



Jorg Hochstätter (links), Geschäftsführer der Hagen Engineering GmbH und Axel Iffland, Geschäftsführer der inmex GmbH im Technikum der Dr. Reinold Hagen Stiftung. © inmex

Wie Kunststoffextruder weniger Energie verbrauchen

## Direkte Temperierung im Plastifizierzylinder

Ausgeklügeltes Temperiersystem ersetzt Heizbänder und Gebläse: Ein Start-Up und eine Forschungseinrichtung analysierten im Zuge eines Förderprojekts den Energiehaushalt einer Blasformanlage und entwickelten gemeinsam ein effizientes Temperiersystem für Kunststoffextruder. Die Ergebnisse punkten nicht nur beim Energiesparen, sondern steigern die Prozessstabilität durch eine gezielte Temperaturführung.

In der Kunststoffextrusion eingesetzte Verfahrenseinheiten werden standardmäßig mittels sogenannter Heiz-Kühl-Kombinationen temperiert, die aus Heizbändern und Gebläsen bestehen. Die damit verbundenen Abwärmeverluste werden mangels Alternativen in Kauf genommen und im Zuge der Luft-

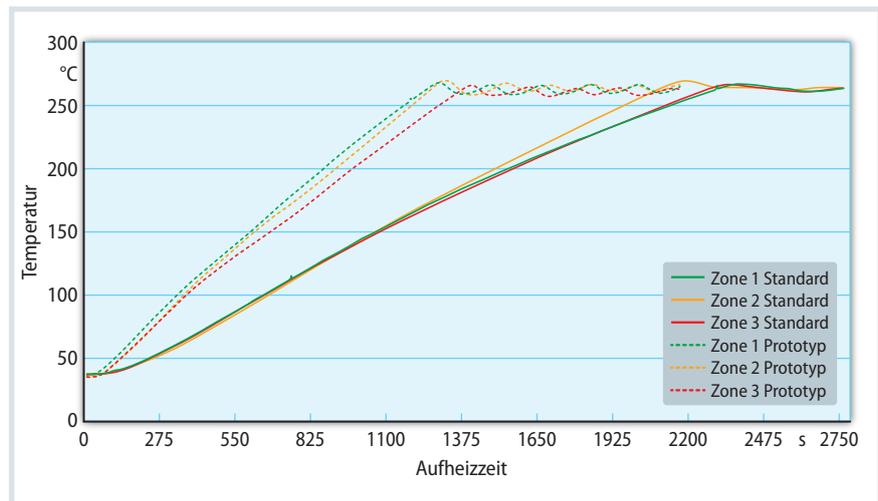
kühlung sogar aktiv herbeigeführt. Angesichts rasant steigender Energiepreise erscheint diese Art der Zylinder-temperierung nicht mehr zeitgemäß. Wenngleich Luft ein kostengünstiges, leicht verfügbares Kühlmedium darstellt und die bisherige Art der Zylinder-temperierung ausreichend funktionierte,

steigen die Erwartungen in puncto Energie- und Ressourceneffizienz. Der Anreiz, sich mit dem Thema zu befassen ist hoch, denn mit dem Energieverbrauch und der Ausschussrate sinken auch die Strom- und Materialkosten – starke ökonomische Argumente für eine ökologischere Produktion.

