

Sensorfusion zur Echtzeit-Qualitätskontrolle in der Kunststoffaufbereitung

Kilian Dietl, Christoph Kugler, Thomas Hochrein, Peter Heidemeyer, Martin Bastian
 SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg
 k.dietl@skz.de

Zusammenfassung

Aufgabe der Kunststoffaufbereitung ist die gezielte Modifizierung der Materialeigenschaften des Kunststoffs für die spätere Anwendung. Dabei wird zur Überwachung der Viskosität als Qualitätskenngröße meist auf Offline-Messmethoden zurückgegriffen, welche aufgrund ihrer Totzeiten bis zum Vorliegen der Messergebnisse einen deutlichen Schwachpunkt aufweisen. Derzeitige Online-Verfahren sind jedoch nicht für alle Anwendungsfälle nutzbar und besitzen weitere Nachteile. Einen Lösungsansatz bietet die Sensorfusion, welche mittels eines Modells die Prozessgrößen miteinander verknüpft und so eine Echtzeitbestimmung der Qualitätskenngrößen ermöglicht. Zur Modellerstellung wurde dabei auf Künstliche Neuronale Netze (KNN) zurückgegriffen. In weiteren Untersuchungen wurde der Einfluss von Materialchargenwechseln auf die Modellrobustheit sowie die Möglichkeit zur Überwachung der Mischungsanteile von mehrphasigen Polymergemischen (Blends) als weiterer Anwendungsfall betrachtet. Die Arbeit zeigt einen Ansatz für die echtzeitfähige Prozessdatenanalyse zur Qualitätsüberwachung in der Kunststoffaufbereitung.

Keywords: Sensorfusion, Echtzeit-Qualitätskontrolle, Prozessüberwachung, Prozessdatenanalyse, Compoundierung

Qualitätskontrolle in der Kunststoffaufbereitung

Aufgabe der Kunststoffaufbereitung ist die gezielte Modifizierung der Materialeigenschaften eines Kunststoffs mit Hilfe von Zusatzstoffen. Grund hierfür sind z. B. besondere Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften, chemische Beständigkeit oder Farbwirkung. Um dies zu erreichen, werden dem Basis-kunststoff Zusatzstoffe wie u. a. Füllstoffe, Weichmacher oder Farbpigmente zugesetzt. Damit wird meist auch das rheologische Verhalten des Materials beeinflusst. Dieses ist jedoch für die Verarbeitung des Materials in den nachfolgenden formgebenden Prozessschritten, wie Spritzguss oder Extrusion, von wesentlicher Bedeutung, weswegen es auch u. a. in der Wareneingangskontrolle geprüft wird [1]. Dabei ist der sog. MFI-Wert (*engl. melt flow index*, Schmelzeflussindex) als Maß für die Fließeigenschaften und somit Verarbeitbarkeit der Compoundschmelze als Qualitätsgröße in der Kommunikation zwischen Materiallieferanten und Verarbeiter weit verbreitet. Dieser Kennwert basiert auf einer Messung der Viskosität bei einer konstanten Schergeschwindigkeit. Die Bedeutung der rheologischen Eigenschaften zur Qualitätsbeurteilung wird auch in einer Studie aus dem Jahr 2008 deutlich, welche die rheologischen Eigenschaften als

wichtigsten Parameter für eine inline Erfassung im Prozess in der Kunststoffaufbereitung identifiziert [2].

