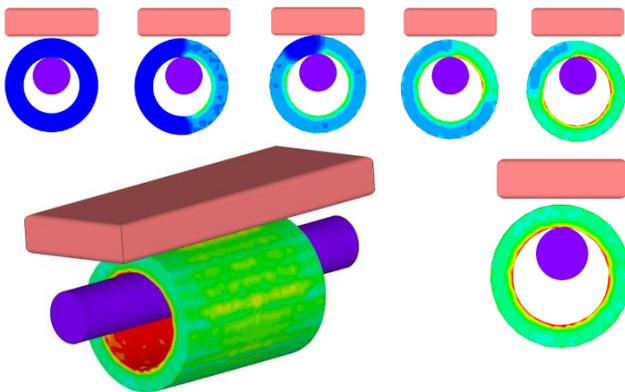
❖ Fräsbearbeitung



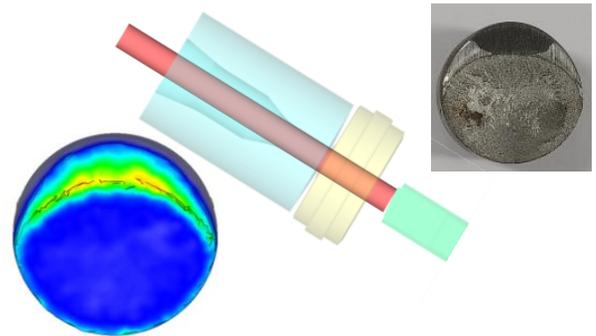
❖ Pilgern



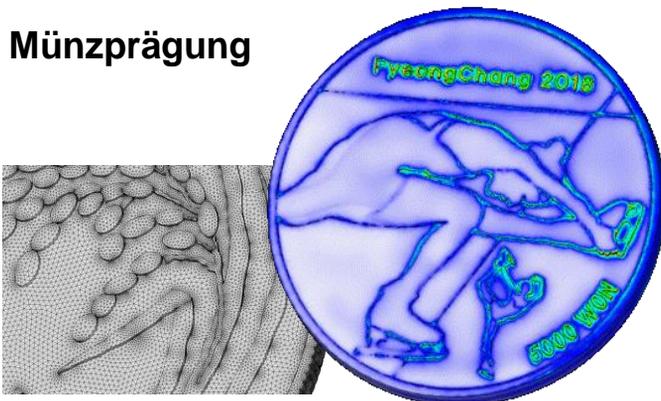
❖ Hohlprägen



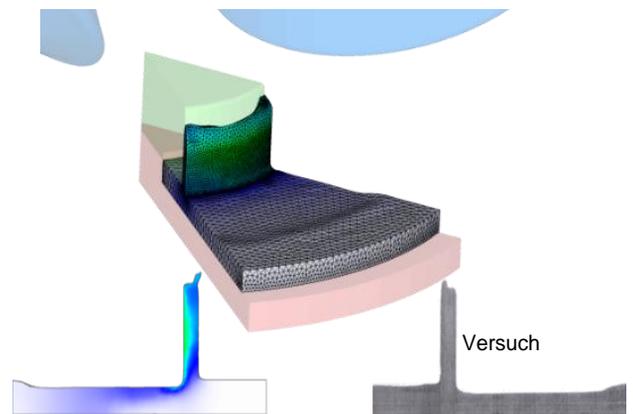
❖ Umformen durch Scherung



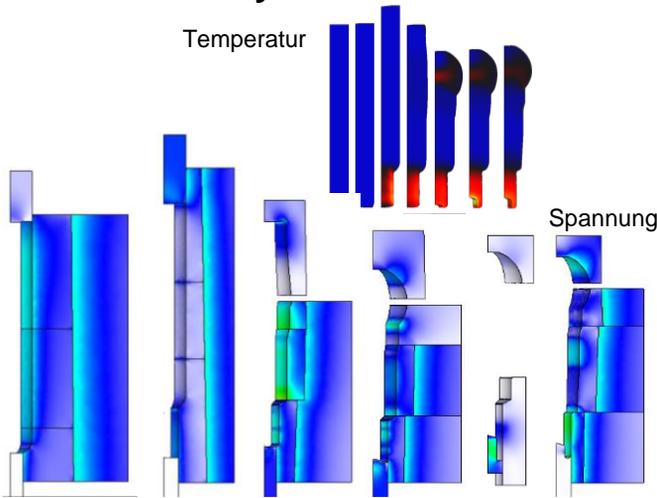
❖ Münzprägung



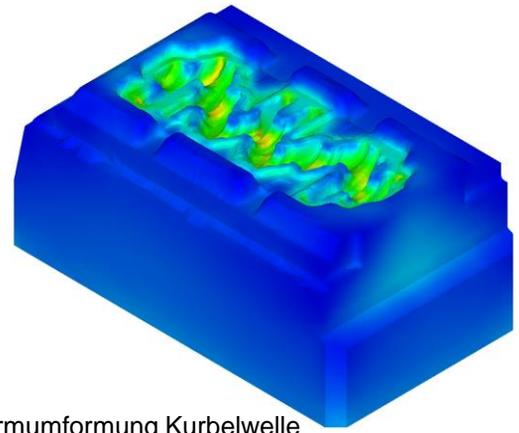