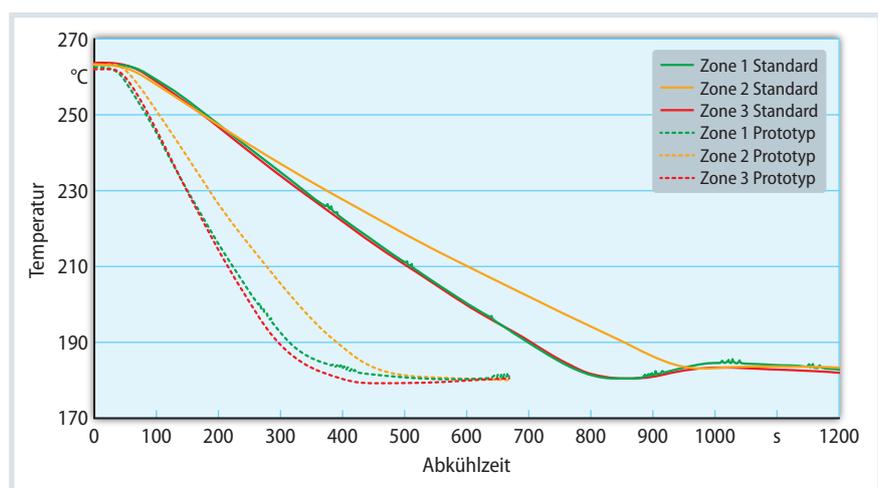
Da der bisherige Stand der Technik den sich ändernden Anforderungen zunehmend nicht mehr gerecht wird, entschlossen sich die inmex GmbH und die Dr. Reinold Hagen-Stiftung das vermutete Optimierungspotenzial in der Kunststoffextrusion auszuschöpfen. Das Ziel der Partner: Im Zuge des Förderprogramms Umweltwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen eine Verfahrenseinheit mit einem innovativen, energiesparenden Temperiersystem zu entwickeln. Während inmex über große Expertise aus dem Bereich der Zylinderbeheizung von Spritzgießmaschinen verfügt, ist die Dr. Reinold Hagen-Stiftung für ihre Kompetenzen auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik, insbesondere des Extrusionsblasformens, bekannt. Im Zuge der 15-monatigen Projektphase, in der die Konsortialpartner mit einem sechsstelligen Betrag gefördert wurden, wurde der Energiehaushalt einer Blasformmaschine KEB 4 (Hersteller: Krupp Kautex) detailliert untersucht und darauf basierend zur Optimierung angesetzt. Am Ende des Projekts stand ein Prototyp einer Verfahrenseinheit (Einschneckenextruder Ø 60 mm), der intensiv erprobt wurde und eine Heizenergieersparnis von bis zu 44 % sowie eine optimierte Temperaturführung mit sich brachte.

### Kühlung direkt in den Plastifizierzylinder integriert

Bei dem zum Patent angemeldeten Temperiersystem kommen keine Heizbänder oder Gebläse mehr zum Einsatz. Stattdessen wird die Beheizung, ebenso wie die Kühlung, zonenweise in die Oberfläche des Plastifizierzylinders integriert. Heiz- und Kühlelemente haben dadurch großflächig Kontakt zum Zylinder, sodass der Wärmeübergang stark verbessert wird. Während die Heizelemente weiterhin nach dem Prinzip der elektrischen Widerstandsheizung arbeiten, ist die Kühlung nun in Form eines Rohres ausgeführt, das bei Bedarf von Kühlwasser durchströmt werden kann. Auf diese Weise wird die Regelstrecke stark verkürzt und die Temperierung erfolgt schneller und direkter. Zusätzlich ermöglicht die innen liegende Temperierung eine Isolation des Zylinders bei geringerer äußerer Oberfläche. Ziel war es, die Abwärmeverluste durch diesen



**Bild 1.** Aufheizprozess beider Verfahrenseinheiten von Raumtemperatur aus auf einen Sollwert von 260 °C. Quelle: inmex; Grafik: © Hanser



**Bild 2.** Temperaturverlauf beider Verfahrenseinheiten im Vergleich beim Abkühlen auf 180 °C.

Quelle: inmex; Grafik: © Hanser

Aufbau auf ein Minimum zu reduzieren und gleichzeitig die Reaktion auf Störgrößen sowie die Temperaturführung zu verbessern.

Um das Verbleiben von Kühlwasser im Leitungssystem und einen damit verbundenen nachgelagerten Kühleffekt zu vermeiden, werden die einzelnen Zonen nach jedem Kühlvorgang mit Druckluft ausgeblasen. Dank einer Luftabscheidevorrichtung im Rücklauf erfolgt der Rückfluss des Kühlwassers wie sonst ebenfalls üblich in den zentralen Kühlkreislauf. Die Ansteuerung der Temperierung erfolgt nach wie vor direkt von der Maschine, deren Regelparameter für die effizientere Wasserkühlung allerdings angepasst werden müssen. Anstelle der Gebläse werden nun Ventile angesteuert, welche den Kühlwasserdurchlauf regulieren.

### Prototyp auf dem Prüfstand

Der Praxistest des Prototyps erfolgte im Vergleich zur bisher verwendeten Verfahrenseinheit der Blasformanlage.

