



Prototyp einer Thermoöltemperiervorrichtung im Einsatz (© Universität Kassel)

## Der thermoöltemperierte Extruder

### *Nutzung thermischer Energie zur Temperierung von Heiz- und Kühlzonen*

Die Temperierung von Extrudermassezylindern energetisch zu optimieren, bedeutet, energieeffizienter und damit kostengünstiger zu produzieren. Kombiniert mit dem Einsatz von Abwärme oder durch den Wechsel des eingesetzten Energieträgers ergeben sich weitere Möglichkeiten. Diese zu nutzen, gelingt durch den Einsatz einer Thermoöltemperierung.

**B**ezogen auf den Endenergiebedarf liegt die kunststoffverarbeitende Industrie mit ca. 14 TWh auf Rang neun der stromintensiven Branchen bundesweit [1]. Unabhängig von den Zielen der 10-Punkte-Energie-Agenda der deutschen Bundesregierung spielen daher die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und die Steigerung der Energieeffizienz schon immer eine wesentliche Rolle für die Branche [2].

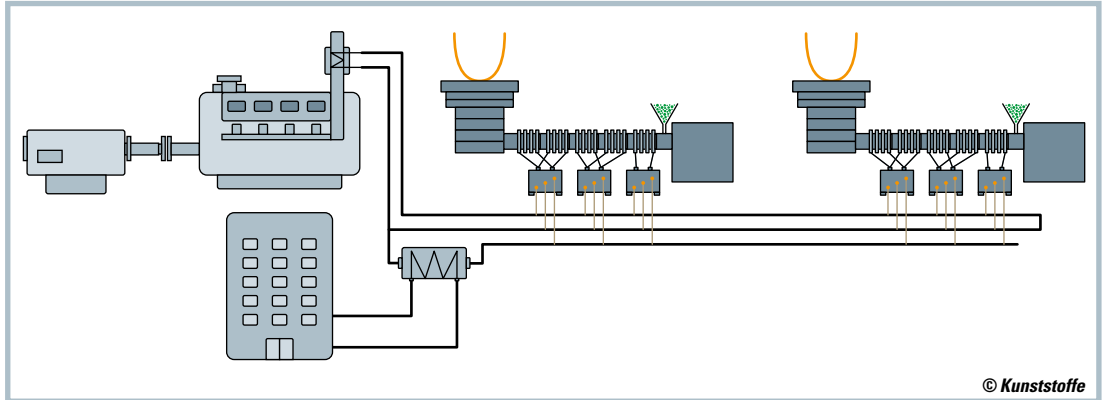
Etwa ein Drittel der knapp 3000 kunststoffverarbeitenden Betriebe in Deutschland setzt Extrusionsanlagen ein. Diese benötigen für das Aufschmelzen des Materials neben der eingebrachten Dissipationsenergie zusätzliche Temperiervorrichtungen (Heiz-, Kühleinheiten). Sie wandeln einen hohen Anteil der

von einem Extruder bezogenen elektrischen Energie in thermische Energie um. Die hohen Anforderungen an die Temperierung, insbesondere bei der Verarbeitung temperatursensibler Materialien, erfordern in einem starken Maß Flexibilität und Regelgenauigkeit der Heiz- und Kühlprozesse. Gleichzeitig besteht die Notwendigkeit, einzelne Zonen zeitlich abwechselnd zu heizen oder zu kühlen. Die Folge ist ein hoher Endenergiebedarf verbunden mit hohen Kosten. Ebenso wirkt sich der resultierende Primärenergiebedarf (Strom ist Hauptenergieträger) negativ auf die Ökobilanz der Unternehmen aus.

Seit einiger Zeit gibt es Ansätze, Strom zur Wärmeerzeugung zu substituieren, z.B. durch Erdgas-Heizsysteme [3, 4]. Das »

**Bild 1.** Aufbau des Temperiersystems

(Quelle: Universität Kassel)



© Kunststoffe

**Bild 2.** Temperiereinheiten: CAD-Konstruktion (links), Prototyp (rechts)

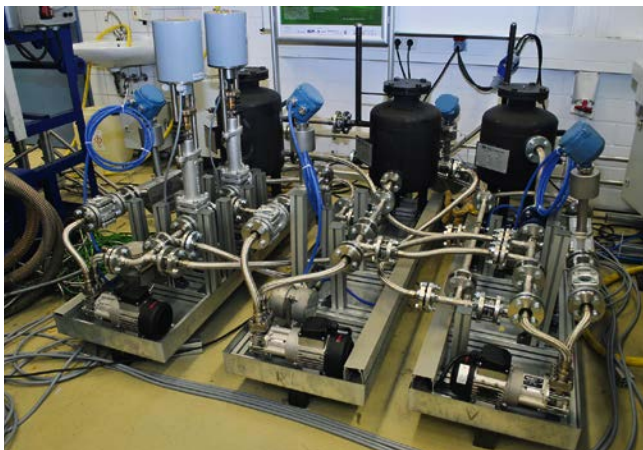
(© Universität Kassel)



bereits vor 30 Jahren beschriebene Prinzip der Temperierung über Wärmeträgermedien [5] wurde für Plastifizierzylinder eingesetzt [6] und für Extruder weiterentwickelt [7]. Neu entwickelte, nachrüstbare Wärmeübertrager sowie eine patentierte Versorgungseinheit bilden das Kernstück der neuen, indirekten Temperierung.