Derzeitig übliche Messmethoden zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften sind Rotations- und Kapillarrheometer sowie Schmelzeflussindex-Prüfgeräte. Diese Prüfungen finden nach der Produktion mit zusätzlichen Arbeitsschritten im Labor statt. Dabei verstreicht eine deutliche Totzeit bis zum Vorliegen des Messergebnisses, was im negativen Fall eine Ausschussproduktion und somit wirtschaftlichen Schaden nach sich ziehen kann. Weiterhin erlauben die Stichprobenmessungen auch nur eine bedingt statistische Aussage über die Materialeigenschaften und somit den Prozesszustand und die Produktqualität. Eine prozessbegleitende Messung bieten Online-Kapillarrheometer, welche über einen Bypass direkt an den Produktionsextruder adaptiert werden. Solche Prozessrheometer sind jedoch für hochgefüllte und abrasive Zusatzstoffe nur bedingt geeignet, erfordern zusätzlichen Wartungsaufwand und weisen aufgrund des Bypasses ebenfalls keine 100 %-Kontrolle auf.

Unter Nutzung der Sensorfusion ist es möglich, diese Nachteile bei der Echtzeit-Qualitätskontrolle beim Compoundieren zu umgehen, was in dieser Arbeit genauer untersucht wurde.

Sensorfusion

Unter Sensorfusion versteht man eine Verknüpfung verschiedener Sensoren bzw. deren Messgrößen über ein Modell, um weitere Zielgrößen zu bestimmen. Dies bedeutet, dass die gewünschten Zielgrößen (z. B. Qualitätskennwerte) nicht direkt gemessen, sondern über einen Algorithmus aus physikalischen Messgrößen (z. B. Prozessmessgrößen) berechnet werden [3]. Da dieser Vorgang in Echtzeit erfolgen kann, können somit Zielgrößen berechnet werden, welche alternativ nur mit hohem Zeit- und Arbeitsaufwand synchron zum Prozess bestimmt werden könnten.

Eine Unterscheidung von Sensorfusion zu gängigen Sensoren, welche ebenfalls i. d. R. Ersatzmessgrößen über eine Kalibrierkurve umrechnen, kann anhand der Beziehung zwischen Mess- und Ersatzmessgröße erfolgen. Diese besteht bei gängigen Sensoren meist aus einfach stetigen und streng monotonen Verläufen von maximal zwei unabhängigen Ersatzmessgrößen, wohingegen bei der Sensorfusion komplexe Zusammenhänge von mehreren Messgrößen Anwendung finden [3]. Das Modell bildet als Algorithmus den Zusammenhang zwischen Prozessgrößen und Zielgrößen ab. Daraus abgeleitet ergibt sich die Genauigkeit der Sensorfusion aus der Genauigkeit, mit welcher das Modell die Zielgröße abbildet. Somit kommt der Modellerstellung eine wichtige Bedeutung zu. Hierbei kann zur Modellerstellung auf verschiedene Methoden zurückgegriffen werden.

Die rigorose Modellierung ergibt sich aus bereits bekanntem und somit kausal erklärbarem Systemverhalten, welches vollständig mathematisch ausformuliert werden kann. Da dies jedoch auf die meisten technischen Systeme nicht zutrifft, müssen Vereinfachungen zu Ungunsten der Modellgenauigkeit getroffen werden. Aktuelle rigorose Modelle weisen in den Kunststoffaufbereitungsprozessen eine Abweichung um die 20 % auf [4].

Bei den statistischen Regressionsverfahren wird meist auf lineare Abhängigkeiten oder Potenzfunktionen höherer Ordnung mit freien Parametern zurückgegriffen. Dabei dienen verschiedenste statistische Methoden als Basis. Anwendung finden die statistischen Regressionsverfahren v. a. als Chemometrie in der Spektroskopie.

Einen weiteren Ansatz bilden KNN. In Anlehnung an das biologische Vorbild bestehen diese aus verknüpften Neuronen. Innerhalb des Neurons werden alle empfangenen Eingabewerte individuell gewichtet, anschließend verrechnet und mit einer Transferfunktion abgeglichen, welche den Ausgabewert an die nachfolgenden Neuronen weitergibt. Sowohl die Anpassung der Neuronen als auch der Aufbau der Netztopologie kann im Zuge der

Modellierung auf verschiedene Weisen erfolgen [5]. Vorteil der KNN ist die Möglichkeit, auch in physikalisch schwer beschreibbaren und komplexen Systemen Abhängigkeiten zu erkennen. Daher entspricht diese Art der Mustererkennung einer „Black-Box“-Modellierung, welche für die vorliegende Untersuchung genutzt wurde.

