

# „Weil wir das schon immer so gemacht haben.“

Bei der Auslegung von Extrusionswerkzeugen kann Simulation plus Erfahrung die Qualität enorm steigern und Kosten sparen

Das Wissen über die Auslegung von Extrusionswerkzeugen ist bisher nicht formalisiert. Egal ob Breitschlitzdüsen für die Folien- und Plattenherstellung, Rohrwerkzeuge oder Profilwerkzeuge, fast immer werden diese aufgrund von Erfahrungswerten ausgelegt und nach bestem Wissen und Gewissen in der Produktion nachgearbeitet. „Wenn ich meinen Kunden frage, warum das Werkzeug gerade so ausgelegt ist, wie es ist, lautet die Antwort in der Regel:

„Weil wir das schon immer so gemacht haben“, berichtet Andreas Sobotta, der sich als selbstständiger Berater mit seinem Ingenieurbüro für Numerische Optimierungsmethoden (INO), Aachen, ganz der Werkzeugsimulation verschrieben hat. Er erklärt in K-PROFI, warum der Eindruck entstehen kann, dass die Extrusionsbranche in Bezug auf die Werkzeugauslegung manchmal noch im „Mittelalter“ lebt, und was sich tun lässt, um dies zu verändern.

**K-PROFI: Warum ist die Extrusionsbranche Ihrer Meinung nach so zurückhaltend, wenn es um die numerische Auslegung von Werkzeugen geht?**

Andreas Sobotta: Jeder Werkzeugbauer und auch die meisten Verarbeiter haben im Laufe ihrer Tätigkeit einen großen Erfahrungsschatz aufgebaut. Viele dieser Unternehmen sind überzeugt davon, dass sie nicht nur die perfekte, sondern auch eine individuelle, einzigartige Lösung der Werkzeugauslegung gefunden haben. Ein Austausch mit anderen Unternehmen findet nicht statt, um eigene Wettbewerbsvorteile nicht zu gefährden. Gegenüber der numerischen Werkzeugauslegung bestehen bei vielen Vorbehalte.

**Dies ist zunächst einmal verständlich. Normalerweise sind Praxiserfahrungen doch ein guter Ratgeber, warum hier nicht?**

Sie haben recht, Praxiserfahrungen sind sehr wertvoll. Und natürlich haben viele Extrudeure ein enormes Know-how, insbesondere bei der konstruktiven Auslegung. Letztere wird von uns meist nicht verändert. Wir machen eine Nachrechnung und können dank der Simulationsergebnisse ein bereits gut ausgelegtes Werkzeug nochmals deutlich verbessern.

**Und das funktioniert immer, egal bei welcher Werkzeuggeometrie?**

Fast immer. Wir geben unseren Kunden von Anfang an eine Zusage, dass das Werkzeug nach einer Anpassung aufgrund unserer Simulationsergebnisse besser wird. Wir haben schon über 100 Werkzeuge ausgelegt und immer eine deutliche Verbesserung für den Kunden erwirkt. Etwas zurückhaltend sind wir lediglich bei Coextrusionswerkzeugen, da diese numerisch schwieriger zu erfassen sind und der Rechenaufwand häufig zu groß wird.



## Rethinking Technology

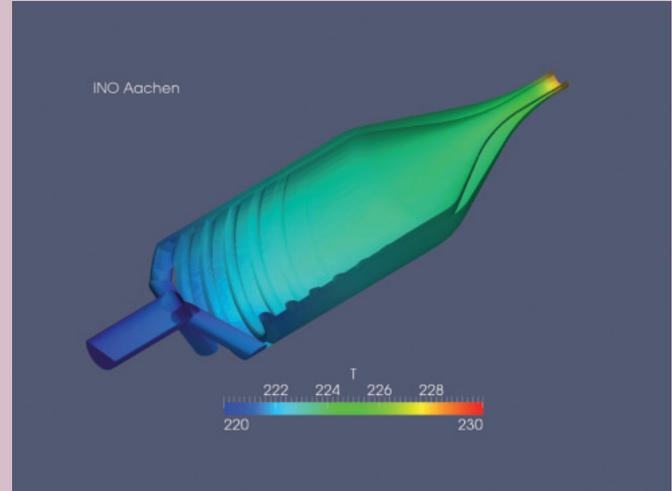
Aktuelle Lösungen hinterfragen. Andere Blickwinkel wagen. Neue Ansätze suchen. Im größten Know-how Netzwerk für Extrusionstechnologie denken wir anders, um echte Innovationen zu entwickeln – für deutliche Wettbewerbsvorteile bei der Produktion von hochwertigen Blasfolien, Glättwerksfolien, Gießfolien, Monofilamenten, Verpackungsbändern, Vliesstoffen und WPC-Produkten.

Mehr Informationen über uns finden Sie unter [www.reifenhäuser.com](http://www.reifenhäuser.com)  
Sie haben Fragen? [info@reifenhäuser.com](mailto:info@reifenhäuser.com)

Andreas Sobotta: "Fast jedes Werkzeug lässt sich durch Simulation optimieren."



Temperaturverteilung im Kanal eines axialen Wendeverters.



