



**Jonas Köllermeier, M.Sc.**

---

## Entwicklung simulationsgestützter Assistenten für die Extrusion

---

Die Extrusion zählt neben dem Spritzgießen zu den wichtigsten Kunststoffverarbeitungsverfahren und besitzt mengenmäßig betrachtet den größten Anteil aller Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe. Nach dem aktuellen Stand der Technik verfügen Extrusionslinien heutzutage zwar über moderne Maschinensteuerungen mit grafischen Visualisierungen und unterschiedlichen Kommunikationsschnittstellen sowie Datenauswertungssystemen, sind jedoch nicht in der Lage selbstständig auf Veränderungen am Prozess, des Rohstoffes oder sonstigen Betriebsbedingungen zu reagieren. Folglich bleibt dies bis heute die Aufgabe des erfahrenen und kompetenten Maschinenbedieners.

Leider übt der Beruf eines Anlagenbedieners in einem Extrusionsbetrieb aber bereits seit Jahren nur eine geringe Anziehungskraft auf die nahezu ausschließlich männlichen Berufsanfänger aus, sodass die Branche permanent mit dem Problem des Fachkräftemangels umzugehen hat. Weiterhin existieren innerhalb der Branche große Probleme mit dem Thema des internen Know-how-Transfers, sodass häufig nur wenige erfahrene Mitarbeiter in einem Betrieb in der Lage sind, Prozesse optimal zu parametrieren oder robust zu betreiben.

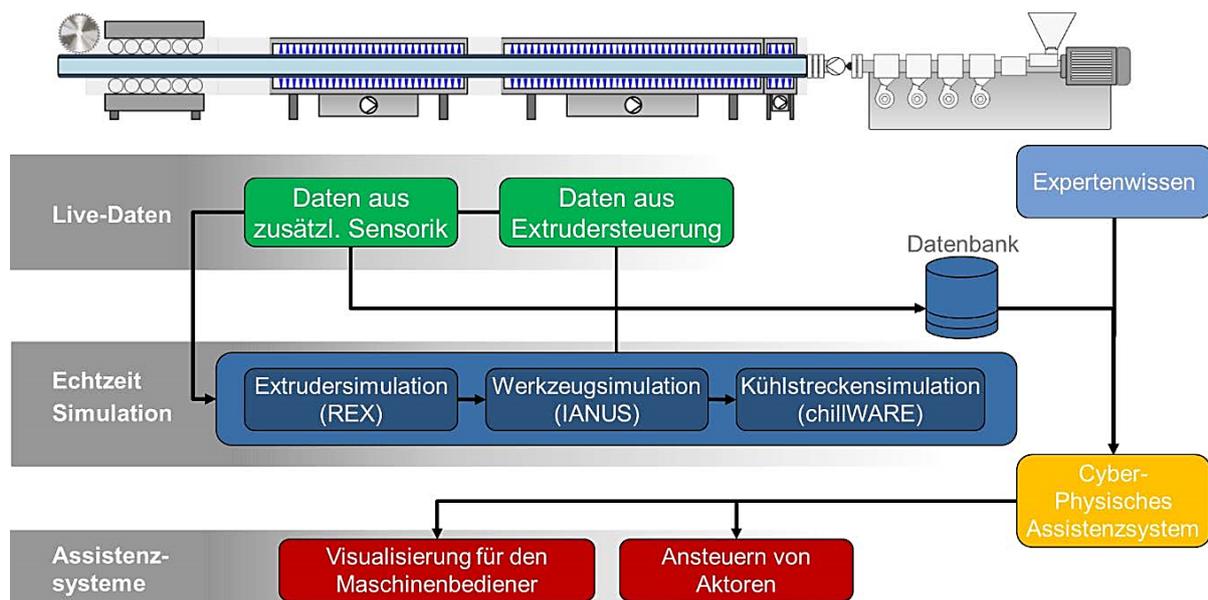
Zwar existieren Werkzeuge und Simulationssysteme am Markt, die eine exakte Prozessplanung, Arbeitsvorbereitung oder Problemanalyse ermöglichen, doch derartige Werkzeuge erfordern die Bedienung durch sehr gut ausgebildetes Fachpersonal, welches in der Regel Kunststoff-Ingenieure sind. Diese Systeme stellen heutzutage reine Offline-Werkzeuge ohne direkte Interaktionsmöglichkeit mit den tatsächlich in der Produktion ablaufenden Szenarien dar. So kommt es regelmäßig vor, dass die in der Simulation erarbeiteten Prozesse in der Praxis keine ausreichende Qualität oder Produktivität erreichen, da dort andere Rahmenbedingungen vorherrschen als bei der Parametrierung der Simulationsumgebung angenommen worden sind.

Das konkrete Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Assistenzsystems für Extrusionsprozesse, welches dem Maschinenbediener Informationen zur Verfügung stellt, wie suboptimale Prozessparametrierungen in optimale Prozesse überführt werden können. Dies bedeutet, dass durch den Einsatz cyber-physischer Systeme am konkreten Beispiel einer Profilextrusionslinie die Situation ermöglicht wird, dass der Zustand der Anlage hinsichtlich Prozessrobustheit, Effizienz, Qualität und Produktivität automatisiert erkannt wird und dass Optimierungsmöglichkeiten automatisiert vom System erarbeitet werden.