Viskositätsüberwachung mittels Sensorfusion

Zur Echtzeit-Qualitätskontrolle in der Kunststoffaufbereitung wurde exemplarisch die Bestimmung der Viskosität anhand der Prozessgrößen mittels Sensorfusion untersucht. Dazu wurde ein entsprechendes Modell unter Nutzung von KNN gebildet und hinsichtlich seiner Abbildungsgenauigkeit validiert. Als Materialsystem wurde dabei Polyethylen (PE) genutzt. Da zur Modellierung mittels KNN eine ausreichend große Datenbasis aus Viskositätswerten und dazugehörigen Prozessparametern benötigt wird, fanden im Vorfeld Versuche auf einem gleichläufigen Doppelschneckenextruder ZSK 26 Mcc der Firma Coperion GmbH statt. Bei den Versuchen wurde gezielt die Viskosität der Kunststoffschmelze verändert, um ein möglichst breites Spektrum in der zu generierenden Datenbasis zu erzielen. Die Veränderung der Viskosität wurde dabei mittels verschiedener Mischungsanteilen von PE-Materialien mit unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften erzielt. Weiterhin wurde die Viskosität anhand diverser Prozesszustände durch Änderung der Schneckendrehzahl, des Massendurchsatzes sowie der Temperierung des Schneckengehäuses variiert. Zur Ermittlung der Viskosität wurde ein Online-Rheometer in die Anlage integriert und bei einer konstanten Schergeschwindigkeit von 63 s^{-1} betrieben. Parallel zur Viskosität wurden die jeweiligen Prozessparameter aufgezeichnet. Alle Messgrößen können Tabelle 1 entnommen werden.

Tab. 1: Auflistung aller bei der Versuchsdurchführung aufgezeichneten Messgrößen

Messgröße	Einheit	Messort
Durchsatz	kg/h	Dosierwaage
Drehzahl	min^{-1}	Extruderantrieb
Drehmoment	%	Extruderantrieb
Massedruck	bar	Extrudergehäuse
Schmelzetemp.	$^{\circ}\text{C}$	Extrudergehäuse
Gehäusetemp.	$^{\circ}\text{C}$	Extrudergehäuse
Viskosität bei 63 s^{-1}	Pa·s	Online-Rheometer

Da ein Modell nur so gut wie die Daten sein kann, welche zum Modellieren genutzt wurden,

ist im Vorfeld eine Datenaufbereitung notwendig.

Dies betrifft u. a. den kausalrichtigen Zusammenhang der Messdaten. Dabei soll sichergestellt werden, dass sich innerhalb der Daten Ursache und Wirkung korrekt gegenüberstehen. Da alle Messgrößen parallel zur gleichen Zeit aber an örtlich unterschiedlichen Positionen aufgezeichnet werden, charakterisieren sie nicht dasselbe Materialvolumen. Bspw. wirken sich Änderungen infolge von Mischungsveränderungen des Materials erst mit deutlichem zeitlichen Verzug am Online-Rheometer aus, während bereits zuvor die Sensoren im Extruder beeinflusst wurden. Aus diesem Grund fand vorab eine Verweilzeitkorrektur der Messgrößen statt.

Neben der Kausalität müssen die Daten auf Plausibilität und Konsistenz geprüft werden. Das bedeutet, dass die Datensätze innerhalb der Datenbasis einen logischen Zusammenhang und somit keinen Widerspruch aufweisen. Daher müssen alle Datensätze mit denselben Prozessgrößen auch dieselbe Zielgröße (Viskositätswert) aufweisen. Im Falle von Inkonsistenzen, wenn gleiche Prozesswerte unterschiedliche Viskositätswerte in den Datensätzen aufweisen, müssen diese entfernt werden. Dies kann u. a. über eine Clusteranalyse der Prozessgrößen umgesetzt werden.