❖ Spanloses Umformen



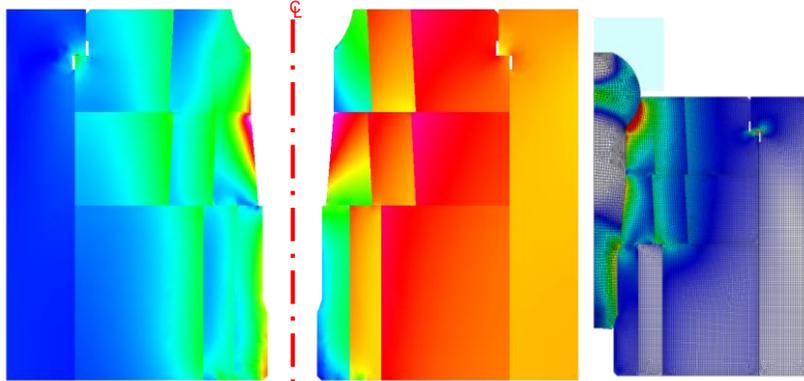
❖ **Strukturanalyse der Matzize**



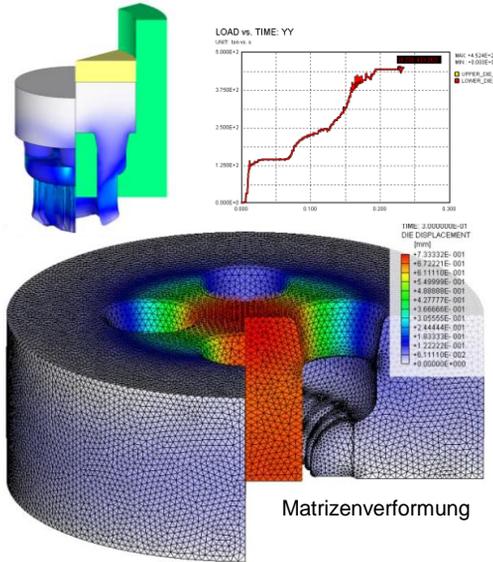
(a) Kaltumformung, SUS 304, Bolzen



(b) Warmumformung Kurbelwelle



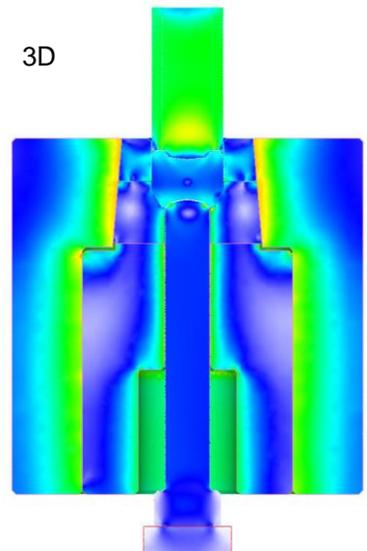
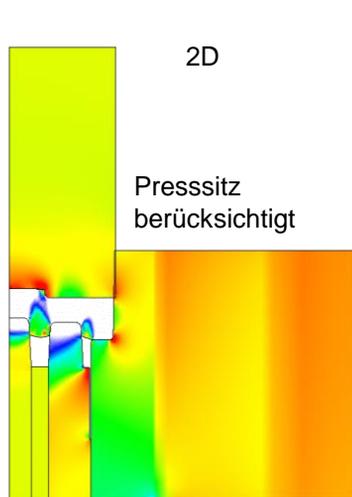
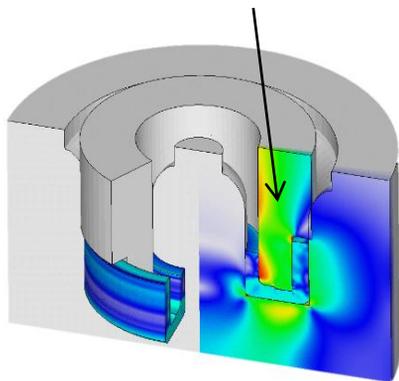