### Verlustreduktion und Energieträgerwechsel

Maßnahmen, die zu einer Energieeinsparung am Extruder führen, existieren sowohl für Antriebs- als auch Temperiertechnik.

**Bild 3.** Funktionstyp (unisoliert) im Labor der Universität Kassel

(© Universität Kassel)

Bereits eine einfache und kostengünstige Maßnahme kann Energieeinsparungen im mittleren zweistelligen Prozentbereich liefern: die Isolierung der Massezylinder [8]. Gleichzeitig führt eine „ideale“ Isolierung aber auch zu einer komplexeren Kühlaufgabe. Wird die Kühlung über Umgebungsluft realisiert, sind aufwendige Ventilations- und Klappensysteme notwendig. Erfolgt sie flüssigkeitsbasiert, wird ein zweites, autonom arbeitendes System benötigt und wie bei der Luftkühlung ist eine Wärmerückgewinnung nicht bzw. nur eingeschränkt möglich.

Die Umstellung des Energieträgers birgt hingegen ein vielfach höheres Potenzial, Kosten und Primärenergie einzusparen. Sie wirft jedoch die Frage nach einer konzeptionellen Nutzbarmachung der Potenziale durch beispielsweise eine Gasheizung oder KWK-Wärme auf. Dazu muss eine Vorrichtung geschaffen werden, die das Wärmeträgermedium gezielt an seinen Bestimmungsort leitet.

### Das Thermoöltemperiersystem

Das in diesem Zusammenhang neu entwickelte Temperiersystem ist vergleichbar mit einer klassischen Gaszentralheizung. Eine zentrale Wärmequelle (Gasbrenner oder Abwärme aus einer KWK-Anlage) versorgt mehrere Extruder über eine Vor- und Rücklaufleitung mit einem Wärmestrom bis ca. 320°C. An den Extrudern leiten dezentrale Versorgungseinheiten den Wärmestrom zu den jeweiligen Temperierzonen (**Bild 1**).

Der Anschluss dieser Einheiten an das Primärsystem erfolgt parallel. Grundsätzlich gilt, dass jede unabhängig zu temperie-

rende Zone mit einem Manschettenpaar und einer Versorgungseinheit ausgestattet ist. Sind gleiche Temperaturniveaus an mehreren nebeneinander angeordneten Zonen vorhanden, werden diese zusammen über eine Einheit versorgt. Eine separate Leitung liefert einen Wärmestrom mit niedrigerem Temperaturniveau, um bei Bedarf die jeweilige Zone zu kühlen. Die dem System an dieser Stelle entzogene Wärme dient zur Rücklaufanhebung, kann für andere Prozesse (Kalander, Granulattrocknung etc.) direkt oder über Heißwasserbereitstellung indirekt verwendet werden. In allen Fällen besteht die Möglichkeit, der Produktionshalle die Wärme gezielt zu entziehen, sodass ein starkes Aufheizen in den Sommermonaten vermieden wird.

Die Versorgungseinheiten des von der Universität Kassel als Patent (Nr. DE102014002270A1) angemeldeten Temperiersystems (**Prototyp siehe Bild 2**) arbeiten anders als bisherige Systeme ohne elektrische Stellventile rein mechanisch. Kernelement bilden bi-direktional arbeitende Pumpen sowie ein selbsttätiges Rückschlagklappensystem. Hierdurch kann abhängig von der Drehrichtung der Pumpe entweder ein Wärme- oder ein Kältestrom bereitgestellt werden. Über den Rücklauf wird das aufgeheizte oder abgekühlte Medium dem Hauptkreis zurückgeführt.

Spezielle fluidbasierte Wärmeübertragermanschetten sorgen für eine gute Wärmeübertragung. Relevant für eine homogene Temperierung ist eine über die zu temperierende Fläche gleichbleibende Wärmeverteilung, die durch eine gleichmäßige Wärmestromdichte erreicht wird. Kern der Konstruktion bildet ein dreidimensional gebogener Rohrmäander, der in einen Aluminiumguss in Halbschalenform eingegossen ist. Eine Erhöhung der Wärmestromdichte wird durch die Verwendung eines zweiten parallel verlaufenden Mäanders erreicht.

Die Strömungsrichtung in den Mäandern kann gleich- oder gegen gerichtet erfolgen. Eine entgegengerichtete Strömung erzielt über die Länge der Manschette eine noch höhere Temperaturhomogenität. Zusätzliche Isolierstege zwischen den Schenkeln der Rohre verhindern einen Wärmeaustausch zwischen den Mäandern [9]. Die Temperierung erfolgt aufgrund der hohen Temperaturen über ein Thermoöl. Dieses dient sowohl als Heiz- wie auch Kühlmedium. Hierdurch kann eine „ideale“ Isolierung gegen die Umgebung vorgenommen werden. Die

Konstruktion der Manschetten bestehend aus zwei Halbschalen ermöglicht auch die Nachrüstung von Bestandsmaschinen.