Da Betriebszustände, welche in der Datenbasis umfangreicher repräsentiert sind, deutlich stärker bei der Modellierung gewichtet und somit genauer abgebildet werden, muss auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung von Prozesszuständen in der Datenbasis geachtet werden. Hierzu können anhand von Clusterungen überrepräsentierte Bereiche erkannt und zusammengefasst werden.

Auf Grundlage der aufbereiteten Datenbasis mit mehr als 1.000 Datensätzen konnten anschließend Modelle unter der Nutzung von KNN gebildet werden. Zum Einsatz kam hierbei NeuroModel® 3.1 von atlan-tec Systems GmbH.

Zur Beurteilung der Modellqualität und Messgenauigkeit der Sensorfusion fand eine Modellvalidierung statt. Dabei wurden dem Modell gemessene Prozessgrößen vorgegeben und die vom Modell berechneten Viskositätswerte mit den tatsächlich vom Online-Rheometer gemessenen Viskositätswerten verglichen.

Die Validierung des PE-Modells zur Bestimmung der Viskosität mit den Datensätzen, welche zur Modellierung genutzt wurden, ergab einen mittleren Fehler von 34 Pa·s. Der Korrelationskoeffizient zwischen Modellberechnung und tatsächlich gemessenen Viskositätswert betrug 0,97 (Abbildung 1). Somit liegt die Messgenauigkeit der Sensorfusion in der Größenordnung eines Online-Rheometers.

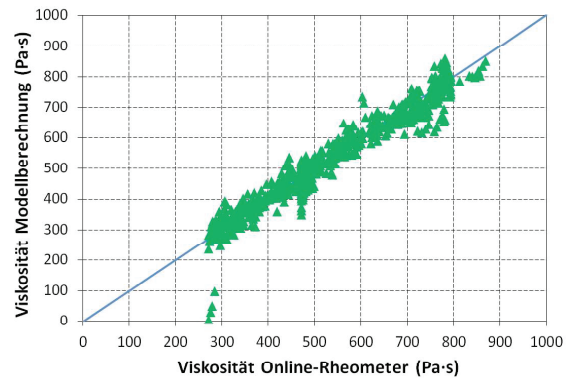


Abb. 1: Korrelationskoeffizienten von 0,97 zwischen Modellberechnung und tatsächlicher Viskositätsmessung: die grünen Dreiecke zeigen, welche berechneten Werte (Ordinate) den gemessenen Werten (Abszisse) entsprechen. Die blaue Linie entspricht einer idealen Übereinstimmung mit der Korrelation von 1.

Problematisch beim Modellieren mit Black-Box-Verfahren ist, dass die Modelle zum Over-Fitting neigen können. Dies bedeutet, dass die Modelle nicht die Prozesssystematik abbilden sondern die genutzten Datensätze direkt wiedergeben. Somit ergäbe eine Validierung mit den bei der Modellierung genutzten Datensätzen eine sehr hohe Korrelation, würde aber bei unbekannten Zwischenzuständen deutliche Berechnungsungenauigkeiten aufweisen. Aus diesem Grund wurde das Modell ebenfalls mit Datensätzen validiert, welche nicht zur Modellierung genutzt wurden. Dies ergab einen mittleren Fehler von 32 Pa·s und eine Korrelation von 0,98 (Abbildung 2).

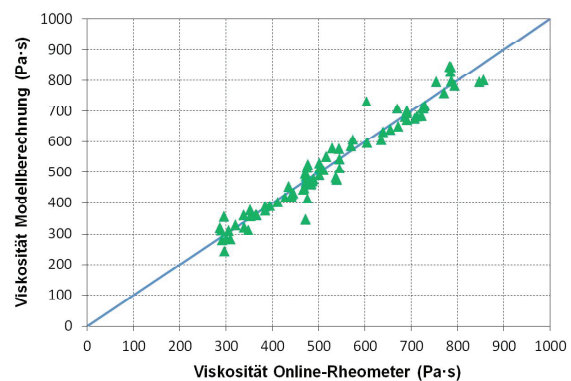


Abb. 2: Validierung des Modells mit bei der Modellierung unberücksichtigten Datensätzen: der Korrelationskoeffizient von 0,98 lässt darauf schließen, dass hier kein Over-Fitting vorliegt.

