

VDI

K

Spritzgießen 2020

KUNSTSTOFFTECHNIK

Spritzgießen 2020

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

ISBN 978-3-18-234355-4

VDI-Programmausschuss Spritzgießtechnik

Dipl.-Ing. Roland Dörner, *Tente-Rollen-GmbH, Wermelskirchen*

Dipl.-Ing. Bernhard Hoster, *GIRA Giersiepen GmbH & Co. KG, Radevormwald*

Dipl.-Ing. Kerstin Krallmann, *Erwin Quarder Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG, Espelkamp*

Prof. Dr.-Ing. Karl Kuhmann, *Evonik Resource Efficiency GmbH, Marl*

Dipl.-Ing. Norbert Nobbe, *Pöppelmann Holding GmbH & Co. KG, Lohne*

Dipl.-Ing. Guido Peters, *gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen*

Dipl.-Ing. Univ. Steffen Reuter, *Kunststoff Schwanden AG, Schwanden (Schweiz)*

Dr. Marco Wacker, *Uvex Arbeitsschutz GmbH, Fürth*

Dr.-Ing. Thomas Walther, *ARBURG GmbH & Co. KG, Loßburg*

Dr.-Ing. Martin Wanders, *Lanxess Deutschland GmbH, Dormagen*

Dipl.-Ing. Martin Würtele, *KraussMaffei Technologies GmbH, München (Vorsitz)*

Inhalt

Plenarvorträge

- Kreislauftechnik von Kunststoffen – Rückblick K-Messe, was war neu**
Prof. Dr.-Ing. H. J. Endres, Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik IKK, Leibniz Universität Hannover 1
- Mikroplastik: Quellen, Mengen und Möglichkeiten der Reduzierung**
L. Hamann, J. Bertling, R. Bertling, T. Weber, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen 7
- Vollautomatische modellgestützte Einrichtung von Spritzgießprozessen – Unterstützung des Einrichters durch vollvernetzte Produktionszellen**
S. Wurzbacher, M.Sc., Dipl.-Ing. M. Schmitz, Y. Lockner, M.Sc., B. Liu, M.Sc., Dr.-Ing. M. Röbig, Prof. Dr.-Ing. C. Hopmann, Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen, Aachen 15
- Closed-Loop in der Nachhaltigkeit – Der Lebenslauf einer Filterkartusche**
Prof. Dr.-Ing. T. Schröder, L. Rieming, Institut für Kunststofftechnik Darmstadt (ikd), Darmstadt 27
- Ganzheitlicher Einsatz von digitalen Methoden im Freigabeprozess**
S. Heienbrock, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. W. Guth, Hochschule Esslingen, Labor für Kunststofftechnik, Esslingen 29

Nachhaltiger Materialeinsatz

- Umsetzung vom physikalischen Schäumverfahren in der Serie**
Dipl.-Ing. (FH) J. Götzelmann, M. Benitez, Magna Exteriors GmbH, D-Sailauf; Dr. Pavel Petera, Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o., CZ-Liberec 37
- Hohlprofil-Hybridtechnik – Intelligenter Materialeinsatz für Strukturbauteile in der automobilen Großserie**
Dr.-Ing. M. Theunissen, B. Koch, Dr.-Ing. M. Wanders, LANXESS Deutschland GmbH, Köln 45
- Hochleistungspolymere für intelligente und funktionelle Bauteile – Nachhaltiger Materialeinsatz**
Dipl.-Ing. F. Lorenz, Prof. Dr.-Ing. K. Kuhmann, Evonik Resource Efficiency, Marl 55

Qualitätsgesicherte Regranulate für hochwertige Spritzgussprodukte <i>Dipl. Kauf. T. Kriele MBA, B.Sc. Wirt.-Ing. M. Kiffmeyer, geba Kunststoffcompounds GmbH, Ennigerloh</i>	59
---	----

Sandwich-Spritzgießen – ein Beitrag zur besseren Verwertung von Recycling-Kunststoffen <i>Dr.-Ing. V. Reichert, A&E Produktionstechnik GmbH, Dresden; A. Handschke, KraussMaffei Technologies GmbH, München</i>	69
---	----

Ressourceneffiziente Prozessführung

Virtuelle Produktionsassistentz im Spritzgießprozess <i>Dr.-Ing. K. Saul, SHS plus GmbH, Dinslaken</i>	89
--	----

KI-System für robuste Produkte und stabile Prozesse am Praxisbeispiel <i>Dipl.-Ing. F. Thurner, Contech Software & Engineering GmbH, Fürstenfeldbruck</i>	93
---	----

Servo-angetriebene Heißkanalsysteme – Erweiterte Prozessmöglichkeiten und signifikante Qualitätsverbesserung <i>Dipl.-Ing. S. Berz, HRSflow GmbH, Frankfurt/M.</i>	103
--	-----

Ausschussreduktion durch automatisierte Datenanalyse – Anomalieerkennung von Prozessdaten <i>Dr. M. Wank, Dr.-Ing. S. Kruppa, M. Busl, KraussMaffei Technologies GmbH, München</i>	105
--	-----

Energieeffiziente Temperierung – Sind Klimaschutz und wirtschaftliche Kaufinteressen vereinbar? <i>R. Radke, gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen</i>	107
--	-----

Stellschrauben für die Zykluszeitoptimierung am Beispiel der Pflanztopffertigung <i>Dipl.-Ing. (FH) G. Orschulik, Pöppelmann, Lohne</i>	127
---	-----

Kreislauftechnik von Kunststoffen

– Rückblick K-Messe, was war neu

Prof. Dr.-Ing. H. J. Endres,
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik IKK,
Leibniz Universität Hannover

Kunststoffe - betrachtet aus entsorgungstechnischer Sicht

Der Siegeszug der Kunststoffe begann einst mit der Errungenschaft, dass es gelang, aus nicht beständigen Naturstoffen wie Naturlatex, Pflanzenölen, Casein oder Cellulose beständige Werkstoffe für langlebige Anwendungen herzustellen. Inzwischen werden die wertvollen langlebigen Polymerwerkstoffe jedoch oft für kurzlebige Einwegprodukte eingesetzt, deren ordnungsgemäße Entsorgung nicht sichergestellt ist.

Ein weiterer Grund für die Erfolgsgeschichte der Kunststoffe liegt darin, dass sich das Eigenschaftsprofil der Polymerwerkstoffe in weiten Bereichen an die Anwendung anpassen lässt. Die Kunststoffhersteller und Verarbeiter haben dazu eine Vielzahl an preiswerten Werkstoffen mit variablen Eigenschaften entwickelt. Auch hier hat sich die Situation parallel zum Erfolg der Kunststoffe umgekehrt –vielleicht sogar gerade deswegen.

Es zeigt sich zunehmend, dass die vorteilhaften Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften mit ökologischen Nachteilen und Herausforderungen bei der umweltgerechten Entsorgung verbunden sind. So bedeutet die chemische Beständigkeit während des Gebrauchsphase gleichzeitig eine hohe Haltbarkeit nach dem Gebrauch und damit Persistenz in der Umwelt; die gute Verarbeitbarkeit mit flexibler Formgestaltung führt zu einem großen Müllaufkommen; und die breite sowie kostengünstige Auswahl an Materialtypen und Additiven sowie Farbgestaltungen ermöglicht maßgeschneiderte Werkstoffe, die jedoch ein sortenreines, hochwertiges Recycling erschweren.

Da jedoch auch in Zukunft Polymerwerkstoffe zur Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse unverzichtbarer denn je sein werden, gibt es zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft im Kunststoffbereich keine Alternative. Deshalb ist es nur logisch, dass „Circular Economy“ als Leitthema der diesjährigen Weltmesse K 2019 in jeder Halle nahezu an jedem Stand und auch auf allen Außenflächen präsent war. Dabei wurde gar nicht mehr so sehr darüber diskutiert,

ob die Circular Economy das zukunftsweisende Thema der Kunststoffindustrie sein wird, sondern man war inhaltlich schon ein Schritt weiter: Es rückten progressive Fragestellungen nach dem „Wie“, „Wer“ sowie „Wer mit wem“ in den Vordergrund.

Das Kunststoffrecycling ist absolut kein neues Thema. Es hat sich jedoch ein Bewusstsein entwickelt, dass die Verantwortlichkeit zur Etablierung eines hochwertigen Kunststoffrecyclings als elementarer Baustein einer Kreislaufwirtschaft nicht mehr ausschließlich nur beim Recycler oder Entsorger, sondern diese vielmehr entlang der gesamten Wertschöpfungskette liegt (**Bild 1**). Statt einzelner Aktivitäten oder „Insellösungen“ schließen sich zunehmend verschiedene Akteure zusammen. So ergibt ein „Design for Recycling“ nur Sinn, wenn die entsprechenden Produkte auch recycelt werden und es gleichzeitig ein Produktdesign für den Einsatz der resultierenden Rezyklate gibt.



Bild 1: Kreislaufwirtschaft schließt alle Akteure der Wertschöpfungskette ein.

Auf vielen Bühnen auf der K-Messe, wie dem Stand von PlasticsEurope oder dem VDMA-Pavillon, haben zahlreiche Akteure über die gesamte Messezeit unterschiedlichste Lösungsansätze für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft vorgestellt. So gab es konkrete Anwendungsfälle für ein recyclinggerechteres Design und den Wiedereinsatz von Rezyklaten. Beispiele dafür sind Waschmittelflaschen, die nicht mehr über das Material selbst, sondern mit sogenannten Shrink Sleeves (Schrumpffolienetiketten) eingefärbt werden, die sich nach dem Gebrauch problemlos entfernen lassen oder Zweikomponentenlösungen, bei denen sich das Rezyklat im Kern und die Neuware außen befindet.

Ebenso präsentierten sich viele neue Netzwerke, Stiftungen, Allianzen und Partnerschaften, die gemeinsam den Weg vom linearen Wirtschaftsdenken zur Kreislaufwirtschaft beschreiten wollen. Diese Allianzen adressieren dabei unter Einbindung zukunftsorientierter Materialhersteller und Markeninhaber (Brand Owner) insbesondere das Verbraucherbewusstsein, die Abfalllogistik und die Politik. Beispiele für derartige sowohl gezielt regional als auch global agierende Stiftungen sind die Ellen MacArthur Foundation, die Oak Foundation oder The Ocean

Cleanup Foundation. Die gewählten Ansätze sind sehr vielfältig und berühren dabei unterschiedliche Bereiche der Circular Economy. So setzt sich beispielsweise die Oak Foundation seit 2014 gemeinsam mit zahlreichen NGOs, wie WWF, Zero Waste Europe, Greenpeace, Alliance to End Plastic Waste oder Ocean Conservancy, für eine Reduzierung von Einwegprodukten aus Kunststoff ein oder hat die Trash Free Seas Alliance einen Investmentfonds ins Leben gerufen, um das Abfallmanagement und die Recyclingsysteme in Südostasien voranzubringen.

Circular Economy als Chance für die Kunststoffbranche

Darüber hinaus wird die Kreislaufwirtschaft auch zunehmend als Chance für die Kunststoffbranche verstanden. So entstehen viele neuartige Allianzen, Firmenverbünde und Partnerschaften zwischen Kunststoffherstellern, Brand Ownern, Entsorgern und Kunststoffrecyclern, um vermehrt Kreislaufösungen zu etablieren oder gemeinsam als Technologieführer entsprechende Lösungen zu entwickeln.

Materialhersteller engagieren sich zunehmend auch bei Fragestellungen, die am Lebensende eines Kunststoffprodukts wichtig sind, und zeigen beispielsweise Ansätze auf, die den Aufbau von Abfalllogistiksystemen in Entwicklungsländern unterstützen. Auf technischer Seite treiben die Materialhersteller insbesondere verschiedene chemische oder rohstoffliche Recyclingansätze voran. Die Übernahmen des Recyclers mtm plastics durch Borealis, des Aufbereiters QCO durch LyondellBasell und der Wipag GmbH durch Albis sind Beispiele dafür, wie Materialhersteller Unternehmen im Bereich des mechanischen Recyclings in ihre Strukturen integrieren.

Die Hersteller von Reinigungs- und Recyclinganlagen arbeiten kontinuierlich an der Optimierung der Prozesse und noch intelligenteren Maschinen, um die Zusammensetzung der Inputströme besser zu analysieren, die Vorgänge innerhalb der Maschine durch entsprechende Inline-Diagnostik reproduzierbar zu erfassen und schließlich die Qualität der Outputströme zu erhöhen und zu kontrollieren. Darüber hinaus haben die klassischen Maschinenhersteller wie KraussMaffei, Reifenhäuser oder Erema den Mut, ihre „Komfortzone“ zu verlassen – sie entwickeln neue Recycling-Ansätze, z.B. Handelsplattformen für Anbieter und Nutzer von Rezyklaten („Polymore“), Handy-Apps zur Ermittlung des Rezyklatanteils und der Recyclingfähigkeit einer Verpackung („cheqpass“) oder zur Dokumentation des Vorlebens der Produkte im Inputstrom der Recycler („R-Cycle“).

Im Bereich der Recyclingprozesse selbst werden neben der Anlagentechnik auch innovative Methoden weiterentwickelt. Forschungseinrichtungen wie das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) oder Recyclingunternehmen wie APK befassen sich mit der

Frage, wie sich die Inputströme verbreitern lassen oder gezielt einzelne Kunststofffraktionen in gemischten Abfallströmen wieder gewonnen werden können, und kümmern sich zunehmend auch um das Recycling von technischen Kunststoffen oder Multilayerfolien auf Basis von lösemittelbasiertem Recycling, d.h. eine Kombination aus physikalischen und chemischen Verfahrensschritten zur Rückgewinnung der Polymere.

Auch in der Forschung wurden neuartige Ansätze aufgezeigt, beispielsweise um Kunststoffe oder Verpackungen spezifisch zu markieren. So erlauben spezielle Markertechnologien, beispielsweise das von Polysecure entwickelte Markierungsverfahren von Kunststoffen ein sogenanntes „Tracer-Based Sorting“, oder aufgedruckte Hologramme ermöglichen es gezielt ein Produkt oder das eigene Material im Abfallstrom zu identifizieren und zu separieren.

Ein anderes Beispiel für Forschungsansätze zur Optimierung der Recyclingfähigkeit sind IR-taugliche Farben auch zur Schwarzeinfärbung von Kunststoffprodukten. Die Wissenschaft entwickelt schwarze Farben, die dennoch eine IR-spektroskopische Materialidentifizierung zulassen. Auch in den Bereichen der Sortier-, Aufbereitungs- und Recyclingtechnologie selbst wird geforscht, zum Beispiel an Einsatz von KI-Systemen zur Verbesserung der NIR-Sortierung, dem Einsatz der Lasertechnologie zur Identifizierung, wasserlosen Waschprozessen oder mobilen Recyclinganlagen.

Ein weiterer Aspekt ist das zunehmende Bewusstsein, dass entsprechende Qualitätsstandards für Rezyklate unerlässlich sind. Diese sind derzeit noch sehr lückenhaft, gleichzeitig sind sie jedoch auch die Basis für die Qualitätsbewertung und den Handel mit hochwertigen Rezyklaten. Daher bilden sich auch in diesem Bereich zunehmend neue Partnerschaften unter Einbindung der Wissenschaft aus.

Ausblick

Diese Beispiele stellen nur einen Ausschnitt aus einer Vielzahl an positiven und anregenden „Circular Economy“-Ansätzen dar, die auf der K-Messe gezeigt wurden. Zusammenfassend kann man sagen, dass auch die Recyclingfähigkeit eines Kunststoffprodukts zunehmend ein Leistungsindikator werden wird, ebenso wie z.B. die mechanischen Kennwerte, Barriereeigenschaften oder die Eignung zur Spritzgießverarbeitung. Die K 2019 hat gezeigt, dass nicht nur die Politik und die Verbraucher sensibilisiert sind, sondern dass auch die Kunststoffindustrie bereit ist, sich dieser Aufgabe zu stellen, um zukünftig mit dem gleichen Engagement und Erfolg Kreislaufkonzepte zu entwickeln, mit dem man in den letzten 100 Jahren die Kunststoffe und deren Verarbeitungstechnologien entwickelt hat.

Nach der Messe gilt es nun, dieses positive Momentum für ein nachhaltiges Wirtschaften mit Kunststoffen mitzunehmen. Die Kreislaufwirtschaft ist eine Chance für die Kunststoffindustrie

und zugleich auch für die Gesellschaft, denn damit können die Bedürfnisse von morgen sowohl in den Industrie- als auch in den Schwellen- und Entwicklungsländern ohne Verlust an Lebensqualität auf möglichst nachhaltige und ökonomische Weise befriedigt werden.

Die Industrienationen können und sollten ihrer Rolle als Technologieführer auch hier gerecht werden. Nachdem von den Industrienationen die Kunststofftechnologie und die Kunststoffanwendungen in die Schwellen- und Entwicklungsländer transferiert wurden, sollte von den Industrienationen ebenfalls auch der verantwortungsvolle Umgang mit den Kunststoffen und die Kreislauftechnik vorangetrieben werden.

Der Autor

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres ist Leiter des IKK - Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik der Leibniz Universität Hannover (LUH); endres@ikk.uni-hannover.de

Mikroplastik: Quellen, Mengen und Möglichkeiten der Reduzierung

L. Hamann, J. Bertling, R. Bertling, T. Weber,
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT, Oberhausen

Kurzfassung

Inzwischen kann man sicher sein, dass Kunststoffe in jedem Umweltkompartiment vorkommen, ob Luft, Wasser, Boden, Tiefsee oder Arktis. Durch fehlgeleiteten Müll oder Abrieb und Verwitterung unserer Kunststoffe im Alltag werden diese freigesetzt. In Deutschland sind das insgesamt etwa 5,4 kg pro Kopf und Jahr. Ein Großteil machen dabei kleine Partikel und Fasern aus, sogenanntes Mikroplastik. Obwohl die Wirkungen auf Organismen, Ökosysteme oder den Menschen aktuell nicht abschätzbar sind, gibt es ausreichend Hinweise, die dazu anregen, unsere Kunststoffemissionen zu reduzieren. Durch die komplexe Problematik ist deswegen die Zusammenarbeit von Forschungsinstituten, Unternehmen, Politik und Gesellschaft gefragt¹.



Bild 1: Kunststoffe am Strand von Frankreich (links) oder direkt vor unserer Haustür, zum Beispiel in Oberhausen (rechts) (© Fraunhofer UMSICHT)

¹ Der Artikel basiert auf dem Bericht:

Bertling, Jürgen; Bertling, Ralf; Hamann, Leandra: Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik - Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen, Juni 2018

Erste Definitionen und Klassifizierung zur Orientierung

Der Begriff Mikroplastik wurde erstmalig 2008 definiert [1]. Ein kritischer Blick auf die Chronologie zeigt, dass die Begriffsbildung zumeist auf Basis physikalischer Eigenschaften (Form, Größe, Material) und formaler oder pragmatischer Erwägungen (Abgrenzung zu Nanopartikeln, Inkludierung von Kunststoffrohmaterial, verfügbare Messtechnik etc.) erfolgte. Eine problemorientierte Begriffsschärfung, die sich aus umweltwissenschaftlicher Perspektive die Festlegung einer Ober- und Untergrenze sowie die Eingrenzung auf relevante Stoffgruppen zum Ziel gesetzt hat, hat es bis heute nicht gegeben. Heutige Definitionen können daher nicht mehr bieten als eine grobe Orientierung und Einengung des Anwendungsbereichs. Öko- oder humantoxikologische Erkenntnisse liegen ihnen nicht zugrunde. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass durch eine vorschnelle Festlegung von Größenbereichen und Stoffgruppen bei einer erwartbaren zukünftigen Regulierung bestimmte Gefährdungen unberücksichtigt bleiben, sofern heutige Definitionen, die zumeist der wissenschaftlichen Kommunikation und Vereinheitlichung dienen, unreflektiert als Legaldefinitionen übernommen werden.

Fraunhofer UMSICHT schlägt aufgrund der beschriebenen Limitierungen eine erweiterte Definition vor. Für Fraunhofer UMSICHT bezeichnet Mikroplastik Partikel und Fasern - Makroplastik bezeichnet größere Objekte aus thermoplastischen, elastomeren oder duroplastischen Kunststoffen, die unter Standardbedingungen fest sind und direkt oder indirekt durch menschliches Handeln in die Umwelt gelangen. Die Autor*innen schlagen außerdem vor, auf eine exakte Festlegung und Unterteilung des Größenbereichs < 5 mm in Definitionen zu verzichten und auch keine Anforderungen zur Bioabbaubarkeit oder Löslichkeit festzulegen, sondern diese relevanten Punkte in die konkrete Ausgestaltung von Gesetzen und Maßnahmen zu verlagern.

Bei gezielt hergestelltem Mikroplastik handelt es sich um primäres Mikroplastik Typ A. Beispiele für diesen Typus sind Reibkörper in Kosmetik, polymere Strahlmittel, Lasersinterpulver für den 3D-Druck oder Kunststoffpellets (Resin Pellets), die in der Industrie ein wichtiges Halbzeug darstellen. Die Freisetzung von primärem Mikroplastik Typ A kann intendiert, bewusst in Kauf genommen oder durch einen Unfall verursacht sein. Im Gegensatz dazu entsteht primäres Mikroplastik Typ B erst in der Nutzungsphase. Beispiele hierfür sind der Abrieb von Reifen, beim Waschen freigesetzte, synthetische Fasern oder verwitternde Kunststofflacke und -farben. Die Entstehung ist häufig nur schwer vermeidbar, die Reduktion der Freisetzung eine Innovationsaufgabe. Sekundäres Mikroplastik, als dritter Typ, entsteht durch Verwitterung und Fragmentierung von Makroplastik, bspw. Kunststoffabfälle, in der Umwelt. Dabei gelangt Makroplastik vor allem durch umweltoffene Müllablagerung und Lit-

tering in die Umwelt. Da über die konkreten Mechanismen und Kinetiken der Umwandlung von Makro- zu Mikroplastik innerhalb der Umwelt noch wenig bekannt ist, macht es aus heutiger Sicht Sinn, die Makroplastikemissionen mit in eine Gesamtbetrachtung von Kunststoffemissionen einzubeziehen.

Die Einteilung gemäß Abbildung 1 hilft nicht nur in Bezug auf eine Schärfung der Begriffe, sondern sie gibt bereits erste Hinweise auf die Verteilung der Verantwortung. Während die Verantwortung für primäres Mikroplastik von Typ A und B beim Hersteller liegt, liegt die Verantwortung für die Vermeidung von Makroplastik und damit die Entstehung von sekundärem Mikroplastik vor allem bei Verbraucher*innen und Staat. Dabei muss letzterer geeignete Anreizsysteme zur Vermeidung von Littering und illegaler Müllentsorgung schaffen.

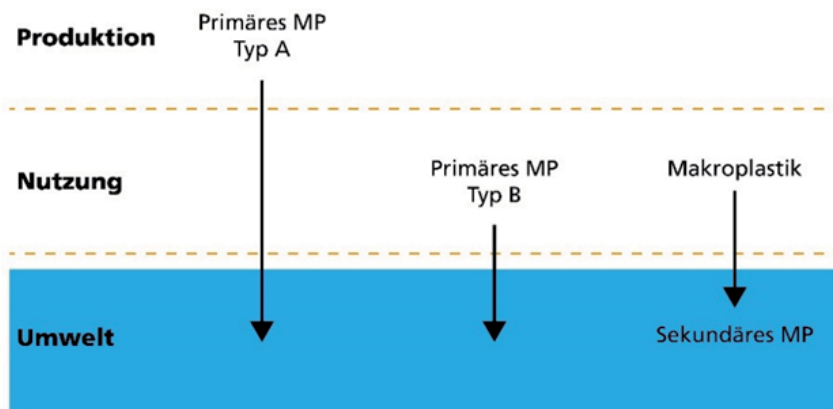


Bild 2: Einteilung von Kunststoffemissionen in primäres Mikroplastik vom Typ A und Typ B sowie Makroplastik, das im Laufe der Zeit zu sekundärem Mikroplastik wird [1]. (© Fraunhofer UMSICHT)

3/4 der Kunststoffemissionen stammen aus Mikroplastik

Bei den Quantifizierungen zu Mikroplastik stellt das Fehlen experimenteller Daten ein Problem dar. Deswegen beruhen die berechneten Mengen auf Abschätzungen zu Bestand, Produktion oder Verbrauch von Kunststoffen. Zum jetzigen Zeitpunkt sollen die ermittelten Werte vor allem aufzeigen, wo Bedarf für eine vertiefte Analyse ist. In Tabelle 1 ist die Top 10 der abgeschätzten Emissionsmengen zu sehen.

Tabelle 1: Absätzungen der Emissionsquellen und -mengen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Konsortialstudie im Juli 2018.

Nr.	Quelle	Emissionen [g/(cap a)]		
		UMSICHT	Werte anderer Autoren	
			Min.	Max.
1	Abrieb Reifen	1 228,5	49,6	1 357,0
2	Freisetzung bei der Abfallentsorgung	302,8	-	-
3	Abrieb Bitumen in Asphalt	228,0	1,5	1,5
4	Pelletverluste	182,0	0,5	2 567,2
5	Verwehungen Sport- und Spielplätze	131,8	-	-
6	Freisetzung auf Baustellen	117,1	-	-
7	Abrieb Schuhsohlen	109,0	17,5	175,4
8	Abrieb Kunststoffverpackungen	99,1	-	-
9	Abrieb Fahrbahnmarkierungen	91	19,3	121,1
10	Faserabrieb bei der Textilwäsche	76,8		

Die mit Abstand größte Kunststoffemissionsquelle ist der Reifenabrieb [2]. In dem Verbundforschungsvorhaben TyreWearMapping² befasst sich Fraunhofer UMSICHT mit der Kartierung von Reifenabrieb für Deutschland. Neben der Verteilung von Reifenabrieb und der Ausbreitung über die Luft wird an zwei Flusseinzugsgebieten exemplarisch die Ausbreitung von Reifenabrieb im Gewässer modelliert. In der Liste der wichtigsten Emissionsquellen folgen nach dem Reifenabrieb Verluste bei Transport und Behandlung von Abfällen, Abrieb von Bitumen in Asphalt und Pelletverluste. Die bisher berechneten 44 Quellen ergeben summiert Kunststoffemissionen von 2 741 g/(cap*a) [2]. Unter der Annahme, dass mit den bekannten Quellen mengenmäßig ca. 2/3 erfasst wurden, lässt sich die Gesamtmenge der Emissionen primären Mikroplastiks auf ca. 4 000 g/(cap*a) bzw. 330 000 t/a für Deutschland schätzen.³

Die mit dem Kunststoffverbrauch korrelierenden Emissionen belaufen sich auf ca. 446 000 t/a (entsprechend ca. 5,4 kg/(cap*a)). Dies entspricht rund 3 % des in Deutschland insgesamt verbrauchten Kunststoffs. Die Kunststoffemissionen bestehen dabei zu ca. 26 % aus

² Das Verbundprojekt »TyreWearMapping« wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert. <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/referenzen/tyrewearmapping.html>, Stand: 27.03.2019; <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/planungs-und-entscheidungsinstrument-tyrewearmapping.html>, Stand: 27.03.2019

³ Die Daten zu den Mikroplastikemissionen werden fortwährend aktualisiert und an den Erkenntnisfortschritt angepasst. Hinweise zu aktuellen Daten finden sich auf der Webseite www.plastikbudget.de

Makroplastik und zu ca. 74 % aus Mikroplastik. Das Mikroplastik stammt zum überwiegenden Teil aus Abriebs- und Verwitterungsprozessen (Typ B); die intendierte Zugabe oder die Freisetzung durch Unfälle (Typ A) ist demgegenüber weniger relevant. Der sichtbaren Menge an Makroplastik in der Umwelt steht demnach eine etwa dreifach größere Menge Mikroplastik, die z. T. nicht sichtbar ist, gegenüber.

Kunststoffemissionen, die über Siedlungsabwässer und Niederschlagswasser⁴ in die Kläranlage gelangen, werden schätzungsweise 95 % (bei Mikroplastik) bzw. zu nahezu 100 % (bei Makroplastik) herausgefiltert. Der Großteil des abgeschiedenen Mikroplastiks sammelt sich jedoch im Klärschlamm. Rund zwei Drittel des Klärschlammes werden thermisch entsorgt, rund ein Viertel wird jedoch in der Landwirtschaft als Düngemittel genutzt, gut 10 % finden im Landschaftsbau Verwendung. Auf diese Weise gelangt auch das Mikroplastik zurück in Umwelt und Böden.

Additive von Kunststoffen werden ebenfalls an die Umwelt abgegeben

Kunststoffe bestehen nicht nur aus den reinen Polymeren, sondern meist auch aus Additiven, die den Kunststoffen spezielle Eigenschaften verleihen. Dazu zählen beispielsweise Biozide, Flammschutzmittel, organische Farbstoffe, UV-Stabilisatoren oder Weichmacher. Bezogen auf die emittierte Kunststoffmenge von ca. 440 000 t/a kann die in Deutschland emittierte Additivmenge auf 20 070 t/a bzw. ca. 245 g/(cap*a) abgeschätzt werden. Additive sind in der Regel nicht chemisch an die Polymere gebunden und häufig niedermolekular, so dass sie aus dem Polymer migrieren können. Da die Verdünnung von Mikroplastik in der Umwelt recht hoch ist, kann erwartet werden, dass viele Kunststoffe in der Umwelt im Laufe der Zeit ihre Additive an das umgebende Milieu abgeben. Wie schnell dieser Prozess abläuft, hängt allerdings stark von den Diffusionsraten im Polymer sowie den äußeren Bedingungen (insbesondere Temperatur) ab.

Empfehlung zur Reduzierung von Mikroplastik und Kunststoffen in der Umwelt

Neben einer einheitlichen Definition und Begriffsschärfung, schlagen die Autor*innen einige Empfehlungen zur Reduzierung von Mikroplastik und Kunststoffen in der Umwelt vor.

⁴ Niederschlagswasser wird nur beim sog. Mischsystem zusammen mit Siedlungsabwässern der Kläranlage zugeführt. Im Trennsystem gelangt hingegen nur das Siedlungsabwasser zur Kläranlage, das Niederschlagswasser wird direkt in die Gewässer geleitet.

Verminderung von Kunststoffemissionen

- Berichterstattung und wissenschaftliche Forschungsarbeiten zu Makro- und Mikroplastik dürfen nicht nur auf die Einträge in die Meere fokussieren, sondern müssen nachvollziehbare Ansätze zur Quantifizierung von Emissionsquellen und Transferraten in unterschiedliche Umweltbereiche, auch Boden und Luft, in den Blick nehmen, um effektive Handlungsmaßnahmen ableiten zu können.
- Der Fokus in der Debatte muss, nachdem entsprechende Selbstverpflichtungen oder Verbote erfolgreich umgesetzt sind, vom intendierten Mikroplastik (Typ A) hin zum Mikroplastik Typ B gelenkt werden, das durch Abrieb und Verwitterung entsteht.
- Es müssen vor allem Werkstoff- und Produktinnovationen für Langlebigkeit stimuliert werden, um die emittierten Mengen zu reduzieren.
- Die Reduktion der Mikroplastikemissionen ist nicht ausschließlich eine Aufgabe für die Kunststoffindustrie. Da der größte Teil der Emissionen aus Elastomeren besteht, ist die Gummibranche stärker einzubeziehen.
- Die wichtigsten Quellen für Mikroplastik finden sich im Bereich Gebäude, Verkehr und Infrastrukturen. Hier sollten prioritär Maßnahmen ergriffen werden.
- Wenn wir eine Kreislaufwirtschaft verwirklichen wollen, müssen wir auch die heutigen Kunststoffemissionen von ca. 3,1 % bezogen auf den Gesamtverbrauch von Kunststoffen reduzieren.

Eindämmung der Ausbreitung und Rückgewinnung

- Soweit möglich sollte Mikroplastik durch dezentrale Techniken direkt am Ort des Entstehens zurückgehalten werden (bspw. Faserfilter für Waschmaschinen).
- Die Reinigung der Infrastrukturfächen von Mikro- und Makroplastik (ohne dabei ökologische Schäden zu verursachen) ist eine der wichtigsten und effizientesten Handlungsoptionen, um die Einträge in die Gewässer zu minimieren. Nachgelagerte Ansätze, die große Mengen Meerwasser filtrieren wollen, um Kunststoffe zurückzugewinnen, halten wir für weniger effizient.
- Der gereinigte Klarablauf von Kläranlagen ist nicht das Problem. Stattdessen müssen ungeklärte Niederschlagswassereinleitungen im Trennsystem, Mischwasserabschläge und die Verwertung von Klärschlamm durch die Siedlungswasserwirtschaft neu bewertet werden. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.
- Bei der Betrachtung von Kunststoffemissionen sollte eine klare Trenngrenze zwischen den Systemen der Siedlungswasserwirtschaft innerorts und der Straßenentwässerung außerorts gezogen werden, auch weil die Zuständigkeiten unterschiedlich sind.

Verhalten von Kunststoffen in der Umwelt

- Es muss geklärt werden, was eine gerade noch akzeptable Präsenzzeit eines Kunststoffs in der Umwelt ist und welche Polymere diese Eigenschaft besitzen.
- Die vielen verschiedenen Einflussfaktoren auf den Bioabbau machen diese Eigenschaft als Merkmal des Marketings gegenüber den Verbraucher*innen ungeeignet. Letztlich kann Bioabbaubarkeit immer nur eine Notfalloption sein, für die Fälle, in denen die Emission bzw. die Rückführung zur Verwertung nicht zu verhindern war.

Bewertung und Governance

- Die Bewertung und Regulierung von Kunststoffen in der Umwelt muss sich vor allem an der hohen Persistenz festmachen und den damit verbundenen Schadwirkungen über sehr lange Zeiträume. Dazu müsste REACH⁵ auf Polymere ausgeweitet werden und die Gefährdungsklasse "very very persistent" (vvP) eingeführt werden.
- Wir schlagen vor, Kunststoffprodukte, die Emissionen in die aquatische Umwelt verursachen können, mit der CLP-Gefährdungsklasse H413 ("mögliche Wassergefährdung für Organismen, langfristige Wirkung") zu kennzeichnen.
- Ökobilanzen müssen als Instrument zur vergleichenden Bewertung von Produkt- und Prozessalternativen im Hinblick auf Kunststoffemissionen weiterentwickelt werden, damit sie signifikante Aussagen erlauben.
- Die beiden Ziele der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft und der Reduktion von Kunststoffemissionen sind nicht identisch und werden nicht durch jede Lenkungsmaßnahme im gleichen Maße adressiert.
- Wir schlagen vor, Produkte, die häufig gelittert werden, sowie intendiert klein hergestelltes Mikroplastik, wo es möglich ist, zu verbieten oder zu substituieren. Die möglichen Alternativen sind dabei unter dem Aspekt der verbesserten Abbaubarkeit sowie sonstigen ökologischen Trade-offs kritisch zu evaluieren. Im Weiteren empfehlen wir eine Ausweitung der Pfandpflicht (unabhängig von Einweg oder Mehrweg), wo immer logistisch möglich und ökologisch sinnvoll.
- Darüber hinaus glauben wir, dass durch eine avancierte Ausgestaltung der Beteiligungsentgelte für Verpackungshersteller bei den dualen Systemen in Bezug auf Rezyklierbarkeit auch Kunststoffemissionen vermindert werden können. Eine wichtige

⁵ Regulation concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. REACH ist die europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe.

Handlungsoption zur Reduktion von Mikroplastik des Typs B (Abrieb und Verwitterung) stellen darüber hinaus Anreizsysteme für Langlebigkeit und Reparierbarkeit dar. Verlängerte Gewährleistungs- und Garantiezeiten wären ein Weg zur Umsetzung.

- Letztlich müssen Kunststoffemissionen, da sie kaum rückholbar sind, als generationenübergreifendes Problem verstanden werden.