(c) Kaltumformung | Matzize



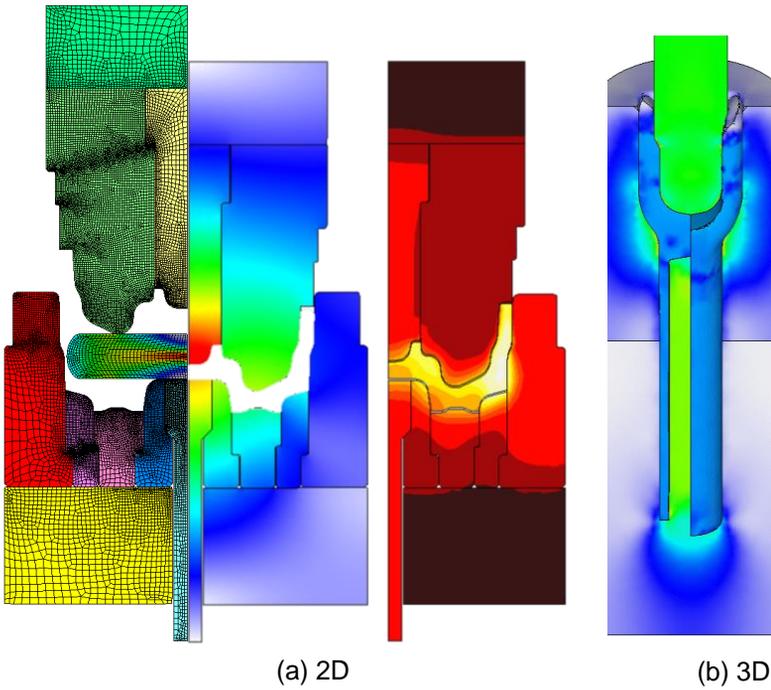
(d) Matzizenverformung und Spannungsanalyse

❖ **Präzisionsschmiedeverfahren | Berücksichtigung der Matzizenverformung**

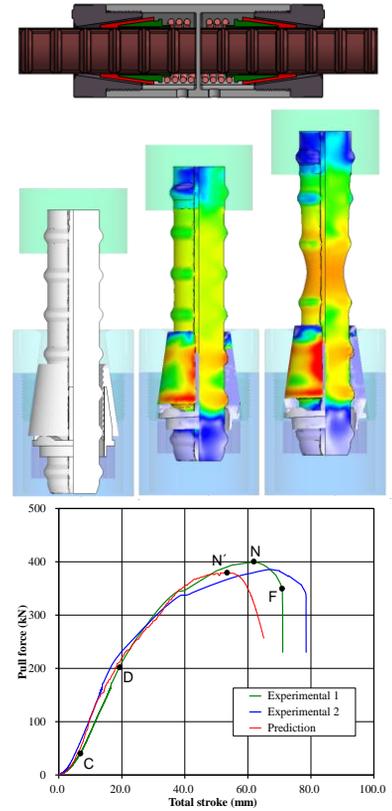
Berücksichtigung der Matzizenverformung insbesondere in diesem Bereich.