Anhand der ebenfalls vorliegenden Korrelation der berechneten und gemessenen Viskositätswerte von Datensätzen, welche nicht beim Modellieren genutzt wurden, lässt sich rück-schließen, dass kein Over-Fitting vorliegt. Hie-

raus kann die Annahme getroffen werden, dass das Modell grundsätzlich die Viskosität auf Basis der Prozessdaten berechnen kann. Daher kann eine Echtzeit-Kontrolle der Viskosität im Prozess mittels Sensorfusion realisiert werden.

Untersuchung der Systemgrenzen an simuliertem Chargenwechsel

Das in der Sensorfusion hinterlegte Modell gibt den statischen Zustand wieder, welcher zum Zeitpunkt vorlag, als die Messdaten für die Modellierung aufgezeichnet wurden. Somit können Einflüsse, welche den Prozesszustand verändern aber nicht im Modell abgebildet sind, zu einer deutlichen Berechnungsungenauigkeit der Sensorfusion führen. Hierzu wurde beispielhaft der Einfluss von Materialchargenwechseln auf die Modellgenauigkeit betrachtet.

Ein Chargenwechsel des Kunststoffmaterials kann bei der Verarbeitung mit einer minimalen Änderung des rheologischen Verhaltens des Materials einhergehen. Dies kann zu verändertem Systemverhalten führen, was nicht durch die Sensorfusion erfasst wird. Somit sind der vom Modell wiedergegebene und der tatsächlich vorliegende Zustand nicht mehr identisch, was einer Fehlmessung entspricht.

Um den Chargenwechseleffekt gezielt zu simulieren, wurden PE-Typen mit unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften in verschiedenen Mischungsverhältnissen zudosiert. Dabei wurden die Mischungsverhältnisse der beiden PE-Typen diesmal in deutlich feineren Abstufungen gegenüber den ursprünglichen Versuchen zur Modellgenerierung verändert. Somit wurden nur minimale Änderungen der Schmelzeviskosität analog eines Chargenwechsels erzielt.

Eine Validierung des Modells mit Datensätzen des simulierten Chargenwechseleffektes ergab einen mittleren Fehler von 84 Pa·s und einen Korrelationskoeffizienten von nur 0,17. Die minimalen Änderungen im Materialverhalten haben somit zu deutlichen Abweichungen in der Modellgenauigkeit geführt, sodass über das Modell kein Zusammenhang mehr zwischen Prozesszustand und Viskositätsberechnung vorliegt (Abbildung 3).

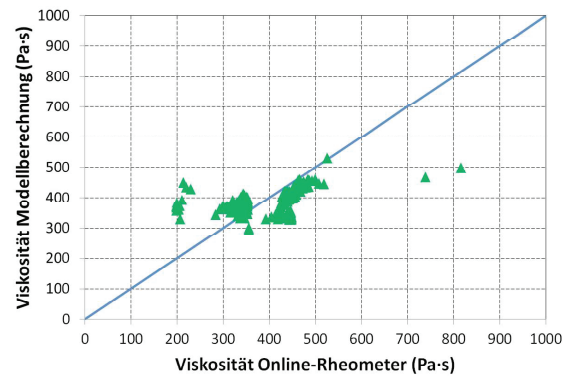


Abb. 3: Einfluss des Chargenwechseleffekts auf die Modellgenauigkeit: aufgrund der unbekannten Prozesseinflüsse liegt kein Zusammenhang zwischen Prozessgrößen und Viskositätsberechnung mehr vor.