Folgende Messgrößen wurden ermittelt:

- Energieverbrauch Heizung
- Energieverbrauch Antrieb Extruder
- Zylindertemperaturen
- Einschaltdauer Heizung
- Einschaltdauer Kühlung
- Massedruck und -temperatur

Die Untersuchungen konzentrierten sich sowohl auf den Aufheiz- und Abkühlprozess, sowie insbesondere auf den laufenden Produktionsbetrieb. Hier wurde zunächst ohne Werkzeug ins Freie extrudiert, um verschiedene Anwendungen simulieren und bezüglich der Schneckendrehzahl und der Massetemperatur variieren zu können. In einem »

zweiten Schritt wurde als reales Bauteil eine Griffflasche für ein Flüssigwaschmittel hergestellt. In allen Versuchsreihen wurde PE-HD verarbeitet.

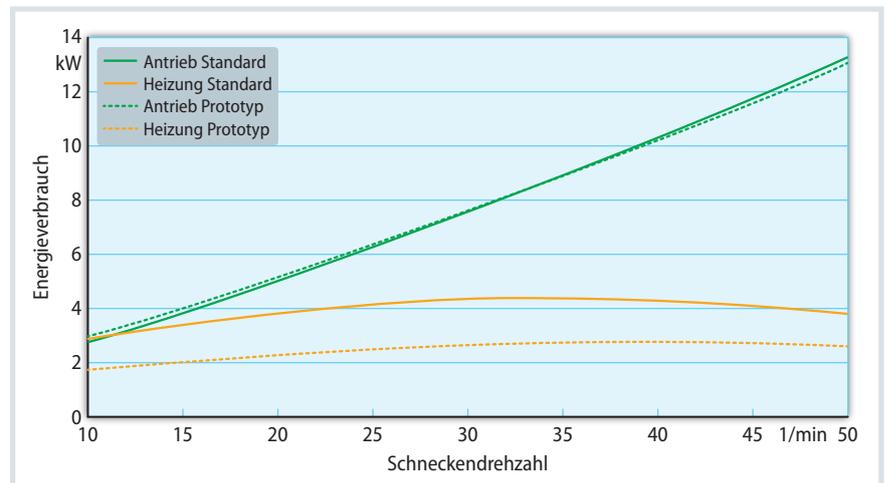
**Bild 1** zeigt den Aufheizprozess beider Verfahrenseinheiten von Raumtemperatur aus auf einen Sollwert von 260 °C. Bis die jeweils letzte Zone den Toleranzbereich von 10 K vor Soll erreicht, vergehen im Ausgangszustand 35 min, während der Prototyp um ca. 40 % schneller ist (21 min). Auch der Energieverbrauch während dieses Zeitraums sinkt mit der neuen Verfahrenseinheit von 5,4 kWh um 40 % auf 3,2 kWh. Zusätzlich wurden weitere Messungen mit unterschiedlichen Solltemperaturen durchgeführt, die ähnliche Ergebnisse lieferten. Neben der Zeit- und Energieersparnis ist vor allem die Funktionalität der Wasserkühlung interessant. Das zeigt die Einschaltdauer von Heizung und Wasserventil neben der Zylindertemperatur für die dritte Heizzone. Sobald der Sollwert erreicht ist, regeln Wasserkühlung und Innenbeheizung die Temperatur im Zusammenspiel.

Ein ähnlicher Zeitvorteil wie beim Aufheizen konnte auch beim Abkühlen festgestellt werden (**Bild 2**). Vor der Messung wurde der Zylinder längere Zeit auf Temperatur gehalten und dann auf 180 °C abgesenkt. Die Abkühlzeit verringert sich mit dem neuen Temperiersystem von im Mittel 13 auf ca. 6 min und ist damit um 50 % kürzer.