### Was muss ein Verarbeiter machen, wenn er von Ihnen eine Beratung wünscht?

Wenn ein Verarbeiter mit uns Kontakt aufnimmt, folgt zunächst meist ein Besuch von uns. Wir schauen uns die komplette Extrusionslinie an, wobei wir alle relevanten Parameter wie Drehzahlen und Temperaturen unter die Lupe nehmen. Für die eigentliche Werkzeugauslegung muss der Kunde uns nach diesem Gespräch den von ihm verarbeiteten Rohstoff geben. Mit diesem machen wir am IKT in Stuttgart, mit dem wir intensiv zusammen arbeiten, alle nötigen Versuche, um Messdaten zu ermitteln, die wir für die Simulation benötigen. Besonders wichtig hierbei ist die genaue Kenntnis über die Viskosität des Rohstoffes. Sobald wir alle nötigen Messdaten haben, „werfen wir unsere Rechner“ an, simulieren das optimale Fließverhalten im Werkzeug und leiten daraus das nötige Feintuning am Werkzeug ab.

### Was machen Sie anders als in der Praxis heute üblich?

Grundsätzlich ist immer das Ziel, dass die Schmelze beim Austritt aus dem Werkzeug eine gleichmäßige Geschwindigkeit hat. Der Trick, der in der Praxis hierfür häufig angewendet wird, ist eine sogenannte Bremszone vor dem Werkzeugaustritt. Durch den

Druckanstieg im Werkzeug kommt es zu einer Glättung und Vergleichmäßigung des Schmelzeflusses. Was in der Praxis manchmal gut funktioniert, bedeutet für die Schmelze eine enorme Belastung.

Wir berechnen Schubspannungen und Schwergeschwindigkeiten im Werkzeug und arbeiten bei der Auslegung des Werkzeuges genau konträr zur Praxis, ohne Bremszone und stattdessen mit einer Relaxzone. So kommt es zu einem deutlich geringeren Druckverlust und nicht zu einer mechanischen Schmelzebelastung. Dies wiederum führt dazu, dass bei gleichem Ausstoß oft ein kleinerer Extruder verwendet werden kann oder bei gleicher Extrudergröße ein höherer Ausstoß erzielt wird. Im Extremfall ist es uns sogar gelungen, ein Breitschlitzwerkzeug so zu optimieren, dass sich die Ausstoßleistung unter Beibehaltung aller Komponenten verdoppelte.

### Wie lange dauert es, bis Sie dem Kunden eine Rückmeldung geben können?

Sobald wir alle Materialdaten haben, können wir innerhalb von wenigen Tagen eine Standarddüse neu auslegen. Bei höherer Düsenkomplexität kann dies natürlich länger dauern.

TEMPERATURE SENSORS | HUMIDITY SENSORS | PRESSURE SENSORS

PLUG  
PLAY  
WORK



## QUALITÄTSSICHERUNGSSYSTEM

### IR-ThermoControl

- Thermische Fehlererkennung bei Spritzgießprozessen
- Zuverlässige Qualitätskontrolle
- Lückenlose Dokumentation
- 0-Fehler-Produktion
- Optimierung der Zykluszeiten

B+B Thermo-Technik GmbH | Fon +49 771 83160 | info@bb-sensors.com | bb-sensors.com

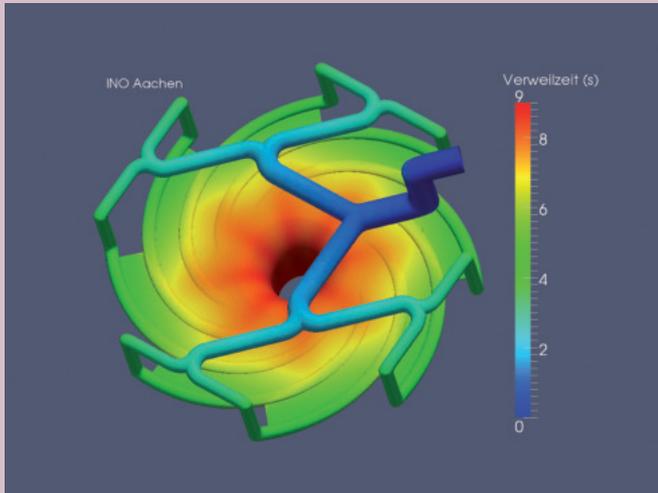
# B+B

SENSORS

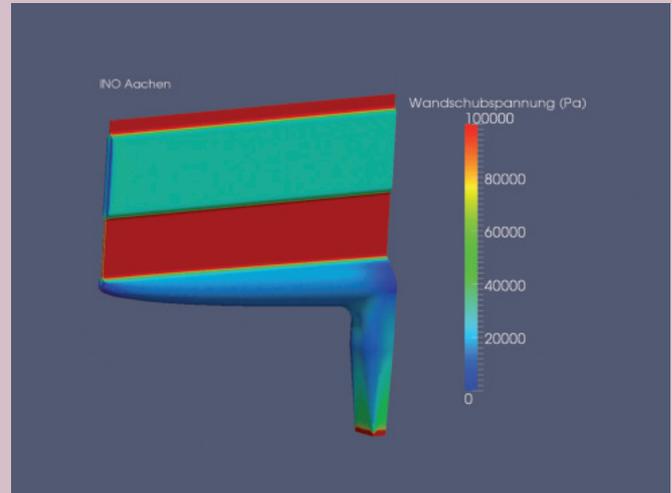





Verteilung der Verweilzeit in einem radialen Wendelverteiler.



Wandschubspannungen in einer Breitschlitzdüse.