Eine Möglichkeit zum Anpassen des Modells an neue Prozesszustände bietet das Nachmodellieren. Dabei wird das Modell mit weiteren Datensätzen, welche unter dem neuen Prozesszustand generiert wurden, nachmodelliert. Somit sind dem Modell die neuen Prozesszustände bekannt und werden entsprechend bei der Berechnung berücksichtigt.

Zum Nachmodellieren kamen 250 Datensätze zum Einsatz, welche unter simuliertem Chargenwechseleinfluss aufgezeichnet wurden. Eine Validierung des nachmodellierten Modells ergab einen mittleren Fehler von 22 Pa·s. Der Korrelationskoeffizient liegt bei 0,91. Somit konnte eine deutliche Verbesserung der Modellgenauigkeit erreicht werden (Abbildung 4).

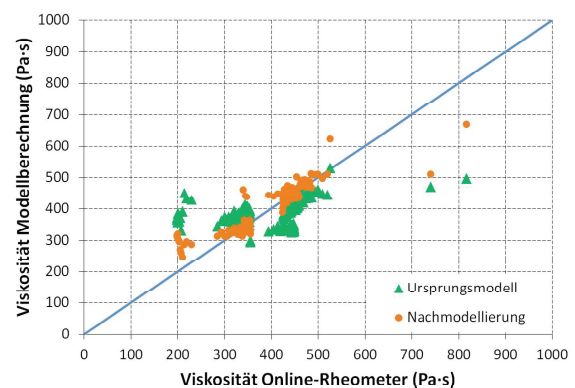


Abb. 4: Die Verbesserung der Modellgenauigkeit der Validierung unter Chargenwechseleinfluss zeigt sich durch das Heranrücken der Berechnungswerte der Nachmodellierung (orangenen Punkte) an den idealen Korrelationskoeffizienten von 1 (blaue Linie) gegenüber den Werten des Ursprungsmodells (grüne Dreiecke).

Je umfangreicher dabei die Datenbasis zur Nachmodellierung ist, desto genauer kann das Modell an die neue Situation angepasst wer-

den. Somit muss an dieser Stelle eine Abwägung zwischen erforderlicher Modellgenauigkeit und Aufwand zur Datengenerierung getroffen werden. Grundsätzlich ist jedoch meist eine Anpassung des Modells zur Funktionserfüllung an neue Prozesszustände mittels der Nachmodellierung möglich.

Überwachung der Blendzusammensetzung

Um neben der Viskositätsüberwachung weitere Anwendungsmöglichkeiten der Sensorfusion in der Kunststoffaufbereitung zu evaluieren, wurde die Möglichkeit zur Überwachung der Blendzusammensetzung untersucht.

Unter Polymerblends versteht man die Mischung von mehreren Polymertypen, um gewünschte Materialeigenschaften zu erzielen. Dabei unterscheidet man hinsichtlich ihrer molekularen Mischbarkeit. Zum Erzielen der gewünschten Materialeigenschaften sind neben den Prozesseinstellungen die Mischungsanteile der jeweiligen Komponenten von Bedeutung. Im Zuge der Untersuchungen wurden Modelle für einen unmischbaren Polymerblend aus PE und Polypropylen (PP) sowie einen teilmischbaren Blend aus Styrol-Acrylnitril (SAN) und Polycarbonat (PC) gebildet und hinsichtlich ihrer Modellgenauigkeit validiert.

Für die Modellbildung des unmischbaren PE/PP Blend kamen 18.000 Datensätze zum Einsatz. Referenzgröße zur Validierung der Modellberechnung bildete der %-Gewichtsanteil des PE-Materials, welcher mittels Dosierwaagen dem Extruder zugeführt wurde. Die Validierung mit Datensätzen, welche nicht bei der Modellierung genutzt wurden, ergab dabei einen mittleren Fehler von 3,2 Gew.-% PE-Anteil. Der Korrelationskoeffizient beträgt dabei 0,97. Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf einer Messreihe über die Anzahl der Datensätze mit unterschiedlichen PE-Anteilen auf. Dabei zeigt sich, dass die Modellberechnung den Änderungen der Mischungsverhältnisse über die Dosierwaagen folgt.