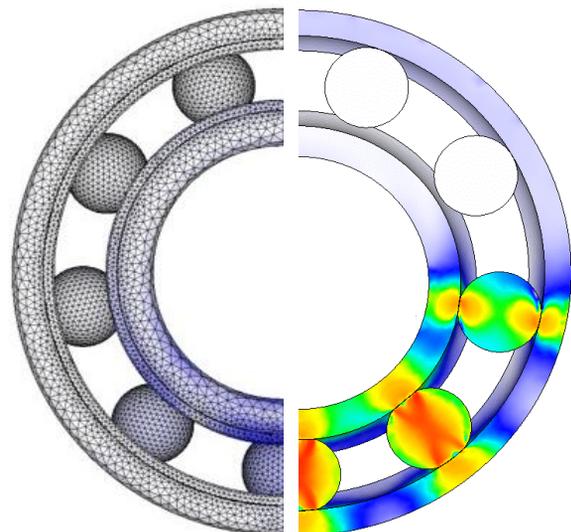
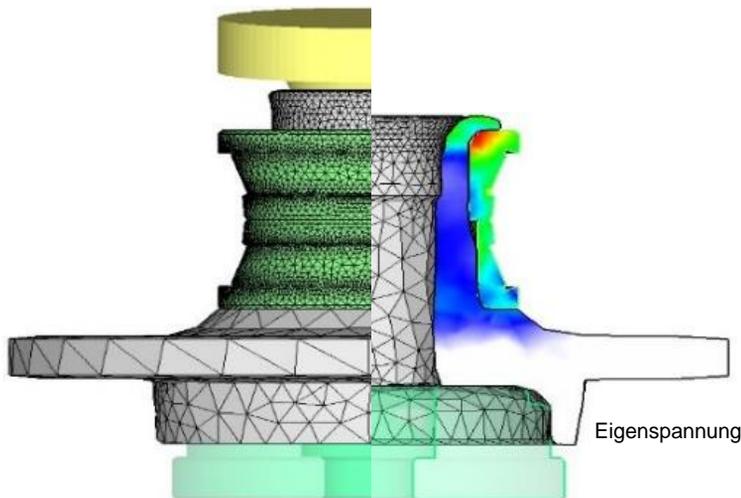
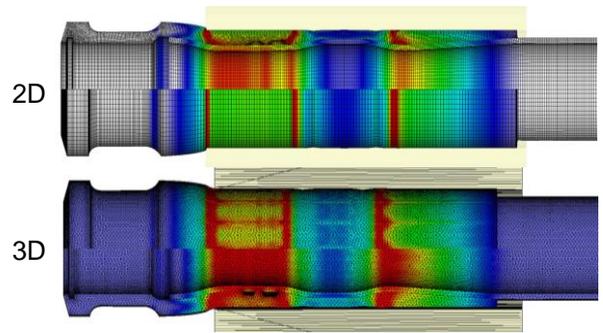
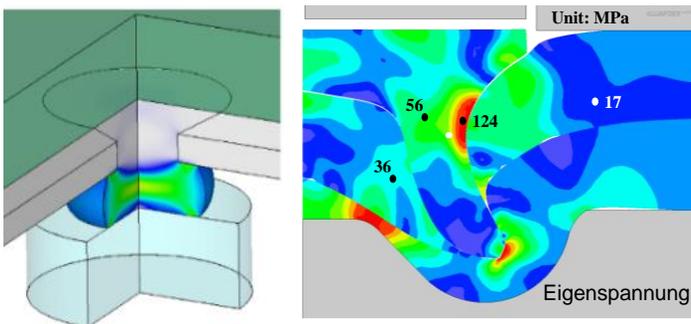
❖ Mehrteilige Prozesssimulation beim Gesenkschmieden