**Führen Sie ausschließlich kundenindividuelle Auslegungen durch?**

Ja. Es ist kaum möglich, einen Standard zu definieren. Zu uns kommen die Kunden dann, wenn es ihnen sehr unter den Nägeln brennt und die Produktion nicht zu ihrer Zufriedenheit läuft. In der Regel schließen wir zunächst einen Geheimhaltungsvertrag, in dem auch die Materialdaten inbegriffen sind. Nach unseren Berechnungen erhält der Kunde nicht nur eine Information über eine verbesserte Düsengestaltung, sondern darüber hinaus weitergehende Daten, die er auch für andere Werkzeuge nutzen kann.

**Wenn mit der Simulation die von Ihnen beschriebenen Vorteile erzielbar sind: Warum ist sie dann so wenig verbreitet?**

Natürlich ist es für den Kunden mit einem gewissen Aufwand verbunden, sowohl zeitlich als auch kostenmäßig, wenn er unsere Dienstleistung nutzt. Dies mag sicherlich eine Hemmschwelle sein. Darüber hinaus ist es bei vielen Verarbeitern so, wie bereits eingangs erwähnt, dass sie schwer von den Verbesserungen durch eine optimierte Werkzeugauslegung dank Simulation zu überzeugen sind. Trotzdem gibt es natürlich auch unter den Verarbeitern bereits manchen, der eigene oder gekaufte numerische Optimierungsmethoden nutzt. Wir wünschen uns jedoch, dass noch viel mehr Verarbeiter die Vorzüge eines Spezialisten nutzen, denn wir sind davon überzeugt, deutliche Verbesserungen zu erzielen.

**Könnten Sie bitte noch einige Beispiele nennen?**

Gerne. Aufgrund unserer Berechnungen haben wir einem Hersteller von PVC-Schlauchfolien geraten, den Radius im Übergang vom Dornbereich in die Relaxzone von 12 auf 16 mm zu erhöhen. Mit dieser eigentlichen Banalität kann der Kunde heute sein Werkzeug über Tage durchfahren und muss es nicht mehr – wie zuvor – alle paar Stunden säubern, um Stippenbildung zu verhindern.

Ein anderes Beispiel: Bei einem Hersteller von Platten konnten wir die Breitschlitzdüsen so optimieren, dass er in seinem Zweitwerk nur noch zwei Linien anstelle der vorher vier Linien benötigte. Da es für ihn aber unwirtschaftlich war, in einem separaten Werk nur zwei Linien zu betreiben, konnte er diese in sein Hauptwerk verlegen. K

[www.extrusionswerkzeuge.de](http://www.extrusionswerkzeuge.de)

Die Fragen stellte Dipl.-Ing. (FH) Karin Regel, Redakteurin K-PROFI

In den kommenden Ausgaben des K-PROFI stellen wir Ihnen die Simulationsergebnisse einiger Werkzeuge wie Breitschlitzdüsen, Wendelverteiler, Rohr- und Profilwerkzeuge exemplarisch vor, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

### Pur(e) Fascination...

... wie auch immer Sie es drehen – mit innovativen Technologien und dem weltweit breitesten Anlagenspektrum für faszinierende Polyurethan-Erzeugnisse legt Hennecke seit mehr als 65 Jahren den Grundstein für überlegene Produktqualität und effiziente Rohstoffnutzung in sämtlichen Anwendungsbereichen.

- >> Dosiermaschinen
- >> Formschaum-Anlagen
- >> PUR-CSM-Sprühtechnologie
- >> Blockschaum-Anlagen

- >> Sandwichpanel-Anlagen
- >> Kühlmöbel-Anlagen
- >> 360° Service
- >> 100% Know-how für Ihre Idee

FAKUMA / Friedrichshafen  
14.10. - 18.10.2014, Halle A5, Stand A5-5217

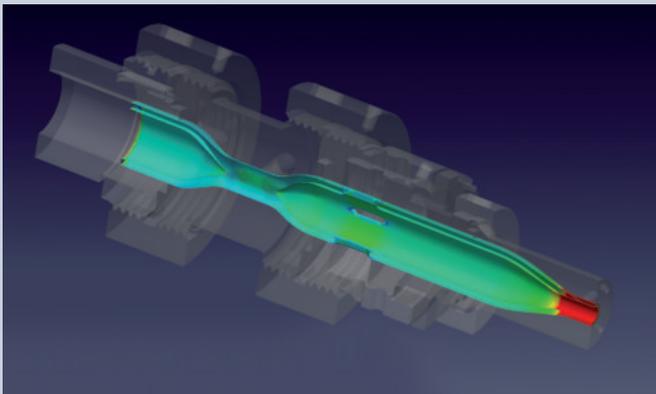
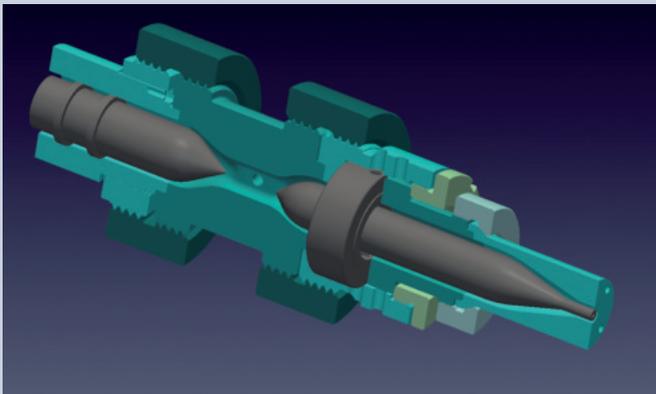
[www.hennecke.com](http://www.hennecke.com)

# Längere Standzeiten, seltener Stippen, weniger Randbeschnitt

Teil 2 der Praxiserfahrungen mit der numerischen Optimierung von Extrusionswerkzeugen

**Dass die numerische Simulation von Extrusionswerkzeugen der Praxis meist überlegen ist, hat Andreas Sobotta im Gespräch mit K-PROFI begründet (Ausgabe 6/2014). In dieser Ausgabe lesen Sie, wie Druckverteilung, Schergeschwindigkeit, Wandschubspannung und Austrittsgeschwindigkeit an einem Schlauchwerkzeug und einer Breitschlitzdüse mithilfe der Simulation optimiert wurden. Vorteile: Geringerer Reinigungsbedarf, höhere Schmelzequalität und gleichmäßigere Dickenverteilung.**

*Text: Dipl.-Ing. (FH) Karin Regel, Redakteurin K-PROFI*



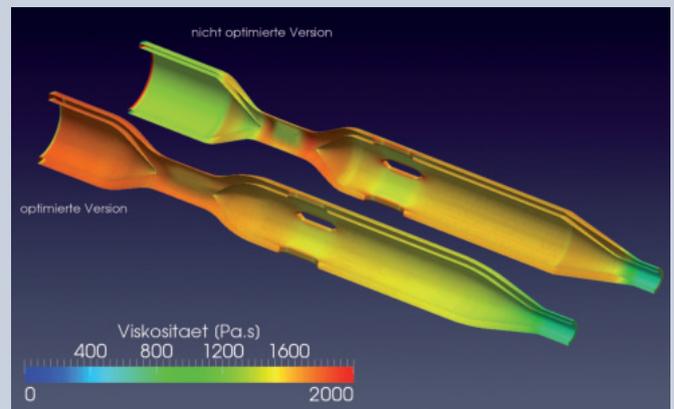
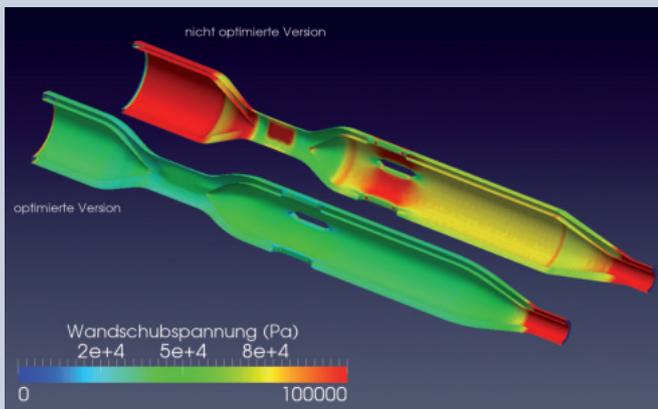
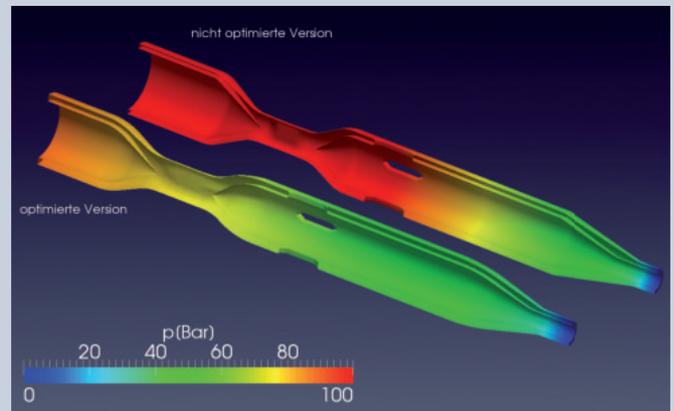
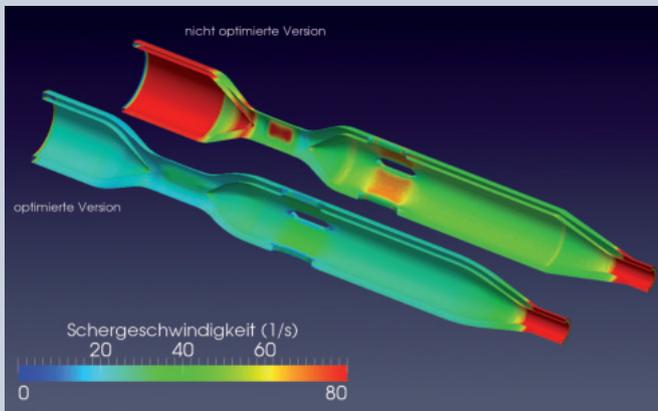
Eine korrekte Werkzeugauslegung ist für die störungsfreie und wirtschaftliche Extrusion von Rohren, Schläuchen, Platten oder Folien wichtig. So weit klar. Wie schwierig aber eine korrekte Werkzeugauslegung ist und mit wie vielen Iterationen sie verbunden sein kann, musste schon mancher Extrudeur leidvoll erfahren. Und dass trotz großer Bemühungen zwar das gewünschte Produkt in ausreichender Qualität hergestellt werden kann, dafür aber andere Probleme, wie lange Produktwechselzeiten oder häufige Reinigungszyklen, auftreten, ist keine Seltenheit. Abhilfe kann hier die Werkzeugauslegung mithilfe numerischer Optimierungsmethoden bringen.

Die hier dargestellte Düse hat eine Gesamtlänge von 400 mm und einen Austrittsquerschnitt von 10 mm. Sie wird bei einem Hersteller von Hydraulik-Schläuchen für die Automobilbranche eingesetzt. Ein sehr präzises Produkt mit gleichmäßiger Wanddickenverteilung und ohne Fehlstellen durch Stippen ist gerade in dieser Anwendung unabdingbar. Verarbeitet wird TPE bei einer Leistung von 20 bis 50 kg/h, der eingesetzte Extruder hat einen Schneckendurchmesser von 40 mm.

## Welche Vorteile hat die Simulation erbracht?

Mithilfe der Simulation konnte das Werkzeug so optimiert werden, dass eine Vergleichmäßigung von Schwerkgeschwindigkeit und Wandschubspannung erzielt wurde. Gleichmäßige Putzströme, die sich daraus ergeben, sorgen dafür, dass weder Ablagerungen noch Verbrennungen entstehen. In der Praxis bedeutet dies für den Verarbeiter, dass er mit dem Werkzeug mehrere Tage kontinuierlich produzieren kann. Zuvor musste er mindestens einmal täglich abstellen und das Werkzeug reinigen. Jetzt spart er diesen enormen Zeit- und Kostenaufwand.

Außerdem kann der Verarbeiter dank der geringeren Druckverluste und der gleichmäßigen Druckverteilung bei gleicher Anlage mit einer höheren Abzugsgeschwindigkeit fahren, was eine höhere Wirtschaftlichkeit darstellt. Last but not least kann das Werkzeug mit der neuen Auslegung verschiedene Compounds ohne Umbauaufwand gleichermaßen gut verarbeiten.



### Die neue KBB Baureihe

Unsere vollelektrischen Maschinen setzen sowohl in Sachen Ökonomie als auch hinsichtlich des Bedienkomforts neue Maßstäbe beim Consumer Packaging.

Mehr unter: [www.kautex-group.com](http://www.kautex-group.com)



Effizienz  
40% Energieersparnis  
(250 W / Kg plastifiziertes Material)

Leistung  
25% reduzierte Trockentaktzeit



Bei der dargestellten Breitschlitzdüse handelt es sich um ein 2,5 m breites Werkzeug, mit dem EVA-Folien bei einer Leistung von 450 kg/h produziert werden. Die Dammaustrittsspalthöhe beträgt 1,4 mm. Hergestellt werden Lebensmittelfolien, die natürlich viele Anforderungen in Bezug auf die Qualität erfüllen müssen.

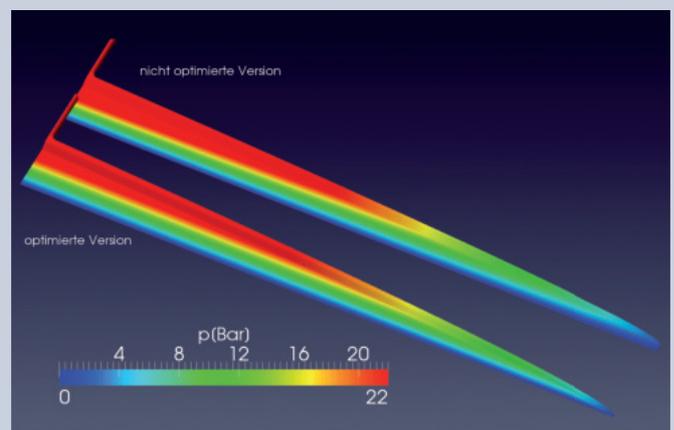
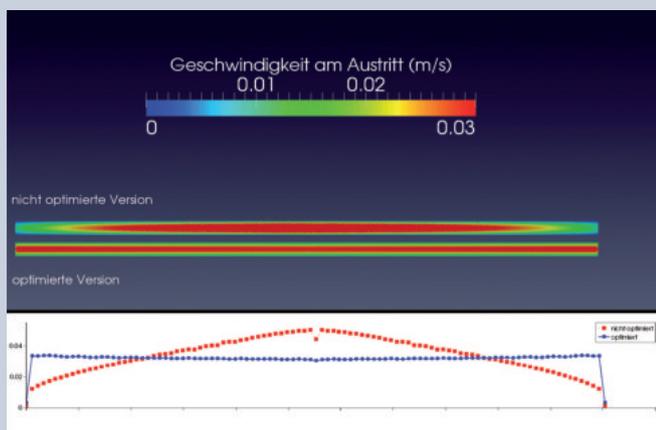
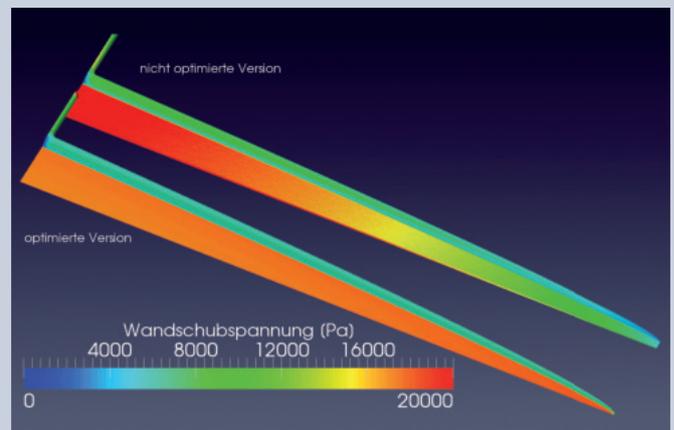
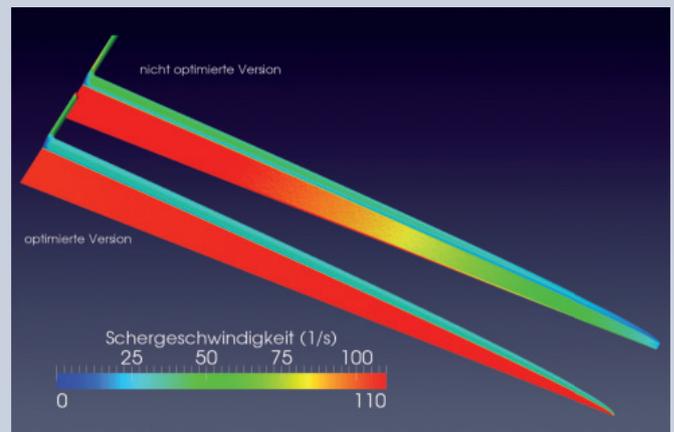
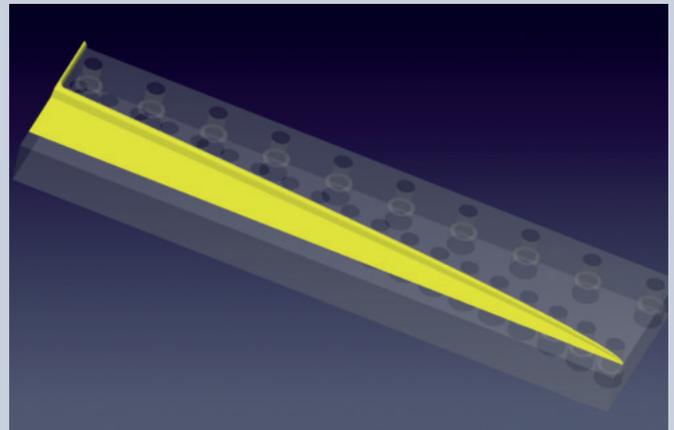
### Welche Vorteile hat die Simulation erbracht?