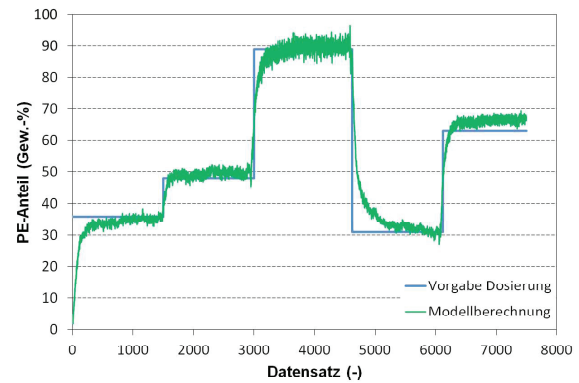


Abb. 5: Vergleich der Modellberechnung (dünne grüne Linie) gegenüber den über die Dosierwaagen zugeführten PE-Anteilen (dicke blaue Linie) in einem PE/PP-Blend

Die zeitlich verschobenen Übergänge sind dabei auf die verzögerten Veränderungen der Prozessgrößen im Zuge des Spülvorgangs zwischen den Prozesszuständen zurück zu führen. Aufgrund der vorliegenden Korrelation zwischen Prozessgrößen und Mischungsanteil von PE über das Modell kann unter Nutzung der Sensorfusion eine Echtzeitüberwachung der PE/PP-Blend-zusammensetzung im Prozess realisiert werden.

Die Modellierung des teilmischbaren SAN/PC-Blends erfolgte auf Grundlage von 16.000 Datensätzen. Die Zielgröße des Modells stellte dabei der Gew.-% Anteil von SAN im Materialsystem dar. Eine Validierung mit bei der Modellierung unbenutzten Datensätzen ergab einen mittleren Fehler von 6,0 Gew.-%. Die Korrelation lag bei 0,84. Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Modellberechnung gegenüber der Dosierungsvorgabe. Die zeitlichen Verschiebungen sind hierbei ebenfalls auf die Spülvorgänge zwischen den Prozesszuständen zurück zu führen. Es zeigt sich dennoch, dass das Modell den genauen Verlauf der SAN-Anteile nur tendenziell abbilden kann. Grund hierfür könnte die niedrige Viskosität des SAN-Materials sein, welches sich somit bspw. deutlich weniger auf das Drehmoment auswirkt. Aus diesem Grund wirken sich die Materialänderungen nicht ausreichend stark auf die Prozessgrößen aus, um über die Sensorfusion erfasst zu werden. Infolgedessen kann das Modell keine Korrelation zwischen den Prozessparametern und dem SAN-Anteil aufzeigen.

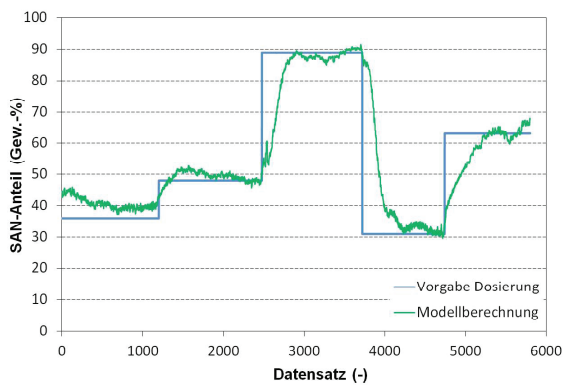


Abb. 6: Verlauf des Anteils von SAN im Blendgemisch laut Berechnung des Modells und die tatsächlich über die Dosierung vorgegebenen Mischungsanteile