Die Untersuchung des Aufheiz- und Abkühlverhaltens offenbart einen deutlichen Vorteil der erprobten Innentemperatur gegenüber dem aktuellen Stand der Technik. Sie belegt den besseren Wärmeübergang und bildet trotz

	Drehzahl	10 /min	30 /min	50 /min
Ausgangszustand	Heizleistung	2,89 kW	4,33 kW	3,82 kW
	Antriebsleistung	2,71 kW	7,56 kW	13,27 kW
	Friktion	2,20 kW	6,12 kW	10,75 kW
	Massetemperatur	206 °C	208 °C	204 °C
	Durchsatz	12,86 kg/h	38,16 kg/h	62,77 kg/h
	Enthalpie	2,54 kW	7,53 kW	12,38 kW
	Abwärme	2,55 kW	2,93 kW	2,19 kW
	Friktionsanteil	86,5%	81,4%	86,8%
	Gesamtleistung	5,60 kW	11,89 kW	17,09 kW
	spez. Energieverbrauch	0,44 kWh/kg	0,31 kWh/kg	0,27 kWh/kg
Prototyp	Heizleistung	1,72 kW	2,63 kW	2,65 kW
	Antriebsleistung	2,97 kW	7,59 kW	13,05 kW
	Friktion	2,41 kW	6,15 kW	10,57 kW
	Massetemperatur	204 °C	206 °C	203 °C
	Durchsatz	12,72 kg/h	37,39 kg/h	61,57 kg/h
	Enthalpie	2,51 kW	7,37 kW	12,14 kW
	Abwärme	1,62 kW	1,40 kW	1,08 kW
	Friktionsanteil	95,9%	83,4%	87,1%
	Gesamtleistung	4,69 kW	10,22 kW	15,70 kW
	spez. Energieverbrauch	0,37 kWh/kg	0,27 kWh/kg	0,25 kWh/kg
Ersparnis Heizenergie		1,17 kW	1,70 kW	1,17 kW
		40,5%	39,3%	30,6%

**Tabelle 1.** Vergleich des Energieverbrauchs mit dem bisherigen Verfahren (oben) und mit dem neu entwickelten Prototypen. Quelle: inmex



**Bild 3.** Energieverbrauch des Laborextruders, gemessen an der Schneckendrehzahl.

Quelle: inmex; Grafik: © Hanser

Isolation einen stärkeren Kühleffekt der Wasser- gegenüber der Luftkühlung ab.

Die Untersuchung des laufenden Produktionsprozesses fand in erster Linie im Betriebszustand der Förderkennlinie bei der Verarbeitung von Lupolen statt. Es wurden sehr umfangreiche Mess-

reihen durchgeführt, deren Ergebnisse in späteren Versuchen bei der Produktion von realen Produkten auf der identischen Anlage bestätigt wurden. An dieser Stelle wird ausschließlich auf die Versuche bei einer Verarbeitungstemperatur von 200 °C eingegangen. Die

## Info

### Text

**Axel Ifland, M. Eng.,** ist Geschäftsführer der inmex GmbH

**Prof. Dr. Olaf Bruch** ist Leiter Forschung und Entwicklung bei der Dr. Reinold Hagen Stiftung

### Info

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

[www.hagen-stiftung.de](http://www.hagen-stiftung.de)

### Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter

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

Schneckendrehzahl lag bei den Untersuchungen zwischen 10–50/min, der Durchsatz variierte zwischen 12–63 kg/h.

### Ergebnis: Energieeinsparung von 30 bis 40 Prozent

Die Ergebnisse (Tabelle 1) mit dem Prototyp zeigen gegenüber dem Ausgangszustand eine Heizenergieersparnis in Höhe von 30 bis 40 %, das entspricht 1,2 bis 1,7 kW. Gemessen an der vergleichsweise geringen Verarbeitungstemperatur ist dieses Ergebnis als großer Erfolg einzustufen. Basierend auf den Messwerten war es möglich, den Energieverbrauch von Antrieb und Heizung in Abhängigkeit von der Drehzahl zu interpolieren und somit auch eine Aussage für andere Schneckendrehzahlen zu treffen (Bild 3). Die Antriebsleistung liegt bei beiden Verfahrenseinheiten in einem

ähnlichen Bereich. Sie steigt mit zunehmender Drehzahl erwartungsgemäß an. Die Heizleistung erreicht zwischen 30 und 40 Umdrehungen pro min ihr Maximum und fällt dann wieder ab, da der Anteil der Scherwärme so hoch wird, dass weniger zugeheizt werden muss.

### Keine aktive Kühlung mehr erforderlich

Neben dem energetischen Effekt ist die Performance des neuen Systems interessant, das seine Funktionalität in allen Messungen unter Beweis stellte. Die Besonderheit liegt im Unterschied zur bisherigen Temperierung. Bisher agierten die Heizung und die Kühlung abwechselnd, um die Temperatur zu regeln. Beim neu entwickelten Prototyp muss nur noch geheizt werden, völlig ohne aktive Kühlung. Dies deutet auf eine bessere Regelbarkeit und Prozessstabilität

des entwickelten Systems hin.

Nach Auswertung der Messungen kann festgehalten werden, dass die standardmäßige Verfahrenseinheit mit klassischen Heiz-Kühl-Kombinationen über erhebliches energetisches Optimierungspotenzial verfügt, welches im Projektverlauf zu großen Teilen ausgeschöpft werden konnte. Zudem verbesserte sich die Temperaturführung der Verfahrenseinheit, sodass davon auszugehen ist, dass sich die Neuentwicklung ebenfalls positiv auf die Ressourceneffizienz auswirkt.

Die positiven Versuchsergebnisse stimmen die Projektpartner zuversichtlich für die Zukunft. Im nächsten Schritt sollen mehrere Verfahrenseinheiten der neuen Generation bei Testkunden installiert und erprobt werden, bevor für Ende 2023 die breite Markteinführung geplant ist. ■

## Verarbeitung von PCR-Sekundärrohstoffen

### Alte Fischernetze werden zu Kindergießkannen

Der Kautex Maschinenbau demonstrierte auf der K 2022 gemeinsam mit seinem Partner Braskem, dass Upcycling von PCR mit geeigneten Maßnahmen zu immer besseren Ergebnissen führt und die verwendeten Compounds erfolgreich zu Monolayer-Blasformprodukten verarbeitet werden können. Die Beispielanwendung in Form einer Kindergießkanne war auf dem Kautex-Stand als Giveaway erhältlich.

Braskem zählt zu den größten Polyolefin-Herstellern in Amerika. In Zusammenarbeit mit einem Unternehmen, das auf das mechanische Recycling von Kunststofffaserabfällen zu PCR spezialisiert ist, stellt das brasilianische Unternehmen ein sekundäres PE-Compound aus gesammelten Fischernetzen her. Dieses verarbeitete Kautex schließlich im Blasformverfahren weiter.

Hervorzuheben ist hierbei, dass die Qualität des Fischernetz-PCR beispielsweise mit Blick auf eine gleichbleibende Viskosität so gut war, dass die Kannen ohne Akkukopfeinsatz in einem kontinuierlichen Blasformprozess hergestellt werden konnten. Das Projekt verdeutlichte, dass sich Maritime Waste-Rezyklate gut für Anwendungen im Gartenbereich bis hin zu Spielgeräten, Gartenmöbeln oder Gerätehäusern eignen.

Andreas Menzlin, Head of Technical Center, unterstreicht zudem, dass die Fertigung der Gießkanne komplett inhouse realisiert werden konnte: „Vom Design des Produktes durch unsere Kollegen in Portugal über den Bau der Form in unserem Werk im chinesischen Shunde bis hin zur Fertigung in unserem Technikum in Bonn sind alle Prozessschritte intern erfolgt.“

In einem zweiten Projekt wurden weitere hausinterne Versuche im Kautex Technical Center durchgeführt. Hier wurde



Gemeinschaftliches Projekt von Kautex und Braskem: Eine aus Maritime Waste-Rezyklat hergestellte Gießkanne. © Hanser/Schröder

sortiertes PE-HD-PCR aus Milchverpackungen und Shampooflaschen in einem anspruchsvollen Upcycling-Verfahren aufgewertet. Das PCR-Material stammte dabei von PreZero, einem Umweltdienstleister, der im Abfall- und Recyclingmanagement aktiv ist. PreZero ist die Umweltsparte der Schwarz Gruppe, zu der auch die Handelsunternehmen Kaufland und Lidl gehören.

Der österreichische Recyclingmaschinenbauer Erema hat sich in diesem Gemeinschaftsprojekt einer weiteren Aufbereitung des Sekundärmaterials angenommen, wobei unter anderem spezielle Entgasungsschritte und der Einsatz von Additiven die Materialqualität weiter verbessern konnten. Diese wurden von Baerlocher, einem weltweit tätigen Unternehmen für Zusatzstoffe, beigesteuert.

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