Mithilfe der Simulation konnte auch die Breitschlitzdüse so optimal ausgelegt werden, dass Schergeschwindigkeiten und Wandschubspannungen vergleichmäßigt sind (zu sehen ist jeweils nur die linke Seite der Breitschlitzdüse). Wie in den Bildern deutlich zu erkennen ist, konnten gleichmäßige Parameter sowohl für den tropfenförmigen Verteilerkanal als auch für den Damm erreicht werden. So wird die Folienqualität erhöht und beispielsweise Stippenbildung verhindert.

Die Kunst bei der Auslegung einer Breitschlitzdüse liegt darin, eine ausgeglichene Schmelzeverteilung am Düsenaustritt bis zum Rand zu erzielen. Bei vielen Werkzeugen kommt es gerade bei den enormen Breiten von über 2 m zu einer Folienverdickung in der Mitte und zu Dünnstellen am Rand, im Extremfall im Verhältnis 5:1. Dies führt dazu, dass ein enormer Randbeschnitt nötig ist, der weder aus ökologischer noch aus ökonomischer Sicht tragbar ist. Die vergleichmäßigte Geschwindigkeit am Werkzeugaustritt über die gesamte Werkzeugbreite garantiert eine konstante Foliendicke. Dank der Simulation wird dies ohne den Einbau von Relax- und Bügelzonen erreicht. 

In der kommenden Ausgabe 9/2014 von K-PROFI (Erscheinungstermin 8. September 2014) lesen Sie von Optimierungen an radialen und axialen Wendelverteilern.

Den Auftakt zu unserer kleinen Serie zur numerischen Werkzeugoptimierung lesen Sie in K-PROFI-Ausgabe 6/2014 ab Seite 23. Sie finden diese im Online-Archiv. Registrieren Sie sich, und Sie erhalten K-PROFI kostenlos und unverbindlich. Gleichzeitig erhalten Sie Zugriff auf das Archiv: [www.k-profi.de/anmeldung](http://www.k-profi.de/anmeldung).



# Chargenunabhängig bei verlängerten Reinigungszyklen

Teil 3 zur numerischen Optimierung von Extrusionswerkzeugen: Praxiserfahrungen mit Wendelverteilern

**Immer wenn bei der Herstellung mechanisch beanspruchter Halbzeuge beispielsweise für die Automobilbranche oder bei der Produktion spezieller medizinischer Schläuche Binde- und Fließnähte ausgeschlossen werden müssen, sind Werkzeuge mit Wendelverteilern die richtige Wahl. Aber gerade diese Extrusionswerkzeuge sind sehr empfindlich, ihre Auslegung sehr schwierig. Hier können numerische Optimierungsmethoden helfen.**

*Text: Dipl.-Ing. (FH) Karin Regel, Redakteurin K-PROFI*

Für die Schlauch- und Rohrherstellung verwenden Extrudeure häufig Dornhalterwerkzeuge, die sich mithilfe der Simulation perfekt an die Aufgabenstellung anpassen lassen (siehe K-PROFI 7-8/2014, Seite 24). Dornhalterwerkzeuge sind einfacher auszulegen als die

hier vorgestellten Wendelverteiler-Werkzeuge, führen jedoch konstruktiv bedingt zu Fließnähten im Endprodukt. Da Fließnähte Schwachstellen darstellen können, sind sie gerade bei beanspruchten und hochwertigen Produkten unbedingt zu vermeiden.