Folglich müssen zunächst die Stell- und Zielgrößen sowie mögliche Schwachstellen der Systeme detektiert werden. In einer Studie des Fachbereichs Technik und Diversity, des Lehrstuhls Leichtbau im Automobil (LiA) an der Universität Paderborn wurden hierfür wichtige

Aspekte wie z. B. die Interaktion zwischen Mensch und Maschine sowie die Expertise von Maschinenbedienern herausgearbeitet. Diese Optimierungsmöglichkeiten sollen zunächst für den Maschinenbediener visualisiert werden und anschließend in einer übergeordneten Regelung zur autonomen Beeinflussung des Prozesses eingesetzt werden.

Dazu sollen anfangs sämtliche den Prozess beschreibenden Informationen über physische Sensoren erfasst werden. Dabei werden die gesamten der Maschinensteuerung bekannten Informationen in eine externe Datenbank exportiert. Gleichzeitig werden weitere Sensorinformationen an der Extrusionslinie erfasst und deren Ergebnisdaten ebenfalls in diese zentrale Datenbank exportiert. Somit liegen die tatsächlichen Live-Informationen des Prozesses in einem digitalen System vor und können dort weiterverarbeitet werden (digitaler Schatten/Zwilling).



Schema der Projektinhalte

Zur Generierung von Expertenwissen wurden an einer Proflextrusionslinie Vierkanthohlprofile aus den Kunststoffen PE und PP hergestellt und folgende Aspekte untersucht:

1. Thermische Schmelzehomogenität: Die Beurteilung dieser Zielgröße erfolgte durch die Aufnahme der radialen Schmelzetemperaturen nach der Schneckenspitze an fünf unterschiedlichen Messtiefen bei gleicher axialer Position.
2. Massetemperatur: Aus den radialen Schmelzetemperaturen wurde die Kennzahl der gewichteten Schmelzetemperatur berechnet.
3. Oberflächentemperatur: Die Messung der Oberflächentemperatur der extrudierten Profile unmittelbar nach dem Werkzeugaustritt wurde durchgeführt, um zusätzlich zum Aufschmelzprozess den Einfluss der Werkzeugtemperatur zu untersuchen. Die Messung erfolgte dabei kontaktlos durch Infrarot-Pyrometer.
4. Formabweichung: Es wurde ein Messsystem in die Extrusionslinie integriert, welches während des Verarbeitungsprozesses Formabweichungen der Vierkanthohlprofile detektiert. Hierbei wurden vier Lasersensoren am Austritt der Kühlstrecke platziert, um Maßabweichung der Profile während des Prozesses zu erkennen.

5. Zylindertemperaturführung: Der Einfluss der Zylindertemperaturen auf das Prozessverhalten hinsichtlich der Zielgrößen Durchsatz und thermischer Homogenität wurde im Rahmen von instationären Aufheiz- und Abkühlvorgängen während des Extrusionsprozesses untersucht. Hierdurch konnten innerhalb von kürzester Zeit Korrelationen zwischen der Zylindertemperatur und den genannten Zielgrößen detektiert werden.

Im weiteren Projektverlauf sollen Echtzeit-Simulationen zur Ermittlung weiterer Informationen durchgeführt werden, die beispielsweise nicht über real-physikalische Sensoren messbar sind. Dazu werden drei völlig voneinander getrennte und bisher nicht miteinander kombinierte Computersimulationen unabhängig voneinander automatisiert. Da diese allerdings als Offline-Berechnungstools angelegt worden sind, ist eine entsprechende Überführung in eine Live-Simulation vorgesehen. Darunter fällt an erster Stelle die Software zur rechnergestützten Extruderauslegung (REX) der Kunststofftechnik Paderborn (KTP), welche auf Basis der Live-Prozessdaten mittels analytischer Gleichungen das gesamte Betriebsverhalten des Extruders berechnen kann. An zweiter Stelle folgt die Simulationssoftware Extrud3DPro des Projektpartners IANUS, welche anhand von Live-Prozessdaten sowie der Ergebnisse aus der Extrudersimulation weitere Ergebnisse wie die Ausströmgeschwindigkeit und das Temperatur- sowie Druck-/Durchsatzverhalten generiert. An dritter Stelle tritt die Abkühlsimulation chillWARE des Projektpartners SHS plus in Kraft, die ihrerseits die Live-Prozessdaten, die Ergebnisdaten der Extrudersimulation sowie der darauf aufbauenden Werkzeugsimulation als Eingangsparameter nutzt und die Abkühlvorgänge in der Kühlstrecke simuliert.

Das Pre- und Postprocessing wird dabei automatisiert und über die Interaktion an einem Panel dem Bediener zugänglich gemacht. Um einen durchgängigen Workflow zu realisieren, müssen die zuvor genannten Berechnungssysteme untereinander gekoppelt werden (Extruder → Werkzeug → Kühlstrecke/Produktqualität). Zudem ist die Verknüpfung mit einer Wissensdatenbank geplant, die u. a. mit statistischen oder deterministischen Regeln versehen werden kann. Darauf aufbauend folgt abschließend die Implementierung eines cyber-physischen Systems mit Einbindung einer Wissensdatenbank mit Expertenwissen, welches auf der Basis von Live-Prozessdaten aus Sensormessungen sowie den Ergebnissen der Simulation Prozessempfehlungen generieren kann. Das entwickelte System wird abschließend in umfangreichen Untersuchungen im Technikum der Kunststofftechnik Paderborn sowie bei assoziierten Partnerunternehmen im autarken Betrieb validiert.

### Danksagung

Wir danken dem Europäischen Fonds für regionalen Entwicklung (EFRE) für die finanzielle Förderung des Projektes (EFRE-0801363). Ein weiterer Dank gilt den Projektpartnern für die inhaltliche Unterstützung des Vorhabens.



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



EFRE.NRW

Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung