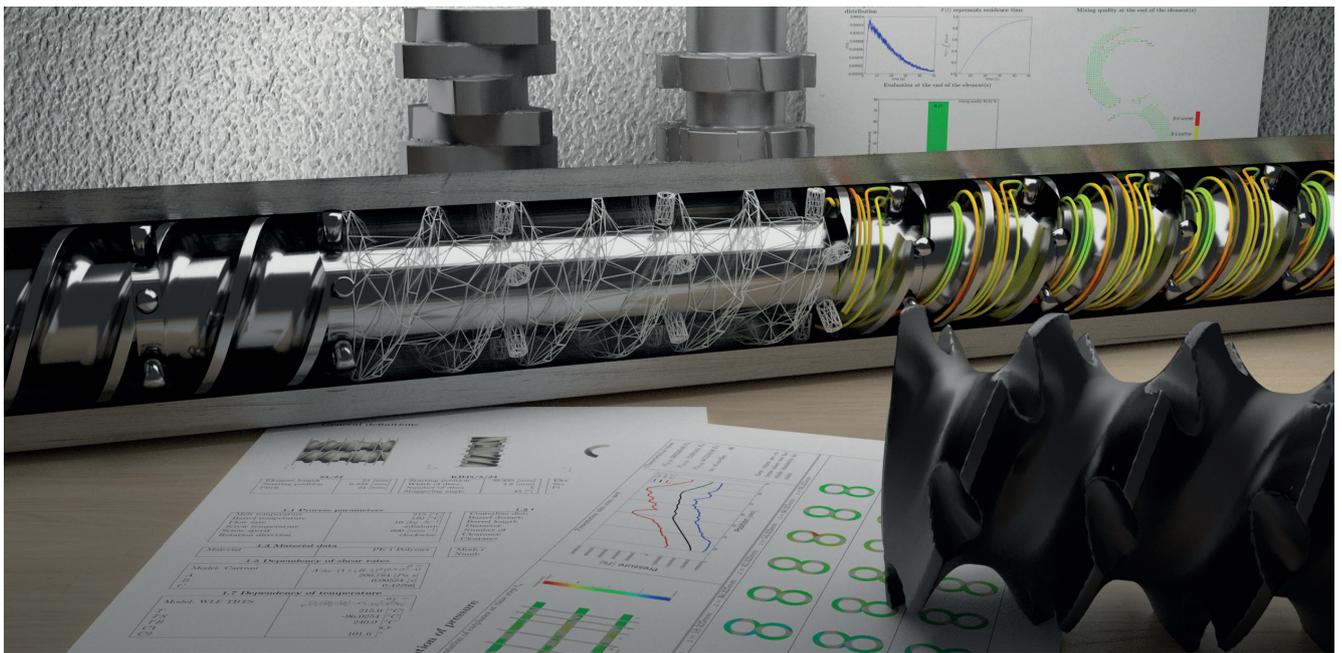


# Extrusion 4.0

## Der Weg zum digitalen Zwilling in der modernen Extrusion

Strömungssimulationen bieten eine höchst effiziente Methode, um Extrusionswerkzeuge sowie Ein- und Doppelschneckenextruder optimal auszulegen. Die Methodik von Strömungssimulationen und die zugrunde liegenden numerischen Methoden sind dabei keineswegs neu, jedoch werden die Ansprüche der Kunden zunehmend höher. Eine breite Anwendung für die Masse der Extrudeure und Compoudeure existiert allerdings aufgrund von teilweise hohen Preisen und umständlicher Bedienung noch nicht.



© Janus Simulation GmbH

Ohne Simulationen ist die Entwicklung und Auslegung von Maschinen und Prozessen anhand des Trial-and-Error-Verfahrens mit einem sehr hohen Verbrauch an Ressourcen wie Maschinenstunden, teuren Rohmaterialien sowie einer Bindung von Personalkapazitäten verbunden [1]. Jedoch kann der Verbrauch dieser Ressourcen beziehungsweise ein Adaptieren des Werkzeugs in Form von experimentellen Untersuchungen und Nacharbeiten, oder sogar eine Falschauslegung einer Ein- oder Doppelschnecke, durch einen effizienten Einsatz von modernen numerischen Methoden enorm reduziert und manchmal sogar ganz vermieden werden. Mithilfe der Mathematik kann somit heute ein so-