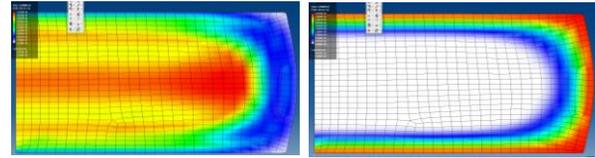
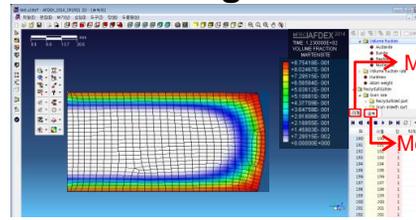
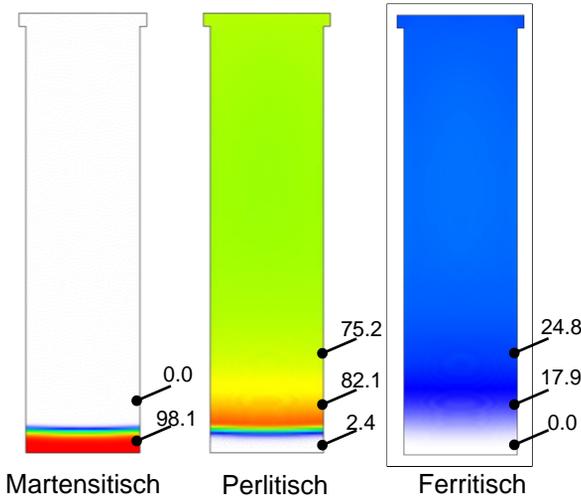
❖ Festigkeitsuntersuchung



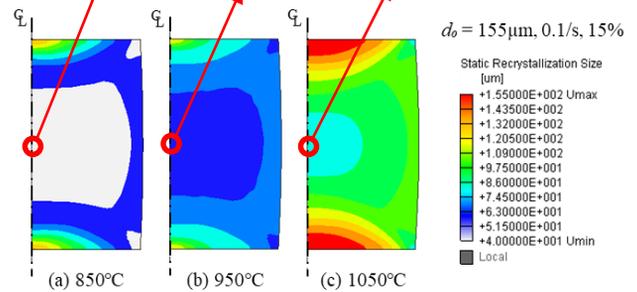
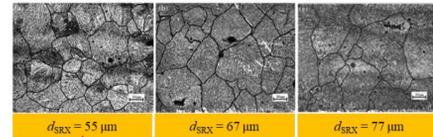
❖ Simulation des Mehrkörperschmiedeprozesses



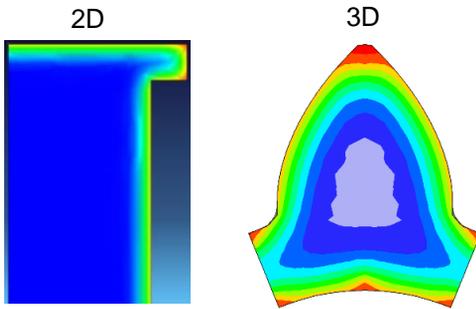
❖ Wärmebehandlungsanalyse mit Phasenumwandlung