Das Fraunhofer UMSICHT arbeitet zurzeit an einer Reihe von Projekten, um tiefer auf Emissionsmengen, Verbreitung und Wirkungen in der Umwelt und Lösungsmaßnahmen einzugehen. Die Abschätzung der Emissionsmengen wird derzeit überarbeitet. Mehr Informationen dazu finden Sie auf der Homepage unter:

<https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/forschung-fuer-den-markt/mikroplastik.html>

Quellen:

[1] NOAA. 2018. What are microplas-

tics? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html>. Letzter Zugriff: 12.06.2018

[2] Weber, Torsten: Entwicklung einer Methodik zur Abschätzung der jährlichen, primären Mikroplastikemissionen in Deutschland, Bachelorarbeit Hochschule Ruhr-West (unveröffentlicht); 2019

[3] BMU 2017: Statistiken Klärschlamm: <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/statistiken/klaerschlamm/>; Letzter Zugriff 29.01.2019

[4] NABU 2018: Plastik in der Schlei: <https://schleswig-holstein.nabu.de/news/2018/24614.html>; Letzter Zugriff 04.02.2019

Vollautomatische modellgestützte Einrichtung von Spritzgießprozessen

Unterstützung des Einrichters durch vollvernetzte Produktionszellen

S. Wurzbacher, M.Sc., Dipl.-Ing. **M. Schmitz**, **Y. Lockner**, M.Sc.,
B. Liu, M.Sc., Dr.-Ing. **M. Röbig**, Prof. Dr.-Ing. **C. Hopmann**,
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen, Aachen

Kurzfassung

Im Zuge der Entwicklungen in der Kunststoffindustrie 4.0 ist es möglich mit modernen Methoden der Informationstechnik einen digitalen Schatten jedes produzierten Bauteils zu generieren. Die im digitalen Schatten enthaltenen Daten können zur Modellbildung des Prozessverhaltens des Spritzgießprozesses genutzt werden. Dazu werden sowohl real ermittelte Prozessdaten als auch Daten aus der Spritzgießsimulation zum Training eines neuronalen Netzes verwendet. Das IKV konnte durch die Vernetzung einer Spritzgießfertigungszelle mit integrierter Qualitätssicherung zeigen, dass eine Automatisierung des bis heute händisch durchgeführten Einrichtprozesses möglich ist. Der Ansatz durch welchen die Einrichtzeit reduziert werden konnte, kann durch die flexible Modellbildung mittels neuronaler Netze unabhängig von der Bauteilgeometrie genutzt werden.

1. Einleitung

Nach den abrupten Wandeln des Produktionsumfelds durch die Nutzung der Dampfmaschine und später des elektrischen Stroms in den ersten beiden industriellen Revolutionen, löste die Einführung von Mikrocontrollern in den 1970er Jahren die "Digitale Revolution" aus. Diese stellt den Beginn der immer noch andauernden Digitalisierung der Gesellschaft und die Schaffung einer digitalen Welt dar. Die industrielle Nutzung von Mikrocontrollern ermöglicht durch Erfassung und Verarbeitung elektronischer Signale die Automatisierung immer komplexerer Maschinen. Bis vor wenigen Jahren stand die Steuerung und Regelung der einzelnen Systeme im Vordergrund. Erst seit kurzem geht die Entwicklung hin zur engeren Vernetzung und gegenseitigem Datenaustausch auch über die Fertigungsebene hinaus. Diese Entwicklung ist Teil der Industrie 4.0.

Auch in der kunststoffverarbeitenden Industrie wird diese Entwicklung als ein Key-Enabler gehandelt. Innerhalb der Spritzgießfertigung können verschiedene Ebenen zur Datengene-

rierung identifiziert werden. Dabei gliedert sich die Spritzgießfertigung in eine globale Wertschöpfungskette ein. So können in vorgelagerten Prozessen wie der Compoundierung bereits wichtige Daten, z. B. Materialviskositäten, für die Qualität und die spätere Nutzung generiert werden. In der eigentlichen Produktion können sowohl auf Fertigungszellenebene als auch in jeder einzelnen Komponente Daten erzeugt werden, um diese für den Produktionsprozess auf Komponentenebene oder übergeordneter Ebene nutzbar zu machen. Hier besteht noch immer eine der größten Herausforderungen. Bis heute ist die ebenenübergreifende Weitergabe von Daten durch fehlende Austauschprotokolle und auch wegen der Gefahr der missbräuchlichen Datenverarbeitung lediglich in geringem Ausmaß etabliert. Daher erfolgt die persistente Ablage von digitalen Daten heute meist in verschiedenen zentralen und dezentralen Datenbanksystemen. Nur über die Verbindung dieser Datenbanken kann der sogenannte digitale Schatten eines Bauteils generiert werden. Hierzu müssen standardisierte Austausch- und Speicherformate für relevante Daten entwickelt und implementiert werden, um eine aufwendige und somit unwirtschaftliche Implementierung zu vermeiden. Der digitale Schatten stellt in der Regel keinen festen Datensatz dar. Dieser ist eher als Methode zur kontextgerechten Bereitstellung spezifischer Daten zu verstehen. [1, 2, 3]

Dabei überschreitet die Datenanzahl und deren Wirkzusammenhänge in den meisten Fällen die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen. Daher muss die Entwicklung von Algorithmen zur Verarbeitung der Daten hin zu nutzbaren Informationen weiter vorangetrieben werden. Erst diese können in der physischen Welt sinnvoll zur Wertschöpfung eingesetzt werden. Weiterhin ist hierbei zu bedenken, dass sich die Algorithmen nicht nur auf einen Bauteildatensatz beschränken dürfen. Zur Optimierung der Bauteilqualität und zum Kompensieren von langfristigen Prozesseinflüssen müssen viele Datensätze unterschiedlicher Quellen analysiert werden. Dadurch steigt die Anzahl an zu verarbeitenden Daten weiter an.

2. Verarbeitung von Maschinen- und Qualitätsdaten zur automatische Prozesseinrichtung

Die Regelung von Qualitätsmerkmalen durch ein Assistenzsystem stellt im Kontext der Industrie 4.0 einen Forschungsschwerpunkt dar. Dabei wird in der Regel die eigentliche Prozesseinrichtung nicht berücksichtigt. Diese ist in besonderem Maße von den Kenntnissen und Erfahrungen des Einrichters abhängig und ist ein bisher nicht automatisierter Prozess [4]. Dadurch kann die Robustheit des Prozesses in vielen Fällen nur subjektiv bewertet werden.

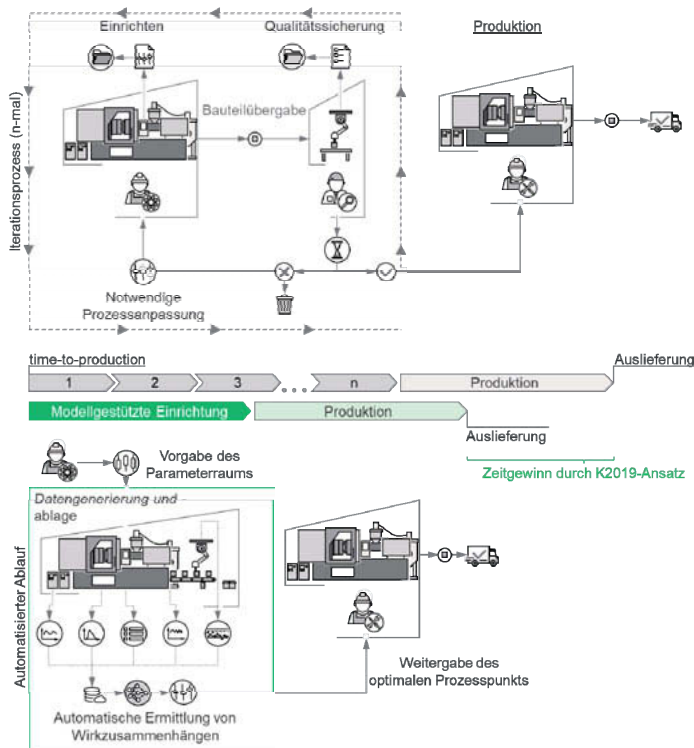


Bild 1: Vergleich zwischen klassischem und vollautomatischem Einrichtprozess

Beim klassischen Einrichtprozess (Bild 3, oben) wird durch den Einrichter auf Basis einer Füllstudie und einer Siegelzeitbestimmung ein Prozesspunkt gewählt, bei welchem subjektiv die geforderten Qualitätsmerkmale erfüllt sind. Vor der Erfüllung der Serienproduktion muss die Erfüllung der Qualitätsmerkmale jedoch final durch die Qualitätskontrolle bestätigt werden. Dadurch vergeht meist eine gewisse Zeit bis zum Produktionsstart. Wenn die Qualitätsmerkmale nicht erfüllt werden, wird über den Maschineneinrichter eine Prozessanpassung durchgeführt. Dadurch kann eine unbekannte Anzahl an Iterationen entstehen. Diese Anzahl kann durch das Abfahren von voll- oder teilfaktoriellen Versuchsplänen verkürzt werden. Dabei ist die Wahl der Faktorenstufen und Steuerfaktoren jedoch auch von den Erfahrungen des Maschineneinrichters abhängig. Anschließend muss der Versuchsplan händisch abgefahren werden und eine Dokumentation manuell erstellt werden. Die Verknüpfung der

Qualitätssicherung und der Spritzgießmaschine kann die Auswertung von Qualitätsschwankungen von Schuss zu Schuss und somit beschleunigte Anfahrprozesse ermöglichen. Dabei kann der Maschineneinrichter Zusammenhänge zwischen Prozessparameter und Qualitätsdaten direkt ableiten. Da Qualitätsdaten jedoch auch konträr auf die diversen einstellbaren Parameter der Spritzgießmaschine sowie der Peripherie reagieren, stellt die Einstellung eines idealen Prozesses, insbesondere für komplexe Bauteile oder hohe Qualitätsanforderungen, eine große Herausforderung dar. Daher hat das IKV mit Unterstützung eines Industriekonsortiums einen Ansatz zur Ableitung der Zusammenhänge im Anfahrprozess durch die Aufnahme und Verarbeitung von Daten in einer Spritzgießfertigungszelle entwickelt.

3. Entwicklung der einer vollvernetzten Fertigungszelle zur Generierung des digitalen Schattens

Der notwendige Schritt zur Erfassung des digitalen Schattens ist die Entwicklung einer vollvernetzten Spritzgießfertigungszelle (Bild 1). Dieses Konzept hat das IKV auf der K2019 vorgestellt. Dabei liegt der Fokus nicht nur auf der Erfassung von Maschinendaten in einer einheitlichen Datenbank sondern darüber hinaus auch auf der Erfassung der Daten aller Peripheriegeräte sowie die Kommunikation zwischen den Anlagenelementen. In der Fertigungszelle umfasst dies die Spritzgießmaschine IntElect2 50/370-110 des Herstellers Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH, Schwaig; drei Temperiergeräte des Herstellers gwK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen; Materialförderung der Firma motan-colortronic GmbH, Kirchlegern und Werkzeuginnendrucksensorik der Firma Kistler Instrumente GmbH, Sindelfingen.

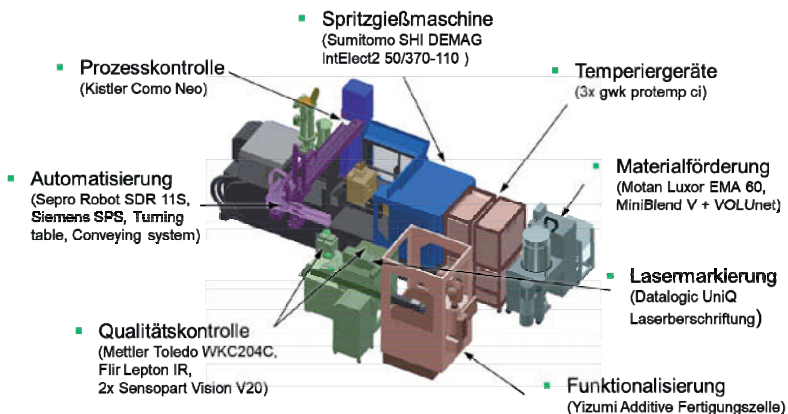


Bild 2: Komponenten der vollvernetzten Fertigungszelle

Zur Nutzung der Daten sind neben den Maschinen- und Peripheriedaten weiterhin die Qualitätsdaten des Bauteils relevant. Dazu ist eine Inline-Qualitätsmessung in die Fertigungszelle integriert. Mit dieser können für jedes Bauteil die relevanten Bauteilmaße mit einem Kamerasystem der Firma SensoPart Industriesensorik GmbH, Wieden, die Oberflächentemperaturen und das Bauteilgewicht aufgenommen werden. So kann über die gesamte Produktion durch die ganzheitliche Erfassung von qualitätsrelevanten Eingangs- und Ausgangsgrößen ein konsistenter Datenbestand mit hoher Aussagekraft aufgebaut werden.

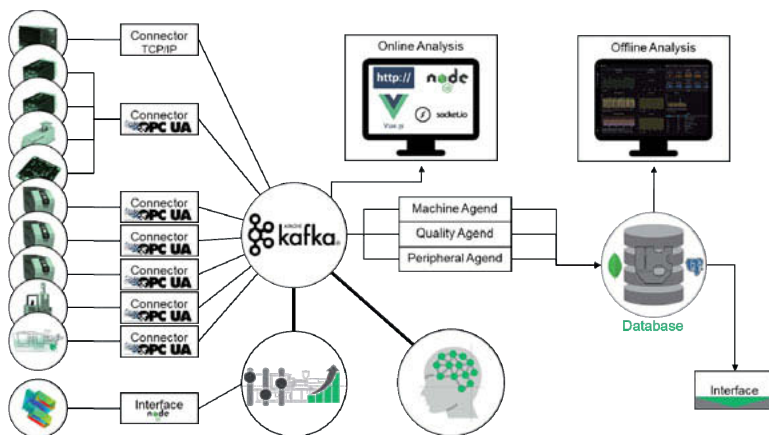


Bild 3: Infrastruktur zur flexiblen Datenstromverknüpfung

Eine der wesentlichen Herausforderungen besteht in der Komplexität sowie Inhomogenität der Elemente, die zur Datenerfassung, Prozesssteuerung, Qualitätskontrolle und Modellbildung benötigt werden.

Bei der Fertigungszelle kommt ein komplexes System aus über 10 physikalischen Geräten sowie softwaretechnische Elemente wie Simulationsergebnisse, Prozessführungsalgorithmen, Visualisierungssoftware sowie Software zur Datenverarbeitung auf Basis maschineller Lernverfahren zum Einsatz. Um dieser Komplexität in flexibler sowie effizienter Art zu begegnen, wurde ein Konzept entwickelt, dass eine Verknüpfung der Datenströme über die Streamingplattform „Kafka“ der Apache Software Foundation, Wakefield, USA umsetzt. Diese Open-Source Software ermöglicht es alle Datenströme innerhalb dieser Plattform zu organisieren und gezielt Elemente zu verknüpfen, sodass eine effiziente Datenverfügbarkeit gewährleistet werden kann. In Bild 2 ist der prinzipielle Aufbau der Dateninfrastruktur sowie der wichtigen Systemelemente dargestellt. Dabei interagieren die physikalischen System-

elemente wie Spritzgießmaschine, Peripherie und Qualitätssicherung über sogenannte „Connectoren“ mit der Streamingplattform. Die Connectoren gewährleisten dabei die Implementierung der gerätespezifischen Schnittstelle zur Datenerfassung sowie zur Gerätesteuerung. Ein Prozessleitsystem hat somit über eine Anbindung an die Streamingplattform die Möglichkeit, die Produktionszelle in ihrer Gesamtheit zu überwachen und Prozesseinstellungen vorzunehmen. Als zusätzliche Datenquelle kommt ein auf web-techniken basierendes Interface zur Integration der Simulationsdaten zum Einsatz, dass in der Lage ist, Simulationsergebnisse zu interpretieren und darauf aufbauend automatisiert einen Versuchsplan für das Prozessleitsystem zu erstellen. Während der Prozesslaufzeit werden sogenannte „Agents“ verwendet, die über eine Kopplung mit der Streamingplattform die erfassten Prozess- und Qualitätsdaten verarbeiten und in einer strukturierten Form in einem Datenbanksystem ablegen. Parallel werden reale Prozess- und Qualitätsdaten der Fertigungszelle sowie Simulationsdaten durch ein Softwaresystem basierend auf Methoden der künstlichen Intelligenz verwendet, um ein Prozessmodell zu erstellen, dass mit jedem Prozesspunkt an Modellqualität gewinnt.

Wie bereits beschrieben, können die Einstellwerte und Messgrößen von jeder Einzelkomponente der Fertigungsanlage für jedes Bauteil zentral abgelegt werden. Für die Automatisierung des Einrichtprozesses werden die ganzheitlichen Datensätze von verschiedenen Prozesspunkten zu einem Prozessmodell zusammengesetzt. Dazu wird über den Leitreechner der Fertigungsanlage gezielt das Training eines künstlichen neuronalen Netzes veranlasst. Über dieses können die Wirkzusammenhänge zwischen Einstellparametern und Qualitätsdaten abgebildet werden.

Für den notwendigen Versuchsaufwand kann der Maschinenbediener einzelne Einstellwerte vorgeben. Darüber hinaus konnte durch das IKV eine Lösung implementiert werden, mit welcher mittels einer webbasierten Schnittstelle Ergebnisdateien aus einer Spritzgießsimulationssoftware ohne manuelle Änderungen in das System geladen werden können. Mithilfe einer in Python verfassten Software können diese Ergebnisse automatisch ausgewertet und automatisch ein teilfaktorielles Versuchsplan generiert werden. In diesem Zug werden dem Benutzer alle verfügbaren Qualitätsgrößen zur Auswahl angeboten, für die er die Zielgröße festgelegt kann. Die Versuchspunkte werden anschließend vom Leitreechner direkt an die Spritzgießmaschine oder Peripheriegeräte übergeben. Um eine hohe Modellqualität zu gewährleisten, ist jedoch eine hinreichend große Anzahl an Trainingsdaten notwendig. Dies bedeutet, dass im Allgemeinen ein realer Versuchsaufwand entstehen kann, durch welchen die Dauer der Prozesseinrichtung gegenüber dem klassischen Einrichtprozess verlängert werden kann.

Dies bedeutet, dass der Vorteil der Methodik insbesondere für komplexe Einrichtprozesse besteht.

4. Reduktion der realen Trainingsdaten durch ein Vortraining mit Simulationsdaten

Die hohe Anzahl an realen Trainingsdaten, um eine ausreichend gute Modellqualität zu erreichen, kann durch ein Vortraining des neuronalen Netzes reduziert werden [5]. Obwohl üblicherweise eine deutliche Abweichung zwischen simulativ ermittelten quantitativen Größen und realen Größen besteht, ist die Simulation in der Lage, das Prozessverhalten sehr gut abzubilden. Somit kann ein grundsätzlich ähnliches Prozessverhalten im neuronalen Netz implementiert werden, dass trotz quantitativer Abweichung eine vorteilhafte Vorkonditionierung der Gewichte im neuronalen Netz bewirkt. Dadurch sind für eine gesteigerte Modellqualität im Folgenden weniger Trainingspunkte durch den realen Prozess notwendig, wodurch ein geringerer Trainingsaufwand resultiert und somit Material sowie Zeit zur Einrichtung eingespart werden kann. Somit kann schneller mit der Produktion von Gutteilen begonnen werden. Da in der heutigen Zeit häufig Spritzgießsimulationen vor der Fertigung des Spritzgießwerkzeugs durchgeführt werden, entsteht durch das Vortraining kein zusätzlicher zeitlicher Aufwand und es zu keiner Verschiebung des Liefertermins, da die Vortrainingsdaten parallel zur Fertigungszeit des Spritzgießwerkzeugs generiert werden können. Es können somit umfangreiche Versuchspläne wie vollfaktorielle Versuchspläne in der Simulation durchgeführt werden und zum Netztraining verwendet werden.

Die Datenstruktur der Fertigungszelle erlaubt es, die mittels des neuronalen Netzes berechneten Prozesseinstellungen dem Maschinenbediener über das Leitrechnersystem direkt zur Verfügung zu stellen. Alternativ können diese auch direkt an die Spritzgießmaschine oder Peripheriegeräte übergeben werden.

5. Ergebnisse zur automatischen Generierung eines digitalen Schattens anhand einer Demonstratorgeometrie

Der modellgestützte Einrichtungsprozess ist unabhängig von der verwendeten Bauteilgeometrie. In den dargestellten Versuchen wird exemplarisch eine Gehäusegeometrie für einen Einplatinencomputer (Raspberry Pi) verwendet. Durch die Achsensymmetrie des Gehäuses kann aus zwei Demonstratorbauteilen ein Gehäuse zusammengesetzt werden. Dadurch können neben der Erfassung von Einbaumaßen der Platine auch Zusammenbaumaße als Qualitätsdaten verwendet werden. Hierbei ist vor allem der Verzug an den Scharnieren und Schnapphaken relevant. Als Werkstoff wird der PC/ABS-Blend T65XF der Firma Covestro AG, Leverkusen, verwendet.

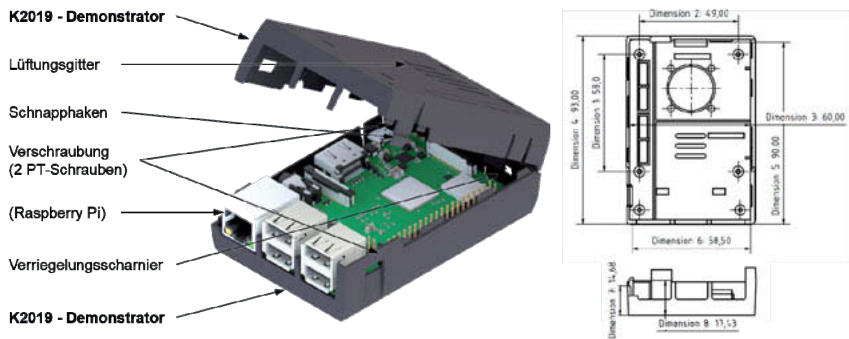


Bild 4: Gehäuse für einen Einplatinencomputer als Demonstratorbauteil

Die Qualitätskontrolle der Formteile kann aufgrund der Dateninfrastruktur auf unterschiedlichen zeitlichen Skalen erfolgen. Einerseits kommt ein System zum Einsatz, das über die Konnektivität zur Streamingplattform in der Lage ist, den aktuellen Zustand des Prozesses und der Qualitätsgrößen in quasi-echtzeit darzustellen und zu verarbeiten. Dazu kommen moderne webbasierte Techniken zum Einsatz, die sich serverseitig mit der Streamingplattform verbinden und somit Zugriff auf den aktuellen Datenstrom haben. Diese Systeme sind zudem mittels gängiger Webbrowser erreichbar und werden im Gegensatz zu klassischen Pull-Methoden serverseitig mit Datenupdates versorgt, wodurch die Latenz zwischen Datenerfassung auf Connectorenmenseite und Visualisierung minimiert wird (Bild 5).

Andererseits kommt ein System auf Basis von Opensource-Software zum Einsatz, mit dem eine effiziente und zuverlässige Darstellung der Historiendaten auf Basis des Datenbanksystems erreicht wird. Somit kann der Prozesszustand für alle verknüpften Anlagenelemente zu jedem Zeitpunkt sowie für jedes Bauteil nachverfolgt werden. Mithilfe eines QR-Codes, der mittels Lasermarkierung auf das Formteil aufgebracht wird, kann darüber hinaus eine Nachverfolgbarkeit jedes einzelnen Formteils erzielt werden. Ein eigens konzipiertes webbasiertes System übernimmt dabei die Aggregation sowie die Visualisierung der Daten unterschiedlicher physikalischer Quellen.



Digitaler Schatten eines Bauteils

Zeitlicher Verlauf



Bild 5: Live Visualisierung des Prozesszustandes und der Qualitätsgrößen

6. Automatische Findung des optimalen Prozesspunkts am Beispiel des Bauteilgewichts

Mithilfe eines Prozessleitsystems kann ein Versuchsplan automatisiert abgefahren werden. Dabei werden stets die zu verändernden Prozesseinstellungen per OPC-UA Schnittstelle an die Maschine übertragen, sodass im Folgezyklus die aktualisierten Einstellungen verwendet werden. Über eine stetige Kontrolle des Prozessverlaufes wird die Anzahl der durchgeführten Zyklen mit den gewählten Einstellungen erfasst, sodass eine hinreichend große Anzahl von Zyklen pro Prozesspunkt durchgeführt werden kann. Dies wird aufgrund des Einschwingverhaltens des Spritzgießprozesses durchgeführt. Somit wird sichergestellt, dass nur Qualitätsgrößen bei eingeschwungenem Systemzustand in die Modellbildung eingehen. Ist eine hinreichend große Anzahl von Zyklen durchgeführt worden, werden die Prozessparameter zusammen mit den Qualitätsgrößen für die Verwendung in der Modellbildung aggregiert und an die Software zum Training des neuronalen Netzes übergeben. Somit steht nach jedem Prozesspunkt ein um den neuen Prozesspunkt nachtrainiertes, Modell zur Verfügung, dass im Zuge der Prozesspunkte an Modellqualität gewinnt. Ein exemplarischer Prozessverlauf ist anhand der Qualitätsgröße Formteilgewicht in Bild 6 dargestellt. Dabei wurden die Parameter Einspritzgeschwindigkeit, Nachdruckzeit, Nachdruckhöhe, Kühlzeit und Schmelztemperatur variiert und das Bauteilgewicht als Qualitätsgröße erfasst.

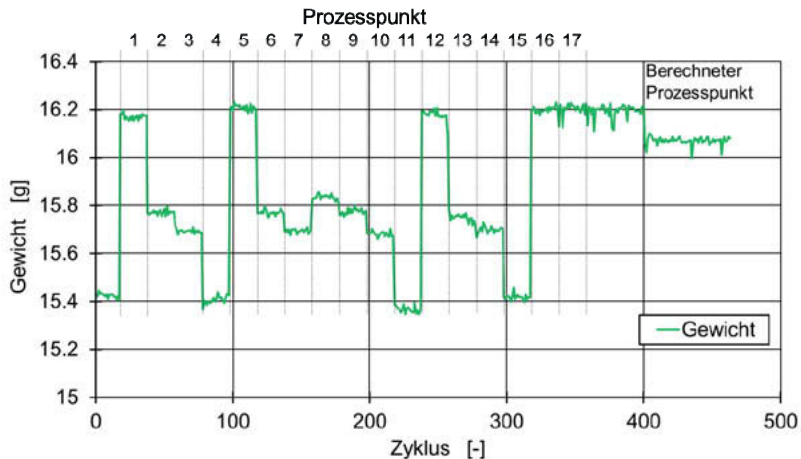


Bild 6: Entwicklung des Formteilgewichtes während der Durchführung eines teilfaktoriellen Versuchsplans

Wie in Bild 6 zu erkennen ist, reagiert das Bauteilgewicht deutlich mit einer Variation von ca. 15,35 g bis ca. 16,2 g auf diese gewählten Prozessparameter. Nach Durchführen des teilfaktoriellen Versuchsplans wurden die berechneten optimalen Prozessparameter in die Steuerung der Spritzgießmaschine eingegeben und der Prozess unter Verwendung dieser Parameter fortgeführt. Bei einer Zielvorgabe von 16,0 g Bauteilgewicht konnte mit den berechneten Parametern ein Bauteilgewicht von ca. 16,07 g erreicht werden. Bei dem vorliegenden Demonstratorbauteil wurde eine Prozesseinrichtung somit in unter 3,5 Stunden automatisiert durchgeführt, bei einer durchschnittlichen Zykluszeit von ca. 35 Sekunden. Dabei wurden 340 Zyklen und ca. 5,5 kg Material verwendet.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Prozessdurchführung in diesem Implementationschritt mit einer festen Anzahl von Zyklen pro Prozesspunkt durchgeführt wurde. Eine naheliegende Erweiterung stellt eine dynamische Begrenzung der durchzuführenden Zyklen dar, die durch Überwachung definierter Prozessparameter erreicht werden kann. Somit ist es möglich, einerseits zu gewährleisten, dass sich der Prozess in einem eingeschwungenen Zustand befindet und andererseits für gewisse Parametervariationen eine Reduktion der durchzuführenden Zyklenanzahl erreicht werden kann. Dadurch kann einerseits eine höhere Modellqualität erreicht werden und andererseits die Einrichtzeit weiter verkürzt werden. Dar-

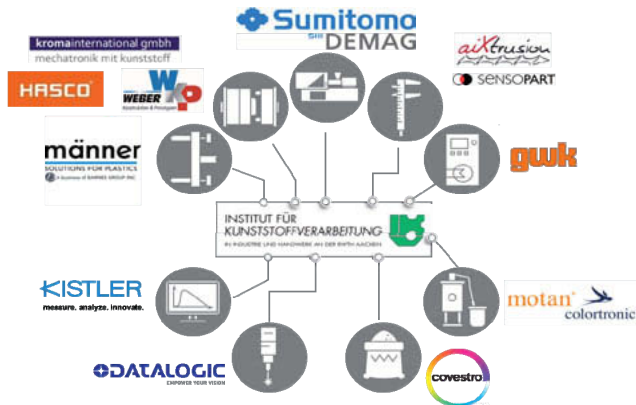
über hinaus kann eine intelligente Berücksichtigung der Qualitätsdaten mehrerer Zyklen zu einer weiteren Erhöhung der Modellqualität beitragen.

7. Fazit und Ausblick

Die hybride Nutzung von simulativ ermittelten sowie real ermittelten Prozessdaten ermöglicht eine Modellbildung des Prozessverhaltens im Spritzgießen, das effizient zur objektiven Einrichtung des Prozesses genutzt werden kann. Zusammen mit einer vernetzten Anlagentechnik wird eine Effizienzsteigerung sowie Qualitätssicherung einerseits des Einrichtungprozesses und andererseits des zu fertigenden Artikels gewährleistet. Aufgrund der Verwendung neuronaler Netze für die Modellbildung ist eine flexible Nutzung für nahezu beliebige Bauteilgeometrien möglich. Auf der K-Messe 2019 konnte gezeigt werden, dass mittels moderne Methoden der Informationstechnik sowie Automatisierungstechnik eine Objektivierung und Automatisierung des Einrichtungprozesses im Spritzgießen möglich ist und durch den Einsatz künstlicher Intelligenz sowie hybrider Lernverfahren die Einrichtzeit deutlich verkürzt werden kann.

Bereits der auf der K-Messe implementierte Entwicklungsstand der Anlagentechnik ermöglicht eine automatische Prozesseinrichtung mit geringer Abweichung der Qualitätsgrößen zur Zielvorgabe. Es besteht dabei insbesondere bei der Durchführung des Versuchsplans sowie bei der Auswertung der Qualitätsgrößen weiteres Entwicklungspotential, dass einerseits eine weitere Reduktion des Zeit- sowie Materialaufwands sowie eine Steigerung der Qualität des Einrichtungprozesses ermöglichen kann. Darüber hinaus bestehen durch die Bildung eines Prozessmodells diverse weitere Möglichkeiten der Prozessoptimierung für den weiteren Verlauf des Prozesslebenszyklus.

7. Dank



Wir danken unseren Projektpartnern des starken Industriekonsortiums für die konstruktive Unterstützung, ohne die die Entwicklung und Umsetzung der vollvernetzten Fertigungszelle nicht möglich gewesen wäre.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – 390621612

Literatur

- [1] Hirsch-Kreinsen, H.; littermann, P.; Niehaus, J. (Hg.). Digitalisierung industrieller Arbeit: die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Nomos Verlag, Baden-Baden, 2018.
- [2] Reinhart, G. (Hg.): Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, München, 2017
- [3] Reinheimer, S.: Industrie 4.0. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015
- [4] Jaroschek, C.: Spritzgießen für Praktiker. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, München, 2019
- [5] Hopmann, Ch.; Theunissen, M.; Wipperfürth, J., Heinisch, J.: Prozesseinrichtung durch maschinelles Lernen - Gezielte Wahl von Spritzgießparametern aus Simulationen und praktischen Versuchen. Kunststoffe 108 (2018) 6, S. 36-41

Closed-Loop in der Nachhaltigkeit

Der Lebenslauf einer Filterkartusche

Prof. Dr.-Ing. **T. Schröder, L. Rieming**,
Institut für Kunststofftechnik Darmstadt (ikt), Darmstadt

Kurzfassung

Kunststoffe bilden einen nicht zu ersetzenden Teil des modernen menschlichen Lebens. Sobald jedoch das Thema Nachhaltigkeit zur Sprache kommt, wird diesem Werkstoff jegliche Existenzberechtigung abgesprochen.

Dabei könnte die Ausgangsposition gerade für thermoplastische Kunststoffe kaum besser sein, da ihre charakteristischste Eigenschaft Tür und Tor für eine umweltschonende Kreislaufführung öffnet. Dennoch sprechen die aktuellsten Zahlen gegen uns, nicht einmal acht Prozent der deutschen Kunststoffabfälle substituieren Neuware [3] – Aber Warum?

Laut einer Studie der EUPC wird vor allem die unzureichende Qualität immer wieder als Antwort genannt. Wie also ließe sich die Qualität von Kunststoffherzeugnissen mit Recyclatanteil überwachen?

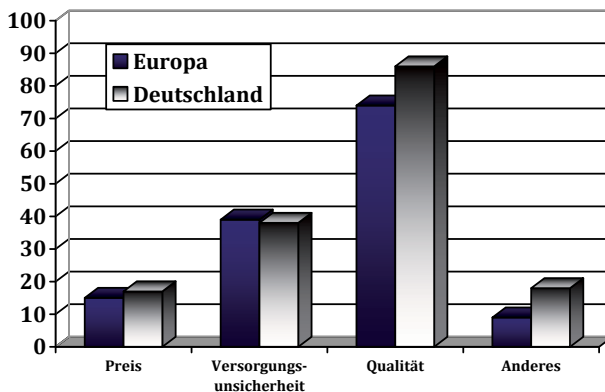


Bild 1: Hauptgründe für ausbleibende Recyclatverwendung [1]

Klar ist, dass eine Prüfung am fertigen Produkt keine Lösung sein kann. Es müssen also Möglichkeiten gefunden werden, Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Produktes vor seiner Fertigstellung zu ziehen.

Der Ansatz besteht darin, mithilfe einer Inline-Rheometerdüse die Viskosität eines im (internen) Kreislauf geführten Polypropylen zu messen, um Parallelen zwischen Viskositätsveränderungen und Materialeigenschaften herstellen zu können. Durch die mehrmalige Wiederverarbeitung des Kunststoffes sollen dabei Alterungserscheinungen hervorgerufen werden, welche z.B. die Molmasse und damit die Viskosität des Stoffes verändern [2].

Durch die Verwendung dieser Methode im laufenden Produktionsprozess ergibt sich zusätzlich der Vorteil, dass die Spritzgießmaschine den realen Bereich des Verarbeitungsprozesses (Temperaturen, Schergeschwindigkeiten) abbildet.

Sollte es möglich sein, die alterungsbedingte Viskositätsveränderung eines Kunststoffes reproduzierbar auf Veränderungen in den Materialeigenschaften zurückzuführen, so wäre dies der erste Schritt, um die Produktqualität von Spritzgusserzeugnissen mit Recyclatanteil reproduzierbarer zu machen.

- [1] Verpackungshersteller: Qualitätsmängel bremsen Nutzung von Kunststoffzyklat [online], 2017 [Zugriff am: 27.12.2019]. Verfügbar unter:
<https://www.plastverarbeiter.de/72861/verpackungshersteller-qualitaetsmaengel-bremsen-nutzung-von-kunststoffzyklat/>

- [2] Schröder, Thomas (2018): Rheologie der Kunststoffe. Theorie und Praxis. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

- [3] Conversio Market & Strategy GmbH. Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017 [online]. Kurzfassung. Verfügbar unter:
https://www.bvse.de/images/news/Kunststoff/2018/181011_Kurzfassung_Stoffstrombild_2017.pdf

Ganzheitlicher Einsatz von digitalen Methoden im Freigabeprozess

S. Heienbrock, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **W. Guth**,
Hochschule Esslingen, Labor für Kunststofftechnik, Esslingen

Kurzfassung

Die mittelständisch geprägte Kunststoffbranche steht in Ihren Entwicklungs- und Produktionsprozessen permanent vor großen Herausforderungen. Eine dieser Herausforderungen sind die stetig steigenden Anforderungen an die Qualität der Spritzgussteile. Infolge von Verzug und Schwindung des Kunststoffs liegen die funktionsrelevanten Prüfmaße der ersten Musterteile häufig außerhalb der von den Kunden geforderten Toleranzen. Daher ist in der Regel eine Anpassung der Werkzeugkavität erforderlich, um diese zu erreichen. Die Modifikation des Werkzeugs auf Basis von taktil erzeugten Messprotokollen der Prototypen erfolgt dann so lange, bis die vorgegebenen Toleranzen erreicht sind.

Die von vielen Unternehmen angewandten Methoden zur Vermessung und Bewertung der Bauteile und der daraus abgeleiteten Anpassung der Werkzeugkontur sind oft unzureichend. Häufig werden für eine Korrektur nur wenige Messpunkte verwendet, was dann eine unpräzise oder fehlerhafte Korrektur zur Folge hat. Bei diesem Vorgehen sind bis zur Freigabe der komplexen Bauteile meist viele Korrekturschleifen notwendig. Dies verzögert den Freigabeprozess, bindet Kapazität und ist gleichzeitig mit enormen Kosten verbunden.

Neue digitale Verfahren bieten hier ein erhebliches Optimierungspotential. Mit Hilfe optischer Messverfahren oder der Computertomographie können heute Bauteile und Werkzeuge vollflächig vermessen und analysiert werden. Gleichzeitig ist mittels moderner Softwarelösungen die Erzeugung von Korrekturflächen auf Basis der vollflächig gewonnenen Messdaten sehr einfach möglich. Diese Vorgehensweise reduziert den Zeitaufwand und die gebundene Personal- und Maschinenkapazität für eine Korrektur erheblich und führt so zu einer signifikanten Kosteneinsparung bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Flexibilität und einem schnelleren Time to market. Zudem sind die durchgeführten Korrekturen deutlich präziser.

Abstract

The small business plastics industry is constantly facing major challenges in its development and production processes. One of these challenges are the constantly increasing demands on the quality of injection molded parts. As a result of warping and shrinkage of the plastic, the functional dimensions of the first sample parts are usually outside the tolerance. Therefore, an adjustment of the tool cavity is usually necessary. The modification of the tool based on tactile generated measurement logs of the prototypes takes place until the specified tolerances are reached.

The methods used by many companies to measure and evaluate the components and the resulting tool adjustments are often insufficient. In many cases only a few measuring points are used for the correction, which often results in an unprecise or incorrect correction. With this procedure, many correction loops are necessary until complex components are released. This delay of the homologation process is extremely time and cost intensive. New digital methods offer a significant potential for optimization. With optical measuring methods or computer tomography, components and tools can be measured and analyzed over the entire geometry. Using modern software solutions, it is very easy to create correction areas based on the measurement data which include the entire surface. This procedure considerably reduces the required time, the personnel costs and machine capacity for a correction. This leads to a significant cost saving with a simultaneous increase in flexibility and a faster time to market. In addition, the realized corrections are much more precise.

1. Einleitung

Präzisionsbauteile aus Kunststoff werden meist im Spritzgießverfahren hergestellt, wobei durch die Verarbeitungsbedingungen wie Druckverläufe und Temperaturverteilungen, sowie durch den anschließenden Abkühlungsprozess die endgültige Geometrie des Bauteils festgelegt wird. Aufgrund der anisotropen Wärme- und Füllstoffverteilungen, richtungsabhängiger Schwindung sowie fließweg- und abkühlungsbedingter Spannungen tritt unweigerlich Verzug auf. Durch eine optimale Bauteil- und Werkzeugauslegung, die in aller Regel erfahrungsbasiert ist, wird dieses Problem zwar minimiert, lässt sich jedoch nie vollständig verhindern.

Um die kundenseitigen Toleranzanforderungen zu erfüllen, muss deshalb eine Werkzeugkavität erzeugt werden, welche dem Verzug entgegenwirkt, um diesen bestmöglich auszugleichen. In einem aufwändigen Korrekturprozess wird die Soll-Geometrie des Bauteils mit

seiner Ist-Geometrie und der bestehenden Kontur der Kavität abgeglichen und auf Basis empirischer Erfahrungen werden Maßnahmen zur Werkzeuganpassung abgeleitet. In vielen mittelständischen Unternehmen erfolgt dabei die messtechnische Aufnahme der Bauteile und Werkzeugkavitäten mit Hilfe eines berührenden Messsystems, welches lediglich wenige Messpunkte bestimmt. Diese Daten dienen als Grundlage für eine Anpassung bei einer Werkzeugkorrektur. Da die aufgenommenen Daten nur aus wenigen Messpunkten bestehen, sind die durchgeführten Korrekturen oft unpräzise. Infolge dieser Vorgehensweise, sind bis zur Freigabe eines Bauteils viele Iterationen erforderlich, wodurch der Korrekturprozess einen höchst zeit- und kostenintensiven Anteil an der Produktentwicklung einnimmt.

Neuartige optische bzw. computertomographische Messverfahren ermöglichen mittlerweile eine geschlossene flächige bzw. räumliche Erfassung von Messabweichungen am gesamten Bauteil. Zudem erleichtern speziell entwickelte Softwarelösungen die Erstellung von Korrekturfächern durch Reverse Engineering. Das im Bild 1 dargestellte Ishikawadiagramm zeigt exemplarisch die vielfältigen produkt- und werkzeugspezifischen Einflussparameter auf den Freigabeprozess. Ziel ist es auf dieser Basis einen systematischen robusten Korrekturprozess zu entwickeln, der den Aufwand signifikant reduziert und dadurch Zeit und Kosten einspart. Um dieses Ziel zu erreichen müssen möglichst viele dieser Einflussparameter berücksichtigt bzw. kompensiert werden.

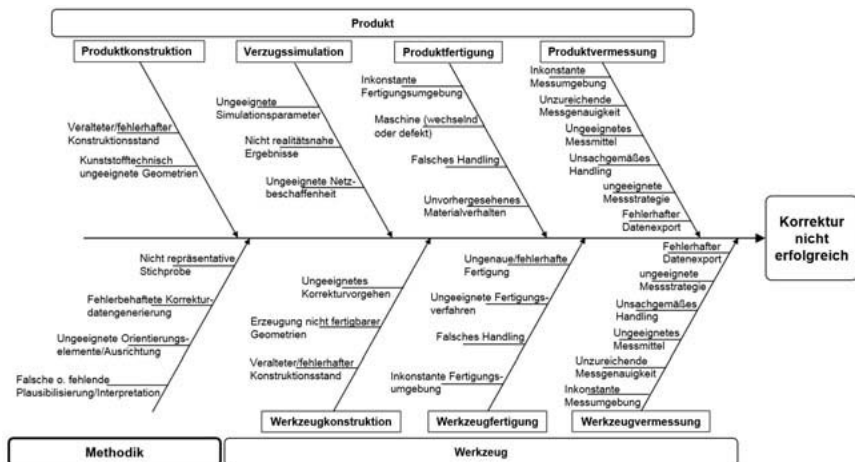


Bild 1: Ishikawadiagramm der Einflussparameter auf den Freigabeprozess [LKT]

2. Digitaler Freigabeprozess

Im Unterschied zum konventionellen Freigabeprozess, erfolgt beim digitalen Freigabeprozess (Bild 2) nicht nur eine Maßprüfung bei der Produktion der Musterteile. Bereits direkt nach der Werkzeugfertigung kann ohne großen Aufwand eine erste Überprüfung des Werkzeugs durchgeführt werden. Die Oberfläche wird dafür vollflächig aufgenommen und mit dem CAD-Modell des Werkzeugs verglichen. Sind hier bereits Fertigungsfehler feststellbar, werden diese direkt behoben. Fehler lassen sich somit immer jeweils direkt im Anschluss an die entsprechenden Prozessschritte erkennen und korrigieren. Dadurch lassen sich Abweichungen früh erkennen, korrigieren und nur i.O. Werkzeuge gehen zum nächsten Wertschöpfungsschritt. Danach erfolgt die vollständige Digitalisierung des gespritzten Bauteils. Mit Hilfe der entsprechenden Auswertesoftware wird bei der digitalen Analyse ein Soll-Ist-Vergleich des Teils erstellt. Liegen Maße des Bauteils nicht in der Toleranz wird eine digitale Korrektur durchgeführt. Hierfür werden die vollflächig aufgenommenen Messdaten verwendet. Der Vorteil hierbei ist, dass mehrere tausend Messpunkte für die Korrektur zur Verfügung stehen. Die Erstellung der Korrekturfläche kann dadurch sehr präzise unter Beachtung der vorgegebenen Randbedingungen erfolgen. Nach dem Einbringen der Fläche in das CAD-Werkzeug und der Werkzeugfertigung beginnt der in Bild 2 dargestellte Prozess wieder von vorn. Neben der Verbesserung bei der Erstellung von Prototypen und Erstmustern, bietet diese Vorgehensweise große Vorteile bei der Erstellung von Steigerungswerkzeugen und Mehrfachkavitäten. Zusätzlich kann der digitale Prozess auch zur Überprüfung des Werkzeugverschleißes herangezogen werden. Dafür ist das Werkzeug mit seinen Kavitäten in regelmäßigen Abständen zu vermessen und bei Bedarf zu korrigieren.

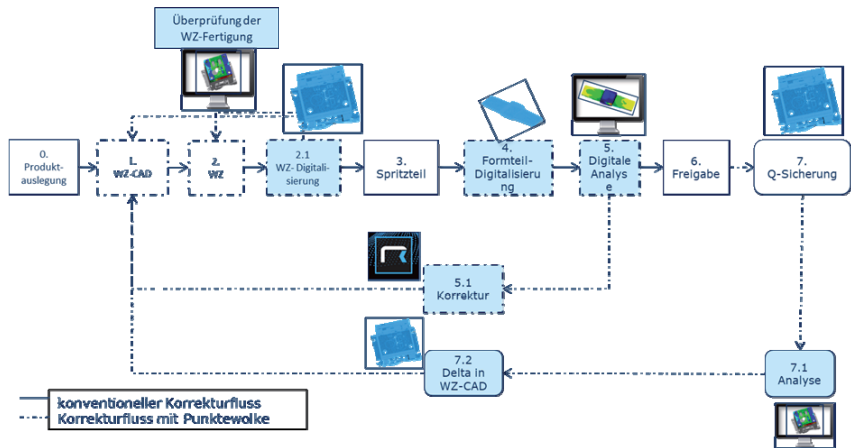


Bild 2: Digitaler Freigabeprozess [LKT]

3. Messtechnik

Die Grundlage des digitalisierten Freigabeprozesses bilden der Digitalisierungsschritt des Werkzeugs und des Formteils. Zur Digitalisierung stehen verschiedene berührend und berührungslos messende Verfahren zur Verfügung. Das Ergebnis dieser Messungen sind Messpunkte in Form einer Punktwolke. Eines der möglichen Verfahren ist die optische Geometrierfassung mit Hilfe des Streifenlichtverfahrens. Mit diesem Messverfahren lässt sich die Geometrie von Bauteilen und von Werkzeugen sehr genau erfassen (Bild 3). Eine Streifenlichtanlage verfügt über einen Stereokamera-Aufbau, wobei der Sensor verschiedene Streifenmuster auf die Objektoberfläche projiziert. Die beiden Kameras zeichnen diese Streifenmuster auf und liefern ein komplett räumliches Bild des Objektes. Mit Hilfe einer Triangulation zwischen den Kameras und dem Projektor kann die 3D-Kontur des Bauteils mit hoher Präzision berechnet werden. [1]

Eine weitere Möglichkeit bietet die Computertomographie CT. Mit dem Computertomographen kann ebenfalls mit relativ geringem Zeitaufwand eine hohe Messgenauigkeit erreicht werden. Zudem wird das Innenleben des Teils mit abgebildet. Die Größe des Messvolumens ist allerdings begrenzt. Diese Anlagen sind ortsfest, d.h. Messungen direkt in der Produktion sind nicht möglich. Eine vollflächige Werkzeugaufnahme mit Hilfe eines CT ist bisher nicht möglich.

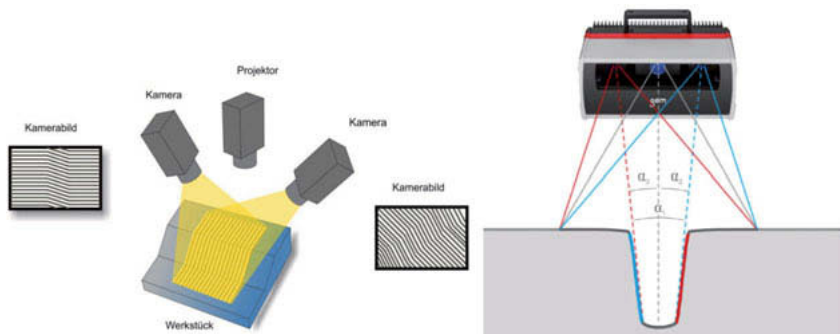


Bild 3: Streifenlichtprojektion [2]

[Quelle: GOM]

Die optische Streifenlichtmessung ist insbesondere aufgrund des Kostenvorteils gegenüber der CT-Messung für kleinere mittelständische Unternehmen attraktiv. Zudem können Werkzeuge flexibel direkt vor Ort an der Maschine vermessen werden (Bild 4). Damit entfallen aufwändige Transport- und Liegezeiten. Die Streifenlichtprojektionstechnik stößt bei vielen komplexen Bauteilen bzw. Werkzeugen hinsichtlich der optischen Zugänglichkeit jedoch an ihre Grenzen. Sehr schmale und tiefe Bereiche, wie beispielsweise Bohrungen können mit dem Triangulationsprinzip nicht erfasst werden. Die Aufnahme dieser hinterschnittigen Bereiche kann jedoch mit Hilfe eines optisch getrackten Messtasters erfolgen. Die Dichte der Messpunkte ist in diesen Bereichen entsprechend gering.

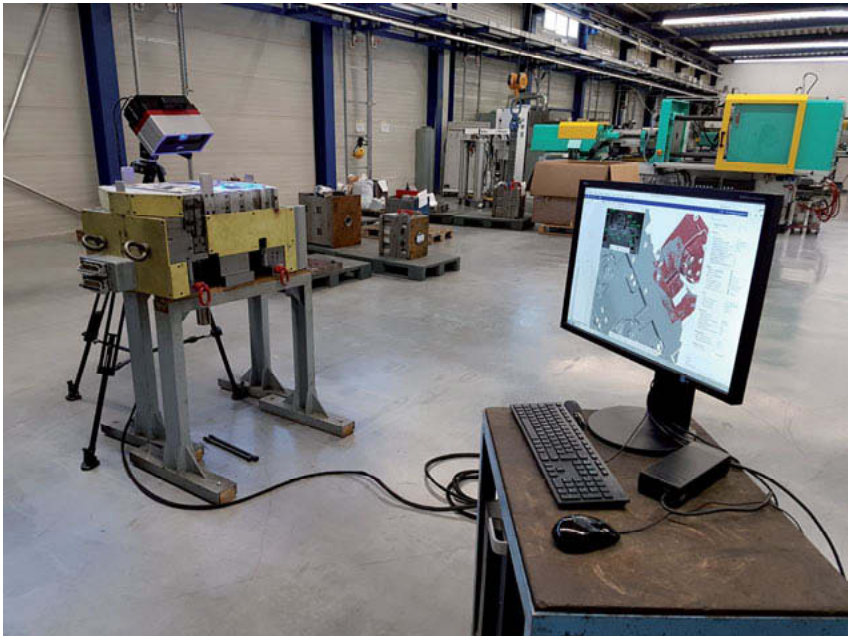


Bild 4: Werkzeugvermessung mit dem Streifenlicht vor Ort [Quelle: LKT]

4. Korrekturprozess

Die Ergebnisse aus dem Soll-Ist-Vergleich der optischen Vermessung bilden die Basis für die Korrektur des Werkzeugs. Ziel der Korrektur ist, die Schwindung und den Verzug des Teils so zu kompensieren, dass mit dem korrigierten Werkzeug ein qualitatives i.O. Bauteil hergestellt werden kann.

Im Allgemeinen besteht die Vorgehensweise bei einer Werkzeugkorrektur aus drei Schritten. Zunächst werden die Abweichungen aus dem Soll-Ist-Vergleich ermittelt. Durch jeden Messpunkt wird eine Abweichungsnadel in Normalen-Richtung zur CAD Soll-Geometrie erstellt. Diese Abweichungsnadeln werden um die CAD Soll-Geometrie gespiegelt. Anschließend werden die gespiegelten Abweichungen mit der aktuellen Werkzeug-Geometrie verrechnet (Bild 5). Aus der so neu erzeugten Punktwolke wird das korrigierte CAD-Modell des Werkzeuges erstellt.

Mit Hilfe der Software Zeiss Reverse Engineering können dann die flächenhaft aufgenommenen Daten aus den Scans automatisiert um die Soll-Geometrie gespiegelt und auf die Werkzeuggeometrie übertragen werden.

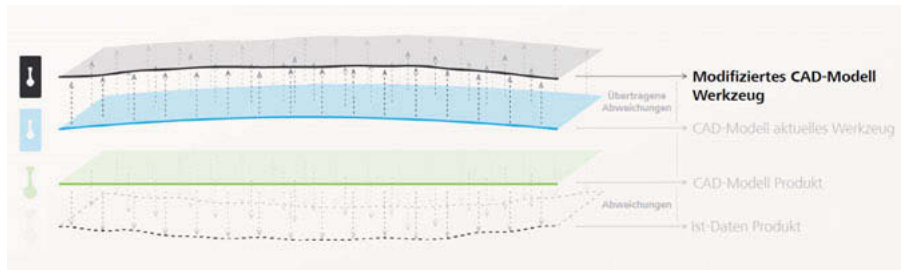


Bild 5: Werkzeugkorrektur [Quelle: Zeiss]

5. Zusammenfassung

Für die Durchführung einer digitalen Korrektur werden optisch aufgenommene Messdaten verwendet. Mit Hilfe der Software Zeiss Reverse Engineering können dann die ermittelten Abweichungen der Messpunkte direkt auf das Werkzeug übertragen und eine neue Werkzeugfläche generiert werden. Durch die Verwendung der flächig ermittelten Messdaten wird die Bauteilkontur bei dieser Korrektur deutlich besser abgebildet. Ein Vergleich der digitalen Methode mit konventionellen Korrekturmethode zeigt zudem, dass die digitale Korrektur oft nur die Hälfte an Bearbeitungszeit in Anspruch nimmt. Die vollflächig aufgenommenen Messdaten dienen als Datengrundlage für alle am Teil durchzuführenden Korrekturen. Eine separate Vermessung einzelner Korrekturflächen, wie bei der Verwendung taktile Messmethoden erforderlich, entfällt. Dies führt zu einer erheblichen Zeit- und Kostenersparnis. Dies wurde mittlerweile im Labor für Kunststofftechnik der Hochschule Esslingen an zahlreichen Beispielen der Industriellen Praxis der Kunststofftechnik verifiziert.

6. Literatur

- [1] Wolfgang Guth Streifenlicht für die Form
Form und Werkzeug 5/2019
- [2] Claus P. Keferstein, Michael Marxer: Fertigungsmesstechnik –
Praxisorientierte Grundlagen, modernster Verfahren
Springer Vieweg Verlag, 2015

Umsetzung vom physikalischen Schäumverfahren in der Serie

Dipl.-Ing. (FH) **J. Götzelmann, M. Benitez,**
Magna Exteriors GmbH, D-Sailauf;
Dr. Pavel Petera,
Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o., CZ-Liberec

Kurzfassung

Die Reduzierung des Fahrzeuggewichtes spielt bei der Erzielung der CO₂-Ziele eine wichtige Rolle. Der Anteil an Kunststoffbauteilen im Exterieurbereich steigt stetig an und kann daher einen hohen Beitrag zur Gewichtsreduzierung leisten.

Der Beitrag befasst sich mit dem Thema wie durch das TSG-Verfahren (Thermoplastisches Spritzgießen) eine Reduzierung der Dichte / des Gewichtes eines Strukturbauteiles bei gleichzeitiger Einhaltung der Lastenheftanforderungen erreicht werden kann.

1. Anforderungen an das Bauteil

Wichtigstes Kriterium ist die Erfüllung der Lastenheftanforderungen der OEMs. Darin werden die Anforderungen an das Bauteil festgelegt. Im Vorfeld die Klima- und Vibrationsprüfung als die für dieses Bauteil kritischste Prüfung definiert. Als erfüllt kann man diese Vorgaben betrachten, wenn das Bauteil nach der Prüfung noch allen Spezifikationen des Lastenheftes entspricht.

Vom Lieferanten wird erwartet einen beherrschbaren Fertigungsprozess zu besitzen. Der Spritzgussprozess als Basis bietet hier eine bekannte und etablierte Technologielösung.

Als Systemlieferant ist Magna aufgefordert zur Reduzierung bzw. zum nicht weiteren Anstieg des Fahrzeuggewichtes beizutragen.

2. Grundsätzliches zum TSG-Verfahren

Der Focus wird hier auf das Verfahren „MuCell®“ der Fa. Trexel gelegt. Hier wird mittels eines Injektors Stickstoff unter hohem Druck der Schmelze zugeführt.

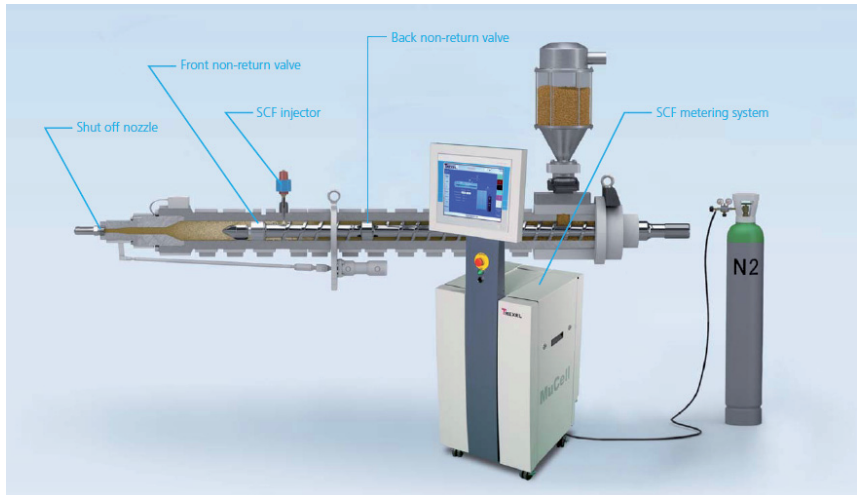


Bild 1: Trexel-Einheit

Das Standardverfahren füllt das Werkzeug mit 90% der Masse. Die Restfüllung, inklusive des „Nachdrucks“, erfolgt über die Gasbeladung in der Schmelze. Hier kann man eine Gewichtseinsparung ohne eine allzu große Reduzierung der mechanischen Eigenschaften von ca. 5-7% realisieren.

Um eine höhere Reduzierung des Gewichtes bei gleichzeitiger Erhaltung der mechanischen Eigenschaften zu erreichen, muss der Querschnitt des Bauteiles erhöht werden.

Das Bauteil wird mit einer reduzierten Wandstärke gefüllt und nach dem Erreichen einer 99%-Füllung geöffnet. Diese gibt der gasbeladenen Schmelze die Möglichkeit zu expandieren.

Vorteil bei diesem Verfahren ist eine höhere Gewichtseinsparung bei gleichzeitigem Erhalt der mechanischen Eigenschaften.

Als Nachteil ist zu erwähnen, dass im Gegensatz zum physikalischen Schäumverfahren ohne Öffnungshub keine nennenswerte Reduzierung der Schließkraft erreicht werden kann. Der Vorteil einer kleineren Spritzguss-Maschine entfällt.

Üblicherweise kommt beim Expansionsverfahren ein Tauchkantenwerkzeug zum Einsatz, um das Expandieren der Masse über die Bauteilgeometrie hinaus zu verhindern.

Versuche mit einem Serienwerkzeug ohne Tauchkante haben jedoch gezeigt, dass die Randschicht stabil genug ist, um ein Expandieren über die Bauteilgeometrie hinaus zu verhindern. Ein Tauchkantenwerkzeug ist somit nicht zwingend notwendig.

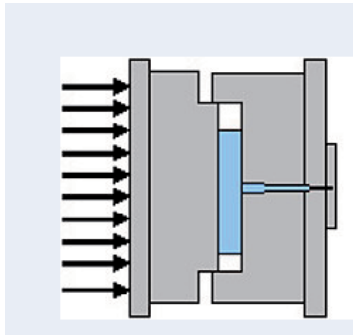


Bild 2: Tauchkantenwerkzeug

3. Erstellung Prototypenwerkzeug

Um eine möglichst hohe Übertragbarkeit der Ergebnisse und vollständige Validierung zu erreichen, wurde das Werkzeug seriennah umgesetzt. D.h. Werkzeugmaterial, Heißkanal, Mechanik und Kühlung entsprechen einem Serienwerkzeug.

Auch das Bauteil sollte so seriennah wie möglich sein, um einen 1:1- Vergleich zu ermöglichen. Die Entscheidung fiel auf den Stoßfängerträger. Um die Kosten in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wurde das Werkzeug als 1-fach-Werkzeug abgebildet.

Als nächstes wurden die Bereiche festgelegt, welche expandieren können und in welchen Bereichen im Werkzeug eine Expansion verhindert werden muss.

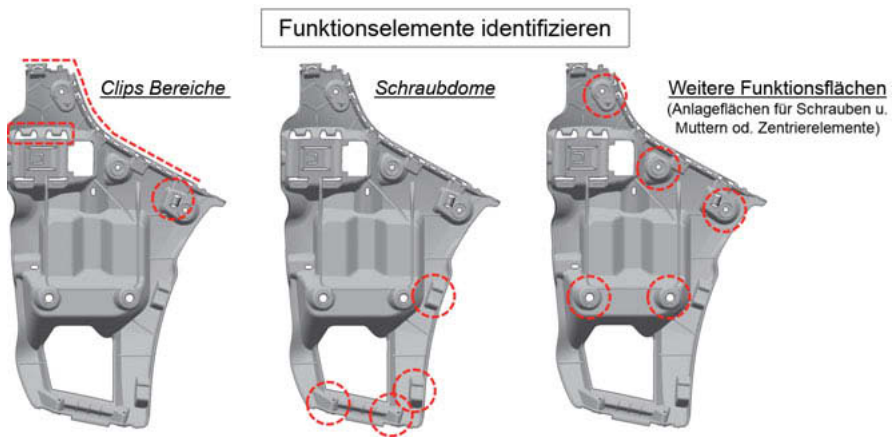


Bild 3: Kompaktbereiche

Bei der Materialauswahl wurde eine Vielzahl von Thermoplasten mit verschiedenen Füllstoffgehalten getestet und PP/GF festgelegt. Dieses Material lässt sich wesentlich besser aufschäumen und erreicht durch den Glasfaseranteil vergleichbare mechanische Werte zum in der Serie eingesetzten Material ABS.

Die Auslegung des Expansionshubes entstand aus folgender Überlegung:

- Welche minimale Wandstärke kann man mit einem vertretbaren Druck füllen?
- Welcher Bauraum steht Magna für das expandierte Bauteil zur Verfügung?

Des Weiteren wurde in Versuchen das optimale Verhältnis zwischen Anfangswandstärke und Endwandstärke (Expansionsratio) ermittelt.

4. Ergebnisse

Der Gewichtsvorteil im Vergleich zu einem konventionell hergestellten Bauteil beträgt 20%. Die volle theoretische Gewichtseinsparung wurde nicht erreicht, da aus Festigkeitsgründen Bereiche im Bauteil kompakt gehalten werden mussten.

Es wurde eine Versuchsreihe gestartet, in der man sich auf die Parameter Öffnungshub, Gasbeladung und Material konzentriert hat.

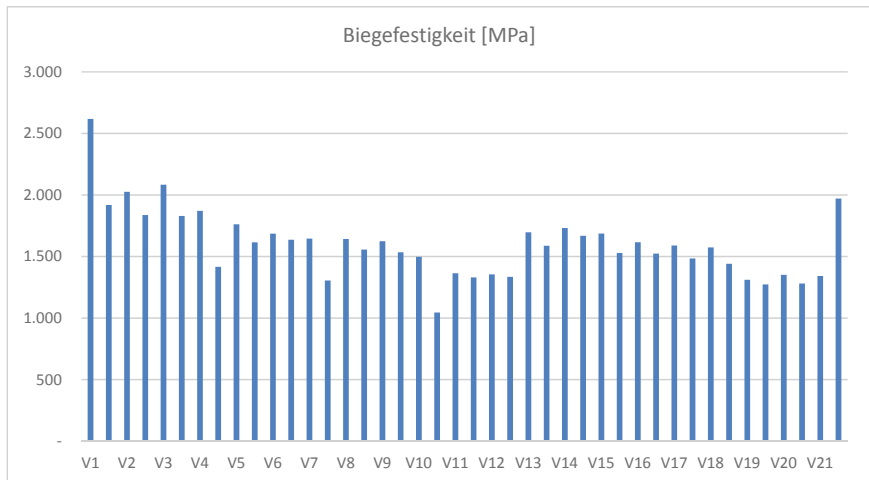


Bild 4: Biegefestigkeit bei unterschiedlichen Gasbelastungen und Öffnungshüben

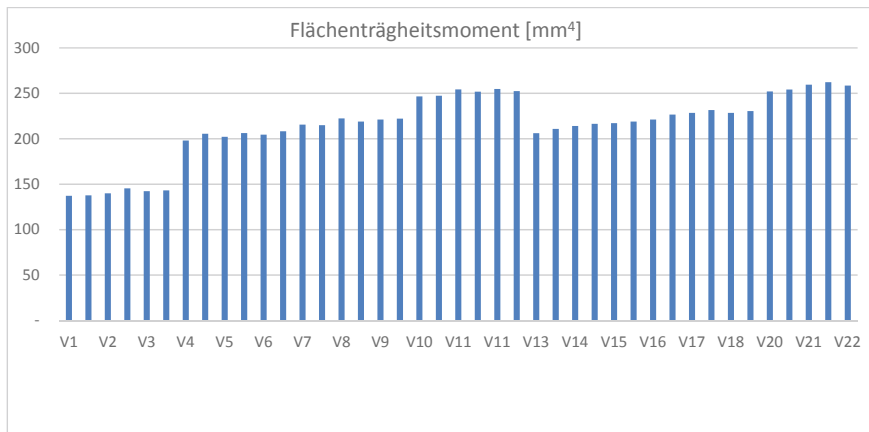


Bild 5: Flächenträgheitsmoment bei unterschiedlichen Gasbelastungen und Öffnungshüben

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Öffnungshub den größten Einfluss auf das Ergebnis der mechanischen Prüfung hat. Durch die Erhöhung der Gasbelastung kann bis zu einem gewissen Grad die Mechanik noch verbessert werden. Durch diese beiden Parameter können die Werte des in Serie eingesetzten Materials erreicht bzw. sogar übertroffen werden.

Nach dem der Einfluss der Parameter Öffnungshub und Gasbeladung untersucht wurden, hat man die Auswirkung der Materialauswahl untersucht. Bei der gewählten PP-Type wurde der Glasfaseranteil variiert. Zum Vergleich kam noch das Serienmaterial in kompakter und geschäumter Variante hinzu.

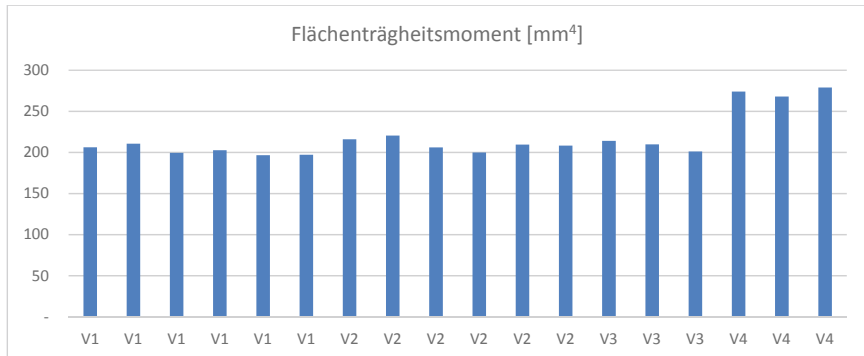


Bild 6: Flächenträgheitsmoment bei verschiedenen Glasfaseranteilen und Serienmaterial kompakt / geschäumt

Der Glasfaseranteil hat beim Flächenträgheitsmoment eine geringe Auswirkung. Die Performance bleibt über alle Varianten vergleichbar. Als einziges kann sich das Serienmaterial hier etwas absetzen.

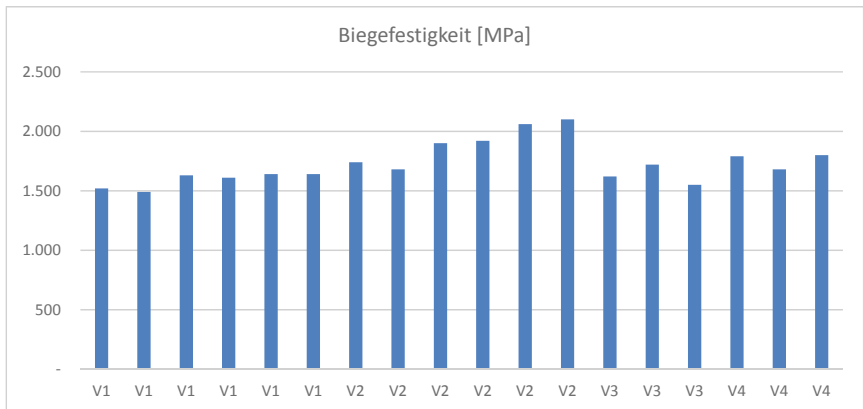


Bild 7: Biegefestigkeit bei verschiedenen Glasfaseranteilen und Serienmaterial kompakt / geschäumt

Bei der Biegefestigkeit hat der Glasfaseranteil eine hohe Auswirkung. Hier wird bei einem hohen Anteil von Fasern die Performance des Serienmaterials übertroffen.

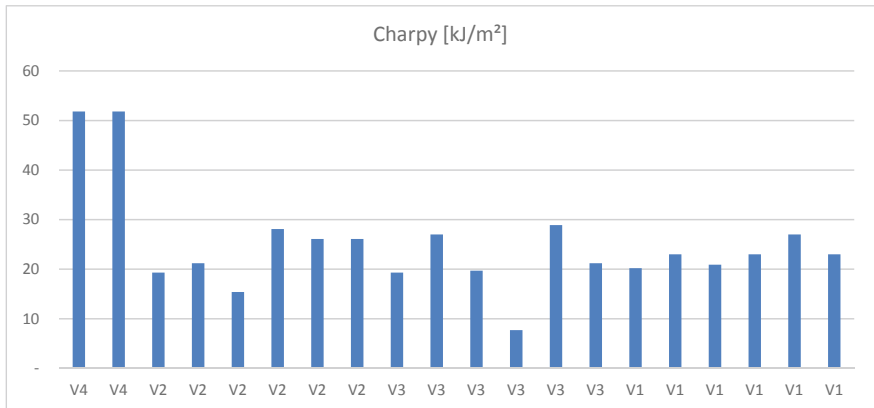


Bild 8: Charpy bei verschiedenen Glasfaseranteilen und Serienmaterial kompakt / geschäumt

Das ungeschäumte Serienmaterial zeigt hier die besten Werte. Die Varianten mit hohem Faseranteil erreichen ca. 60% der Performance des Serienmaterials. Die geschäumte Variante des Serienmaterials schnitt hier am Schlechtesten ab.

Um die gemessenen mechanischen Werte zu bestätigen, wurde die Verstärkung einer Vibrationsprüfung in der Klimakammer unterzogen.

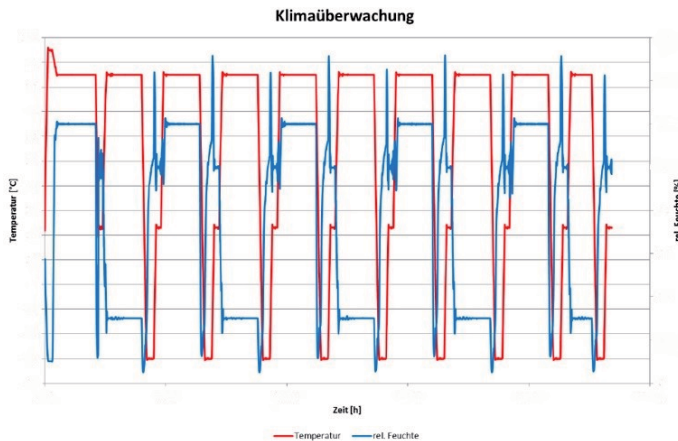


Bild 9: Klimaüberwachung Klimawechselfest

Die Auswertung ergab teilweise bessere Ergebnisse als das Serienbauteil. Dies lässt sich auf die besseren Dämpfungseigenschaften des geschäumten Materials zurückführen.

5. Fazit

In Strukturbauteilen steckt ein hohes Gewichtseinsparpotential, welches sich unter anderem durch das thermoplastische Schäumen nutzen lässt. Magna Exteriors wird in Zukunft diese Technologie weiter untersuchen und die Applikationen in diesem Feld weiter ausbauen. Nicht nur deshalb hat man die letzten Jahre genutzt um das Thema Simulation und mechanische Kennwerte der unterschiedlichen Materialien und Schäumgraden weiter voran zu treiben und die Entwicklung bei Magna Exteriors mit diesen Tools zu befähigen.

Zusätzlich werden momentan verschiedene Schäumtechnologien dem physikalischen Schäumen gegenübergestellt und die Performance verglichen. Auch das Thema Class A-Fähigkeit rückt weiter in den Fokus von Magna Exteriors und man hat bereits in ersten Demonstratoren sowohl genarbte Sichtflächen wie auch lackierte Bauteile darstellen können. Dabei bilden weiterhin das Zusammenspiel von Leichtbau, Prozessperformance und Class A-Appearance die entscheidende Balance für Magna Exteriors.

Hohlprofil-Hybridtechnik

Intelligenter Materialeinsatz für Strukturbauteile in der automobilen Großserie

Dr.-Ing. **M. Theunissen**, **B. Koch**, Dr.-Ing. **M. Wanders**,
LANXESS Deutschland GmbH, Köln

Kurzfassung

Hybride Technologien für die Produktion von Kunststoff/Metall Hybridteilen können auf eine lange Erfolgsgeschichte zurückblicken. Kunststoff und Metalle definieren die Eigenschaften des Hybridteils entsprechend ihrer jeweiligen Eigenschaften. Die Grundidee dabei ist es, Synergien der Materialkombination von Kunststoff und Metall zu nutzen, also die jeweiligen Vorteile zu kombinieren sowie die Nachteile auszugleichen. Auf Basis der Idee, Metalle im Spritzgießen zu funktionalisieren, sind diverse Prozessvarianten entwickelt worden. Die stetige Weiterentwicklung hat dazu geführt, dass immer komplexere und höher integrierte Bauteile wettbewerbsfähig herstellbar wurden.

Einige Bauteile erfordern besonders hohe mechanische Torsionsfestigkeiten und Torsionssteifigkeiten. Mit den bekannten Technologien der Kunststoff/Metall Hybride ist eine Fertigung oft nicht wirtschaftlich möglich. LANXESS hat mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit von Hybridkonzepten eine neue Technologie entwickelt, die metallische Hohlprofile auf einer Standardspritzgießmaschine funktionalisiert. Das Einbringen verschiedenster Funktionalitäten kann am Beispiel eines automobilen Instrumententafelträgers aufgezeigt werden.

In diesem Beitrag wird zunächst die Technologie grundlegend vorgestellt. Ein Fokus liegt dabei auf der Entwicklung der Verbindungstechnologien. Im Anschluss wird anhand eines automobilen Instrumententafelträgers das Potenzial für die Anwendung in der Serie aufgezeigt.

1. Einleitung und Stand der Technik

Diverse Anwendungen, insbesondere aus dem Automobilbau, erfordern besonders hohe Steifigkeiten und Festigkeiten einzelner Bauteile. Diese Eigenschaften können teils selbst von hochgefüllten Kunststoffcompounds nicht erreicht werden. Um trotzdem die Vorteile von Kunststoffen hinsichtlich Designfreiheit und Produktivität nutzen zu können, wurden hybride Materialsysteme aus Kunststoff und Metall entwickelt. LANXESS zählt zu den Pionieren, die

die Entwicklung von Kunststoff/Metall Hybriden von der Idee bis zur Innovation wesentlich geprägt haben. In den 1990er Jahren wurde diese Technologie von einer Nischentechnologie bis zum Industriestandard weiterentwickelt und verbreitet. Eine Kernanwendung für diese Technologie sind sogenannte Frontends im Automobil – das sind sicherheitsrelevante Strukturbauteile in der Front des Fahrzeugs, die hohe Kräfte aufnehmen müssen. Nach ersten Entwicklungen automobiler Frontends in den 1990er Jahren werden Frontends millionenfach in der ganzen Welt aus Kunststoff/Metall Hybrid hergestellt. Darüber hinaus sind auch Anwendungen wie Automobilpedale und Dachspiegel realisiert worden.

Neue Entwicklungen im Bereich der Kunststoff/Metall Hybride zielen auf Anwendungen ab, bei denen besonders hohe Anforderungen hinsichtlich Torsionssteifigkeit und Torsionsfestigkeit vorliegen. Ein typisches Beispiel für eine derartige Anwendung ist der Instrumententafelträger. Die wesentlichen Anforderungen liegen hier darin, hohe Eigenfrequenzen zu erzielen und damit Vibrationen, bspw. des Lenkrads und anderer Bauteile, zu minimieren. Darüber hinaus müssen die Strukturen auch im Falle eines Crashes die nötige Festigkeit und das spezifizierte Crashverhalten zeigen. Es wurden bereits Kunststoff/Metall Hybride mit metallischen Hohlprofilen in der automobilen Großserie verschiedener Automobilhersteller umgesetzt. Neue Prozesse für die Funktionalisierung von metallischen Hohlprofilen im Spritzgießen werden einen weiteren wesentlichen Beitrag zur Durchdringung des Marktes leisten.

Eine aktuelle Neuentwicklung der Firma LANXESS vereinfacht die Herstellung der Kunststoff/Metall Verbundbauteile wesentlich. Metallische Hohlprofile werden auf einer Standardspritzgießmaschine mithilfe von Kunststoff funktionalisiert. Der gleichzeitig dabei erzeugte Formschluss ermöglicht die Übertragung hoher Kräfte und Momente und erzielt in der angestrebten Hauptanwendung eines Instrumententafelträgers hervorragende Ergebnisse hinsichtlich der geforderten Lastfälle.

2. Herausforderungen bei der Verarbeitung von Hohlprofilen im Spritzgießen

Die Verarbeitung von flächigen metallischen Einlegeteilen oder auch von Volumenkörpern, wie beispielsweise Gewindebuchsen oder Verstärkungsteilen, ist industrieller Standard und wird in vielen Anwendungen wirtschaftlich und wettbewerbsfähig eingesetzt. Die Verarbeitung von metallischen Hohlprofilen im Spritzgießen birgt weitere Herausforderungen, die technologische Lösungsansätze erfordern. Die wesentlichen Herausforderungen sind

1. Große Toleranzen der metallischen Hohlprofile
2. Hoher Prozessdruck in der Verarbeitung während Einspritz- und Nachdruckphase
3. Keine oder nur geringe Haftung der Kunststoffe am Metall

Bislang ist industriell lediglich eine Technologie bekannt, die diese Herausforderungen bewältigen kann und großflächig eingesetzt wird. Einige Instrumententafelträger werden in einer Kombination des Innenhochdruckumformens (IHU) mit einem anschließenden Funktionalisieren mithilfe des Kunststoff-Spritzgießens hergestellt. Die Umformung der eingelegten metallischen Hohlprofile mithilfe eines mit hohem Druck beaufschlagten Prozessfluids dient dabei dem Toleranzausgleich. Dimensionsunterschieden zwischen zwei metallischen Hohlprofilen wird somit über die aufweitende Formänderung der metallischen Hohlprofile begegnet. Dies schränkt die Gestaltungsfreiheit der Kunststoffkomponente dahingehend ein, dass insbesondere großflächige Überspritzungen durch die Verfahrenskombination von Innenhochdruckumformen und Spritzgießen in einem Spritzgießwerkzeug auf einer Maschine nicht möglich sind. Das Potenzial des Kunststoffs wird an der Stelle folglich nicht vollständig ausgereizt. Für den Prozess ist zudem eine Anlagen- und Werkzeugtechnik erforderlich, die eine gas- und wasserdichte Abdichtung auch bei hohen Prozessdrücken ermöglicht. Eine wirtschaftliche Umsetzung ist folglich nur mit fundiertem Prozesswissen und ausgereifter Werkzeug- und Anlagentechnik möglich. Eine größere Marktdurchdringung ist bislang noch nicht erfolgt.

3. Neue Hohlprofil-Hybridtechnik, Hollow Profile Hybrid (HPH)

Die drei zentralen Herausforderungen bei der Verarbeitung von metallischen Hohlprofilen wurden auf Basis der jahrzehntelangen Erfahrung von LANXESS aus dem Bereich von Kunststoff/Metall Hybriden neu analysiert und bewertet. Mit dem Ziel, eine Technologie für eine Standardspritzgießmaschine zu entwickeln, wurden die wesentlichen Herausforderungen definiert und konkrete Lösungen erarbeitet:

1. Einlegen und Abdichten von metallischen Hohlprofilen mit großen Toleranzen
2. Stützen des Hohlprofils während des Spritzgießprozesses, um ein Kollabieren des Hohlprofils zu vermeiden
3. Verbinden von Kunststoff und Metall, um in der Verbindung hohe Steifigkeiten und Festigkeiten erzielen zu können

Die Kernidee der neuen LANXESS-Technologie liegt darin, dass die Schließkraft der Spritzgießmaschine dazu genutzt wird, um auch Hohlprofile einlegen zu können, die für die unveränderliche Kavität des Spritzgießwerkzeugs toleranzbedingt zu groß sind. Für dieses Toleranzmanagement wird ein zum Patent angemeldeter Formänderungsmechanismus genutzt. Die Idee ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Eine bspw. zunächst oval geformte Quer-

schnittsgeometrie wird über die Schließkraft der Spritzgießmaschine in die finale Form gepresst. Durch die ovale Form ist gewährleistet, dass auch zu große metallische Hohlprofile in die Kavität eingebracht werden können. Eine Beschädigung der Kavität oder des metallischen Einlegers wird dadurch verhindert.

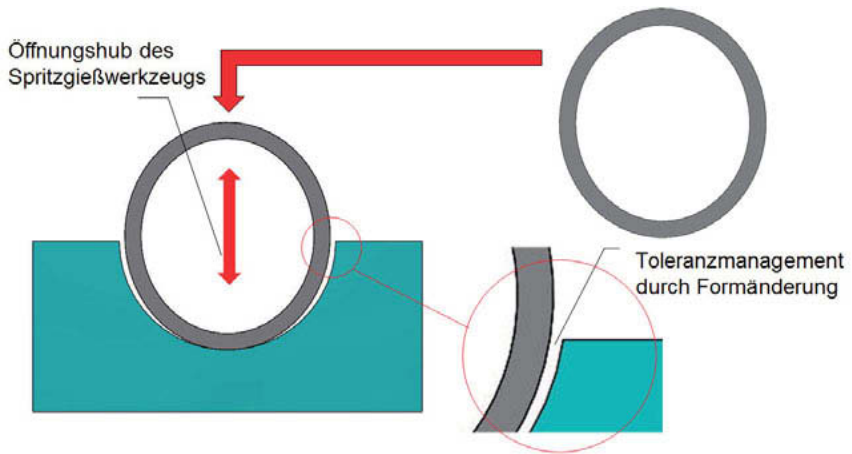


Bild 1: Gezielte Formänderung für reproduzierbares und prozesssicheres Abdichten zwischen Einleger und Spritzgießwerkzeug

Nach dem erfolgreichen Einlegen und Abdichten der Hohlprofile kann der Einspritzvorgang begonnen werden. Der Hohlraum, in den der Kunststoff eingespritzt wird, ist in diesem Prozessschritt nach dem Schließen des Werkzeugs begrenzt durch das Formwerkzeug auf der einen, und das Hohlprofil auf der anderen Seite. Durch die Verpressung des Hohlprofils beim Schließen des Werkzeugs ist kein Spalt vorhanden und ein Einspritzen somit reproduzierbar ohne unkontrolliertes Überspritzen möglich. Da der Einspritzdruck dazu führen kann, dass das Hohlprofil kollabiert, muss bei besonders dünnwandigen Hohlprofilen eine Lösung für das Abstützen des Hohlraums gefunden werden. Dafür wurden von LANXESS mehrere Varianten entwickelt und im Technikumsmaßstab erfolgreich validiert. Die grundsätzlichen Möglichkeiten sind in Bild 2 aufgezeigt. Es besteht die Möglichkeit, ein Fluid einzusetzen, es kann ein Stützelement, vorzugsweise aus Kunststoff lokal zur Abstützung eingesetzt werden, oder das Hohlprofil wird so ausgelegt, dass es die Prozessdrücke des Spritzgießprozesses prozesssicher erträgt, ohne zu kollabieren. Insbesondere für die letztgenannte Variante eignen sich dann besonders leichtfließend modifizierte Compounds, die trotz hohem Anteil an Verstärkungsfasern geringere Prozessdrücke erfordern als geringer verstärkte Materialien. An

dieser Stelle unterstützt somit eine bereits im Markt etablierte Materialinnovation eine neue Technologie.

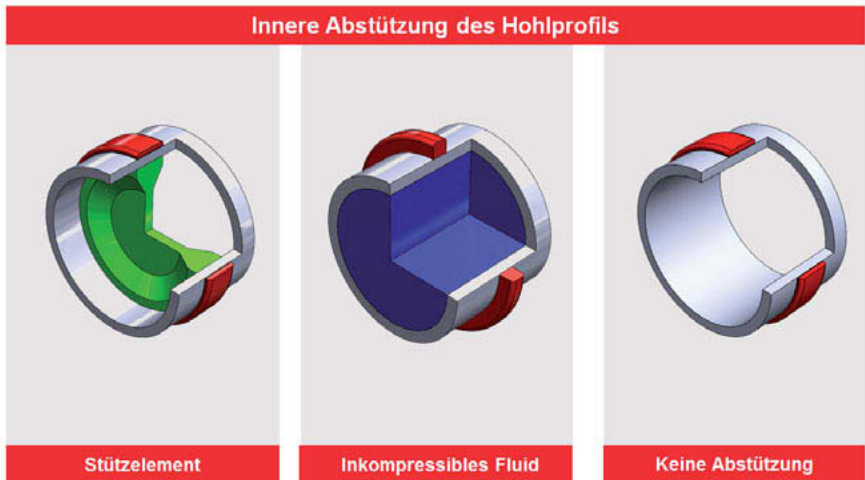


Bild 2: Varianten zur Abstützung eines metallischen Hohlprofils im Spritzgießen

Nach erfolgreicher Überspritzung und Funktionalisierung mittels Kunststoff werden die Bauteile entformt. Um eine stabile Verbindung erzielen zu können, muss zu diesem Zeitpunkt bereits ein reproduzierbarer Formschluss gegeben sein. Eine Fokussierung auf den Formschluss als Methode der Verbindung eignet sich insbesondere deshalb, weil damit auch eine Abbildung mittels numerischer Simulationen möglich ist. Diese Art der Verbindung hat sich überdies in jahrzehntelangem Einsatz in der Hybridtechnik, beispielsweise bei Frontends, etabliert und in der Anwendung behauptet. In einer ersten Prozessvariante wurde mit Stützelementen gearbeitet, die eine gezielte Umformung des Hohlprofils in Taschen der Stützelemente ermöglicht (Bild 3). Der dadurch entstehende Formschluss ermöglicht die Übertragung hoher Drehmomente.

Formschluss durch Umformung im Spritzgießprozess

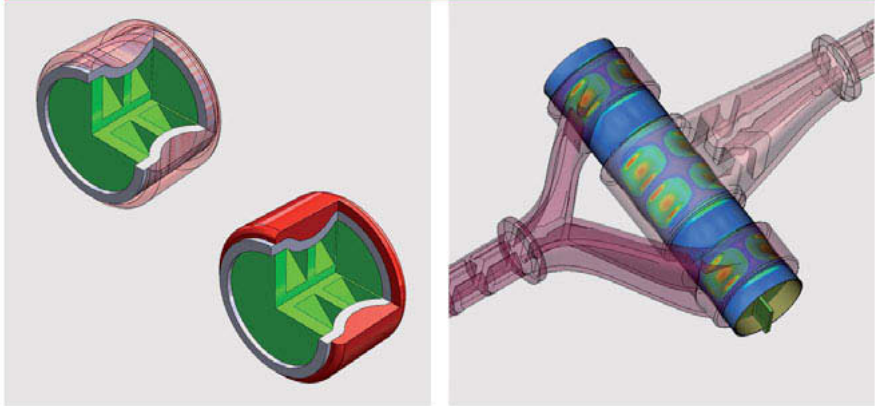


Bild 3: Während des Prozesses ausgeformte Taschen zur Übertragung hoher Drehmomente

Mit der oben gezeigten Prozessvariante lassen sich in einer Prüfung der Torsionsbelastung für einen 20 mm breiten Ring über einem Aluminiumprofil mit 40 mm Außendurchmesser ca. 300 Nm übertragen, bevor der Kunststoff versagt.

4. Verbindungstechnologien

Innovative Anwendungen unterliegen in unterschiedlichen Bauteilbereichen teils verschiedenen Anforderungen. So können beispielsweise einzelne Funktionen besonders für steifigkeitsrelevante Lastfälle ausgelegt werden und andere eher für festigkeits- oder crashrelevante Lastfälle. Im Rahmen diverser Entwicklungsprozesse hat LANXESS einen morphologischen Kasten entwickelt, der auf die spezifischen Anforderungen einzelner Anwendungen und Kundenspezialitäten zugeschnitten ist. Sowohl für Hohlprofile aus Stahl als auch aus Aluminium wurden spezifische Lösungskonzepte erarbeitet und geprüft.

Die gängigen, kommerziell verfügbaren Hohlprofile aus Aluminium werden im Strangpressverfahren hergestellt. Dieses Verfahren ist sehr variabel in Bezug auf das Design der Hohlraumquerschnitte. So können beispielsweise runde, ovale oder auch mehrere voneinander getrennte Hohlräume im Aluminiumquerschnitt realisiert werden. Diese Eigenart der Herstellung hat sich LANXESS zunutze gemacht und verschiedene wesentliche Verbindungstechnologien für Hohlprofile aus Aluminium erarbeitet. Zum einen können ovale Querschnitte hergestellt werden, um das Toleranzmanagement der HPH-Technologie zu ermöglichen. Des Weiteren können, wie in Bild 4 gezeigt, Rippenstrukturen eingebracht werden. Diese

Rippenstrukturen ermöglichen einen scharfkantigen und klar definierten Formschluss, der besonders für die Einleitung hoher Drehmomente geeignet ist und besonders steife Verbindungen ohne Verrutschen zwischen Kunststoff und Metall ermöglicht.

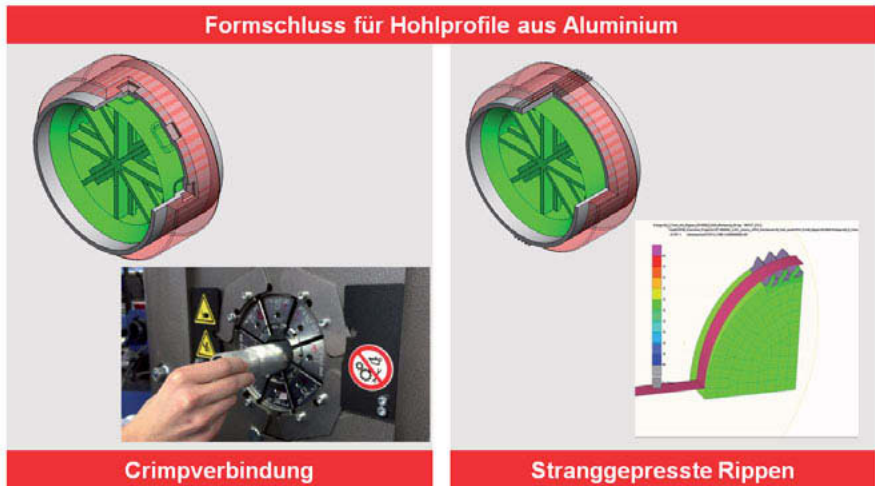


Bild 4: Verbindungsmethoden für die Umspritzung von Hohlprofilen aus Aluminium

Für einige Anwendungen müssen aufgrund spezieller Randbedingungen oder Kundenwünsche Stahlprofile eingesetzt werden. Da Stahlprofile oft aus Blechen geformt und kontinuierlich längs verschweißt werden, ist hier eine Formvariation oder das flexible Einbringen von Rippen, wie im Fall von Aluminium, nicht möglich. Daher stehen hier andere Verbindungsmethoden im Fokus (Bild 5). Bei Stahl sind neben dem Crimpen, das auch, wie oben gezeigt, im Falle von Aluminium eine der zentralen Verbindungsmethoden darstellt, insbesondere Schweißverfahren großserientauglich verfügbar. So können bspw. Pins oder Platten aufgeschweißt werden, die dann die Übertragung der Kräfte zwischen Kunststoff und Hohlprofil ermöglichen.

Formschluss für Hohlprofile aus Stahl

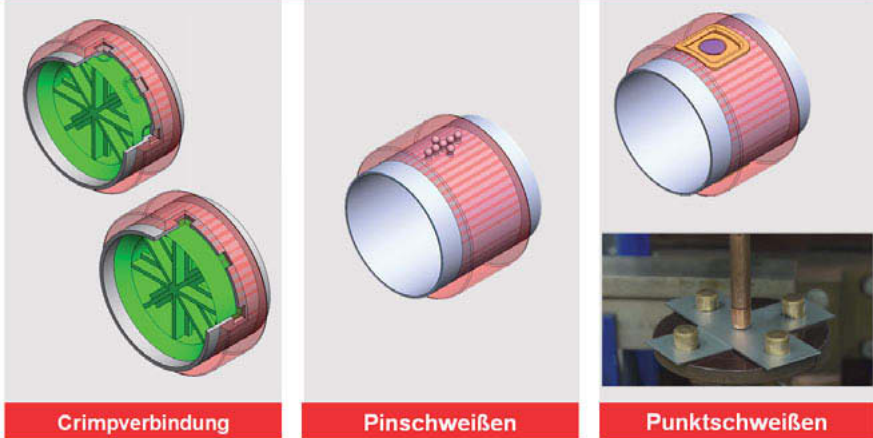


Bild 5: Verbindungsmethoden für die Umspritzung von Hohlprofilen aus Stahl

Insbesondere die Prozessführung ohne Stützelement erfordert den Einsatz spezieller Verbindungstechnologien. In Verfahrensuntersuchungen hat LANXESS diese auf die Großserientauglichkeit untersucht und bereits Prototypen für die verschiedenen Verbindungsvarianten hergestellt.

5. Instrumententafelträger als Anwendungsdemonstrator

Eine Anwendung, bei der die Anforderungen hinsichtlich Torsionssteifigkeit und Torsionsfestigkeit bisher den flächendeckenden Einsatz von Kunststoffen verhindert haben, ist der automobile Instrumententafelträger. In Entwicklungsprojekten konnte LANXESS nachweisen, welches Potenzial hinsichtlich Gewichtseinsparung und Performance in dieser Bauteilanwendung noch ausgeschöpft werden kann.

Anhand einer Eigenentwicklung von LANXESS konnten die Vorteile der HPH-Technologie in der Anwendung eines Instrumententafelträgers aufgezeigt werden. Neben der reproduzierbaren Fertigung, die im Vergleich zu derzeitigen Schweißkonstruktionen ohne Nacharbeit oder Richten auskommt, können insbesondere die erzielbaren Qualitäten hinsichtlich Vibrationsunterdrückung überzeugen. Bspw. wird der Bereich der Lenksäulenaufhängung besonders steif ausgelegt, um Schwindungen und Vibrationen zu minimieren. Die hohe Steifigkeit des Instrumententafelträgers ruft am Lenkrad einen ausgeprägten Qualitätseindruck beim Fahrer hervor und ermöglicht auch die Funktion von sensiblen Elementen, wie bspw. einem

Head-up-Display. Die wesentlichen Vorteile der HPH-Technologie sind in Bild 6 zusammengefasst.

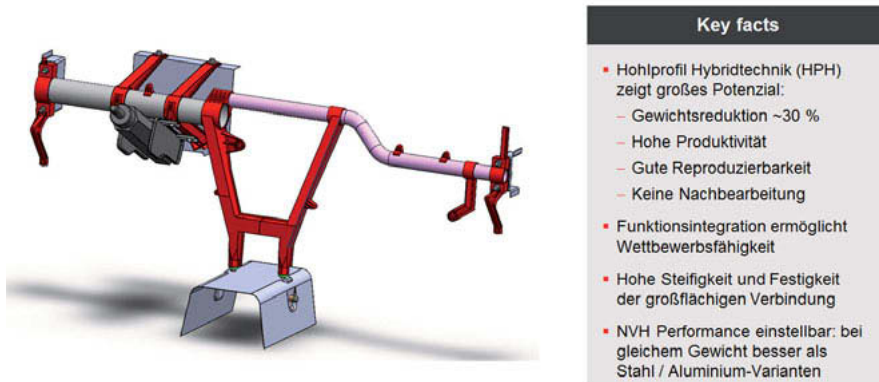


Bild 6: LANXESS Instrumententafelträger (Cross Car Beam) Demonstrator mit erkanntem Potenzial

6. Fazit und Ausblick

Leichtbau wird auch in Zukunft eine zentrale Rolle in vielen Entwicklungen der Mobilität und des Maschinenbaus spielen. Innovative Technologien, wie HPH, können hier unterstützen, die Konkurrenzfähigkeit im zunehmend internationalen Wettbewerb zu stärken.

Mit den Entwicklungen von LANXESS konnte gezeigt werden, dass auch auf einer Standardspritzgießmaschine metallische Hohlprofile funktionalisiert werden können. Die Designfreiheit des Prozesses ermöglicht auch breite, großflächige Überspritzungen, die eine hohe Steifigkeit und Festigkeit der Verbindung ermöglichen. Es wurden werkzeugtechnische Lösungen und ein morphologischer Kasten erarbeitet, der technologisch von LANXESS bewertet und geprüft wurde. Dies hilft bei Neuentwicklungen auf Basis der HPH-Technologie. Es wird derzeit erwartet, dass in den kommenden Jahren erste Serienanwendungen auf den Markt kommen.

Hochleistungspolymere für intelligente und funktionelle Bauteile

Nachhaltiger Materialeinsatz

Dipl.-Ing. **F. Lorenz**, Prof. Dr.-Ing. **K. Kuhmann**,
Evonik Resource Efficiency, Marl

Kurzfassung

PEEK wird zunehmend in hochtechnischen Anwendungen im Bereich Automobil-, Medizin-, Luftfahrt- und Industrietechnik eingesetzt, um wertvolle Ressourcen zu schonen. Durch den Einsatz speziell entwickelter VESTAKEEP® PEEK Varianten können Reibpartner gezielt weiter optimiert und der notwendige Energieeinsatz reduziert werden. Dies ist neben der Gewichts-, Geräusch- und Bauteilkosteneinsparung sowie der Dauerhaltbarkeit heute ein wesentlicher Treiber.

Abstract

PEEK is increasingly used in high tech applications in automotive, medical, aircraft and general industry to save valuable resources. The application of adequate VESTAKEEP® PEEK grades allows for optimized friction properties and reduced energy consumption. In addition to weight-, noise and part cost reduction as well as durability, this nowadays is a main driver.

Typische Eigenschaften von PEEK Formmassen

PEEK vereint die Vorteile einer hohen Temperaturbeständigkeit verbunden mit sehr hoher Chemikalienbeständigkeit bei guten bis sehr guten tribologischen und mechanischen Eigenschaften. Dadurch ergibt sich für diesen Werkstoff ein breites Einsatzgebiet. Oft werden Metallanwendungen durch kunststoffgerechte PEEK-Konstruktionen mit optimierten End-eigenschaften substituiert. Hier ergeben sich Vorteile, die oftmals erst durch die Betrachtung des Gesamtsystems ersichtlich werden.

Verarbeitung im Spritzgießen

PEEK ist ein gutmütig zu verarbeitender Werkstoff, wenn empfohlene Randbedingungen eingehalten werden. Notwendig sind u. a. Spritzgussaggregate, die bis 450°C einsetzbar sind. Für die Spritzgießverarbeitung sind in der Regel Standardschnecken mit einer Länge von 18-24D geeignet. Neben offenen Düsen werden insbesondere außenbeheizte Heißkanäl-

le eingesetzt. Heißkanalsysteme mit thermischer Trennung bieten Vorteile, indem Wärmeverluste zwischen Heißkanaldüse und Kavität deutlich reduziert werden. Dies wird z.B. durch einen Luftspalt zwischen Heizung und Schaft und eine geeignete Materialauswahl für die Komponenten realisiert [1] (siehe Bild 1). Die Masstemperaturen sollten beim Spritzgießen von PEEK zwischen 360 °C und 410 °C liegen; die Werkzeugtemperaturen zwischen 180 °C und 210°C, je nach eingesetztem Materialtyp. Diese Temperaturen beeinflussen über die resultierenden lokalen Abkühlbedingungen u.a. die für bestimmte Endeneigenschaften relevante Kristallisation im PEEK-Bauteil [2].

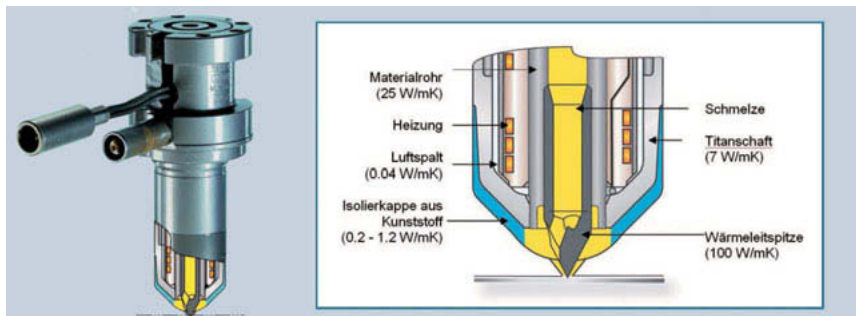


Bild 1: Thermische Trennung der Heißkanaldüse mit zweigeteiltem Schaft [1]

Anwendungen (Automobil, Medizintechnik und Industrie)

PEEK wird im Automobilbau zumeist dann verwendet, wenn es um besonders hohe und/oder niedrige Temperaturen in Kombination mit hohen mechanischen und tribologischen Belastungen geht. Als Beispiele sind Zahnräder oder Rotorbauteile in Pumpen sowie Zahnräder in elektrischen Lenkungen oder Lagerschalen in Querlenkern zu nennen. Weitere anspruchsvolle Anwendungen sind Spindelmuttern in der elektrischen Lenksäulenverstellung, Dichtringe im ABS-System oder Zahnräder für elektrische Parkbremssysteme. Evonik hat hierfür spezielle PEEK-Formmassen auf eigenen Zahnradprüfständen entwickelt (siehe Bild 2). In der Medizintechnik wird VESTAKEEP® für Langzeitimplantate als Metallersatz eingesetzt, da es eine herausragende Biokompatibilität hat, der E-Modul dem des natürlichen Knochens entspricht und es zu keinen Artefakten im Röntgenbild führt. Anwendungen sind z.B. Wirbelsäulenimplantate, im Gesichts- und Schädelbereich oder Schrauben und Stifte in der Sportmedizin. In der Industrietechnik findet dieser Hochleistungsthermoplast Einsatz in Lagerschalen, Kompressorringen, Kabelbindern oder Konnektoren.



Bild 2: VESTAKEEP® 5000G Zahnrad zur Verwendung im Zahnradprüfstand

Potentiale und Ausblick

Unter Verwendung von neu entwickelten VESTAKEEP® PEEK-Formmassen wird es zukünftig möglich sein, weitere Reibungsreduktion in Lager- und Zahnradanwendungen zu realisieren. Entsprechende Zahnräder können die Laufgeräusche neuer Motorengenerationen reduzieren und die Effizienz von Pumpen für die E-Mobilität steigern. Kabelummantelungen und Isolierfolien können die Leistungsdichte von Elektromotoren steigern. Im Medizinbereich werden derzeit neue VESTAKEEP®-Formmassen entwickelt, z.B. um das Material röntgensichtbar zu machen oder das Knochenanwachstum gezielt zu beschleunigen. Damit wird VESTAKEEP® in der Zukunft noch breiter als Metallersatz für Titan oder Cobalt-Chrom eingesetzt werden können.

Im industriellen Bereich können hocheffiziente Lagerbauteile gefertigt werden, die es ermöglichen, durch extrem niedrige Reibungskoeffizienten bei geringem Abrieb den CO₂-Ausstoß deutlich zu reduzieren. Gewichts- und Geräuschreduzierungen z.B. im Bereich von Zahnradern in Getriebeanwendungen (PEEK als Metallersatz) können das Leichtbaupotential weiter zu erschließen. In Summe ergibt sich damit ein großes Einsatzpotential für vorhandene und neue Antriebstechnologien.

- [1] K. Kuhmann, G. Schulz, J. Essinger: Hochtemperatur im Heißkanal, Plastverarbeiter Oktober 2007, Seite 190 - 191
- [2] VESTAKEEP® PEEK Verarbeitungsempfehlungen, Stand Oktober 2016, Evonik Resource Efficiency GmbH, High Performance Polymers, Marl

Qualitätsgesicherte Regranulate für hochwertige Spritzgussprodukte

Quality assured recycled material for high-grade product designs

Dipl. Kauf. **T. Kriele** MBA, B.Sc. Wirt.-Ing. **M. Kiffmeyer**,
geba Kunststoffcompounds GmbH, Ennigerloh

Kurzfassung

“Kreislaufwirtschaft“ und “Nachhaltigkeit“ sind die Megathemen des aktuellen gesellschaftlichen Diskurs. Dadurch ist dem Recycling von Kunststoffabfällen und -ausschüssen ein neuer Stellenwert gegeben dem sich kein kunststoffverarbeitendes Unternehmen entziehen kann. Regranulate werden hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Qualitätsstandards aber oft sehr kritisch bewertet und aus diesem Grund bei Projektierung und Konstruktion von Kunststoffteilen zu selten mit in Betracht gezogen.

In dieser Präsentation wird gezeigt welche konstruktiven, designerischen und qualitativen Möglichkeiten mit Regranulaten bei hochwertigen Spritzgussteilen bestehen. Wie Qualitätsstandards erreicht und nachhaltig gehalten werden, die einer Neuware gleichwertig sind, wenn nicht sogar übertreffen. Es wird auf Fragestellungen der Verarbeitbarkeit und der Kosten-/Nutzenrechnung eingegangen. Weitere Punkte sind zukünftigen Anforderungen an Konstruktion, Design und Produktion, um eine umfassende Wiederverwertbarkeit von Kunststoffteilen zu gewährleisten. Dies alles mit dem Ziel Vorbehalte hinsichtlich eines Einsatzes von Regranulaten abzubauen, Recyclingquoten zu erhöhen, Kosten zu sparen um somit sowohl unternehmensinternen Vorgaben, als auch gesellschaftlichen Forderungen gerecht werden zu können.

Abstract

“Circular economy“ and “sustainability“ are the terms at the core of current social discourse. Consequently, the importance of recycled plastic scrap and waste has reached levels which few in the plastics-processing sector can afford to ignore.

Recompounds have often been deemed inferior in terms of quality and processability and, as such, have often been overlooked when planning the design and construction of plastic parts.

This presentation will demonstrate the constructive, creative and qualitative possibilities available, even for high-end injection-moulded parts, and how quality standards which match or even surpass those of prime materials can be achieved and maintained. The ease of handling and cost-benefit considerations will also be addressed before examining the future demands on construction, design and production to ensure the recyclability of a plastic part. All of this is with the intention of alleviating the prejudices surrounding the use of recomounds, increasing the recycling rate and saving costs in order to benefit businesses and society as a whole.

Qualitätsgesicherte Regranulate für hochwertige Spritzgussprodukte

Der aktuelle gesellschaftliche Diskurs zu Kunststoffabfällen und den Megathemen "Kreislaufwirtschaft" und "Nachhaltigkeit" hat dem Recycling von Kunststoffen einen neuen Stellenwert gegeben. Thermoplastische Kunststoffe eignen sich besonders für das werkstoffliche Recycling, denn ihre Polymerketten sind unvernetzt. Um thermoplastische Rezyklate mit einem Eigenschaftsniveau von Neuware herzustellen, sind mehrere wesentliche Voraussetzungen zu erfüllen: So müssen die richtigen Rohstoffe gewählt werden. Außerdem ist eine strenge Eingangs-, Produktions- und Ausgangskontrolle unverzichtbar.

Kunststoffrecycler der "ersten Stunde"

Beides hat die geba Group aus Ennigerloh perfektioniert. Dem Familienunternehmen ist das werkstoffliche Recycling von Thermoplasten in die Wiege gelegt. 1986 als Mahlbetrieb gegründet, begann geba schon kurz nach dem Start mit dem Aufgranulieren und Einfärben von Kunststoffen, insbesondere von Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polycarbonat (PC). Seit dieser Zeit hat sich der Full Service Compoundeur einen Namen bei hochwertigen, kundenspezifisch eingestellten und eingefärbten Compounds auf Prime- und Sekundärrohstoffbasis gemacht. Er beliefert seine Kunden weltweit aus drei Produktionsstandorten in Deutschland, Spanien und Österreich, die nach DIN EN ISO 9001 und ISO 14001 zertifiziert sind. Die Gesamtkapazitäten liegen bei 20.000 t/a. Großer Wert wird auf eine feste und dauerhafte Partnerschaft mit den Kunden gelegt. Viele von ihnen arbeiten bereits seit Jahrzehnten eng mit geba zusammen. Die angebotenen Compounds decken ein breites Einsatzspektrum ab. Es reicht von Interieur- und Exterieurbauteilen für die Automobilindustrie über Komponenten für die Elektronik, Elektrik und Haushaltswaren bis hin zu Lifestyle-Produkten, Spielzeugen und medizintechnischen Anwendungen.

Das Sortiment von geba an wieder aufbereiteten Thermoplasten ist breit gefächert und schließt zum Beispiel ABS, ASA, PA, PC und PMMA, Blends wie PC+ABS und PC+PBT sowie Hochtemperaturmaterialien wie PES, PEI oder LCP ein. geba versteht sich als Anbieter hochwertiger thermoplastischer Regranulate und Regenerate. Die besondere Kompetenz des Unternehmens ist dabei die kunden- und anwendungsspezifische Nach- und Einstellung von Farben. Dank der ständig optimierten, engmaschigen Qualitätssicherungskette und der gezielten Rohstoffauswahl kann geba mit seinen Kunden für den überwiegenden Teil der Regranulate und Regenerate weitaus engere und spezifischere Toleranzen bei den technischen und farblichen Eigenschaften vereinbaren, als es bei Neuware üblich ist.

Begriffsbestimmungen

Wegen ihrer großen Bedeutung seien die von geba praktizierte Rohstoffauswahl und Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Regranulaten und Regeneraten im Folgenden detaillierter vorgestellt. Dazu sind vorab zum besseren Verständnis aller Qualitätsmaßnahmen einige Begriffe genauer zu definieren:

Mahlgut

Mahlgut wird durch Mahlen von Kunststoffteilen gewonnen und hat unterschiedliche und unregelmäßige Teilchengrößen von 6 mm bis 12 mm. Es kann Staubanteile enthalten.

Off-Spec-Kunststoffe

Off-Spec-Kunststoffe erfüllen als neu produzierte Materialien nicht die Spezifikationen, die der Hersteller für seine Kunden vorgesehen hat. Sie entstehen beispielsweise bei Produktionsunterbrechungen oder Anlagenumstellungen.

Rezyklat

Rezyklat ist ein Überbegriff und beschreibt einen Sekundärstoff, der u. a. aus Produktionsabfällen von Kunststoffproduzenten oder aus Post-Consumer-Abfällen gewonnen wird. Rezyklate haben definierte Eigenschaften und werden in vielen Fällen in Neuware eingemischt. Ein Rezyklat hat, bevor es aufbereitet wird, meist bereits einen Verarbeitungsprozess durchlaufen.

Regranulat

Regranulat entsteht aus Mahlgut in einem Schmelzprozess. Das Granulat besitzt eine gleichmäßige Korngröße und ist problemlos etwa per Extrusion oder Spritzguss verarbeitbar.

Regenerat (Compound)

Bei Regenerat handelt es sich um ein Granulat, das aus Mahlgut über einen Schmelzprozess unter Zugabe (Compoundieren) von Zusätzen, den so genannten Additiven, gewonnen wird. Die Additive verbessern oder erweitern die Materialeigenschaften. Regenerate haben gleichmäßige Korngrößen und meist definierte Eigenschaften.

Weitere wichtige Einflussgrößen beim Recycling sind die Reinheit und Verträglichkeit der Ausgangsmaterialien:

typenrein bedeutet, dass nur ein Kunststoff eines Rohstoffherstellers mit derselben Typbezeichnung aufgearbeitet wird.

sortenrein heißt, dass Kunststoffe mit gleicher Kennzeichnung nach DIN EN ISO 11469 bzw. VDA 260 gegebenenfalls von verschiedenen Rohstoffherstellern aufbereitet werden.

sortenähnlich sind aufzubereitende Kunststoffe, die zwar aus dem gleichen Polymer bestehen, aber in besonderen Eigenschaften, z. B. infolge flammhemmender Zusätze, voneinander abweichen.

vermischt meint, dass unterschiedliche, aber chemisch verträgliche Kunststoffe aufbereitet werden (z. B. ABS und PC). Kunststoffe sind verträglich, wenn sie sich in der Schmelze homogen miteinander vermischen und zu Bauteilen mit befriedigenden mechanischen Eigenschaften und akzeptabler Oberfläche verarbeitbar sind.

verunreinigt sind aufzubereitende Kunststoffe, die aus dem vorangegangenen Einsatz noch Stoffe enthalten, die die Eigenschaften des avisierten Formteils verschlechtern.

Rohstoffeinsatz und -kontrolle bei geba

geba greift bei der Produktion von Regranulaten und Regeneraten ausschließlich auf typenreine, sortenreine oder sortenähnliche Ausschussteile aus industriellen Anwendungen, auf sortenreines oder sortenähnliches Mahlgut und auf Off-Spec-Chargen von Materialherstel-

lern zurück. Materialien aus dem Wertstoffsystem des Grünen Punkts® oder von aussortierten gebrauchten Konsumgütern (Autos, Weiße Ware) finden keine Verwendung.

Die Rohstoffquellen reichen dabei von Kunststoffherstellern über Mahlbetriebe bis hin zu Spritzguss- und Halbzeugproduzenten. Als Additivpakete für Regenerate dienen Produkte führender Hersteller, die auch in der Herstellung von Basisrohstoffen und Neuwarencompounds Einsatz finden.

Qualitätskontrolle von Ausschussteilen

geba bezieht Ausschussteile ausschließlich aus kontrollierten Quellen und überprüft vor Aufnahme des Lieferanten in den Lieferantenpool, ob dieser eine sortenreine Sortierung gewährleisten kann. Bei Bedarf nimmt geba vor Ort auch Schulungen der Mitarbeiter des Lieferanten vor. Themen sind dabei z. B. die Vermeidung von Fehlwürfen oder Fehletikettierungen und der organisatorische Ablauf von Lagerung und Transport.

Nach Eingang bei geba erhält die Teilelieferung eine Chargennummer. Danach überprüft das langjährig geschulte Personal die Ausschussteile visuell. Bei Unregelmäßigkeiten wird die entsprechende Lieferung gesperrt und je nach Verunreinigungsgrad und Ausschussteil entweder vollständig retourniert oder Teil für Teil überprüft.

Ist die Lieferung in Ordnung, folgt das Mahlen der Teile. Nach dem Mahlvorgang werden repräsentative Proben des Mahlguts gezogen, homogen gemischt und im Labor die technischen Werte ermittelt. Die Ergebnisse werden in einem ERP-System mit einer neuen Chargennummer hinterlegt. Damit eine eindeutige Rückverfolgbarkeit der Chargen sichergestellt ist, wird dabei jeder Teilecharge eine entsprechende Mahlgutcharge zugewiesen. Grundsätzlich fasst geba mehrere Teilelieferungen nicht in eine Mahlgutcharge zusammen.

Qualitätskontrolle von Mahlgut und Off-Spec Chargen

Lieferanten von Mahlgut und von Off-Spec-Materialien sind entweder selbst ISO-zertifiziert oder werden von geba nach internen Standards auditiert und bei Bedarf die Mitarbeiter geschult. Beim Eintreffen weist geba jeder Lieferung eine Chargennummer zu. Der Prozess der Eingangskontrolle verläuft analog dem des Mahlguts aus der Teilevermahlung. Im ersten Schritt werden über die gesamte Liefercharge repräsentative Proben gezogen. Sollten bei deren Prüfung Unregelmäßigkeiten auftreten, wird im zweiten Schritt je nach Fehlerbild jedes Gebinde nochmals im Einzelnen geprüft und gegebenenfalls gesperrt und aussortiert oder

aber die gesamte Lieferung retourniert. Auch hier werden die Werte nach labortechnischer Prüfung unter Angabe der Chargennummer im ERP-System hinterlegt.

Typische technische Werte, die bei der Qualitätskontrolle von Ausschussteilen sowie von Mahlgut und Off-Spec-Chargen erfasst und in das ERP-System eingepflegt werden, sind:

- Volumen-Fließindex
- Schlag-und Kerbschlagzähigkeit nach Charpy
- Vicat-Erweichungstemperatur
- HDT-Erweichungstemperatur
- Kugeldruckhärte
- Zugfestigkeit
- Dehnung bei Höchstkraft
- Zug-Modul
- Shore-Härte
- Rheologische Kennzahlen
- Rieselfähigkeit
- Farbwerte nach CIE L*a*b* Farbsystem

Materialauswahl für Produktionschargen

Im Zuge des Freigabeprozesses werden mit Kunden überwiegend Spezifikationen zu Materialeigenschaften und Farbe des gewünschten Rezyklats getroffen und dann im ERP-System hinterlegt. Im Vorfeld einer jeden Produktion dienen diese Spezifikationen als Basis, um verfügbare Mahlgutchargen auf eine mögliche Verwendung hin zu prüfen. Dazu werden die Daten der im ERP-System hinterlegten Mahlgutchargen mit den Spezifikationsdaten abgeglichen.

Fällt die Beurteilung positiv aus, wird die jeweilige Mahlgutcharge für die entsprechende Produktion eingeteilt. Sie durchläuft dabei vor der endgültigen Freigabe zur Produktion eine mehrstufige Prozesskontrolle und kann sich sowohl aus nur einer als auch aus einer Vielzahl von Mahlgutchargen zusammensetzen.

Nach Freigabe durch die Qualitätssicherung wird das Mahlgut im Großmischer homogenisiert, eine Chargennummer zugewiesen und das Material zur Produktion bereit gestellt. Auch

hier ist eine eindeutige Chargenrückverfolgbarkeit gegeben, da jeder Mahlgutcharge einer Produktionscharge zugewiesen ist.

Produktionskontrolle

Nach dem An- und Einlaufen des Extruders wird eine Handprobe der ersten hergestellten Produktionsmengen gezogen, um visuell, farbmetric und im Labor zu prüfen, ob das Granulatmaterial spezifikationskonform ist.

Über den gesamten Produktionslauf werden weitere Handproben entnommen und analysiert, so dass die Charge permanent einer dokumentierten Produktionskontrolle unterliegt. Wenn die Prüfungen Abweichungen von den Spezifikationen ergeben, erfolgt über die Maschinenparameter oder durch eine angepasste Additivierung eine Korrektur. Nach Abschluss der Produktion wird die gesamte Rezyklatmenge vollständig homogenisiert und nochmals eine Handprobe zur technischen, visuellen und farblichen Überprüfung ins Labor gegeben.

Farbeeinstellungen und Farbprüfung

geba sorgt nicht nur dafür, dass Regrenulate und Regenerate eine gleichbleibend hohe Qualität bei den Material- und Verarbeitungseigenschaften haben. Vielmehr verfügt das Unternehmen über herausragendes Know-how bei der Ein- und Nachstellung von Farben. Die Anforderungen sind dabei extrem hoch, weil sich die Farbe der für Regenerate eingesetzten Rohstoffe von Charge zu Charge zum Teil sehr stark unterscheidet. Diese Schwankungen sind bei jeder neuen Produktion auszugleichen. Daher wird im Normalfall die Farbe jeder Produktionscharge neu eingestellt.

Wie bei den Materialeigenschaften vereinbart geba mit dem Kunden auch Spezifikationen zu den Farbwerten. Dazu stellt der Kunde im Normalfall Angaben auf Basis allgemeiner Farbvorlagen (RAL, Pantone etc.) oder ein Farbmuster zur Verfügung. Als Farbmuster können sowohl Bauteile, Textildrucke, lackierte Metallvorlagen oder technische Farbsollwerte (CieLab) dienen.

Automobilfarben werden nach den spezifischen Farbtafeln der OEMs eingestellt. Vor allem im Fahrzeuginterieur sind die Ansprüche an die Farbstabilität extrem hoch, da verschiedenste Oberflächen und Materialien (z. B. Textilien, Metall) aneinander stoßen und farblich abgestimmt sein müssen.

Farben, optische Effekte und Funktionsadditivierungen variieren dabei extrem. So können die Rezyklate beispielsweise deckend, transluzent oder transparent eingestellt sein, Metall- effekte oder Perlglanz aufweisen oder lasermarkierbar oder für Infrarotlicht durchlässig sein. Anspruchsvoll ist auch die Einfärbung von Hochtemperaturkunststoffen mit thermisch stabilen Farben.

Bei vielen OEMs haben sich in den vergangenen Jahren auch Farbvorschläge von geba durchgesetzt. Zum Beispiel entwickelte geba in Zusammenarbeit mit Designern eines OEMs und dessen Zulieferern Farbmuster, die im weiteren Verlauf als Branding für die Elektrofahrzeuge vorgestellt wurden und Verwendung finden. Ein weiteres Beispiel sind Effektfarben für Designteile in Scheinwerfern, die zur Individualisierung der jeweiligen Baureihe dienen.

Auch außerhalb von Anwendungen im Fahrzeugbau wurden innovative Ideen von geba im Bereich eingefärbte Regranulate umgesetzt. So sind mit verschiedensten OEMs Produkte für hochwertige Elektrobauteile für Innenraumausstattung oder Weiße Ware entwickelt worden, die auch einer Prüfung der Flammbeständigkeit gemäß UL94 genügen.

Um eine Farbe ein- bzw. nachzustellen, werden nach dem bereits aufgezeigten Prozess Mustermengen des Basispolymers aus Mahlgut hergestellt und im Labormaßstab eingefärbt. Anhand von Musterplatten aus diesem Material kann der Kunde die Farbe begutachten und freigeben. Die Begutachtung und Farbanpassung erfolgt auf Basis von Lab-Werten. Der L-Wert gibt dabei die Helligkeit an. Die a- / b-Werte stehen für den Farbart in einem rot-grünen (a) und gelb-blauen (b) Koordinatensystem. Dieser Prozess wird wiederholt, bis die richtige Farbe gefunden ist.

Die Farben sind auf Glanz oder auf alle gängigen Narbungen einstellbar. Transmissionsgrade werden gemeinsam mit dem Kunden mit Hilfe von 1 - 3 mm dicken Stufenplatten festgelegt.

Nach Freigabe der Farbmuster durch die Kunden werden die entsprechenden Musterplatten als Standard hinterlegt, die Glanzseiten der Farbplatten über ein Farbmesssystem eingelesen und die resultierenden Messwerte im System gespeichert. Die Farbdaten sind damit jederzeit abrufbar, so dass sich die Farben in allen Produktionsstätten von geba präzise und reproduzierbar nachstellen lassen. Wie bereits beschrieben, werden bei einem Produktionsauftrag bereits die Handmuster der Mahlgutchargen bei der Zusammenstellung der Chargen

eingefärbt und die Farbwerte bei der labortechnischen Überprüfung untersucht. Im Fall von Abweichungen wird das Handmuster neu eingefärbt und nochmals farbtechnisch überprüft. Weitere Kontrollen finden jeweils analog zur Prüfung der Materialeigenschaften nach Produktionsanlauf, im Laufe der Produktion und nach der abschließenden Homogenisierung statt.

Anwendungsfelder für hochwertige Regranulate von geba

Neuwarencompounds, Regranulate und Regenerate von geba kommen bereits seit Jahrzehnten in einer Vielzahl von Anwendungen und Branchen zum Einsatz. Durch einen Kundenkreis, der sowohl Neuware als auch Rezyklate bezieht, liegen beiden Produktreihen dieselben hohen Qualitätsansprüche zu Grunde.

Das Anwendungsspektrum der Rezyklate reicht dabei von "klassischen" Einsatzgebieten wie Strukturbauteilen, verdeckten Rahmen und Gehäusen bis hin zu individuell eingestellten und/oder eingefärbten Materialien für Teile mit besonderem Designanspruch. So werden Bauteile aus den Recompounds von geba im Sichtbereich des automobilen Innenraums oder in Designkomponenten der Elektronik verbaut und entsprechen dabei strengsten farblichen und materialspezifischen Anforderungen. Weiterhin kommen die Rezyklate in Verfahren zum Einsatz, mit denen sich höchste Ansprüche an die Oberflächenqualität erfüllen lassen. Beispiele sind hier das In Mould Decoration (IMD)- und In Mould Labeling (IML)-Verfahren, der Zweikomponentenspritzguss, das Overmoulding und verschiedene Lackiertechniken.

Vergleich der Spritzgießeigenschaften von Regranulat und Neuware

Beim Spritzgießen von Granulaten aus Sekundärrohstoffen sind im Vergleich zu Primärware keine Besonderheiten zu beachten, wenn bei der Planung des Projektes von Anfang an der Einsatz eines Rezyklats vorgesehen ist. Lediglich ein Wechsel von Primär- auf Sekundärware im Laufe einer Serienproduktion kann zu Änderungen an den Einstellungen des Spritzgussautomaten führen – so etwa im Bereich der Werkzeugfüllung. Ursache dafür sind häufig das abweichende Fließ- und/oder Schwindungsverhalten des Rezyklats.

Die Neujustierung der Maschinenparameter ist im Allgemeinen durch ein Anpassen der Additivierung minimierbar. Im Bezug auf Werkzeug oder Heißkanäle sind keine Besonderheiten zu beachten. Lediglich bei den Verarbeitungstemperaturen können Veränderungen notwendig sein.

Die Material- und Farbspezifikationen, die geba mit Kunden vereinbart, sind in der überwiegenden Zahl weitaus enger gefasst als bei vergleichbarer Neuware. Deshalb kommt es häufig vor, dass ein auf die Kundenbedürfnisse zugeschnittenes Material einen stabileren Ferti-gungsprozess ermöglicht als Neuware.

Dieser (Kosten-)Vorteil ist mit einem ebenfalls erheblichen Einsparpotenzial bei der Beschaf-fung verbunden. So sind durch Regranulate Einsparungen bei den Materialkosten von bis zu 25 % möglich – und das ohne Abstriche bei der Verarbeitung oder Bauteilqualität.

“Megathemen Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit“

Alle diese Vorteile von Regranulaten und Regeneraten machen sich angesichts der Diskus-sionen und Initiativen zu den Megathemen “Kreislaufwirtschaft“ und “Nachhaltigkeit“ umso mehr bezahlt.

Automobilhersteller wie VOLVO, BMW oder Renault haben sich zum Ziel gesetzt, bis Mitte dieses Jahrzehnts die Quote ihrer verarbeiteten Kunststoffe aus Quellen zu beziehen, die entweder ökologisch neutral (biobasierend) oder abfallvermeidend (Regranulate und Rege-nerate) sind. So sind zum Beispiel 80 % der im I3 eingesetzten Kunststoffe Rezyklate und VOLVO hat sich als Ziel gesetzt einen Anteil von 25 % Rezyklate in allen Modellen zu errei-chen. Auch OEMs aus anderen Industrien befassen sich derzeit ebenfalls damit, den Einsatz von Kunststoffen unter ökologischen Gesichtspunkten neu aufzustellen.

Um diese Vorgaben zu erreichen, müssen sich Kunststoffverarbeiter und ihre Abnehmer künftig mit dem Einsatz von Regranulaten auch bei “höherwertigen“ Bauteilen auseinander-setzen. Die dafür verfügbaren Materialmengen sind allerdings begrenzt. In Zukunft ist daher bereits bei der Bauteilkonstruktion zu berücksichtigen, wie und in welchem Umfang einge-setzte Werkstoffe wieder dem Produktionskreislauf zugeführt werden können.

geba versteht sich in diesem Zusammenhang als kompetenter Partner, der Kunden und de-ren Abnehmer dabei unterstützt, die selbst gesteckten Nachhaltigkeitsziele umzusetzen. Dank der Expertise von geba bei Regranulaten, Regeneraten und deren Einfärbung sind dabei nachhaltige, individuelle und kostengünstige Material- und Bauteillösungen auf einem Qualitätsniveau möglich, das bisher überwiegend durch Neuware abgedeckt wurde.

Sandwich-Spritzgießen – ein Beitrag zur besseren Verwertung von Recycling-Kunststoffen

Dr.-Ing. **V. Reichert**, A&E Produktionstechnik GmbH, Dresden;
A. Handschke, KraussMaffei Technologies GmbH, München

Kurzfassung

Der Beitrag behandelt das Spritzgießsondervfahren zur Verwertung von Recycling-Kunststoffen in Verbindung mit der Verarbeitung von Neu-Kunststoffen - das sogenannte Sandwich- bzw. Coinjektion-Verfahren. Durch den Quellflusseffekt ist es möglich, Thermo-plast-Formteile mit Oberflächen aus Neu-Kunststoffen und im allseitig umschlossenen Innerem aus Recycling-Kunststoffen in einem Zyklus wirtschaftlich herzustellen. Als Neu-Kunststoffe werden Granulate bzw. Kunststoffschmelzen bezeichnet, die noch nicht zu Formteilen im Spritzgießen verarbeitet wurden. Als Recycling-Kunststoff wird Mahlgut, Re-Granulat (Rezyklat) bezeichnet, das aus wieder für die Spritzgießverarbeitung aufbereiteten Kunststoffen besteht.

Abstract

The article deals with the special injection moulding process for the utilisation of recycled plastics in conjunction with the processing of new plastics – the so-called sandwich or coinjection process. The source flow effect makes it possible to economically produce thermo-plastic moulded parts with surfaces made of new plastics and an interior enclosed on all sides made of recycled plastics in a single cycle. New plastics are granulates or plastic melts that have not yet been processed into moulded parts by injection moulding. Recycled plastics are ground material, re-granulate (recycled material), which consists of plastics that have been reprocessed for injection moulding.

1. Einleitung

Bereits mit Beginn einer verstärkten Nutzung von Thermoplasten in den 1950er und 1960er Jahren wurden Lösungen gesucht, entwickelt und umgesetzt, um nach dem Ende der Nutzung der daraus hergestellten Teile die "gebrauchten" Werkstoffe wiederaufzuarbeiten und erneut verwenden zu können. Heute stehen die Begriffe "Nachhaltigkeit", "Circular Economy" und auch "CO₂-Reduzierung" für die Verwertungstechnologien bereits genutzter Kunststoffe. Die K-Messe im Oktober 2019 in Düsseldorf sei als Beispiel dazu angeführt.

Der Vortrag beinhaltet eine Beschreibung der seit den 1970er Jahren entwickelten und eingesetzten Technologie zur Weiterverarbeitung bereits genutzter Kunststoffe im Sandwich-Verfahren. Darüber hinaus werden die daraus resultierenden Chancen und zu erwartenden Risiken in diesem Referat behandelt. Die für die Nutzung dieses Spritzgieß-Sonderverfahrens benötigten Maschinen- und Werkzeugausrüstungen sowie verfahrenstechnischen Aspekte werden ebenfalls erläutert. Mit einigen ausgewählten Beispielen aus der Verarbeitung von Recycling-Kunststoffen im Produktionsalltag mithilfe dieses Verfahrens werden gesammelte Erfahrungen, soweit Freigaben dafür vorliegen, beschrieben.

2. Sandwich-Spritzgießen - das Verfahrensprinzip

Zum besseren Verständnis wird im Folgenden das Verfahrensprinzip des Sandwich-Spritzgießens näher erläutert. Im allgemeinem Sprachgebrauch bezeichnet "Sandwich" eine Zwischenmahlzeit aus meist mehrlagigen Brotscheiben mit verschiedenen Belägen. In der Kunststoffverarbeitung dagegen, speziell dem Spritzgießen, werden unter diesem Begriff Formteile mit einem allseitig von einer Hautschicht umschlossenen Kern, jeweils aus verschiedenen Kunststoffen bestehend, verstanden. Aber auch mehrschichtige Presseile werden als "Sandwich" bezeichnet - erkennbar am sichtbaren Schichtaufbau an den Rändern der Presseile.

Umgangssprachlich wird der englische Begriff "Coinjection" (Coinjektion) für das Verfahren verwendet. Dieses Spritzgieß-Sonderverfahren wurde bereits Ende der 1960er und in den 1970er Jahren entwickelt. Im Literaturverzeichnis sind entsprechende Quellen angegeben. Angewendet wurde damals das Verfahren zur Vermeidung von Schlieren auf den Oberflächen, die durch das chemische Schäumen von Thermoplasten entstehen, aber auch zur Weiterverarbeitung von Mahlgütern und Regranulaten/Rezyklaten ohne Nachteile für die Formteiloberflächen oder zu erwartenden Einschränkungen hinsichtlich der Formteil-Eigenschaften.

Was sind nun charakteristischen Merkmale dieses Verfahrens?

Charakteristisches Merkmal dieses Verfahrens ist der dem Spritzgießen von Thermoplasten zugrunde liegende Quellflusseffekt in Verbindung mit der relativ zu Metallen schlechteren Wärmeleitfähigkeit dieser polymeren Werkstoffe. Der Quellflusseffekt bewirkt ein Erstarren des Einspritzstromes unmittelbar an der Wand der Kavität. Die schlechte Wärmeleitfähigkeit verhindert während der kurzen Einspritzphase ein komplettes Erstarren der Schmelze über den gesamten Querschnitt der Strömung (Bild 1). Somit bildet sich in der Kavität, beginnend am Einspritzpunkt bis zum Fließwende, die Formteiloberfläche stets dadurch, dass das Material durch die bereits erstarrte Schmelze fließen muss. Wird nun während des Einspritzens in die Kavität eine andere Schmelze eingespritzt, verbleibt diese im Formteil-Inneren und dringt nicht bis an die Oberfläche (Bild 2). Nachfolgend wird für den Kunststoff im Formteil-Inneren der Begriff "Kernmaterial" und für den die Oberfläche bildenden Kunststoff der Begriff "Hautmaterial" verwendet.

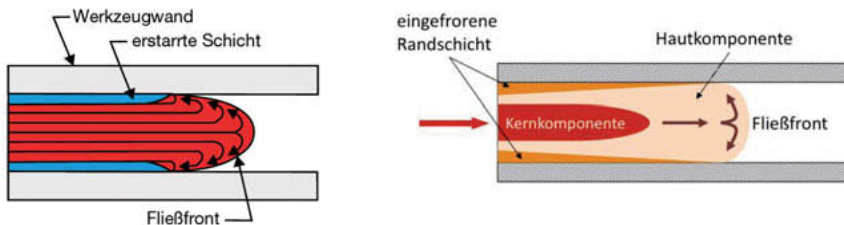


Bild 1: Quellflusseffekt beim Standard- und beim Sandwich-Spritzgießen nach [1] und [2]

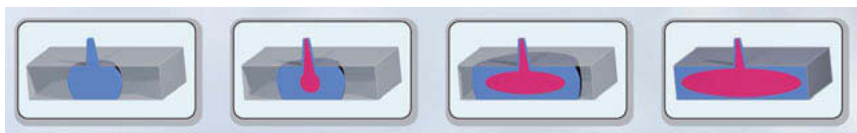


Bild 2: Formfüllung der Kavität beim Sandwich-Spritzgießen nach Johannaber [3]

In der kontinuierlich verlaufenden Extrusion ist zum Beispiel die Herstellung mehrschichtiger Platten, Folien und Rohre Stand der Technik. Bei diesen "Coextrusions"-Teilen werden verschiedene Kunststoffe miteinander so kombiniert, dass die Eigenschaften der hergestellten

Produkte an die jeweilige Anwendung besser angepasst werden können. Auch beim Spritzgießen können mit dem Coinjektions-/Sandwich-Verfahren gezielt verschiedene Eigenschaften von Kunststoffen in einem Formteil kombiniert werden, z. B.

- fasergefüllte Kunststoffe im Inneren, ungefüllte Kunststoffe für glatte, lackierfähige Oberflächen,
- "harte" Kunststoffe im Kern; "weichere" für die Oberflächen,
- das Einbringen einer Barriere-Schicht im Kern als Sperre, um das Durchdringen bestimmter Stoffe durch das Formteil zu verhindern.

Da aber Spritzgießen ein diskontinuierliches, zyklisch ablaufendes Verfahren ist, sind einige Besonderheiten zu beachten. So erfolgt bei der Verarbeitung verschiedener Schmelzen praktisch ein Materialwechsel pro Zyklus. Somit muss sichergestellt werden,

- dass nach jedem Schuss (Zyklus) zunächst wieder nur Hautmaterial eingespritzt und kein Kernmaterial auf den Oberflächen sichtbar wird,
- dass das Hautmaterial immer vor dem Kernmaterial eingespritzt werden muss, und zwar so viel, dass es bis zum Fließwende nicht zum "Durchbruch" von Kernmaterial auf die Oberfläche kommt.

Das Umschalten von Haut- auf Kernmaterial sollte so erfolgen, dass keine Oberflächenmarkierungen entstehen, d. h. der Einspritzstrom darf nicht zum Stillstand kommen. Weiterhin muss bei beiden Schmelzen Folgendes beachtet werden: Die Fließeigenschaften, sprich das Viskositäts-Schergeschwindigkeitsverhalten, das Schrumpfungs- und Verzugsverhalten und die Verarbeitungstemperaturen sollten im Wesentlichen gleich sein.

Bekannt ist, dass die thermoplastischen Polymerschmelzen aufgrund ihrer hohen Viskosität beim Spritzgießen laminar strömen. Als "laminar" (geschichtet) - wird hier speziell auf das Spritzgießen bezogen - eine Strömung bezeichnet, die entsteht, wenn die Schmelzen in der Kavität ohne Wirbeleffekte, wie bei turbulenter Strömung üblich auftretend, fließen. Werden spezielle Anforderungen an die Verteilung des Kernmaterials innerhalb des die Oberfläche bildenden Materials gestellt, sind weitere Einflüsse und Verfahrensparameter, z. B. auftretende Unterschiede im elastischen Verhalten der Schmelzen oder auch Spannungen an der Grenzfläche zwischen Haut- und Kernmaterial, auf das Strömungsverhalten zu berücksichtigen. Für die hier im Mittelpunkt stehende Anwendung - die Verarbeitung von Recycling-Kunststoffen - sind diese Einflüsse weniger von Interesse, da hier eher eine Maximierung des Kernanteils im Formteil steht und der innere Schichtaufbau damit weniger von Interesse

ist. Ausführungen über die Einflussgrößen auf die Ausbildung der inneren Schicht des vom Oberfläche bildenden Kunststoffes sind beispielsweise den Veröffentlichungen von Eibl [4], Goodship [5] und Zoetelief [6] zu entnehmen.

Über die Anteile von Haut- zu Kernmaterial für verschiedene Formteile gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben, z. B. von Jaroschek [7] - [9], und Zipp [10]. Diese Anteile bewegen sich in einem Bereich von 30 % bis 65 %. In einer Pressemitteilung [11] der Firma ENGEL AUSTRIA aus dem Oktober 2019 wird für eine Transportbox ein Rezyklatanteil von über 50 % angegeben.

Unter dem Gesichtspunkt der Verwendung bzw. Wiederverwendung von Rezyklat ergeben sich durch das Verfahren die Möglichkeiten, Rezyklate nur für das Kernmaterial zu verwenden und/oder Rezyklate dem Haut-/Neumaterial zuzugeben. Bei entsprechender Qualität der Kunststoffe, respektive den geforderten Eigenschaften der Formteile, sind somit praktisch auch Teile aus 100% Rezyklat herstellbar. Diese Möglichkeit macht aber praktisch keinen Sinn, da die höheren Kosten für die Nutzung von Zwei-Komponenten-Spritzgießmaschinen für das Sandwich-Spritzgießen hauptsächlich über die Preisdifferenz zwischen Neu- und Recycling-Kunststoff erwirtschaftet werden können.

3. Maschinen- und werkzeugseitige Umsetzung des Sandwich-Spritzgießens

Sind Überlegungen vorhanden, Formteile im Sandwich-Verfahren zu spritzen, sind wie bei anderen Verfahrensvergleichen auch "Machbarkeit" und Wirtschaftlichkeit im Vorfeld zu untersuchen. "Plug and Play" kann dabei beim Sandwich-Spritzgießen auch zum Erfolg führen. Die Wahrscheinlichkeit eines Scheiterns ist jedoch um ein Vielfaches höher.

"Machbarkeit" soll hier stellvertretend für die Erfüllung von technischen Vorgaben, wie z. B. erreichbarer Qualitäten hinsichtlich optischer, mechanischer und sonstiger Formteileigenschaften, stehen. Bei der Wirtschaftlichkeit sind zusätzliche Kosten für das Plastifizieren und Einspritzen der zweiten Schmelze und mögliche Einsparungen von Kosten bei der Verwendung von preiswerteren Rezyklaten gegenüberzustellen. Neben den vorgesehenen Stückzahlen und der Laufzeit sind, wie bei anderen Spritzgieß-Fertigungen, auch vorhandene bzw. neu anzuschaffende Ausrüstungen sowie eine Qualifikation des Personals mit einzubeziehen. Auch können zukünftig Simulationsverfahren zur Ermittlung des Füllverhaltens von Formteilen mit Haut- und Kernmaterial fester Bestandteil einer Projektvorbereitung werden.

Das erforderliche Trennen und das Freigeben von Schmelzeströmen beim Einspritzen in die Kavität kann durch wirkende äußere Kräfte (Betätigungen) oder durch den Schmelzedruck selbst erfolgen. Bekannt sind Verschlussdüsen*), hydraulisch oder pneumatisch betätigt, die Schmelzeströme trennen bzw. unterbrechen und freigeben. Aber auch der beim Einspritzen

der Schmelzen sich aufbauende Druck wird zur Steuerung der zwei verschiedenen Schmelzeströme beim Sandwich-Spritzgießen genutzt.

Diese, die Schmelzeströme beeinflussenden, Düsen werden in Spritzgießwerkzeuge oder direkt an die Einspritzeinheit der Maschine eingebaut. Auch der Einbau dieser Düsen in eine separate Platte, die zwischen Werkzeug und fester Werkzeugaufspannplatte der Maschine installiert wird, ist marktüblich.

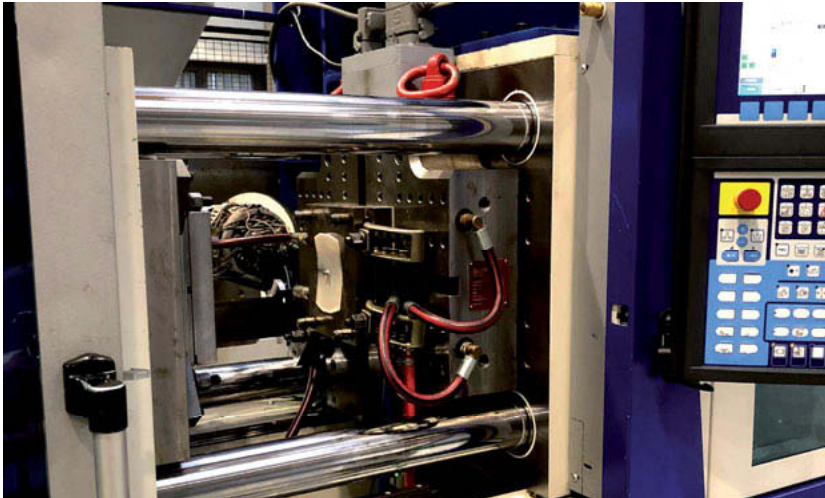


Bild 3: Eingebaute Zwischenplatte 600 x 600 x 136 mm mit Werkzeug für das Sandwich-Spritzgießen in die Spritz-gießmaschine KM 80-380CX mit KM 390 Bolt-On Seiten-Spritzaggregat an der TU Chemnitz

Foto: A&E Produktionstechnik GmbH

Für diese, die Einspritzströme beeinflussenden Absperr- bzw. Verbindungselemente, Düsen, sind je nach Maschinengröße, Bauformen und von verschiedenen Maschinenherstellern verschiedene Bauformen im Markt, die auch in entsprechenden Veröffentlichungen beschrieben wurden, z. B. in [2] und in [10].

Als vorteilhaft erweisen sich solche Bauformen, die einen aktiv zu betätigenden Düsenverschluss haben. Damit ergeben sich die gleichen Vorteile wie auch vom Einsatz vom Maschinen-Verschlussdüsen bekannt.

Für das Trennen bzw. Freigeben der Schmelzekanäle für das Haut- und Kernmaterial eignen sich sowohl aktiv, also von äußeren Kräften, bewegte Schaltelemente, z. B. Nadeln oder Kolben, oder auch durch den jeweilig herrschenden Schmelzedruck bewegte Schaltelemente.

***) Branchenüblich (Umgangssprachlich wird für schmelzeführende Bauteile weniger der Begriff "Ventil", sondern "Düse" verwendet.)**

Auf das Verfahren selbst haben diese unterschiedlich angetriebenen Schaltelemente keinen bzw. nur einen geringen Einfluss, wenn die Bewegungsfunktionen (Beschleunigung, Bremsen) der äußeren Antriebe und der Druckauf- bzw. -abbau in den Schmelzekanälen gleich sind.

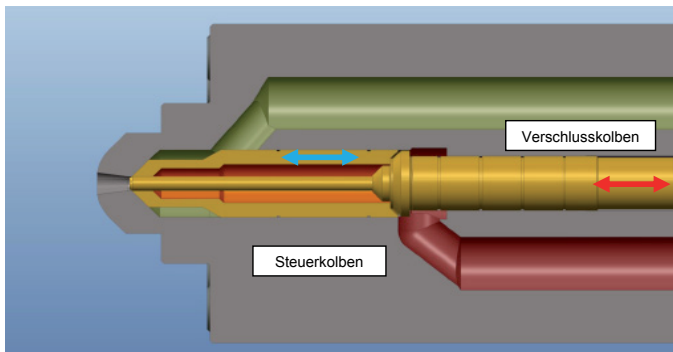


Bild 4: Vereinfachte Darstellung einer Sandwich-Düse mit schmelzedruckbetätigtem Steuerkolben und aktiv schaltbarem Verschlusskolben, Stellung Düse geschlossen nach [14]

Einen ähnlichen Aufbau hat die von der Firma ENGEL verwendete Sandwich-Düse, die direkt auf den Spritzeinheiten montiert ist [2].

Die Schmelzeführung in diesen Düsen ist strömungsoptimiert, was immer einen Kompromiss zwischen Druckverlust und Verweilzeit darstellt. Das Schaltverhalten, also das Trennen bzw. Vereinigen der Schmelzeströme, sollte über die Maschinensteuerung so erfolgen, dass keine Druckspitzen bzw. -einbrüche sowie Unterbrechungen im Schmelzefluss erfolgen.

Vergleichbar mit der Industriehydraulik (Fluidtechnik) können diese Düsen (Ventile) - je nach Anwendung und Baugröße - in verschiedene "Gehäuse" eingebaut werden, sodass der Anwender die für ihn optimale Lösung auswählen kann. Bild 5 zeigt diese Varianten.

Erforderliche Maschinenausrüstungen

Für die Fertigung von Teilen in entsprechenden Stückzahlen kann eine spezielle "Sandwich-Maschine" die optimale Lösung darstellen. Diese Mehrkomponenten-Spritzgießmaschine verfügt über mindestens zwei Plastifizier- und Spritzeinheiten, wobei deren Anordnung für die Durchführung des Verfahrens nur eine untergeordnete Rolle spielt. Beide Plastifizier- und Spritzeinheiten sind bei diesen Maschinen miteinander fest verbunden. Die Zusammenführung bzw. das Trennen der Schmelzeströme erfolgt durch die Steuerung der Maschine. Vorteilhaft sind dabei solche Steuerungsprogramme, die eine weitestgehende freie Programmierung beider Spritzeinheiten erlauben. Also z. B. ein sequentielles und/oder simultanes Ein-spritzen beider Schmelzeströme mit verschiedenen Spritzfolgen.

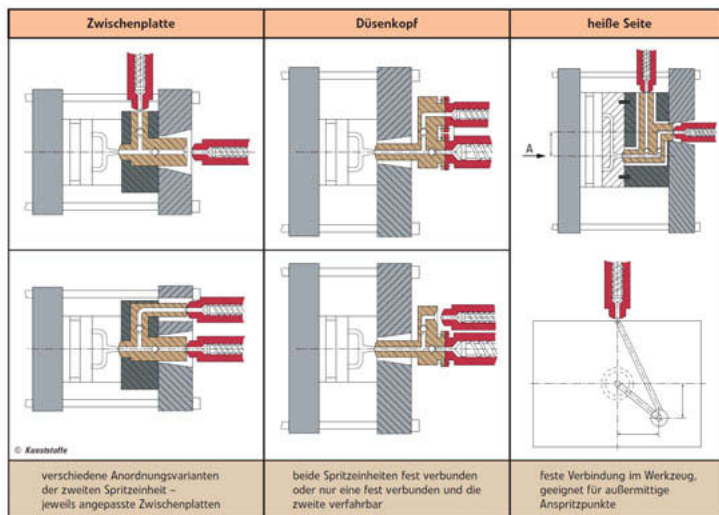


Bild 5: Einbauvarianten von schematisch dargestellten Sandwich-Düsen in Spritzgießmaschinen nach [10]

Zwischenplatten stellen eine Alternative zu Spezialmaschinen und einer Sandwich-Düse in einem Werkzeug, vergleichbar mit einer aus der Heißkanaltechnik bekannten "heißen Seite", dar. Der Vorteil besteht in einer hohen Flexibilität, die durch den schnellen Ein- und Ausbau der Platte gegeben ist. Nachteile dagegen sind eine geringfügig kleinere nutzbare Werkzeugeinbauhöhe, bedingt durch die Plattenstärke und teilweise auch längere Fließwege. Um die Schmelzeübergabe zur Werkzeugangießbuchse, die durch den Einrichter nicht mehr einsehbar ist, leakagefrei zu halten, sind Radiusdüsen und -angießbuchsen vorteilhaft. Eine permanent an der Werkzeugangießbuchse anliegende Düse mit variablem Hub und, falls erforderlich, mit einstellbarer zyklusabhängiger Düsenanlagekraft des Heißkanals der Zwischenplatte ermöglichen ein auch an dieser Stelle leakagefreies Einspritzen.

Prinzipiell ist es möglich, solche Zwischenplatten auch für größere Maschinen mit Schließkräften über 10.000 kN zu bauen und zu betreiben. Eine sinnvolle obere Grenze für diese Zwischenplatten-Varianten stellen, aufgrund der zunehmenden Größe der Werkzeugaufspanplatte, Maschinen mit ca. 4.000 kN bis 6.500 kN Schließkraft dar.

Eine Zusammenstellung von Düsenvarianten für verschiedene Sandwich-Verfahrensvarianten (siehe Abschnitt 5), die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, zeigt Bild 5.

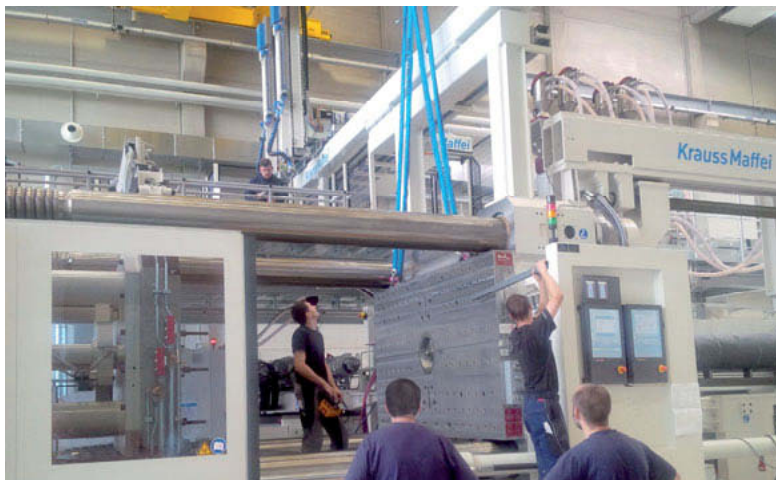


Bild 6: Sandwich-Zwischenplatte mit auswechselbarem Heißkanal 2.850 x 1.580 x 196 mm in Maschine KM 2.300 MXW TWIN SP 24.500 / 810 mit Bolt-On-Aggregat an der TU Chemnitz,
Foto: A&E Produktionstechnik GmbH

Anforderungen an die Werkzeuge

Bedingt durch den Materialwechsel pro Zyklus sind Heißkanalwerkzeuge oder Werkzeuge mit beheizten Angießbuchsen nur mit Einschränkungen hinsichtlich der Oberflächenqualität für das Verfahren geeignet. Ein großzügig dimensionierter Kaltkanal-Stangenanguss ist dabei eine weitestgehend sichere Variante, um Reste von Kernmaterial, die sich vom vorhergehenden Zyklus noch in der Düse befinden könnten, von der Formteiloberfläche fernzuhalten.

Im Anspritzpunkt treten aufgrund der dort meist vorhandenen geringen Querschnitte hohe Scherungen auf, was ein "Wiederaufschmelzen" bereits erstarrter Haut bewirken kann. Das ist auch die Ursache für ein weiteres Phänomen: Eine hohe Einspritzgeschwindigkeit des Kernmaterials bewirkt nicht eine erhoffte Vergrößerung des Anteils von Kernmaterial im Formteil, sondern eher dessen Verringerung nach Zipp [10] und Patcharaphun [13]. Auch bei eigenen Projekten war teilweise ein entsprechend hoher Aufwand erforderlich, einen optimalen Anschnitt zu finden, um eine ausreichende Stärke der Hautschicht auf der Gegenseite des Anspritzpunktes zu erreichen. Für Mehrkavitäten-Kaltkanal-Werkzeuge stellt die Ausbalancierung des Verteilers eine weitere Herausforderung dar. Bis zu vier Kavitäten sind mit entsprechenden Toleranzen der Kernmaterialverteilung und dessen Anteil pro Kavität auch im Sandwich-Verfahren durchaus mit vertretbarem Aufwand beherrschbar.


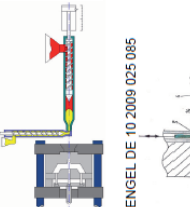
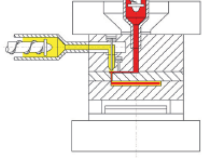
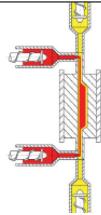
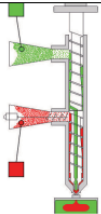
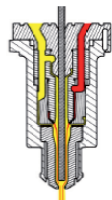
"Standard"-Sandwich 2 Zuführungen, 1 Einfluss 1 Steuerelement	Mono-Sandwich Haut-Kern-Schichtung in einer Spritzeinheit	2 Anspritzpunkte Getrennte Zuführungen der Schmelzen zur Kavität/ zum Anguss	Gegentakt-Spritzgießen Getrennte Einspritzpunkte (in der Regel gegenüberliegend bezogen auf Fließweganfang und Fließwegende	Twin-Shot 2 hintereinander angeordnete Schnecken, jeweils 1 für Haut- u. 1 für Kernmaterial	Barriers-Spritzgießen Spritzen mit langer Simultanphase Haut+Kern
(durch Schmelzdruck) oder aktiv durch von außen wirkende Kräfte; Simultanphasen bauartabhängig; Anbau Maschine, in Kaltkanal- Werkzeuge, in eine Zwischenplatte	1 Spritzzeit; kein Umschalten während des Einspritzens von Haut- auf Kernmaterial erforderlich	Einfacher Aufbau Düse und Verschluss (wie Standard- Spritzgießen)	Gezelter Schichtenaufbau im Formteil, verschiedene Schmelze- und Füllstoff-Orientierungen möglich	Hautmaterial wird in "hinterer" Schnecke plastiziert und durch die "vordere" Schnecke in Düsenraum gefördert, vordere Schnecke plastiziert Kernmaterial beide Schnecken mechan. miteinander verbunden	Lage und Dicke der Sperrschicht im Querschnitt gezielt einstellbar
Mit Verschluss der Düse kombinierbar	Mit Verschluss der Düse kombinierbar	Mit Verschluss der Düse kombinierbar	Mit Verschluss der Düse kombinierbar	Mit Verschluss der Düse kombinierbar	Mit Verschluss der Düse kombinierbar
2K-Maschine erforderlich; bauartabhängige Spritzeinheiten, frei programmierbar,	Keine getrennten Spritzköpfe, z. B. Haut-Kern-Haut, möglich, Spezialmaschine erforderlich	Weniger Platzbedarf im Werkzeug für den Einsatz der Werkzeuge (heisse Seilen) beschränkt Kernmaterial muss durch (erstarrtes) Hautmaterial	Höherer Maschinen- und Werkzeugaufwand für Einspritzzeiten, Rückspülung oder Verlust der verdrängten Schmelzvolumeina Spezialmaschine erforderlich, Anwendungen z. Z. beschränkt auf FuE	Konstantes Verhältnis Haut- Kernmaterial (gleicher Drehzahl, gleicher Plastifizierungs- thermisch problematisch; Hautmaterial muss "durch" Einzugs für Kernmaterial	2-fach Teilung Hautstrom Steuerung Schmelzen nur aktiv (von außen wirkende Kräfte) Steuerelement 3 Stellungen 1 - geschlossen 2 - nur Haut 3 - Haut + Kern
Quelle: Arburg schmelzdruckbetätigter Steuerkolben	Quelle: Ferromatik Milacron	Quelle DEMAG DE 100 55 691	Quelle DE 198 08 145	Quelle: Nordson-Xaloy	Quelle KORTEC US 7 306 446 B2
	 ENGEL DE 10 2009 025 085				
Düsentypen zur Schmelze- zusammenführung Koraxal oder Side by side (vgl. Diss. Th. Zipp, 1992)	Alle Bereiche/Branchen	z. B. einfache, dickwandige Teile	Spezialteile aufgrund des höheren Aufwandes bisher nicht in der Breite angewandt	Anwendungen Polyolefine, ABS (?),	z. B. Verpackungen, Anwendung in Werkzeugen

Bild 7: Zusammenstellung von ausgewählten Düsenprinzipien für das Sandwich-Spritzgießen

4. Technische und wirtschaftliche Aspekte des Sandwich-Spritzgießens mit Recycling-Kunststoffen

Für Interessenten an diesem Verfahren wird an dieser Stelle auf die umfangreiche Literatur zu den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens hingewiesen. Einige Quellen sind dazu im Literaturverzeichnis bereits angegeben, z. B. in 1992 [18], in 2005 [19] und in 2009 [20] stattgefundene Fachtagungen. Weitere Literatur kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden. Unter dem Gesichtspunkt möglichst, viel Recycling-Kunststoffe in neuen Formteilen unterzubringen bzw. "zu verstecken", ist zu bemerken, dass sich hierfür Formteile mit entsprechend großen Wandstärken besonders gut eignen. Für Informationen über die Ausbildung von Verteilungen des Kernmaterials in Formteilen wird auch auf die entsprechende Literatur verwiesen.

In der Entscheidung der Kunden liegt es aber immer, ob sie die im Sandwich-Verfahren produzierten Formteile als solche auch kennzeichnen oder darauf verzichten. Gewiss werden gesetzliche Vorgaben, den Recycling-Kunststoffanteil in Produkten zu erhöhen, auch eine positive Entwicklung nach sich ziehen. Dennoch sollten die Erwartungen hier nicht allzu hoch angesetzt werden.

Wie auch bei der Verarbeitung von Recycling-Kunststoffen im Standard-Spritzgießen hängen der wirtschaftliche Erfolg mit der Prozessstabilität und sauberen, sortenreinen Ausgangsmaterialien unmittelbar zusammen. Verunreinigungen aller Art in der Schmelze führen über kurz oder lang zum Verschleiß schmelzeführender Bauteile in der Spritzgießmaschine, in der Sandwich-Düse und im Werkzeug.

Um das Sandwichspritzgieß-Verfahren wirtschaftlich bewerten zu können, gibt es verschiedene Methoden. Stellvertretend soll vereinfachend(!) anhand der Veröffentlichung von Herrn Herbert Thoma [15] gezeigt werden, welche Kosteneffekte die Verwendung von Rezyklat bringen kann.

Der bisher alleinige Grund, im Sandwich-Spritzgießen Recycling-Kunststoffe zu verwenden, ist eine zu erwartende Kostenersparnis durch die Einsparung von Neumaterial. Hinzu kommen die bereits erwähnten möglichen gesetzlichen Verpflichtungen zum verstärkten Einsatz von Recycling-Kunststoffen aus umweltpolitischen Erwägungen. Neben den erforderlichen Qualitäten und der Liefersicherheit sind auch geeignete Formteile zu finden, die auf für das Verfahren geeigneten Ausrüstungen hergestellt werden können. Prinzipiell geeignet für das Sandwich-Verfahren sind alle Spritzgießteile, die im Quelfluss hergestellt werden. Somit gibt es keine untere oder obere Grenze für die Wandstärke.

$$K_{\text{Ges}} = \underbrace{K_K * G * n_{\text{Ges}}}_{\downarrow} + \underbrace{K_M * t_{\text{Ges}}}_{\uparrow} + K_W + K_P * t_{\text{Ges}}$$

K_{Ges}	Herstellkosten	K_K	Materialkosten
K_M	Maschinenkosten	G	Teilegewicht + Anguss
K_W	Werkzeugkosten	n_{Ges}	Gesamt-Teileanzahl
K_P	Personalkosten	t_{Ges}	Gesamtproduktionszeit

Maschinenkosten = Maschinenstundensatz

Geschätzte Mehrkosten von 2K- gegenüber 1K-Spritzgießmaschinen: 

bis 1.000 kN Faktor ca. 1,5...1,6
bis 5.000 kN Faktor ca. 1,2...1,3

Materialkosten

Einsparungen durch Mahlgut, Regranulat /Rezyklat 

Bild 8: Vereinfachte Berechnung von Formteilkosten nach Thoma [15]

Einschränkend wirken aber helle Haut- und dunkle Kernmaterialien, sodass bei geringen Haut-Wandstärken eine Art Transparenz-Effekt für das Hautmaterial entsteht. Hinzuweisen ist noch auf die Möglichkeit, das Sandwich-Spritzgießen mit anderen Sonder-Spritzgießverfahren, z. B. dem chemischen und/oder physikalische Schäumen und der Gas- und/oder Wasserinjektionstechnik zu kombinieren. Erfahrungen liegen hier auch vor, die aber auf der Kombination verschiedener Schmelzen aus Neu-Kunststoffen beim Sandwich-Spritzgießen beruhen.

5. Varianten des Sandwich-Spritzgießens

Das Sandwich-Spritzgießen hat im Laufe seiner Entwicklung eine Reihe von Weiter- und Neuentwicklungen erfahren. Auf diese wird im Folgenden kurz eingegangen.

Spritzfolgen "Haut-Kern-Haut"

Das zusätzliche Einspritzen von Hautmaterial nach dem Kernmaterial wird als "Versiegeln des Anspritzpunktes" oder auch als "Spülphase" für die Sandwichdüse bezeichnet. Insbesondere bei größeren Querschnitten des Anschnittes wird der Schichtaufbau nach dem Entfernen des Kaltkanal-Angusses sichtbar. Damit an dieser Stelle das Kernmaterial weniger sichtbar ist, wird noch einmal in geringem Maße Hautmaterial nachgespritzt. Das erneute Einspritzen von Hautmaterial hat gleichzeitig den Effekt, dass der Schmelze-Kanal-Abschnitt in der Düse, wo beide Materialien nacheinander fließen, wieder mit Hautmaterial für den

nachfolgenden Zyklus gefüllt wird. Somit wird auch sichergestellt, dass noch vorhandene Reste von Kernmaterial wieder ins Formteillinnere und nicht beim nachfolgenden Teil auf die Oberfläche gelangen.

Barriere-Spritzgießen

Eine weitere Modifikation erfuhr das Sandwich-Spritzgießen durch das sogenannte "Barriere-Spritzgießen". Entwickelt wurde diese Verfahrensvariante zur Herstellung von dünnen geschlossenen Sperrschichten, z. B. für Preforms für Getränkeflaschen (Bild 6).

Diese Verfahrensvariante unterscheidet sich in zweierlei Hinsicht von dem bisher Beschriebenen: Das Oberflächenmaterial wird in der Düse in zwei Ströme geteilt, jeweils für eine Seite der Formteiloberfläche. Beide Schmelzen, also drei Teilströme (2 x Oberfläche, 1 x Barriere), fließen während der Füllung der Kavität über einen größeren Zeitraum simultan in die Kavität. Damit wird, im Gegensatz zu dem bisher beschriebenen Sandwich-Verfahren, bei dem das Kernmaterial das Hautmaterial in der Kavität praktisch vor sich herschiebt, über die Volumenstromverhältnisse zwischen Haut und Kernmaterial sowohl Einfluss auf die Lage der Kernschicht zu den Hautschichten als auch Einfluss auf die Stärke (Dicke) der Kernschicht genommen. Bei durchgeführten Untersuchungen einer solchen Barriere-Sandwichdüse an der TU Chemnitz im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes konnten durch die Variation der Einspritzströme unterschiedliche Stärken der inneren Schichten an plattenförmigen Probekörpern erzeugt werden [16].

Mono-Sandwich

Entwickelt und in den 1990ern von der Firma Ferromatik Milacron, Malterdingen, auf den Markt gebracht, wurde dieses Verfahren bei der K-Messe 2019 auf einer 2K-Spritzgießmaschine der Firma ENGEL unter der Bezeichnung "Skinmelt" vorgeführt [11]. "Mono" in der Verfahrensbezeichnung steht für eine Einspritzeinheit. Dennoch werden auch bei dieser Verfahrensvariante zwei Thermoplast-Schmelzen benötigt, die nacheinander in die Kavität eingespritzt werden. "Mono" bezeichnet aber, dass für das Einspritzen in die Kavität von zwei Schmelzen nur eine Einspritzeinheit benötigt wird. Erreicht wird das dadurch, dass die Schmelze in einer zweiten Einspritzeinheit oder in einem Nebenextruder plastifiziert und in einem weiteren Verfahrensschritt zunächst vor dem Kernmaterial in der Spritzeinheit zwischengespeichert wird. Für den Schmelzetransport des vom Nebenextruder bzw. der zweiten Einspritzeinheit plastifizierten Hautmaterials in die erste Einspritzeinheit sind zusätzliche Bewegungen des Spritzaggregates erforderlich, die aber in der Kühlzeit stattfinden und somit keinen Einfluss auf die Zykluszeit haben. Um kurze Fließwege der Schmelze vom Nebenextruder zur Einspritzeinheit zu erhalten, wird die Einspritzeinheit vom Werkzeug abgefahr-

ren. Die "Schmelzeübergabe" in die Einspritzeinheit erfolgt über eine verschließbare Verbindung im Düsenraum der Maschine.

Nachteilig ist, dass ein oder mehrere zusätzliche Schaltventile (Düsen) für die Schmelzeströme benötigt werden, um zunächst das Oberflächenmaterial vor dem Kernmaterial in der Einspritzeinheit zu speichern (Bild 6). Beim nachfolgenden Einspritzen müssen der Schmelzekanal zur Plastifizier-Einheit für das Hautmaterial abgesperrt und der Schmelzekanal zur Kavität freigegeben werden. Für bestimmte Anwendungen ergeben sich zweifellos wirtschaftliche Vorteile. Jedoch werden auch folgende Nachteile gesehen: "Schmelzeübergaben" erfolgen nicht zwischen geschlossenen Bauteilen, d. h. es werden zusätzliche schmelzedichte Absperr-Einheiten benötigt. Durch den Verfahrensablauf bedingt, werden diese "Schmelzeübergabestellen" in bestimmten Zyklusabschnitten wieder getrennt. Schmelzeleckagen können dabei, insbesondere bei niedrigviskosen Materialien, an diesen Stellen nicht ausgeschlossen werden. Die Spritzfolgen „Haut-Kern-Haut“ sind auch nicht möglich.

TwinShot

Auch diese Variante wurde sicher entwickelt, um Kosten an der Maschine einzusparen und den Prozessablauf, sprich die Einstellungen an der Maschinensteuerung, zu vereinfachen. Zwei hintereinander angeordnete Plastifizier- und Einspritzschnecken plastifizieren getrennt Haut- und Kernmaterial (Bild 6). Nachteilig ist dabei, dass das plastifizierte Kernmaterial durch den Einzugsbereich der Schnecke für das Hautmaterial geführt wird, wodurch im Prozess eine thermische Trennung schwierig oder nicht zu realisieren sein wird. Auch eine saubere Trennung von Haut- und Kernmaterial im Schneckenorraum - als Voraussetzung für von Kernmaterial freien Oberflächen - wird nur in bei eingeschränkten Anwendungen möglich sein. Versuche, die Anfang der 1990er Jahre mit einer ähnlichen Lösung [17] vorgenommen wurden, führten nur zu unbefriedigenden Ergebnissen bei der Trennung von Oberflächen- und Kernmaterial.

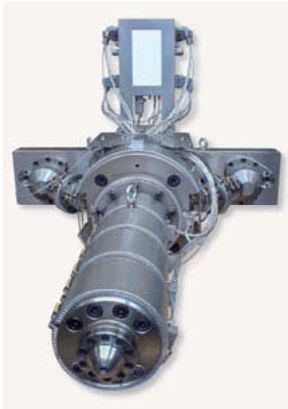


Bild 11: A&E Sandwich-Düsenkopf für parallel angeordnete Spritzeinheiten

Für einen Verpackungseimer, in Bild 11 dargestellt, mit Wandstärken von 1 mm bis 3 mm wurden ebenfalls Sandwich-Düsenköpfe (Prinzip nach Bild 4) für Neu-HDPE- und Recycling-HDPE-Material gebaut. Das Schußgewicht der Formteile beträgt 9 kg. Als langjähriges Mittel konnten bei stabilen Prozessen über 40 % Recycling-Kunststoffe im Kern verarbeitet werden. Für die Abmusterung wurde transparentes Haut- und schwarzes Kernmaterial verwendet.



Bild 12: Sandwich-Verpackungseimer



Bild 13: A&E-Sandwich-Düsenkopf auf KM GXZ650-4300-2000

Für Gehäuse und einfache technische Formteile, die im Sandwich-Verfahren Recycling-Kunststoffe für Kernmaterial verwenden, wurden auch A&E-Sandwich-Düsenköpfe und

Sandwich-Zwischenplatten für weitere Maschinenhersteller und Spritzgießer gebaut, die teilweise seit 15 Jahren in verschiedenen Produktionen laufen. Beispielhaft für diese Anwendungen ist im Bild 13 ein Telefongehäuse, mit einem Gewicht von 300 g, aus ABS-Neu/ABS-Recycling-Material dargestellt. Bei diesem Produkt, mit vielen Durchbrüchen und Wandstärken im Bereich von 1 bis 3 mm, wurden rund 30 % Kernmaterial erreicht.

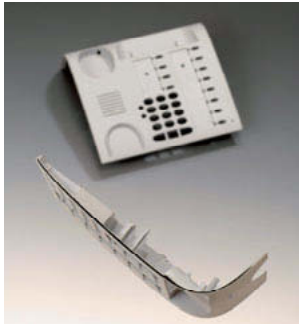


Bild 14: Gehäuse und Schnitt

6. Zusammenfassung

Sandwich-Spritzgießen ist eine Möglichkeit, Recycling-Kunststoffe sinnvoll wieder zu verarbeiten. Ein "Allheilmittel" ist es nicht, da für die Herstellung neuer Formteile ebenfalls wieder neuer Kunststoff benötigt wird und die Recycling-Kunststoffe über eine angemessene Qualität verfügen müssen. Das Verfahren benötigt immer zwei aus verschiedenen Materialien bestehende Schmelzeströme, sodass auch die höheren Investitions- und Betriebskosten bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigt werden müssen.

Es wurden Möglichkeiten beschrieben, für den Sandwich-Prozess - je nach Anwendung - optimale Ausrüstungen auszuwählen. Neben den "reinen" wirtschaftlichen und technischen Kriterien sind aber auch "weiche" Kriterien - wie die Qualifikation und das Engagement des Einricht- und Bedienpersonals - in besonderem Maße zu berücksichtigen.

Es wurden Beispiele genannt, bei denen nach entsprechenden Anlauf- und Einarbeitungszeiten die voraus berechneten wirtschaftlichen Vorteile eingetreten sind und auch die damit einhergehenden "ökologischen" Effekte nachweisbar wurden. Andererseits sollte aber nicht vergessen werden, dass durch die Nichtbeachtung von Bedingungen, speziell der Reinheit und Sauberkeit der Rezyklate, und weiterer Anwendungskriterien höhere Kosten entstehen als beim Einsatz von ausschließlich Neumaterial. Wie künftig die "Umweltaspekte" durch die Verwendung von Rezyklaten in neuen Formteilen zu kalkulieren sind, wird von den angesprochenen gesetzlichen Vorgaben abhängig sein.

Literatur

- [1] J. P. Beaumont, Auslegung von Anguss und Angusskanal - Spritzgießwerkzeuge erfolgreich einsetzen, Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [2] P. Egger u. a., Starke Partner, Kunststoffe Heft 11.2009, S. 26-30, Carl Hanser Verlag, München
- [3] F. Johannaber, Handbuch Spritzgießen, Carl Hanser Verlag, München, 2002
- [4] F. A. Eibl, Werkstoffliches Recycling von Polypropylen-Stoßfängern insbesondere unter Anwendung der Zweikomponenten-Spritzgießtechnologie zur Herstellung hochwertiger Kunststoffformteile, Dissertation Montanuniversität Leoben, 1995
- [5] V. Goodship, Interfacial Instabilities: Implications for Multi-Material Molding, Dissertation, University of Warwick, 2001
- [6] W. F. Zoetelief, Multi-component Injection Moulding, Dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, 1995
- [7] C. Jaroschek, Spritzgießen von Formteilen aus mehreren Komponenten, Dissertation RWTH Aachen, 1993
- [8] C. Jaroschek, Passgenaue Verteilung des Kernmaterials, Kunststoffe Heft 5, 2004, Seiten 68 - 71, Carl Hanser Verlag, München
- [9] C. Jaroschek, Spritzgießen für Praktiker, Carl Hanser Verlag, München, 2008
- [10] T. Zipp, Fließverhalten beim 2-Komponenten-Spritzgießen, Dissertation RWTH Aachen, 1992
- [11] ENGEL skinmelt Technologie auf der K2019 -Sandwiches mit noch mehr Rezyklat, Pressemitteilung 10-2019, ENGEL AUSTRIA GmbH, Schwertberg (A), 2019
- [12] V. Reichert u. a, Ventile steuern den Fluss, Kunststoffe Heft 11, 2009, Seiten 38-42, Carl Hanser Verlag, München
- [13] S. Patcharaphun, "Characterization and Simulation of Material Distribution and Fiber Orientation in Sandwich Injection Molded Parts", Dissertation, TU Chemnitz, 2006
- [14] V. Reichert, Maschinenelemente für das Sandwich-Spritzgießen, Posterbeitrag P1-7 22. Technomer 2011, TU Chemnitz
- [15] Firmenschrift Klöckner Ferromatik Desma, H. Thoma, Vorkalkulation von Spritzgießteilen, Malterdingen, 1984
- [16] TU Chemnitz, Institut f. Strukturleichtbau und Kunststofftechnik, ZIM-Kooperationsprojekt "Entwicklung von thermoplastischen Leistenelementen als komplexe 3D-Strukturen aus simultan spritzgegossenen, maßgeschneiderten Sandwichstrukturen mit gezielt einstellbarer Schichtdicke und definierter Schichtlage, KF2004104CM, 2018
- [17] Patentschrift DE 44 34 546 C1, Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von aus zwei unterschiedlichen Werkstoffkomponenten gebildeten Werkstücken im Spritzgießverfahren, Veröffentlichungstag: 21.12.1995

- [18] Fachtagung Mehr Farben - Mehr Materialien - Mehrkomponenten-Spritzgießtechnik
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum Würzburg, 06. u. 07. Mai 1992
F. Johannaber, Mehr-Komponenten-Technik beim Spritzgießen, Seiten 7 - 20
G. Fischbach, Angussloses Sandwich-Spritzgießen - Einbringen von funktionalen Schichten und Recyclaten, Seiten 49-62
H. Eckardt, Hochwertige technische Teile unter Verwendung von Recyclingwerkstoffen, S. 63-82
- [19] Spritzgießen 2005, VDI Gesellschaft Kunststofftechnik, Mehrkomponenten- Spritzgießen. Verfahren und Möglichkeiten, W. Michaeli. a., Seiten 135-177
- [20] VDI-Gesellschaft Materials Engineering, Spritzguss Spezialtechniken Schäumen und Sandwichtechnik, Reutlingen, 21.09.2009
P. Braun, Heißkanaltechnik für den Sandwichspritzguss,
G. Görlich, Sandwichtechnik – Möglichkeiten und Grenzen
C. Jaroschek, Sandwich-Spritzgießen durch dick und dünn

Virtuelle Produktionsassistentz im Spritzgießprozess

Dr.-Ing. K. Saul, SHS plus GmbH, Dinslaken

SHS plus GmbH

Die SHS plus GmbH beschäftigt sich mit der Digitalisierung von Produktionssystemen, mit der automatisierten Datenanalyse sowie mit dem Einsatz von unterschiedlichen Algorithmen zur automatisierten Datenauswertung. Die Grundidee der Systeme von SHS basiert auf dem Gedanken, die Produktionssituation möglichst ganzheitlich zu erfassen (Maschinendaten, Peripheriesysteme, Materialdaten, Umgebungsdaten, Qualitätsmessung am Produkt) und diese Daten in einer zentralen Datenbank abzuspeichern. Auf diese Datenbank können dann unterschiedliche Systeme zugreifen, um die Daten zielgerichtet zu analysieren und so dem Maschinenbediener Hilfestellung anbieten zu können.

Zu diesem Zweck hat SHS ein System mit dem Namen Vipra® entwickelt, welches sämtliche dafür notwendige Grundfunktionen in sich vereint. Das Vipra® System sammelt die Daten von unterschiedlichen (beliebigen) Quellen (z.B. Spritzgießmaschine, Temperiergeräte, Heißkanalsystem, Handling System, Umgebungsdaten, etc.) und speichert diese Daten in einer zentralen und übergeordneten Datenbank.

Die Inhalte dieser Datenbank werden anschließend innerhalb von Vipra® mit unterschiedlichen Vipra® eigenen Algorithmen ausgewertet. Gleichzeitig ermöglicht das Vipra® System aber auch anderen Partnern / Systemen den Zugriff auf diese Daten über eine Schnittstelle.

Ihren Ursprung hat die SHS plus GmbH im Dienstleistungssektor, insbesondere im Troubleshooting und der Prozessoptimierung von Kunststoffverarbeitungsprozessen. In diesem Sektor ist die SHS seit mehr als 10 Jahren aktiv und verfügt international über viele namhafte Referenzen.

Einleitung

Entsprechend der Definition des Cambridge Dictionarys ist ein Assistent „jemand, der jemanden hilft einen Aufgabe zu verrichten“. Zur Bereitstellung einer kompetenten Hilfestellung sind jedoch entsprechende Fähigkeiten von Nöten. Im Falle einer „virtuellen“ Assistenz be-

ginnen diese „notwendigen Fähigkeiten“ bereits beim Vorhandensein entsprechender Wahrnehmungs- und Aktionsmöglichkeiten.

Virtuelle Assistenten basieren auf Computersoftware. Diese Computersoftware muss in die Lage versetzt werden – ähnlich einem realen Menschen – die Fähigkeit zu besitzen, wahrzunehmen was in der realen Welt passiert. Dazu benötigt ein virtueller Assistent Augen und Ohren. Im übertragenen Sinne sind damit Sensoren gemeint, sowie die Möglichkeit Informationen von anderen Anlagen zu hören – also Kommunikationsschnittstellen.

Darüber hinaus muss der virtuelle Assistent – identisch wie der menschliche Prozessexperte – über Intelligenz verfügen um die eingehenden Informationen sinnvoll auszuwerten. Übertragen auf die Computersoftware resultieren daraus eine Vielzahl an unterschiedlichen Datenanalyse-Algorithmen. Diese Algorithmen können auf Expertenwissen, rein mathematisch/physikalisch oder auf Methoden der künstlichen Intelligenz basierend aufgebaut sein. Ziel ist es, dass der virtuelle Assistent die eingehenden Informationen verarbeiten und wertvolle Empfehlungen daraus ableiten kann.

Zur Weitergabe der erarbeiteten Empfehlungen benötigt der virtuelle Assistent Kommunikations- (Mund) oder Handlungsmöglichkeiten (Hände). Im übertragenen Sinne kann dies eine reine Visualisierung der Ergebnisse bedeuten, die Weitergabe von Sollwerten an Maschinen oder die direkte Ansteuerung von Aktorik an der Anlage.

In 5 Schritten zur virtuellen Assistenz

Bei der Entwicklung von virtuellen Assistenzsystemen sind stets die folgenden 5 Schritte zu durchlaufen.

Schritt 1: Definition des Anwendungsbereiches

Als erstes sollte ein sinnvoller Anwendungsbereich für das Assistenzsystem definiert werden. Häufig wird in diesem ersten Schritt das Ziel definiert, eine Pilotanlage aufzubauen, die mit einer maximalen Anzahl an Sensorik ausgestattet wird und kontinuierlich Daten erzeugt und abspeichert. Die konkreten Ziele die durch dieses reine „Erzeugen und Sammeln von Daten“ erreicht werden sollen bleiben aber oft undefiniert. Ebenso bleibt undefiniert, auf welche Art

und Weise die Daten analysiert werden sollen und welche Maßnahmen auf der Basis der Analyse ergriffen werden sollen.

Als Alternative zu dieser „universellen“ und stark sensorik-basierten Herangehensweise wird ein zielgerichteter, modular erweiterbarer Ansatz vorgestellt, der aufbauend auf konkreten Problemdefinitionen eine reale Lösung auf der Basis einer virtuellen Assistenz bereitstellen kann.

Schritt 2: Digitalisierung, Verfügbarmachen von Informationen

Nach der Zieldefinition ist der erste praktische Schritt, die Verfügbarmachung der „notwendigen“ Informationen, also die Digitalisierung. Hierbei stehen verschiedene Möglichkeiten vom Aufbau einer Maschinenkommunikation über Bridge Systeme, einer direkten Maschinenanbindung über Standard-Protokolle sowie die Möglichkeit des Retrofittings von nicht-kommunikationsfähigen Anlagen zur Wahl. Neben dieser Art der Informationsgewinnung ist auch der Einsatz von Soft-Sensorik eine wertvolle Methode der Informationsgewinnung. Ein Soft-Sensor ermittelt auf der Basis mathematisch/physikalischer Modelle und der messtechnischen Erfassung messbarer Eingangsgrößen nicht messtechnisch erfassbare Zielgrößen. So kann beispielsweise die Kerntemperatur einer Spritzgießbauteils während des Abkühlvorganges über Computersimulation live bestimmt werden.

Schritt 3: Intelligente und automatisierte Datenanalyse

Sämtliche Informationen die dem Assistenten zur Verfügung gestellt werden, sollten automatisiert analysiert werden. Dabei werden in den Assistenzsystemen von SHS grundsätzlich drei verschiedene Methoden verfolgt. Neben einer rein auf „Expertenwissen“ und „Erfahrungsschatz“ basierenden Datenanalyse wird auch die Analyse historischer Daten sowie der Einsatz von Methoden aus dem Bereich „künstliche Intelligenz“ verfolgt. Hierzu werden praktische Beispiele vorgestellt die aus realen Kundensystemen stammen.

Schritt 4: Rückkopplung in den Prozess, Regelung, Automatisierung

Wenn der virtuelle Assistent in der Lage ist Empfehlungen zu erarbeiten, muss er über eine Möglichkeit verfügen diese in der realen Produktion umzusetzen. Eine Option ist die Visualisierung der Empfehlungen an den Maschinenbediener. Alternativ steht aber auch die Möglichkeit der aktiven Sollwertvorgabe oder der direkten Aktoransteuerung zur Wahl. Zuletzt genannte Optionen benötigen jedoch eine Möglichkeit der bidirektionalen Kommunikation zur Anlage.

Schritt 5: Weiterentwicklung des Systems (Sprung in Schritt 1)

Nach Abschluss der Umsetzung eines initialen Satzes an virtuellen Assistenzfunktion folgt stets die Optimierung oder die Erweiterung des Umfanges. Es ist unrealistisch davon auszugehen, dass in einem ersten Anlauf die Erreichung sämtlicher Wunschvorstellungen realisiert werden kann.

KI-System für robuste Produkte und stabile Prozesse am Praxisbeispiel

Praxisbeispiel zur Material- und Ressourceneffizienz durch weniger (Anfahr-)Ausschuss mittels Predictive Quality, Analytics & Maintenance für Material- & Verfahrenskombinationen

Dipl.-Ing. **F. Thurner**,
Contech Software & Engineering GmbH, Fürstenfeldbruck

Kurzfassung

Künstliche Intelligenz zur Steigerung der Produkt- und Prozessqualität ist seit einiger Zeit in aller Munde. Doch funktioniert das überhaupt, oder ist die Digitalisierung mit KI nur ein großer Wunsch und erst in ein paar Jahren umsetzbar? Wie und in welchen Schritten kann ein KI-System, das präventiv und reaktiv die Produkt- und Prozessqualität steuert, in der Praxis überhaupt zum Laufen gebracht und im heutigen Serienanlauf-, in Qualitäts- und Produktionsprozessen integriert werden? Gibt es solche KI-Systeme heute schon und wenn ja, wie funktionieren diese, um vor allem den (Anfahr-)Ausschuss bei komplexen Kunststoffbauteilen mit verschiedenen Material- und Verfahrenskombinationen zu reduzieren?

Genau zu diesen Fragen gibt der Vortrag Antworten aus der Praxis anhand einer durchgeführten Implementierung solch eines KI-Systems zur Steigerung der Produkt- und Prozessqualität. Dabei wird das Vorgehen mit seinen 8 Schritten erläutert.

Ergebnisse dieses Vorgehens und der Einsatz eines KI-Systems sind:

1. Eine erhöhte Material- und Ressourceneffizienz durch weniger (Anfahr-)Ausschuss
2. Gesteigerte Produkt- und Prozessqualität durch Predictive Quality, Analytics und Maintenance mittels prozesskettenübergreifender Datenanalyse
3. Abgesicherte Serienanläufe und stabile Serienproduktionen für verschiedene Material- und Verfahrenskombinationen

In 8 Schritten zum Ziel:

1. Anforderungen / Fehlerbilder priorisieren und messbar machen

Im ersten von insgesamt 8 Schritten werden die Fehlerbilder und Anforderungen messbar und messfähig gemacht. Dabei sind Anforderungen, die nur mit i.O. / n.i.O. dokumentiert werden, in die einzelnen stetig messbaren Anforderungen samt den jeweiligen Spezifikationsgrenzen aufzugliedern bzw. abzuleiten. Die ausreichende Messsystemfähigkeit (Typ II oder III) der Fehlerbilder / Kundenanforderungen ist Grundvoraussetzung für das weitere Verfahren und die Basis für alles folgende hinsichtlich der Datenqualität.

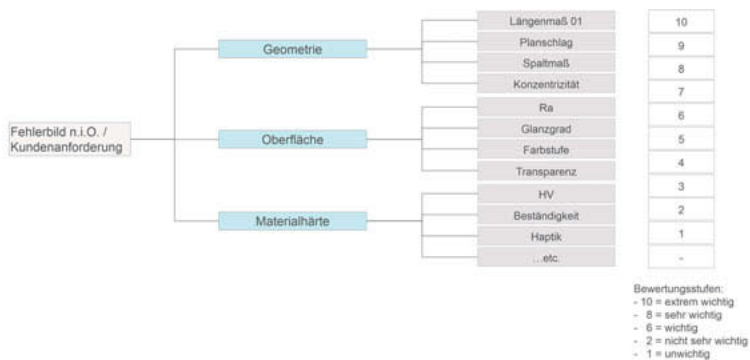


Bild 1: Anforderungen messbar machen mit dem Anforderungsbaum

2. Prozesse analysieren & Messorte festlegen

In Schritt 2 werden die Prozesse in 2 Ebenen mit SIPOCs (Supplier, Input, Process, Output Customer) in der ersten Ebene und den darunter liegenden Prozess-Flussdiagrammen analysiert und dabei die Messorte für die messbaren Anforderungen Y_n und Einflussgrößen X_i festgelegt. Lieferanten (Supplier) und Kunden (Customer) können sowohl Maschinen, Vorprozesse oder Menschen sein. Inputs können sowohl Ergebnisgrößen Y_n aus Vorprozessen, Chargen oder steuerbare, als auch nicht zu beeinflussende Einflussgrößen X_i wie z.B. Umgebungs- und Umwelteinflüsse sein. Outputs sind meist Ergebnisgrößen oder messbare Anforderungen Y_n .

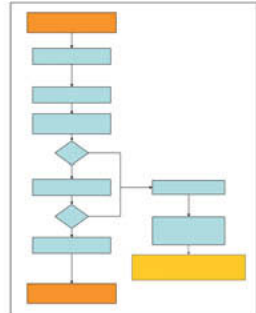
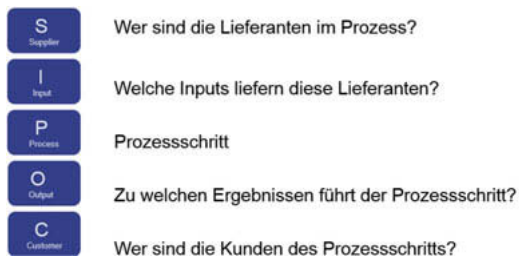


Bild 2: SIPOC Schemata und Flussdiagramm [2]

3. Mögliche Einflussgrößen Xi sammeln, auswählen & priorisieren

Schritt 3 ist verantwortlich für das Sammeln, Auswählen und Priorisieren der möglichen Einflussgrößen Xi. Diese werden dabei in sogenannten QFDs (Quality Function Deployments) den messbaren Anforderungen / Fehlerbildern Yn zugeordnet und durch Experten und deren Erfahrung eine vermutete Schwere der Wirkung jeder Einflussgröße Xi auf jede einzelne Anforderungen / Fehlerbilder Yn dokumentiert. Daraus errechnet sich die sogenannte technische Bedeutung (TB), die ein Maß für die Wichtigkeit der möglichen Einflussgröße Xi auf die Summe aller Anforderungen / Fehlerbilder Yn ist. Mittels einer einfachen, reduzierten Produkt Design FMEA und/oder Prozess FMEA wird im Anschluss die Fragilität der Einflussgröße Xi erarbeitet und die Risikozahl $RZ = A \times B$ (Auftrittswahrscheinlichkeit \times Bedeutung der Fehlerfolge) errechnet. Zugleich kann jetzt ein Abgleich der priorisierten möglichen zu den aktuell gemessenen Einflussgrößen Xi erfolgen. Spätestens jetzt zeigt sich die Differenz zwischen den bereits gemessenen oder historisch zur Verfügung stehenden Daten und den über die 2-dimensionale Priorisierungsgraphik als notwendig zu messenden Einflussgrößen Xi. Die im oberen rechten Quadranten mit roten Punkten gekennzeichneten Einflussgrößen Xi (Bild 3) sollten auf jeden Fall gemessen werden, da sonst davon auszugehen ist, dass die Erklärungsrate der Vorhersagemodelle nicht zufriedenstellend ausfallen wird, um die Wirkmechanismen ausreichend zu erklären und in den Prozess steuernd eingreifen zu können.

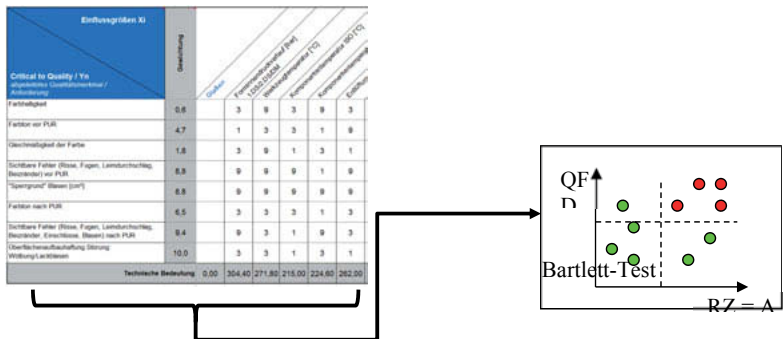


Bild 3: QFD – Quality Function Deployment in Verbindung mit der Priorisierungsmatrix
Achsen: TB (Technische Bedeutung) & Risikozahl RZ = A x B

4. Daten für Stichproben erheben & speichern

Mit Schritt 4 werden Daten zu den relevanten Einflussgrößen X_i in Form einer Stichprobe erhoben und als sogenannte Teach-In oder Anlern-Stichprobe gespeichert. Dazu verdeutlicht man in einem Datenerfassungsplan die zu messenden Merkmale. Die Daten für die Teach-In-Stichprobe können entweder aus historischen Datensetzen (Big Data, Data Lakes) oder aus der laufenden Serie kommen. Hat man keine oder für eine Teach-In-Stichprobe eine zu geringe bzw. nicht repräsentative Datenmenge, können Daten gezielt über statistische Versuchspläne (DoE – Design of Experiments) eingestellt und erzeugt werden. Bei allen der drei möglichen Datenbeschaffungs-Szenarien ist der entscheidende Faktor, ob die Daten gelabelt sind. Denn mit nicht gelabelten Daten können keine Vorhersagemodelle bzgl. der Wirkmechanismen $Y_n = f(X_i)$ erstellt werden.

Komponentenmerkmal (X)	Importance	TB	Bemerkung / Messverfahren	Stufe 1	Stufe 2	Hypothese
Deckfurnier Qualität	9	263	Vergleichsmuster	quer	längs	
Klebefilmtyp	9	219	Messung nach GS 2015	Lieferant A	Lieferant B	
Deckfurnier Dicke (Rohfurnier vor Kaschieren)	9	173	Plattentaster / Dickenschwankungen	0,4	0,7	je dünner desto besser; je gleichmäßiger desto besser
Holz kitt Typ	9	156	Messung gemäß GS xxxx	Typ 1	Typ 2	Typ 2 ist besser als Typ 1
Vlies Typ	9	144	Messung gemäß GS yyyy	VC 1	VC 2	VC 1 ist besser als VC 2
Vlies Grammatur	9	144	Messung gemäß GS uuuu			je dicker desto weniger

Bild 4: Datenerfassungsplan für Teach-In-Stichprobe, exemplarisch

5. Predictive Quality, Analytics & Maintenance: Modelle automatisch erstellen

In Schritt 5 werden aus den gemessenen Anforderungen / Qualitätsmerkmalen Y_n und den dazugehörigen, gelabelten und laut Priorisierungsmatrix relevanten Einflussgrößen X_i , die aus Schritt 4 als Teach-In-Stichprobe zur Verfügung stehen, (halb)automatisch die Vorhersagemodelle erstellt. Je nachdem welche Anforderungen, Qualitätsmerkmale Y_n und Einflussgrößen X_i man dem KI-System füttert, können alle Arten von Vorhersagemodelle für verschiedene Anwendungen wie zum Beispiel für

a. Predictive Quality

b. Predictive Analytics

c. Predictive Maintenance

erstellt werden.

Mit der Methode und dem KI-System können über solche Vorhersagemodelle, die auch bei komplexen Bauteilen die Wirkmechanismen transparent und damit die Bauteil-Qualität und Funktionalität steuerbar machen, (Neu-)Entwicklungen und Prototypenbau abgesichert und Neuanläufe bzw. Industrialisierungen ermöglicht werden.

Die Vorgehensweise eignet sich auch hervorragend um Serienprozesse zu optimieren, Gewährleistungsrisiken und Feldausfälle zu reduzieren oder die Lieferantenqualität gezielt zu verbessern.

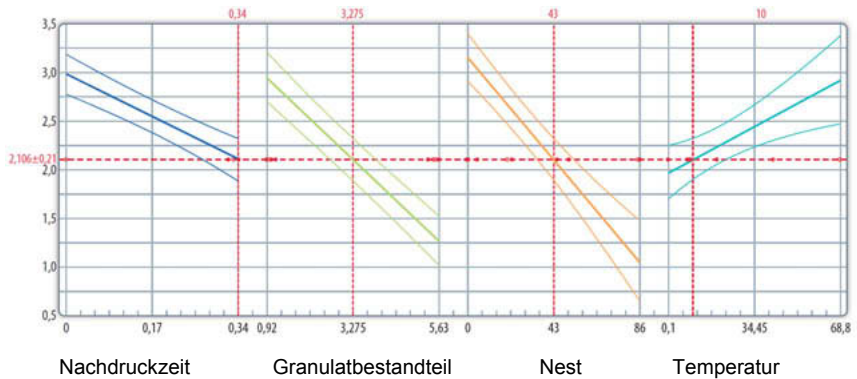


Bild 6: Quantitative Wirkmechanismen der relevanten Einflussgrößen X_i zur Design Optimierung

7. Parametrierung und statistische Tolerierung der Einflussgrößen X_i

In Schritt 7: Um Over-Engineering zu vermeiden erfolgt eine statistisch abgesicherte Parametrierung und statistische Tolerierung der relevanten und signifikanten Einflussgrößen X_i , sprich der Produktmerkmale und Prozessparameter. Die Prozessparameter und Einflussgrößen X_i werden mittels Zielgrößenoptimierung zur optimalen Erreichung der Anforderungen und Produktmerkmale Y_n ausgelegt. Ein Bestätigungslos mit den optimalen Einstellungen verifiziert mittels Monte-Carlo-Simulationen die Vorhersagemodelle für jedes Y_n .

8. Statistische Prozesskontrolle (SPC)

In Schritt 8 werden alle relevanten und signifikanten Einflussgrößen X_i in den Vorhersagemodellen (Level 1) plus zu diesen wiederum signifikante Einflussgrößen X_i (Level 2) unter Statistische Prozesskontrolle gestellt. Bei Überschreiten der aus den Transferfunktionen abgeleiteten Eingriffs- und Warngrenzen schlägt das AMS (Automated Messaging System) via Handy oder E-Mail Alarm. Bild 7 zeigt eine typische Regelkarte für eine signifikante Einflussgröße X_i .

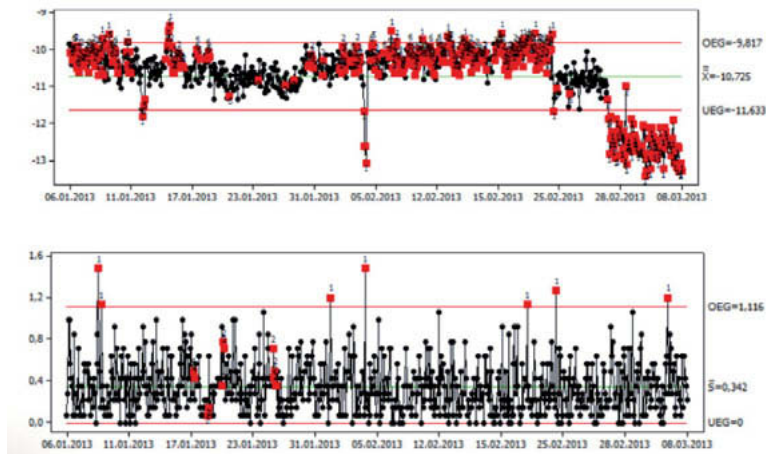


Bild 7: SPC – Statistische Prozesskontrolle für signifikante Einflussgrößen Xi mittel Regelkarten

9. Zusammenfassung und Ausblick

In 8 Schritten ist es also möglich von einem sehr geringen Digitalisierungsgrad zu einer bereits für das Pilotprojekt rentablen Digitalisierung zu kommen. ROIs mit 6 bis 9 Monaten sind die Regel. Damit werden Predictive Quality, Analytics und Maintenance in Entwicklung und Produktionsbereichen zum Alltag und nicht mehr nur Zukunftsmusik. Prognosemodelle für verschiedene Material- und Verfahrenskombinationen bei einfachen und komplexen Bauteil-Systemen können zur Steigerung der Produkt- und Prozessqualität im täglichen Betrieb verwendet werden, wie an diesem Praxisbeispiel ausgeführt. Schlüsselpunkt ist dabei eine prozesskettenübergreifende Datenanalyse von der Rohware bis zum fertigen Bauteil. Eine gesteigerte Material- und Ressourceneffizienz durch weniger (Anfahr-)Ausschuss ist zwangsläufig die Folge der Predictive Quality und Maintenance Vorhersagemodelle, die in Verbindung mit einem Prozessdatenmanagementsystem eine Echtzeitsteuerung der signifikanten Einflussgrößen Xi zulassen.

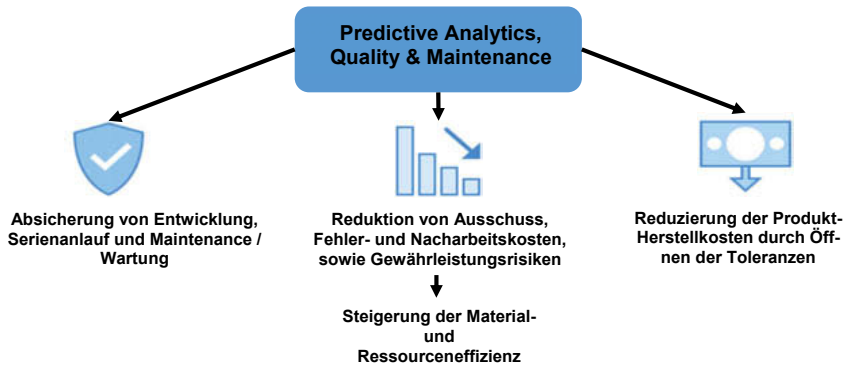


Bild 8: Nutzen und Potentiale des gezeigten KI-Systems

- [1] Knoll, Peter; Thurner, Nicole (2019): Nervtöter ausschalten. https://www.contech-analyser.de/wp-content/uploads/Nervt%C3%B6ter-ausschalten_2019.pdf (Zugriff 12.12.2019).
- [2] Toutenburg, Helge; Knöfel, Philipp (2008): Six Sigma – Methoden und Statistik für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.

Servo-angetriebene Heißkanalsysteme

Erweiterte Prozessmöglichkeiten und signifikante Qualitätsverbesserung

Servo driven hot runner systems

Extended process possibilities and significant quality improvement

Dipl.-Ing. **S. Berz**, HRSflow GmbH, Frankfurt/M.

Kurzfassung

Durch den Einsatz eines servo-angetriebenen Heißkanalsystems besteht die Möglichkeit, den Volumenstrom an jeder einzelnen Düse zu steuern. Hierdurch wird in erheblichem Maße Einfluss auf den Prozess genommen. Das Ergebnis ist eine Verbesserung der Bauteilqualität in Hinsicht auf Oberflächeneffekte, Bauteilverzug und -spannungen. Des weiteren lassen sich mit dieser Anspritzvariante Familienwerkzeuge mit extrem unterschiedlichen Schussgewichten der einzelnen Bauteile seriensicher produzieren. Darüber hinaus bietet das System erhebliche Vorteile in der Hinterspritztechnik für Dekormaterialien und kapazitive Folien. Anhand von Praxisbeispielen werden die Vorteile untermauert und erläutert.

Abstract (optional)

By using a servo-driven hot runner system, it is possible to control the volume flow at each individual nozzle. This has a considerable influence on the process. The result is an improvement in component quality with regard to surface effects, component distortion and stresses. Furthermore, with this injection variant family molds with extremely different shot weights of the individual components can be produced series-safely. In addition, the system offers considerable advantages in back injection technology for decorative materials and capacitive films. Practical examples are used to substantiate and explain the advantages.

Ausschussreduktion durch automatisierte Datenanalyse Anomalieerkennung von Prozessdaten

Dr. M. Wank, Dr.-Ing. S. Kruppa, M. Busl,
KraussMaffei Technologies GmbH, München

Kurzfassung

Durch die digitale Transformation – hin zu Industrie 4.0 – ist die Verfügbarkeit von Daten in das Bewusstsein gerückt. Gerade in der Kunststoffbranche und insbesondere im Spritzgießen sind, durch die von der EUROMAP definierten Standards, Daten herstellerübergreifend abrufbar. Die zum Sammeln von Daten notwendige Infrastruktur ist in der Anschaffung nicht kostenneutral, sodass das bloße Sammeln von Daten kein Selbstzweck ist. Vielmehr ist es wichtig, aus den Daten auch einen entsprechenden Nutzen zu ziehen.

1. Gegenüberstellung manueller und automatischer Prozessdatenanalyse

In der Spritzgießproduktion entstehen innerhalb einer Schicht von 8 Stunden bei einer 30-sekündigen Zykluszeit, je nach Maschinenausstattung, bereits rund 50.000 Datenpunkte, die über EUROMAP 63, beziehungsweise den Nachfolger EUROMAP 77, abgerufen werden können – und das an nur einer Maschine. Ausschuss oder die ursächlichen Störungen der Produktion sind meist in diesen Daten sichtbar, doch die manuelle Überprüfung dieser Fülle an Daten scheitert häufig alleine schon an personellen Ressourcen.

Dieses Problem ist bekannt, weshalb es diverse Tools und Applikationen gibt, um wenigstens eine Teilautomation der Datenanalyse vorzunehmen. Eines der bekanntesten Beispiele hierfür ist die Verwendung von Toleranzbändern in der Maschinensteuerung, die allerdings manuell für jeden Prozess und jeden darin zu überwachenden Wert definiert und eingestellt werden müssen. Verschiedene Rollen beim Maschinenbetreiber verfolgen allerdings unterschiedliche Interessen. Um Anpassungen und Fehlalarme zu vermeiden werden Toleranzbänder möglichst groß eingestellt. Das verhindert aber eine zuverlässige und schnelle Problemerkennung. Zudem werden aufgrund des Aufwandes nur wenige Werte überhaupt mit Toleranzen versehen. Das führt dazu, dass Prozess- und Produktionsstörungen erst viel zu spät erkannt werden und damit vermeidbarer Ausschuss anfällt.

Daher steht außer Frage, dass eine vollautomatische Prozessüberwachung großen Mehrwert bietet, wobei vollautomatisch in diesem Kontext heißt:

- Einstellungen seitens Benutzers nicht nötig
- Überwachung eines Großteils der Parameter
- Anpassung an veränderte Bedingungen

2. Verfügbarkeit der Analyseergebnisse als Voraussetzung für Ausschussreduktion

Selbst die Existenz einer fehlerfreien, vollautomatischen Prozessüberwachung stellt alleine noch keinen Garant für eine entsprechende Ausschussreduktion dar. Das alleinige Erkennen von potentiellen Ausschussteilen und Ausschuss verursachenden Störungen reicht nicht. Die Information muss schnell bei den richtigen Personen ankommen, um das Potential einer frühzeitigen Problemerkennung zu nutzen. An dieser Stelle kommt das Thema Infrastruktur wieder ins Spiel.

Besonders hilfreich ist hier alles, was sich im Bereich IIoT (Industrial Internet of Things) abspielt. Zum einen ist hier die bereits in der Einleitung genannte Datenerfassung zu erwähnen, es gibt allerdings etliche weitere Vorteile. Die Cloud liefert auch eine Plattform, auf der entsprechende Algorithmen, beispielsweise zur Anomalieerkennung, laufen können. Darüber hinaus lassen sich Weiterentwicklungen der Algorithmen leicht verteilen.

Einer der wohl nennenswertesten Vorteile ist allerdings, dass sich die Informationen – sowohl die Rohdaten als auch die Analyseergebnisse – bereits „im Internet“ sind. Das Versenden von Hinweisen und Warnmeldungen auf ein Smartphone liegt dann sehr nahe. Dort lassen sich die Ergebnisse entsprechend aufbereitet darstellen und erreichen in kürzester Zeit Prozessverantwortliche. Erst diese Möglichkeit schafft die Grundlage, schneller als bisher die ursächlichen Probleme zu beheben.

Fazit

Automatisierte Prozessüberwachung ist mit den richtigen Methoden und Werkzeugen für stückgutbasierte Prozesse wie das Spritzgießen bereits heute realisierbar und kann entsprechende Mehrwerte liefern, wenn die Möglichkeit besteht, etwaige Ergebnisse schnell an die verantwortlichen Personen zu übermitteln.

Energieeffiziente Temperierung

Sind Klimaschutz und wirtschaftliche Kaufinteressen vereinbar?

Efficient temperature

Control Are climate protection and economic purchasing interests compatible?

R. Radke, gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen

Kurzfassung

Die Themen Klimawandel und Klimaschutz beschäftigen derzeit weltweit unsere Gesellschaft. Eine der Erwartungshaltungen an die Industrie ist die kurzfristige Bereitstellung von klimaschonenden Technologien und deren Einsatz. Viele sogenannter „low carbon footprint-Technologien“ sind bereits vorhanden und könnten umgehend in Produktionsprozessen, z.B. dem Spritzgießen, eingesetzt werden. Doch es stellt sich immer wieder die Frage: „Was kosten solche Technologien und lassen sich die Investitionen, nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht, rechtfertigen?“

Anhand von 2 Praxisbeispielen aus der Temperiertechnik werden die enormen Potenziale zur CO₂-Reduzierung sowie die wirtschaftlichen Aspekte einer Investition in effiziente Technologien betrachtet. Berücksichtigt werden in der Betrachtung auch die Auswirkungen von Fördermaßnahmen für den Einsatz effizienter Technologien und eine mögliche CO₂-Abgabe. Die Mehrkosten für eine effiziente Technologie können zum Teil fast vollständig durch Fördermittel kompensiert werden.

1. Die Motivation zur CO₂-Reduktion

Über die Motivation zur CO₂-Reduzierung gibt es sicherlich viele unterschiedliche Meinungen. Die Fakten zeigen in jedem Fall eine steigende Erderwärmung und das schneller als bisher prognostiziert. Die Folgen dieser Erderwärmung, das Abschmelzen der Polkappen und unserer Gletscher, sind für jeden offensichtlich erkennbar. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit sind auch zunehmende Dürreperioden und Stürme mit Starkregen eine Folge der

Erwärmung. Als eine der Ursachen der Erwärmung werden die gestiegenen CO₂-Emissionen als Resultat der globalen industriellen Entwicklung gesehen.

Auf der Klimakonferenz 2015 in Paris wurden mit der Erklärung die Erderwärmung auf weniger als 2 Grad Celsius gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung zu begrenzen, verbindliche Ziele gesetzt. Heute, nur 4 Jahre später, ist man sich darin einig, dass dieses Ziel mit den bisher umgesetzten Maßnahmen nicht erreichbar ist. Der Druck zum Handeln wird zunehmend größer.

Lobenswert ist das Bekenntnis vieler Unternehmen in kürzester Zeit klimaneutral werden zu wollen. Neben direkten Maßnahmen zur CO₂-Reduktion durch den Einsatz effizienter Technologien werden häufig auch Kompensationsmaßnahmen wie das Anpflanzen von neuen Bäumen, der Verzicht auf innerdeutsche Flüge oder die Umstellung auf Elektromobilität genannt.

Schaut man sich das Thema „Klimaschutz durch Aufforstung“ einmal an, stößt man bei der Internetrecherche darauf, dass aktuell der jährliche Verlust an Baumbestand mit 15 Milliarden Bäumen deutlich höher liegt, als die jährliche Aufforstung mit 9 Milliarden Bäumen. Aus heutiger Sicht kommen Wissenschaftler daher zu dem Schluss, dass die weltweite Aufforstung bis zum Ende des Jahrtausends vermutlich nur 20 % der CO₂-Emissionen binden kann, die von der Menschheit auf heutiger Basis bis dahin produziert werden. Die bisher veröffentlichten Zahlen werden von verschiedenen Experten derzeit heftig diskutiert. Unklar ist unter anderem, wie stark sich die immer wieder aufkommenden Brände in nahezu allen Kontinenten und das Waldsterben durch Ungeziefer- und Pilzbefall auswirken werden.

Ein Umdenken in unserem Handeln und Konsumverhalten wird vermutlich auch nur bedingt dabei helfen können, die Erderwärmung zu bremsen.

Was wir in jedem Fall auch benötigen, sind innovative und effiziente Technologien, sogenannte „low carbon footprint technologies“.



Einige dieser Technologien sind bereits vorhanden, andere in der Entwicklung. In der Regel sind diese Technologien bei Markteinführung jedoch teurer als marktübliche konventionelle Technologien. Daraus ergibt sich jedoch häufig ein Problem, denn Produkte oder Verfahren zum Klimaschutz sind ausdrücklich gewünscht, sollten aber nicht teurer sein als die bisher eingesetzten Technologien.

Stehen Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz im Widerspruch?

An dieser Stelle bereits ein vorweggenommenes Fazit. Nein, es muss kein Widerspruch entstehen. Die Herausforderung besteht vielmehr darin, Lösungen zu entwickeln und einzusetzen, die den ökologischen und gleichzeitig den ökonomischen Ansprüchen gerecht werden.

Exemplarisch werden im Folgenden die Potenziale bereits verfügbarer Effizienz-Technologien aus dem Bereich der Temperiertechnik anhand von Praxisbeispielen näher betrachtet.

In den Beispielen handelt es sich um bestehende Anwendungen mit marktreifen Serienprodukten in alltäglichen Prozessbedingungen.

Die aufgeführten Beispiele zeigen neben den hohen CO₂-Emissionseinsparungen, dass sich mit ökologischem Handeln sogar ökonomische Optimierungen hinsichtlich Verbesserung der Prozessbedingungen, Reduktion von Prozesszeiten und Ausschussquoten erzielen lassen.

In der Praxis zeigt sich darüber hinaus mit einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Gerätetechnologie ein weiterer positiver Nebeneffekt.

Wie kommt es zu dieser höheren Zuverlässigkeit?

Da in der Regel die effizienten Ansätze in höherwertigen Geräten und Systemen zum Einsatz kommen, damit zum Teil verwendete Standardkomponenten durch effiziente Premiumkomponenten ersetzt und zusätzliche Sensoren zur Überwachung verbaut werden, steigt die ohnehin hohe Verfügbarkeit der Premiumgeräte nochmals an.

Darüber hinaus verfügen effiziente Premiumgeräte häufig über moderne Condition-Monitoring Systeme, die den Maschinenzustand überwachen und für mehr Sicherheit und Maschineneffizienz sorgen.

Dass sich der Einsatz von moderner und effizienter Technologie auch in kurzer Zeit rechnen kann, wird ebenfalls in den Beispielen verdeutlicht.

2. Potenziale bei der Standard-Temperierung

Standard-Temperiergeräte für den Einsatz in isothermen Prozessen können vereinfacht in die Kategorien „einfache Geräte“ und „hochwertige Geräte“ eingeordnet werden. Als Unterscheidungsmerkmale werden zum Beispiel die Bauarten von Heizelementen, die Ausführung als offenes oder geschlossenes System, das Bedienkonzept sowie die Ausrüstung mit Sensorik herangezogen.

Die inoffizielle Klassifizierung innerhalb dieser beiden Gerätekategorien ist gleich und erfolgt nach den Kriterien Einsatztemperatur, Heizleistung, maximale Durchflussmenge und maximal verfügbarer Druck.

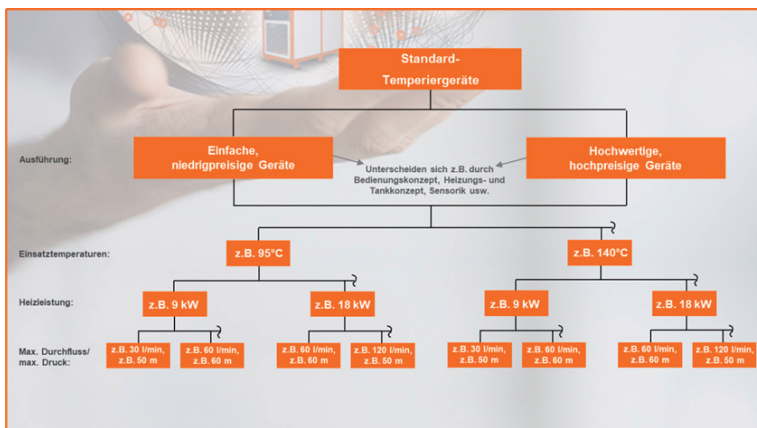


Bild 1: Bisher gängige Matrix zur Einteilung von Standard-Temperiergeräten

Auf den ersten Blick erscheinen die meisten Geräte hinsichtlich der Heizleistung und dem Arbeitsvermögen der Pumpe direkt miteinander vergleichbar.

In den letzten Jahren gewinnt neben der gängigen Peripheralradpumpe eine zweite Kreisel-pumpenbauart, die Zentrifugal(Radial)pumpe, mehr an Bedeutung. Bisher hat die Ausführung der Pumpenbauart und der daraus folgenden Charakteristik bzw. Energieeffizienz nur wenig Beachtung erhalten. Dabei liegt gerade in diesem Kriterium das wohl größte Unterscheidungsmerkmal moderner Temperiergeräte, denn obwohl beide Pumpenbauarten zur Familie der Kreiselumpen gehören, sind sie vom Verhalten sehr unterschiedlich.



**Jeweils 3 unterschiedliche Gerätetypen.
Annähernd vergleichbar, oder?**

Kriterium: Annähernd **gleiche Leistungsaufnahme** der Pumpe bei 3 bar:

Temperiergerät 1:	Verfügbare Menge*:
Heizleistung: 8 kW	8 l/min
Pumpe:	50 l/min

Kriterium: Annähernd **gleiche verfügbare Durchflussmengen** bei 3 bar:

Temperiergerät 2:	Leistungsaufnahme der Pumpe*:
Heizleistung: 9 kW	2,15 kW
Pumpe:	50 l/min

Kriterium: Annähernd **gleiche verfügbare Durchflussmengen** bei 3 bar:

Temperiergerät 3:	Leistungsaufnahme der Pumpe*:
Heizleistung: 9 kW	0,82 kW (igereget)
Pumpe:	60 l/min

* bei 3 bar

Bild 2: Auswirkung unterschiedlicher Pumpenbauarten

In den technischen Daten der meisten Temperiergeräte sind die Durchflussmengen und Drücke der Pumpen als Maximalwerte angegeben. Die unter Berücksichtigung von Druckverlusten im Prozess tatsächlich nutzbare Durchflussmenge, z.B. bei 3 bar, ist dagegen selten zu finden.

Die nutzbare Durchflussmenge ist jedoch für den Anwender und den Prozess entscheidend, die Maximalwerte dagegen nur theoretisch zu verwenden und eigentlich ohne nennenswerte Aussagekraft.

In der verfügbaren Durchflussmenge ist einer der grundsätzlichen Unterschiede zwischen den beiden Pumpenbauarten zu finden. Auf Grund der steileren Kurve stellt die Peripheralradpumpe in der Regel weniger Durchflussmenge bei prozessüblichen Druckverlusten zur Verfügung als die Zentrifugalpumpe.

In der Bild 3 sind die Kurvenverläufe beider Pumpen bei gleicher maximaler Durchflussmenge zu erkennen.

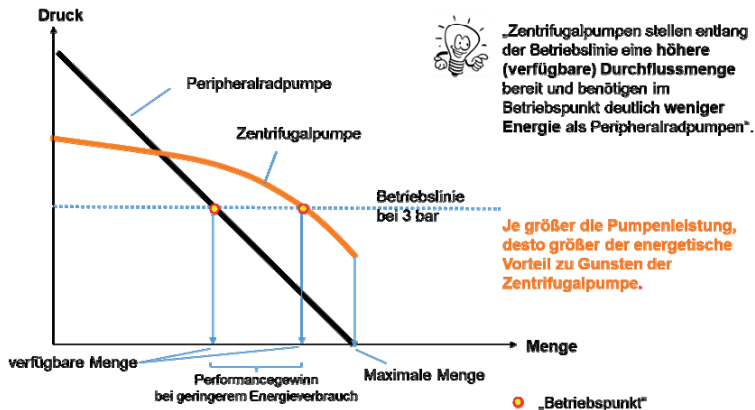


Bild 3: Charakteristik der Pumpenarten (Druck/Menge) im Vergleich

Ein weiterer wesentlicher Unterschied der beiden Pumpenarten liegt im Verhalten der Leistungsaufnahme bei veränderten Durchflussmengen.

Während bei einer Zentrifugalpumpe die Leistungsaufnahme bei abnehmender Durchflussmenge sinkt, nimmt die Leistungsaufnahme bei einer Peripheralradpumpe bei abnehmender Durchflussmenge zu.

Die beiden Pumpen verhalten sich somit konträr zueinander.

Besondere Bedeutung gewinnt dieses Verhalten bei der Verwendung in Verbindung mit aktiven Wasserverteilern mit Regelventilen. In der Regel werden hierbei einzelne Kreisläufe gedrosselt und damit der Druckverlust erhöht. Bei einer Peripheralradpumpe hat dieses dann eine Erhöhung des Stromverbrauchs der Pumpe zur Folge. Bei einer Zentrifugalpumpe hingegen, wird der Stromverbrauch geringer.

Mit einer Drehzahlregelung kann dieser Effekt im niedrigen Durchflussmengenbereich etwas reduziert werden.

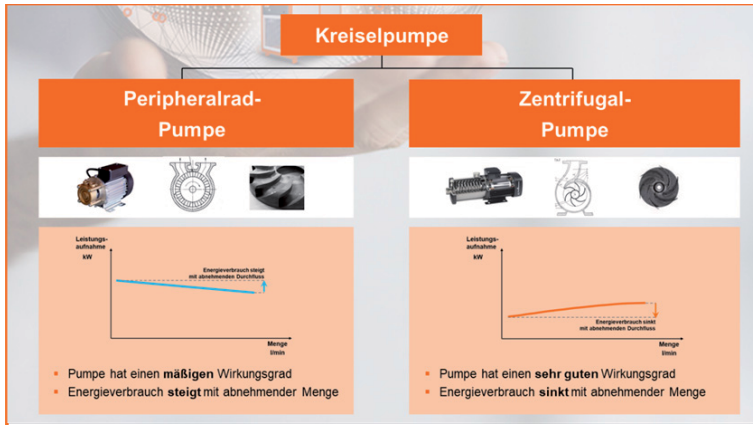


Bild 4: Unterschiede im Leistungsaufnahme-/ Mengenverhältnis

Weitere Merkmale beider Pumpenarten:

Bei der Peripheralradpumpe handelt es sich um eine kompakte und in der Anschaffung preiswerte Pumpe. Sie wird als bisheriger Marktstandard überwiegend im Volumengeschäft bei kompakten Temperiergeräten eingesetzt. Auf Grund der Charakteristik ist sie für kleinere Durchflussmengen und gleichzeitig hohe Drücke zu verwenden.

Die Zentrifugalpumpe ist dagegen von der Bauform größer und in der Anschaffung teurer. Sie wird schwerpunktmäßig bei größeren Temperiergeräten, in Kühlanlagen, aber auch in Heizungsanlagen verwendet.

In kleineren Temperiergeräten wird die Zentrifugalpumpe bisher nur vereinzelt eingesetzt, da hier der Gerätepreis und die Gerätegröße häufig noch im Vordergrund stehen. Mit zunehmendem Energiebewusstsein wird diese Pumpenbauart auch in diesem Segment mehr gefragt.

Auf Grund des sehr guten Wirkungsgrades lassen sich mit der Zentrifugalpumpe entscheidende Kriterien für die Beantragung von Fördermitteln erfüllen.

Wie bereits in Bild 2 erkennbar, lassen sich mit der Zentrifugalpumpe unter Betriebsbedingungen vergleichbare Leistungsdaten bei deutlich geringerem Energieeinsatz oder höhere Durchflussmengen bereitstellen.

Fallbeispiel 1:

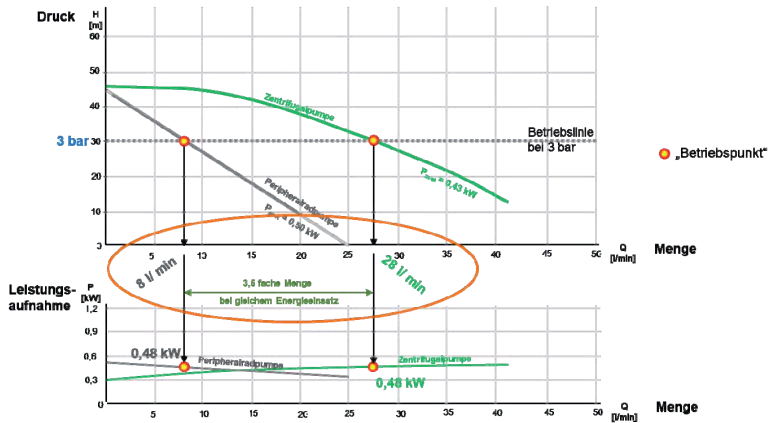


Bild 5: Vergleich von zwei kleinen Kreiselpumpen

Im Fallbeispiel 1 stellt eine Zentrifugalpumpe die 3,5 fache Durchflussmenge bei gleichem Druck zur Verfügung und benötigt dafür nicht mehr Energie als die Peripherialradpumpe. Das heißt, in diesem Fall kann nur ein Temperiergerät gleich drei Geräte ersetzen. Voraussetzung dafür ist, eine Querschnittsanpassung der Verrohrung um die höhere Durchflussmenge bei gleichem Druckverlust zu realisieren.

Der Kostenvergleich zeigt, sofern eine höhere Durchflussmenge prozesstechnisch benötigt bzw. gewünscht ist, deutliche Vorteile bei den Investitionskosten wie auch bei den Energiekosten zu Gunsten der mit Zentrifugalpumpe ausgestatteten Effizienz-Technologie.

	Standard-Technologie (Premium)	Effizienz-Technologie (Premium)	Höherwertiger ausgestattet, u.a. mit Edelstahlpumpe und IE5 Motor, Frequenzumrichter, Pumpenenergieverbrauchsanzeige, größeren Querschnitten, Luftabscheider...
Investition:	3 x € 3.485,00 = € 10.455,00	€ 5.430,00	=> Kosteneinsparung: € 5.025,00
Pumpen-Energieverbrauch:	8.640 kWh p.a. (3 x 0,48 kW x 6.000h)	2.880 kWh p.a. (0,48 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	4,641 t CO ₂ p.a.	1,547 t CO ₂ p.a.	
Pumpen- Energiekosten:	€ 1.382,40 p.a.	€ 460,80 p.a.	=> Energieeinsparung: € 921,60 p.a.
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 24.279,00	€ 10.038,00	

Bild 6: Vergleich der Investition und Energiekosten Fallbeispiel 1

Bei Einsatz von nur einem Gerät bietet die höhere Durchflussmenge des effizienten Gerätes das Potenzial die Kühlzeiten und damit die Zykluszeit zu reduzieren, ohne den Energieverbrauch am Temperiergerät zu erhöhen.

Hohes Einsparpotenzial durch Zentrifugalpumpe mit Drehzahlregelung

Sofern eine höhere Durchflussmenge keine Optimierungspotenziale im Prozess erwarten lässt, bietet Alternativ der Einsatz einer Pumpendrehzahlregelung ein hohes Einsparpotenzial beim Energieverbrauch.

Bild 7 zeigt das Fallbeispiel 1 mit einer Drehzahlregelung der Zentrifugalpumpe. Die Durchflussmenge der Zentrifugalpumpe wird mittels eines Frequenzumrichters auf die gleichen Betriebsparameter wie bei der Peripheralradpumpe geregelt.

Die verfügbare Durchflussmenge und der Druck sind nunmehr identisch, der Energieverbrauch der Pumpe jedoch von 0,48 kW auf nur noch 0,17 kW deutlich reduziert.

Fallbeispiel 1:

Jetzt mit Drehzahlregelung

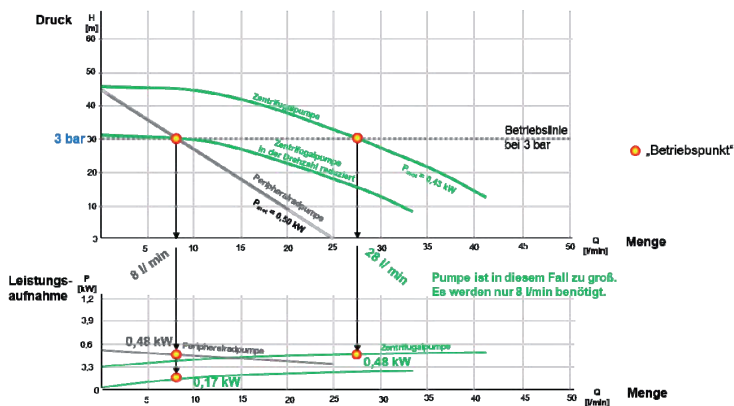


Bild 7: Vergleich mit Drehzahlregelung

Bei Erfüllung bestimmter Kriterien wird die Investition in Technologien zur Reduzierung von CO₂-Emissionen über ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

Im genannten Beispiel kann die Investition des effizienten Gerätes über das Fördermodul 1 mit bis zu € 1.104,- gefördert werden. Die Amortisationszeit für die Mehrinvestition in die effiziente Technologie kann somit deutlich reduziert werden.

Mit einer möglichen CO₂-Abgabe kommt ein weiterer, noch unbestimmter Kostenblock hinzu. Bisher wurden die Energiekosten alleine aus dem Stromverbrauch bestimmt. Im Rahmen der aktuellen politischen Diskussionen um Klimaschutzpakete ist künftig mit einer CO₂-Abgabe zu rechnen.

Es stehen, mit dem im Dezember 2019 von der Bundesregierung verabschiedeten Klimapaket, Zahlen von € 25,- je t CO₂ pro Jahr mit schrittweiser Erhöhung auf € 55,- je t CO₂ bis 2025, zeitweise aber auch deutlich höhere Zahlen im Raum.

Schweden hat bereits im Jahre 1991 eine CO₂-Steuer eingeführt. Aktuell liegt diese bei € 120,- je t CO₂ pro Jahr.

Auch in anderen EU-Ländern wurden bereits CO₂- Abgaben eingeführt. In Frankreich beträgt diese zurzeit € 44,50 in Irland € 20,50 und in Großbritannien € 21,40 je t CO₂ pro Jahr.

In Deutschland wurde bereits über eine Abgabe in Höhe von € 180,- je t CO₂ diskutiert. Mitte Dezember 2019 kam dann sogar eine Zahl von > € 1.000,- je t CO₂ ins Gespräch.

Auch wenn derzeit die Abläufe in Deutschland nach Verabschiedung des Klimaschutzpakets noch konkretisiert werden müssen ist sicher, dass künftig die CO₂-Emissionen eine entscheidende Rolle bei den Betriebskosten spielen werden. Energieeffizienz wird belohnt, Energieverschwendung bestraft.

Der im Dezember 2019 angekündigte „Green Deal“ der EU Kommission lässt ebenfalls für die Industrie einschneidende Regularien erwarten. Denn nach ersten Informationen soll die Industrie künftig möglichst CO₂-arm produzieren.

Die Umsetzung wird auch hier noch etwas Zeit in Anspruch nehmen. Eines ist bereits klar: Mit einer Investition heute, werden jetzt die Weichen für die Zukunft gestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen in einer Annahme wie sich eine CO₂-Abgabe, bezogen auf das zuvor genannte Beispiel, auswirken kann.

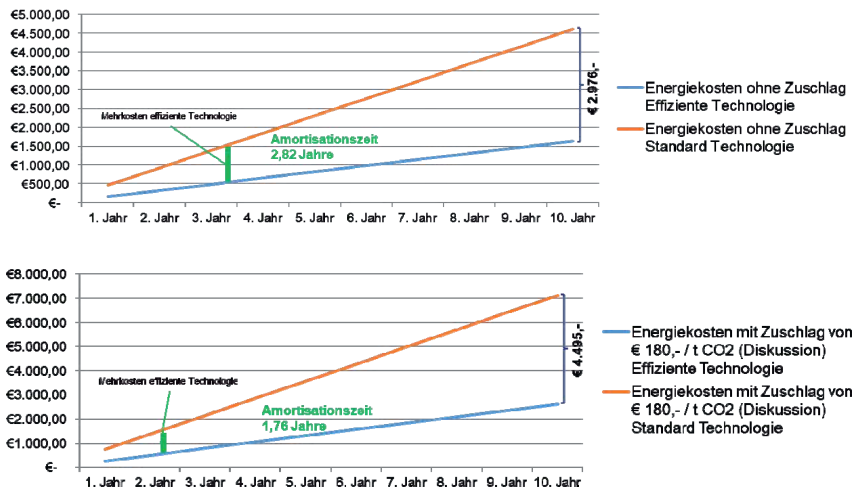



Bild 8: Mögliche Szenarien der Auswirkung einer CO₂-Abgabe (Fallbeispiel 1)

Interessant sind auch die Vergleiche der erzielbaren Einsparung aus dem genannten Beispiel zur Emission eines innerdeutschen Fluges oder der CO₂ Aufnahmefähigkeit eines Baumes.


Die **64 %ige CO₂ Einsparung** bei Einsatz nur **eines** hocheffizienten Temperiergerätes (Fallbeispiel 1) in Höhe von **0,999 t/ Jahr** entspricht:



der Emission von **15 Flügen** einer **Person** von Köln nach München, denn die durchschnittliche **CO₂-Emission** für einen Flug wird mit **65,9 kg*** angegeben.

*Quelle: Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO)

Oder, der **CO₂ Aufnahmefähigkeit** von ca. **80 Buchen** mit einer Wuchshöhe von 23 m, denn eine dieser Buchen neutralisiert **12,5 kg* CO₂** im Jahr. Sie benötigt aber auch 40 Jahre, um so hoch zu werden.



Hätten Sie es gewusst?

*Quelle: Handblatt und Gertenjournal

Bild 9: Interessante Vergleiche

Ein weiteres Beispiel mit einem mittelgroßen Temperiergerät zeigt ein noch größeres Einsparpotenzial.

Fallbeispiel 2:

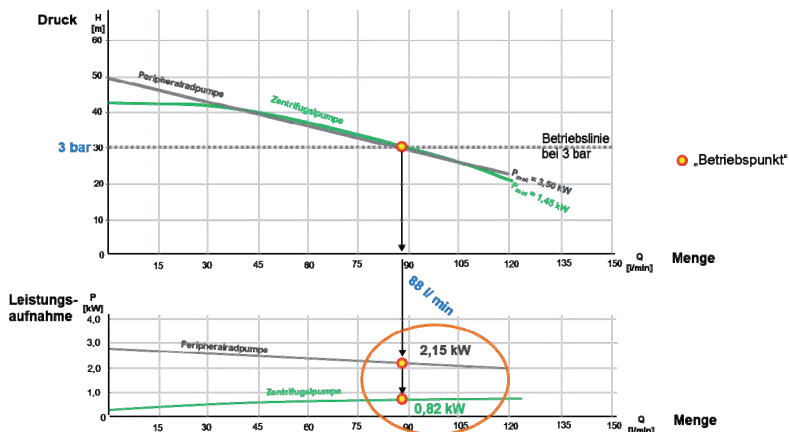


Bild 10: Vergleich von zwei mittelgroßen Kreiselpumpen

Das Fallbeispiel 2 beschreibt zwei von der Kennlinie fast identische, aber von der Bauart unterschiedliche Pumpen. Die Zentrifugalpumpe benötigt dabei bei gleicher Betriebsdurchflussmenge fast 62 % weniger Strom als die vergleichbare Peripheralradpumpe.

Im Premiumsegment zeigt der Wirtschaftlichkeitsvergleich, dass sich die effiziente Technologie nicht nur über die Energiekosteneinsparung, sondern auch bereits über die Investitionskosten rechnen kann.

	Standard-Technologie (Premium)	Effizienz-Technologie (Premium)	
			Höherwertiger ausgestattet, u.a. mit Edelstahlpumpe und IES Motor, Frequenzumrichter, Pumpenenergieverbrauchsanzeige, größeren Querschnitten...
Investition:	€ 9.950,00	€ 7.430,00	=> Kosteneinsparung: € 2.520,00 !!!
Pumpen-Energieverbrauch:	12.900 kWh p.a. <small>(2,15 kW x 6.000h)</small>	4.920 kWh p.a. <small>(0,82 kW x 6.000h)</small>	
entspricht einer Emission von:	6.927 t CO ₂ p.a.	2.642 t CO ₂ p.a.	
Pumpen- Energiekosten:	€ 2.064,00 p.a.	€ 787,20 p.a.	=> Einsparung: € 1.276,80
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 30.590,00	€ 15.302,00	

Bild 11: Vergleich der Investition und Energiekosten von Premiumgeräten (Fallbeispiel 2)

Rechnet sich die effiziente Technologie auch im Vergleich zu einfachen Low-Cost- Geräten?

Was ist, wenn die hocheffiziente Technologie mit sehr einfachen, preiswerten und ineffizienten Geräten aus dem Low-Cost- Segment verglichen wird?

Die Möglichkeit der Förderung bietet hier ein sehr moderates Mittel für eine höhere Marktdurchdringung von effizienter Technologie.

Liegt die Amortisationszeit ohne Berücksichtigung von Fördermitteln über 2 Jahre, können aus dem Fördertopf des BMWi entsprechende Mittel zur Realisierung der CO₂ Reduzierungsmaßnahme beantragt werden.

Im gezeigten Beispiel kann somit die Amortisationszeit von 2,53 Jahren mit Unterstützung der Fördermittel auf **nur noch 0,2 Jahre** reduziert werden.

	Standard-Technologie (low cost)	Effizienz-Technologie (Premium)	➔ Höherwertiger ausgestattet, u.a. mit Edelstahlpumpe und IE5 Motor, Frequenzumrichter, Pumpenenergieverbrauchsanzeige, größeren Querschnitten....
Investition:	€ 4.200,00 (Annahme)	€ 7.430,00	=> Mehrkosten: € 3.230,00
Pumpen-Energieverbrauch:	12.900 kWh p.a. (2,15 kW x 6.000h)	4.920 kWh p.a. (0,82 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	6,927 t CO ₂ p.a.	2,642 t CO ₂ p.a.	
Pumpen- Energiekosten:	€ 2.064,00 p.a.	€ 787,20 p.a.	=> Einsparung: € 1.276,80
<small>(nach Kfz-Gesetz)</small>			
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 24.840,00	€ 15.302,00	Amortisationszeit: 2,53 Jahre
Mit Fördermitteln:			
Investition:	€ 4.200,00	€ 7.430,00	
Fördermittel:	€ 0,00	€ 2.972,00*	
Netto-Investition:	€ 4.200,00	€ 4.458,00	=> Mehrkosten: € 258,00
Pumpen-Energieverbrauch:	12.900 kWh p.a. (2,15 kW x 6.000h)	4.920 kWh p.a. (0,82 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	6,927 t CO ₂ p.a.	2,642 t CO ₂ p.a.	
Pumpen- Energiekosten:	€ 2.064,00 p.a.	€ 787,20 p.a.	=> Einsparung: € 1.276,80
plus CO₂-Zuschlag:	€ ???	€ ???	
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 24.840,00	€ 12.330,00	Amortisationszeit: 0,20 Jahre

*nach Modul 4 Deminimis für ein KMU

Bild 12: Vergleich der Investition und Energiekosten zum Low-Cost-Gerät (Fallbeispiel 2)

Auch in diesem Fall wirkt sich eine mögliche CO₂-Abgabe deutlich auf die Betriebskostenentwicklung aus.

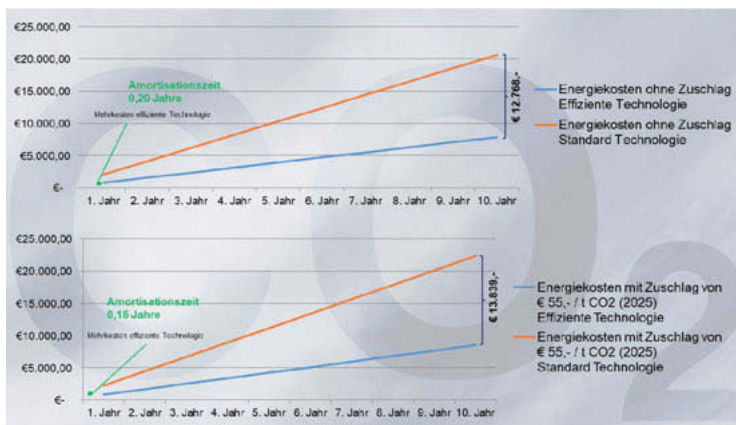


Bild 13: Mögliche Szenarien der Auswirkung einer CO₂-Abgabe (Fallbeispiel 2)

3. Potenziale bei der dynamischen Temperierung

Variotherme Temperierprozesse haben im Allgemeinen den Ruf, sehr viel Energie zu benötigen.

Im folgenden Beispiel wird ein dynamisches Temperiersystem beschrieben, bei dem der Wärmeeintrag nicht wie häufig vorzufinden über ein Fluid, sondern mittels speziellen keramischen Heizelementen erfolgt.

Dieses Verfahren findet Verwendung bei der lokalen Temperierung abgegrenzter Werkzeugsegmente, zum Beispiel an Bindenähten.

Die elektrisch leitenden Keramiken bieten den Vorteil einer hohen, punktgenauen und zeitlich genau dosierbaren Leistungsdichte.

Die wesentlichsten energetischen Vorteile dieses Verfahrens liegen in der Positionierung des Heizelementes in unmittelbarer Nähe der zu temperierenden Stelle und dem Wegfall einer beim Fluidsystem erforderlichen Umwälzpumpe.

Mit der verbrauchernahen Installation werden die Wärmestreuung im Werkzeug sowie die Wärmeabstrahlung in ansonsten benötigten Versorgungsleitungen und Schläuchen auf ein Minimum reduziert.

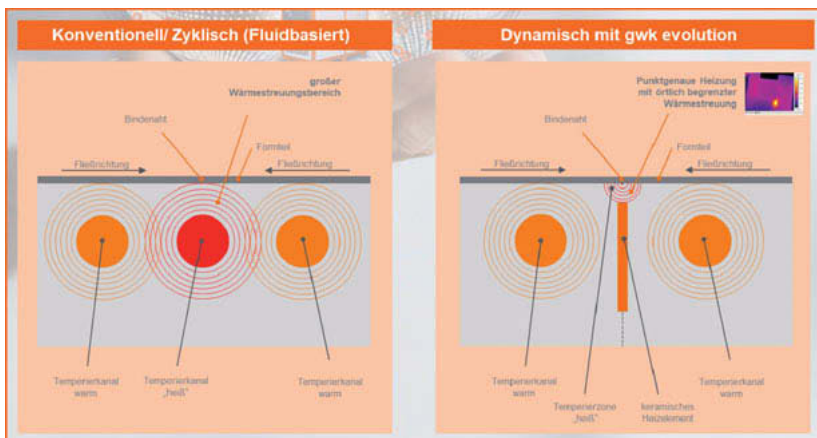


Bild 14: Wärmestreuung im Werkzeug im Vergleich

Der Kostenvergleich einer realisierten Anwendung macht deutlich, dass sich auch beträchtlich höhere Investkosten in annehmbaren Zeiten amortisieren lassen.

	Standard-Technologie (Fluidbasiert)	Effizienz-Technologie (Keramik)	
			Punktgenaue und örtliche begrenzte Einbringung der Heizenergie. Verbundsystem einschließlich Isothermer Stammtemperierung.
Investition:	€ 15.000,00	€ 29.800,00	=> Mehrkosten: € 14.800,00
Energieverbrauch:	64.800 kWh p.a. (10,8 kW x 6.000h)	1.260 kWh p.a. (0,21 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	34,798 t CO ₂ p.a.	0,677 t CO ₂ p.a.	
Energiekosten:	€ 10.368,00 p.a. <small>(10,8 kW x 6.000h)</small>	€ 201,60 p.a.	=> Einsparung: € 10.166,40
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 118.680,00	€ 31.816,00	Amortisationszeit: 1,46 Jahre

Bild 15: Kostenvergleich Fluidsystem vs. keramisches System

In diesem Einsatzfall konnten keine Fördermittel berücksichtigt werden, dass die Amortisationszeit unter der Bemessungsgrenze von < 2,0 Jahre lag.

Folgende auf Annahmen basierende Extrembetrachtung mit sehr niedrigen Investitionskosten eines Fluidsystems zeigt auf, welche massiven Auswirkungen eine Förderung haben kann.

Extrembetrachtung (Annahme)

	Standard-Technologie (Fluidbasiert)	Effizienz-Technologie (Keramik)	
			Punktgenaue und örtliche begrenzte Einbringung der Heizenergie. Verbundsystem einschließlich Isothermer Stammtemperierung.
Investition:	€ 10.000,00 (Annahme)	€ 33.000,00 (Annahme)	=> Mehrkosten: € 23.000,00
Energieverbrauch:	64.800 kWh p.a. (10,8 kW x 6.000h)	1.260 kWh p.a. (0,21 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	34,798 t CO ₂ p.a.	0,677 t CO ₂ p.a.	
Energiekosten:	€ 10.368,00 p.a. <small>(10,8 kW x 6.000h)</small>	€ 201,60 p.a.	=> Einsparung: € 10.166,40
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 113.680,00	€ 37.016,00	Amortisationszeit: 2,26 Jahre
Mit Fördermitteln:			
Investition:	€ 10.000,00	€ 33.000,00	
Fördermittel:	€ 0,00	€ 13.200,00*	
Netto-Investition:	€ 10.000,00	€ 19.800,00	=> Mehrkosten: € 9.800,00
Pumpen-Energieverbrauch:	64.800 kWh p.a. (10,8 kW x 6.000h)	1.260 kWh p.a. (0,21 kW x 6.000h)	
entspricht einer Emission von:	34,798 t CO ₂ p.a.	0,677 t CO ₂ p.a.	
Pumpen- Energiekosten:	€ 10.368,00 p.a.	€ 201,60 p.a.	=> Einsparung: € 10.166,40
plus CO ₂ -Zuschlag:	€ ???	€ ???	
Lebenszykluskosten 10 Jahre:	€ 113.680,00	€ 21.816,00	Amortisationszeit: 0,96 Jahre

*nach Modul 4 Deminimis für ein KMU

Bild 16: Kostenvergleich low cost Fluidsystem vs. keramisches System

Wie in den vorherigen Beispielen, wirkt sich die mögliche CO₂-Abgabe auch hier deutlich auf die Betriebskostenentwicklung aus.

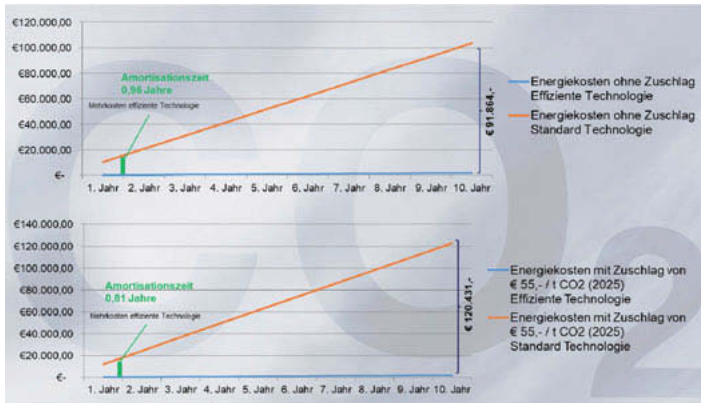


Bild 17: Mögliche Szenarien der Auswirkung einer CO₂-Abgabe am Beispiel dynamischer Temperierung

4. CO₂-Reduktion geht vor CO₂-Kompensation

Viele Kompensationsprojekte zur Erreichung einer neutralen CO₂-Bilanz sind sinnvoll, benötigen aber in der Regel Zeit, um die volle Wirkung zu erzielen. Da wo es geht und es sich in wirtschaftlich vertretbarem Rahmen umsetzen lässt, ist eine sofort nutzbare CO₂-Reduktion zu bevorzugen.



Bild 18: Die Zeit läuft davon

Die aufgeführten Beispiele mit bereits heute verfügbaren Technologien machen deutlich, dass sich Klimaschutz und wirtschaftliche Kaufinteressen durchaus vereinbaren lassen.

Abschließend anhand von konservativen Annahmen ein Ausblick über die Potenziale, die alleine bei Standard- Temperiergeräten „schlummern“ (tatsächlich werden in Summe vermutlich deutlich mehr Geräte aus Europa heraus geliefert).



Bild 19: Potenziale zur Energieverbrauchsreduzierung



Bild 20: Potenziale im Vergleich zu Inlandsflügen und Aufforstung

Stellschrauben für die Zykluszeitorientierung am Beispiel der Pflanztopffertigung

Dipl.-Ing. (FH) **G. Orschulik**, Pöppelmann, Lohne

Kurzfassung

Welche Herausforderungen bietet die Produktentwicklung und Produktion von alltäglichen und kaum beachteten Produkten wie z.B. dem Pflanztopf?

Seit ca. 50 Jahren fertigt die Firma Pöppelmann Kunststoff-Pflanzgefäße im Spritzgussverfahren. Seitdem haben sich die Anforderungen an das Produkt und die Produktion stetig weiterentwickelt.

Modernen Gartenbaubetriebe sind hochautomatisierte Industriebetriebe, die rationell und wirtschaftlich arbeiten müssen. Die Produktgestaltung ist entscheidend für den Kulturerfolg und sorgt für effiziente und wirtschaftliche Verarbeitung.

Die aktuelle „Plastikdiskussion“ bringt zusätzlich neue Herausforderungen in Bezug auf Einsatz von Recyclingmaterialien – und hier insbesondere die Forderung nach Post-Consumer-Rezyklat.

Alternative Herstellverfahren wie z.B. das Thermoformen sorgen für weitere Herausforderungen bzw. Maßstäbe in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Materialreduzierung.

Über welche Stellschrauben kann der Spritzgussprozess weiter optimiert werden um z.B. gegen das Thermoformverfahren zu bestehen?

- Erhöhung der Fachzahl
- Werkzeugoptimierung
- Prozessoptimierung
- Rüstzeitoptimierung
- Optimierung Peripherie

ISBN 978-3-18-23**4355**-4