In einem Wendelverteiler-Werkzeug teilt sich die im Extruder plastifizierte und homogenisierte Schmelze auf: Ein Teil fließt durch die Wendeln, die entweder axial oder radial um den Werkzeugdorn angeordnet sind. Der andere Teil der Schmelze fließt durch einen definierten Spalt zwischen Dorn und Werkzeugaußenwand. Genau diese Überlagerung von Wendelströmung und Spaltströmung ist der entscheidende Vorteil von Wendelverteiler-Werkzeugen. So kommt es zu einer stetigen Durchmischung und dem Ausschluss von Fließnähten. Gleichzeitig machen die beiden Strömungen die Auslegung der Werkzeuge so schwierig.

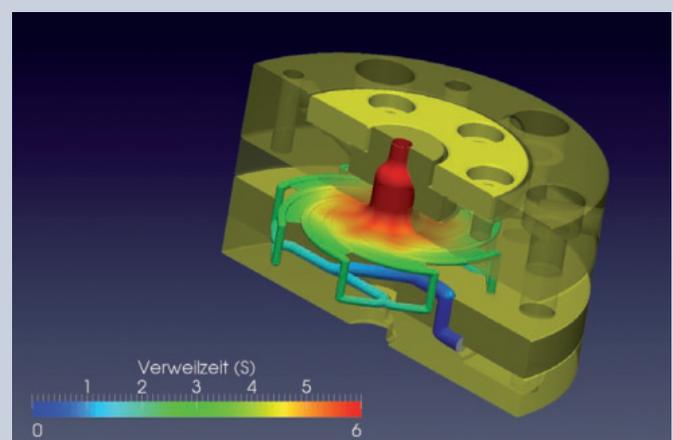


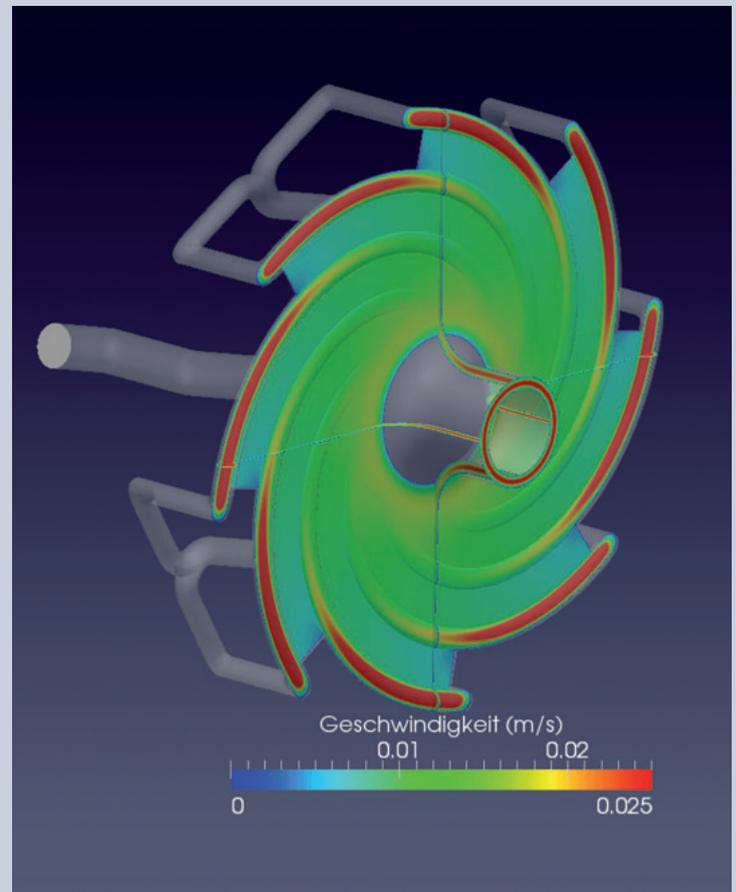
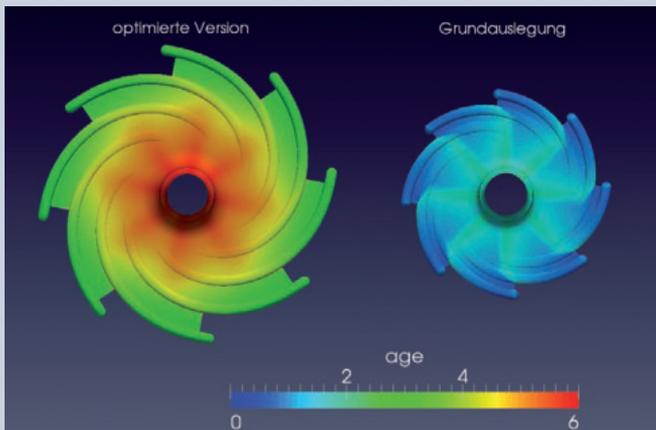
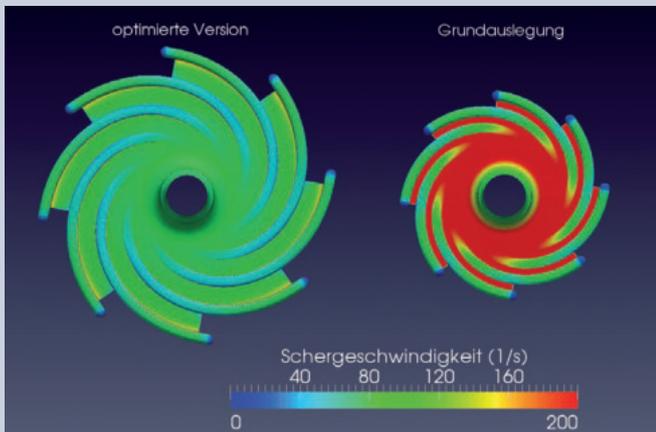
**EFFICIENCY MEETS Flexibility**