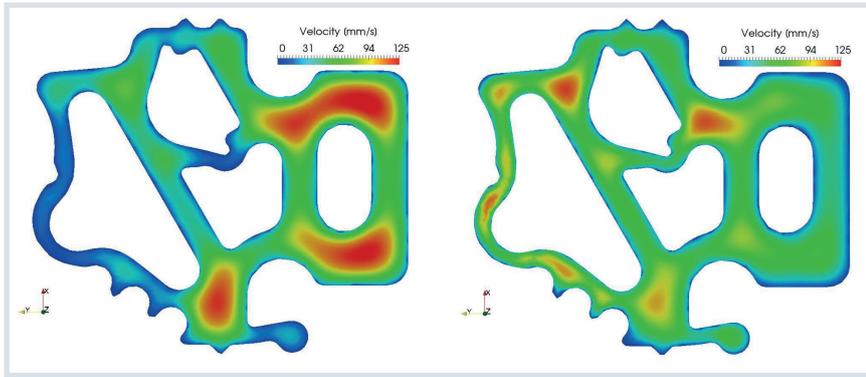
genannter digitaler Zwilling gebaut werden, der die Analyse von Daten sowie die Überwachung von Systemen mithilfe der numerischen Strömungsmechanik ermöglicht.

### *Der digitale Zwilling ist mehr als ein virtuelles Abbild*

Die Definition eines solchen digitalen Zwillings [2] lässt sich dabei oftmals vielfach interpretieren. In Bezug auf eine Strömungssimulation ist der digitale Zwilling der Firma Janus Simulation GmbH beispielsweise kein reines (virtuelles) 3D Abbild einer Maschine in Form einer CAD-Datei. Er ist vielmehr die Kombination aus CAD-Datei(en), realen

Prozessparametern sowie der Möglichkeit einer digitalen, iterativen Bearbeitung der beiden Aspekte. Mit dem sogenannten Strömungsraum-Konzept von Janus Simulation bietet sich dem Anwender beziehungsweise Extrudeur dabei eine auf die – immer individueller werdenden – Strömungsprozesse und -maschinen zugeschnittene, maßgeschneiderte Systemlösung für den Einsatz von modernen 3D-CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics)-Strömungssimulationen.

Die 3D-Strömungssimulationstechnik ist in den letzten Jahrzehnten aufgrund zunehmender (Hochleistungs-)Rechenkapazitäten und kontinuierlicher Weiterentwicklung der numerischen Modelle



**Bild 1.** Austrittsgeschwindigkeiten eines Profilwerkzeugs mit stark nicht-homogener Geschwindigkeitsverteilung (links) und nach der Optimierung mit deutlich homogenerer Verteilung (rechts)

© Ianus Simulation

und Algorithmen für die Auslegung von Maschinen und Prozessen [3] von herausragender Bedeutung geworden. Sie bietet den Anwendern eine Vielzahl von Möglichkeiten wie vollfaktorielle Versuchspläne, Parameterstudien, Betriebspunktanalysen und natürlich die Optimierung bestehender Anlagen, Geometrien und Prozesse.

Am Beispiel der Simulation eines Silikon-Extrusionswerkzeugs (**Bild 1**) sieht der Anwender den Ist-Zustand der Austrittsgeschwindigkeiten der Schmelze aus dem Werkzeug nach einer ersten Auslegung durch den Werkzeugkonstrukteur. Daneben sind die Ergebnisse der Simulation nach der ersten digitalen Optimierung zu erkennen. Die farblichen Skalierungen entsprechen den austretenden Geschwindigkeiten der Schmelze von langsam (blau) bis rot (schnell). Der Ist-Zustand zeichnet dabei eine stark nicht-homogene Geschwindigkeitsverteilung auf. Die Geschwindigkeiten in dem optimierten Werkzeug hingegen sind deutlich homogener. Mit dieser Optimierung ließen sich in diesem Fall die Nacharbeitsschleifen deutlich reduzieren. In vielen industrierelevanten Produkti-

onsprozessen sind durchströmende Medien inhärent, welche aus Gasen oder Fluiden bzw. schmelzeförmigem Kunststoff bestehen können. Daher bietet sich der Einsatz von Strömungssimulationen überall dort an, wo solche Flüssigkeitsströme von Bedeutung sind. Die Simulationen erlauben Einblicke in Systeme, die im Rahmen von Experimenten nur sehr aufwendig, manchmal gar unmöglich, sind.

### Strömungssimulationen sind smart

Auch Wechselwirkungen mit anderen technisch relevanten Parametern wie Druck, Temperatur, Wärme- oder Stofftransport werden durch Strömungssimulation dargestellt. So lassen sich beispielsweise Totzonen innerhalb des Spülprozesses von Geometrien identifizieren oder austretende Geschwindigkeiten in einem Werkzeug analysieren, um diese zu optimieren und Abrisse oder Wanddickenschwankungen [4] am Extrudat zu verhindern. Durch Strömungssimulationen können also mögliche Fehler der Geometrie erkannt und bei der digitalen Optimierung [5] berücksichtigt werden »

## Die Autoren

**Marc Bracke** leitet den Vertrieb der Ianus Simulation GmbH und ist seit 2016 im Unternehmen und vor allem am Standort Bielefeld beschäftigt;

m.bracke@ianus-simulation.de

**Katja Drescher** ist seit 2019 Vertriebsassistentin der Ianus Simulation GmbH und ebenfalls in Bielefeld tätig.

## Service

### Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

**Kunststoffe**

[www.kunststoffe.de/umfrage](http://www.kunststoffe.de/umfrage)

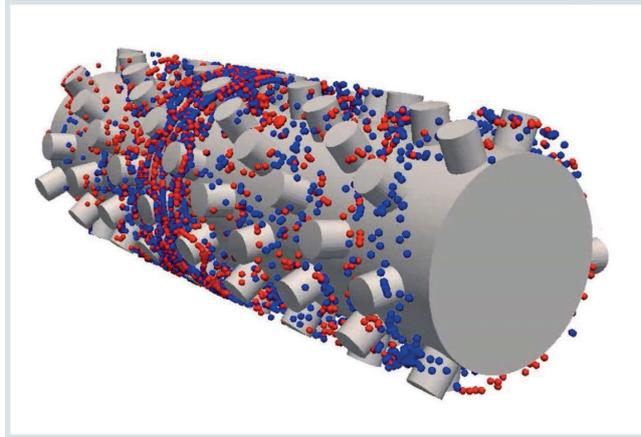
Sagen Sie uns Ihre Meinung!



Unter allen Teilnehmern  
verlosen wir 10 E-Books



**Bild 2.** Analyse eines  
Einschnecken-Misch-  
elementes zur  
distributiven Misch-  
wirkung © Ianus  
Simulation



(Bild 2). Um der Extrusionsbranche eine breite Anwendung zu ermöglichen, war es das Ziel, eine für die 3D Simulation von Strömungsprozessen und -maschinen maßgeschneiderte Systemlösung zu entwickeln. Das System sollte dabei auf gängigen, smarten Devices wie Laptops, Smartphones und Tablets laufen und möglichst einfach zu bedienen sein. Um dennoch schnelle Rechenzeiten zu gewährleisten, musste das System mit entsprechenden Hochleistungsclustern verbunden werden. Zunächst entstand dabei ein Prototyp des „Strömungsraum“ genannten Systems. Zunächst lediglich zum einfachen Erfassen und Verwalten von digitalen Zwillingen, zum schnellen Definieren von Simulationen sowie der Speicherung und Auswertung der entsprechenden Ergebnisse.

### Simulationen auf dem Weg zur Kaffeemaschine

Die große Herausforderung der Weiterentwicklung des Systems, welches eine hochkomplexe Numerik mit einer sehr einfachen und intuitiven Bedienbarkeit

verknüpft und ermöglicht, lag vor allem in den Grundüberlegungen, welche Eingaben der Anwender am Ende selber tätigen muss. Der Benutzer soll in der Lage sein, in Sekundenschnelle eine Simulation zu starten, bestenfalls sogar per Smartphone und auf dem Weg zur Kaffeemaschine. Dabei durfte das System jedoch nicht zu komplex werden. Mittlerweile bringt Strömungsraum keine Anforderung an die firmeneigene Hard- und Software mit, da das System über den Webbrowser erreichbar und mit Hochleistungsclustern verbunden ist.