Zusammenfassung und Ausblick

Derzeitige Echtzeit-Messverfahren in der Kunststoffaufbereitung können nur in bestimmten Fällen die Qualität bei der Kunststoffaufbereitung überwachen und müssen meist entkoppelt vom Hauptproduktstrom angewendet werden. Die aktuell gängigen Labormessungen benötigen neben den zusätzlichen Arbeitsschritten auch einen deutlichen Zeitaufwand bis zum Vorliegen des Messergebnisses. Somit kann hier erst verzögert auf Prozess- oder Materialfehler reagiert werden, was somit einen wirtschaftlichen Schaden nach sich zieht. Eine Alternative kann hier die Sensorfusion bieten, welche mittels eines hinterlegten Modells über die Prozessdaten auf die Produktqualität schließen kann.

Im Zuge dieser Arbeit konnte unter Nutzung von KNN ein Modell zur Bestimmung der Viskosität von PE-Schmelze gebildet werden. Eine Validierung mit bei der Modellbildung ungenutzten Daten zeigt eine Korrelation zwischen den Prozess- und der Qualitätsgröße auf. Aufgrund des statischen Zustands des Modells ergaben simulierte Chargenwechseleffekte große Abweichungen bei der Modellgenauigkeit. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass durch Nachmodellierung mit Datensätzen des neuen Systemzustands das Modell an die neue Situation angepasst werden kann.

Weiterhin wurde als weiterer Anwendungsfall für die Sensorfusion in der Kunststoffaufbereitung die Überwachung der Mischungsanteile von Polymerblends untersucht. Dabei zeigte sich, dass vor allem die Bestimmung des PE-Anteils in unmischbaren PE/PP Blends möglich war. Die Validierung des teilmischbaren SAN/PC Blends zeigte unter den hier gewählten Einstellungen lediglich eine Tendenz, jedoch keine eindeutige Korrelation.

Da die Einsatzmöglichkeiten der Sensorfusion relativ offen gestaltbar sind, ergeben sich eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten und Potenziale für den Einsatz in der Kunststoffaufbereitung. Mit Hilfe der Echtzeitfähigkeit zur Prozessüberwachung ist eine Realisierung von geschlossenen Regelkreisen möglich. Dabei können frühzeitig Prozessabweichungen detektiert und rechtzeitig selbstständig Gegenmaßnahmen initiiert werden.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit bietet die Sensorüberwachung. Dabei können Sicherheitsgrößen in der Anlage über die Sensorfusion mittels Prozessgrößen berechnet werden und somit die Funktionstüchtigkeit der Sicherheitssensoren im Prozess gegengeprüft werden.

Da die Modelle mittels ihres Algorithmus die Zielgröße aus den Prozessgrößen berechnen, können im Umkehrschluss auch die Prozessgrößen zum Erreichen einer angestrebten Zielgröße berechnet werden. Somit kann die Sensorfusion ebenfalls zum Auffinden von wirtschaftlichen und qualitativ sinnvollen Betriebspunkten der Prozessanlage genutzt werden.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17165 N der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das SKZ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Literaturnachweis

- [1] A. Frick, C. Stern, *Praktische Kunststoffprüfung*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2010
- [2] T. Hochrein, K. Kretschmer, M. Bastian, *Untersuchung der Potenziale neuer Messmethoden zur Verbesserung der Marktposition von KMU in der Kunststoffaufbereitung*, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.) Sachbericht Aktenzeichen 3621b-IBS/e-32451/06-IGF-0610-0006, Würzburg, 2008
- [3] T. Hochrein, I. Alig, *Prozessmesstechnik in der Kunststoffaufbereitung*, Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg, 2011
- [4] J. Rudloff, M. Bastian, P. Heidemeyer, K. Kretschmer, *Modellierung von Planetwalzextrudern*, *Kunststoffe* 6, 55-58, 2011
- [5] A. Scherer, *Neuronale Netze: Grundlagen und Anwendungen*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1997