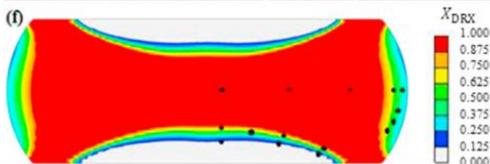
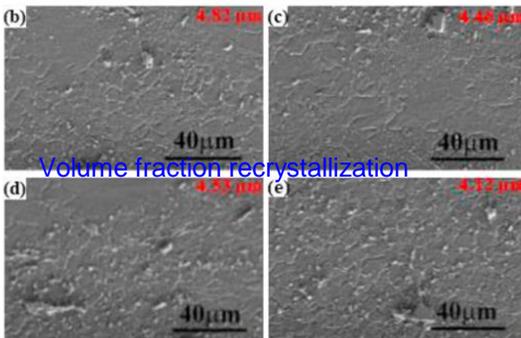
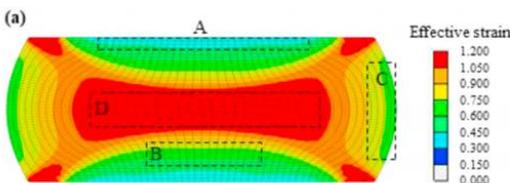
❖ Simulation der SRX-Mikrostruktur



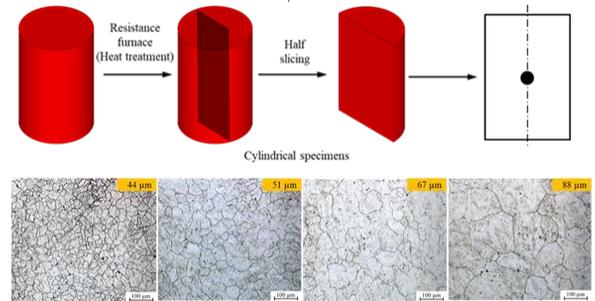
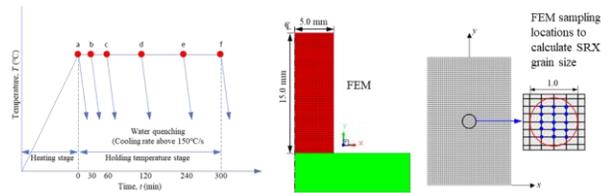
❖ Aufkühlung / Härtesimulation



❖ Simulation der DRX-Mikrostruktur



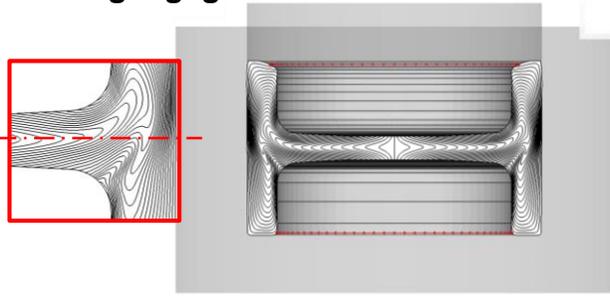
❖ Simulation der Korngröße



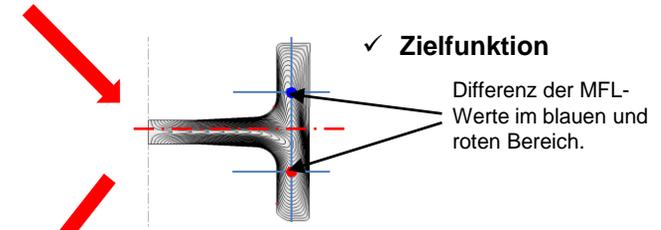
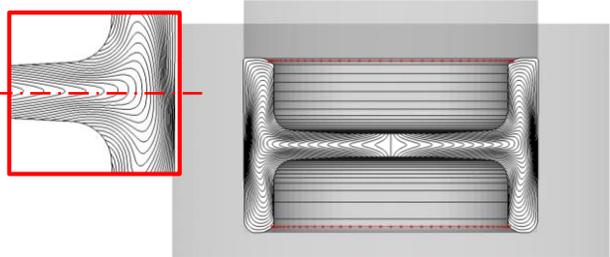
Füge in Abhängigkeit von der Temperatur

❖ Optimierung der metallischen Fließlinien (MFL)