- Bewährt zuverlässige Leistung
- Vorbildlicher Kundenservice
- Hohe Innovationskraft
- Engagiertes und erfahrenes Team

**Fakuma** Halle A6 · Stand 6216  
14.-18. Oktober 2014

**Gala**  
www.gala-europe.de





„Das Verhältnis der beiden Strömungen zueinander muss perfekt abgestimmt sein und dazu ist schon ein hohes Maß an Know-how erforderlich“, weiß Andreas Sobotta, Geschäftsführer von INO in Aachen. Häufig wenden sich Verarbeiter an den Simulationsspezialisten, weil ein herkömmlich ausgelegtes Werkzeug, das sich beim Einfahren mit einer speziellen Materialcharge optimal verhalten hat, nach einem Rezepturwechsel völlig anders verhält. Die hergestellten Halbzeuge weisen nicht die gewünschte Oberfläche auf, oder erforderliche mechanische Kennwerte lassen sich nicht einhalten. Außerdem muss das Werkzeug in der Praxis häufig gereinigt werden, was für den Verarbeiter einen unerwünscht hohen Zeit- und Kostenaufwand bedeutet. Genau dann ist die optimierte Auslegung mithilfe der Simulation gefragt.

In der Praxis sind radiale Wendelverteiler-Werkzeuge deutlich verbreiteter als axiale, da sie eine kompaktere Bauform erlauben. Sie können in Form mehrerer Scheiben modular ausgeführt werden, und durch Übereinanderstapeln eignen sie sich dann insbesondere für Coextrusionsaufgaben.

Andreas Sobotta hat in seinem Unternehmen bereits viele Wendelverteiler-Werkzeuge mithilfe der numerischen Simulation perfektioniert. Berücksichtigt werden dabei die Parameter Druckverlust, Schergeschwindigkeit, Wandschubspannung, Viskosität und Verweilzeit sowie die Fließgeschwindigkeit.

Das hier vorgestellte radiale Wendelverteiler-Werkzeug hatte in der Ausgangsversion einen Durchmesser von 96 mm, wurde aber nach der Simulation auf einen Durchmesser von 120 mm erweitert. Ein-

gesetzt wird das 60 mm lange Werkzeug zur Herstellung von 6-mm-Schläuchen aus einem modifizierten PVC bei einer Produktionsleistung von knapp 100 kg/h. Wie in den Bildern sehr gut zu erkennen ist, kam es im Ausgangswerkzeug sowohl bei Druckverlust, Schergeschwindigkeit und Wand Schubspannung zu stark unterschiedlichen Ergebnissen für Wendel- und Spaltströmung. So trat beispielsweise im Spalt (rot dargestellt) eine zu hohe Schergeschwindigkeit auf, während diese in den Wendeln zu schwach (grün) war.

Die Optimierung brachte eine Vergleichmäßigung. „Um dieses Ziel zu erreichen, wurde nicht nur der Werkzeugdurchmesser insgesamt vergrößert, sondern vor allem der Verlauf der Wendeln verändert. Die Proportionen von Breite, Länge und Tiefe der Wendeln müssen stimmen“, hebt Sobotta die Herausforderung bei der Optimierung hervor.

Schon bei der Betrachtung des axialen Wendelverteiler-Werkzeuges fällt auf, dass dieses, wie eingangs erwähnt, länger ausgeführt ist als die radiale Variante. Mit dem hier vorgestellten Werkzeug mit einem Durchmesser von 160 mm und einer Länge von 280 mm wird ein TPU-Schlauch mit einer Produktionsleistung von über 100 kg/h hergestellt. Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass die betrachteten Parameter für Spalt- und Wendelströmung in der Ausgangsversion zu unterschiedlich ausfallen und durch die Optimierung vergleichmäßigt werden konnten. „Unsere Aufgabe ist erfüllt, wenn die hohe Schmelzgeschwindigkeit im Zulauf (rot dargestellt) sich im Werkzeug vergleichmäßigt und sich Wendel- und Spaltströmung perfekt ausgleichen“, erläutert Sobotta anhand der Schnittebenenendarstellung abschließend.

[www.ino-fem.de](http://www.ino-fem.de)

Mit diesem Beitrag schließen wir die Praxiserfahrungen rund um die numerische Auslegung von Extrusionswerkzeugen ab. Sie können die früheren Beiträge den Ausgaben 6/2014 (ab Seite 23) und 7-8/2014 (ab Seite 24) nachlesen: Registrieren Sie sich kostenlos und schauen Sie in unser Online-Archiv: [www.k-profi.de/anmeldung](http://www.k-profi.de/anmeldung)