Das System wartet außerdem mit einem Autodesk-Plugin auf. Somit können Werkzeuge und Schnecken direkt im Webbrowser visualisiert, bearbeitet und anschließend simuliert werden – ohne umständliche numerische Bearbeitung. Das spart dem Anwender Zeit und das System kann dadurch von jedem Extrudeur ohne CFD-Kenntnisse bedient werden. Nach erfolgter voll- oder teilautomatischer Simulation werden dem Nutzer die Ergebnisse in Form von PDF-Dokumenten, Grafiken oder Animationen sicher und jederzeit abrufbar bereitge-

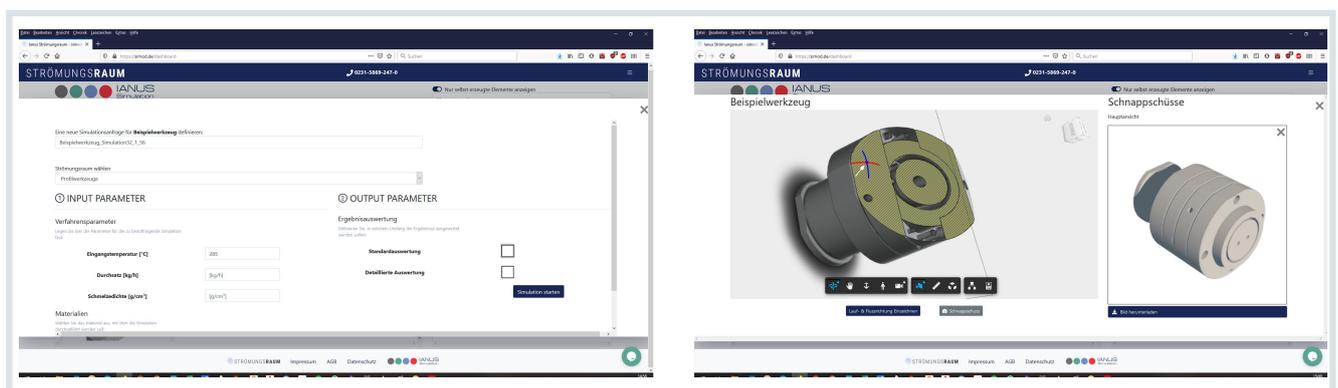
stellt. Ein großer Vorteil des Systems ist, dass die Anwender sich nicht mit den komplexen numerischen Randbedingungen, den Besonderheiten beim Vernetzen der Geometrie oder dem Auswerten der Daten in verständliche Animationen auseinandersetzen müssen. Dies geschieht bereits teil- bzw. vollautomatisiert im Hintergrund durch die zugrunde liegenden Algorithmen des Systems.

### Diskret: Finite Elemente und ihre Netze

Die Berechnungen im Strömungsraum erfolgen dabei mithilfe eines FEM-(Finite-Elemente-Methodik)-Codes [6], der auf dem Konzept FeatFlow beruht. Basierend auf modernsten mathematischen Methoden aus den Bereichen Diskretisierung, Gebietszerlegung für die Parallelisierung und Netzgenerierung inkl. dynamischer Gitterdeformation können stationäre, instationäre, isotherme sowie nicht-isotherme Problemstellungen und Strömungsprozesse simuliert werden.

Mit dem fortschrittlichen FEM-Ansatz [7] wird das Strömungsproblem u.a. mit einem Pressure-Schurkomplement-Löser angegangen, der das Druckproblem vom Geschwindigkeitsproblem entkoppelt. Die bezüglich der Ressourcen, Rechenhardware und -speicher anspruchsvolle Lösung des linearisierten Druck-Poissonproblems erfolgt mithilfe von Newton-Krylov-Mehrgitter-Verfahren, die wiederum mit lokal optimierten, datenparallelen Mehrgitterverfahren vorkonditioniert werden [8].

Für eine effiziente Auswertung der Daten wurden mehrere Module entwickelt, welche die Ergebnisse automatisiert, intuitiv und benutzerdefiniert darstellen. Somit kann der Nutzer wichtige und neue Erkenntnisse leicht und auf



**Bild 3.** Screenshots der Simulationssoftware: Das Werkzeug-Eingabeformular (links) und die Ansicht im Browser (rechts) © Ianus Simulation

den ersten Blick aus der Simulation gewinnen. Dort, wo man mit den gewonnenen Simulationsdaten automatisch beziehungsweise maschinengestützt optimieren will, kommt Künstliche Intelligenz (KI) zum Einsatz. Sie bildet damit optimale Synergieeffekte zu den bereits bekannten CFD-Simulationen.

### Mit KI-Systemen einen Schritt zurück

Hierbei werden synthetische Prozessdaten mit Sensordaten aus der realen Welt angereichert und künstliche Neuronale Netze darauf trainiert, die Zielfunktion (etwa weniger Energieverbrauch, Materialeinsatz etc.) zu lernen und entsprechend befähigt, Vorhersagen für die Güte eines Erst-Entwurfes zu machen oder sogar Vorschläge für eine Änderung an der Maschine oder den Betriebsparametern zu errechnen.

Derzeit wird die Auslegung einer geeigneten Werkzeuggeometrie noch vermehrt mittels stochastischer Optimierungsverfahren erbracht. Diese hatten bereits das zeit- und arbeitsintensive Trial-and-Error-Verfahren ersetzt. So kann eine Geometrie, ausgehend vom Fertigteil, mittlerweile auch retrograd ermittelt werden. Zusammen mit den neuen Möglichkeiten des 3D-Drucks lässt sich damit eine nahezu optimale Extrusionslinie erstellen. Dies geht von der Auslegung der Schnecke für einen stabilen Prozess bis zum Optimieren des Werkzeuges unter idealen Strömungsbedingungen für eine hochwertige Qualität des Extrudats (Bild 3).

### Fazit

Es zeigt sich, wie die Industrie 4.0 schrittweise zur intelligenten und smarten Produktion führen kann. Allerdings gilt es, noch einige Herausforderungen auf dem Weg zur Digitalisierung zu meistern. Denn häufig mangelt es in der Praxis an explizitem Wissen und somit einem praxisnahen Einsatz von CFD-Simulationen. Auch kennen viele Unternehmen lediglich veraltete Methoden oder scheuen die Kosten, da ein ROI für sie nur schwer abzuschätzen ist.

Der Strömungsraum von Iamus Simulation ermöglicht eine synergetische Verknüpfung von Schnecken und Werkzeugen und bietet den Unternehmen dadurch die Möglichkeit, die Extrusion mithilfe modernster Methoden höchst effizient zu gestalten und auszulegen. Unternehmen sparen dadurch nicht nur Zeit, sondern auch Kosten. Allerdings liegen wichtige Daten häufig nicht oder nur teilweise respektive unzureichend vor, da viele Zulieferer davor zurück-scheuen, ihre sensiblen Daten anderen anzuvertrauen oder gar Dritten zu übermitteln. Aber gerade dies bietet viele Möglichkeiten; so könnte man auf der Grundlage von CFD-Simulationen auch moderne Kalibrierungs- und Abkühlmethoden smart miteinander kombinieren und von den entstehenden Synergieeffekten zwischen Extrusions- und Kalibrierungslinie höchst effizient profitieren. Mittlerweile gibt es übrigens auch sehr viele Fördermöglichkeiten, die der Bund bzw. die Länder anbieten; dies betrifft nicht nur die reine Forschung & Entwicklung, sondern auch umfangreiche Digitalisierungsprojekte jeglicher Art. Dennoch: Am Ende hat jedes Unternehmen den Weg in eine smarte Zukunft der Extrusion 4.0 selbst in der Hand. ■



# D-EXPO

## eMobility & Safety

The Digital Trade Fair for the  
Future Automotive World

04. BIS 07. MAI 2021



Entdecken Sie die virtuelle Messe  
D-EXPO eMobility & Safety!  
Hier finden Sie alles rund um die  
automobile Welt von morgen.

### IHRE VORTEILE

- » **Internationale Fachmesse:**  
Entdecken Sie innovative Produkte und Angebote aus der ganzen Welt
- » **Live-Event:**  
Genießen Sie direkte Kommunikation mit allen Ausstellern
- » **Informatives Rahmenprogramm:**  
Expertenvorträge, Interviews und Diskussionsrunden
- » **Digital erreichbar:**  
Bequem und effizient aus dem Homeoffice besuchen

Jetzt kostenfrei  
registrieren!