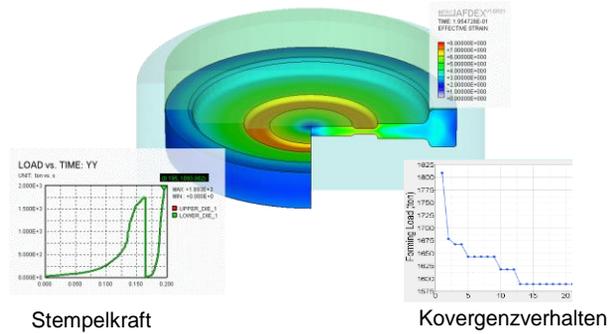
✓ Ausgangsgeometrie



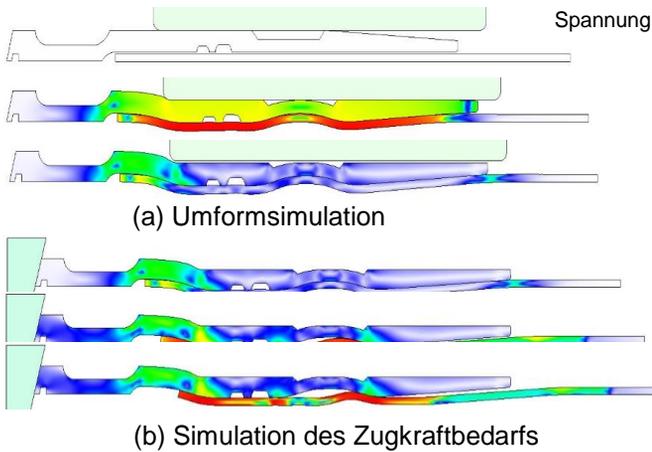
✓ Optimierte Geometrie



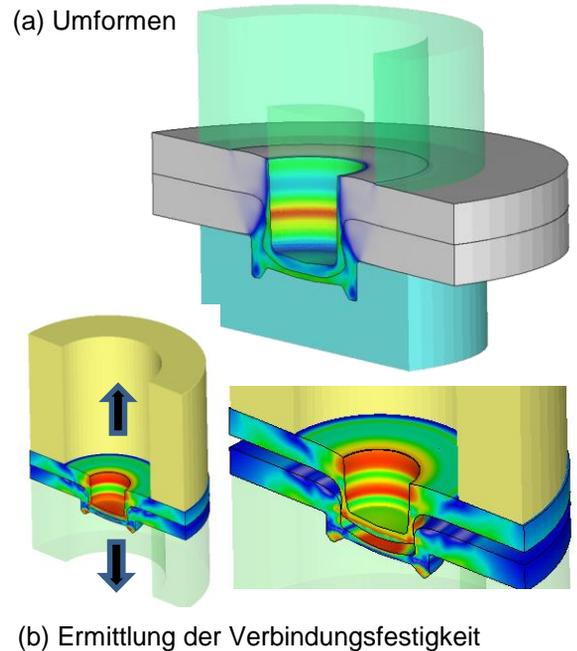
❖ Stempelkraftoptimierung



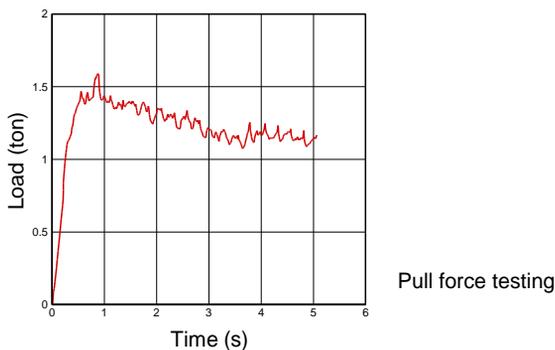
❖ Optimales Prozessdesign



❖ Optimale Prozessauslegung des Clinchens | Verbindungsfestigkeit



✓ Zugkraftverlauf





A1208, WingsTower, 12, Dongbu-ro 169, Jinju, Korea, 52818
TEL. +82-55-755-7529 mfrc@afdex.com www.afdex.com



Dennewartstr. 25-27 | 52068 Aachen | Germany
TEL. +49-241-963-1680 sales@morphotec.de www.morphotec.de