### End- und Primärenergieersparnis

Die Erprobung der allgemeinen Funktionsweise und des praxistauglichen Einsatzes wird an drei verschiedenen Extrusionsanlagen durchgeführt:

- Extruder 1: HS 75S-30D der Hosokawa Alpine AG, Augsburg (Dreizonenschnecke, 5 Temperierzonen)
- Extruder 2: HBM-Ex30 der Maschinenbau Heilsbronn GmbH, Heilsbronn (Dreizonenschnecke, 3 Temperierzonen)
- Extruder 3: DS90 - 320 der Hans Weber Maschinenfabrik GmbH, Kronach (Doppelschnecke, 6 Temperierzonen) »

## Die Autoren

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Heiko Dunkelberg, M. Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse (UPP) der Universität Kassel; dunkelberg@upp-kassel.de

**Dipl.-Ing. Benjamin Rommel, M. Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Umweltgerechte Produkte und Prozesse (UPP) der Universität Kassel.

**Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach** ist Fachgebietsleiter des Fachgebiets Umweltgerechte Produkte und Prozesse (UPP) der Universität Kassel.

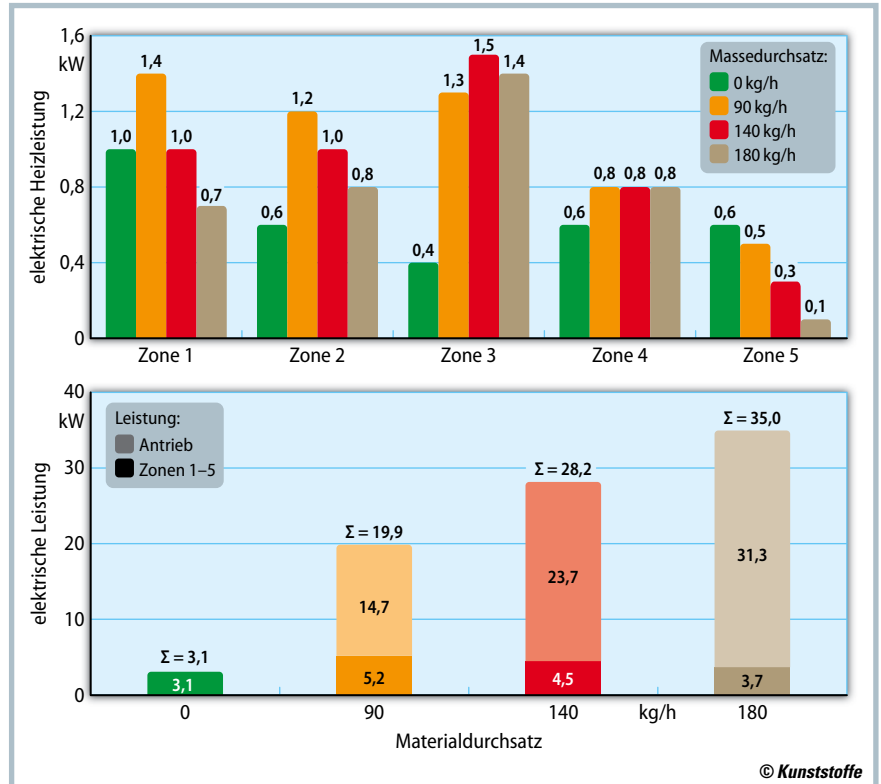
### Dank

Das diesem Artikel zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03SHW070 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Zusätzlich stammen Teile der Forschungsergebnisse aus dem Projekt (HA-Projekt-Nr.: 326/12-16), das im Rahmen von Hessen Modellprojekte aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert wurde.

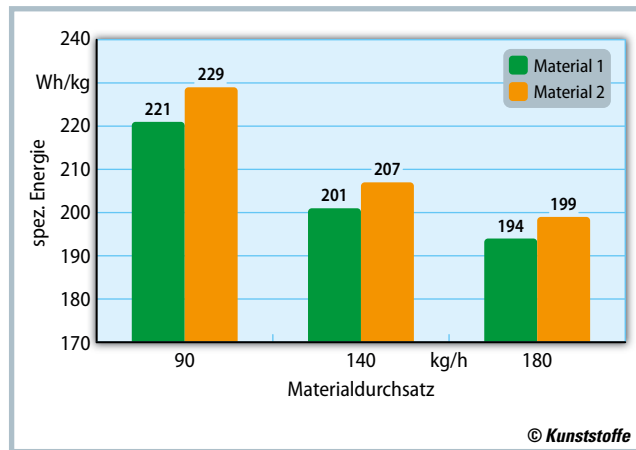
## Service

### Literatur & Digitalversion

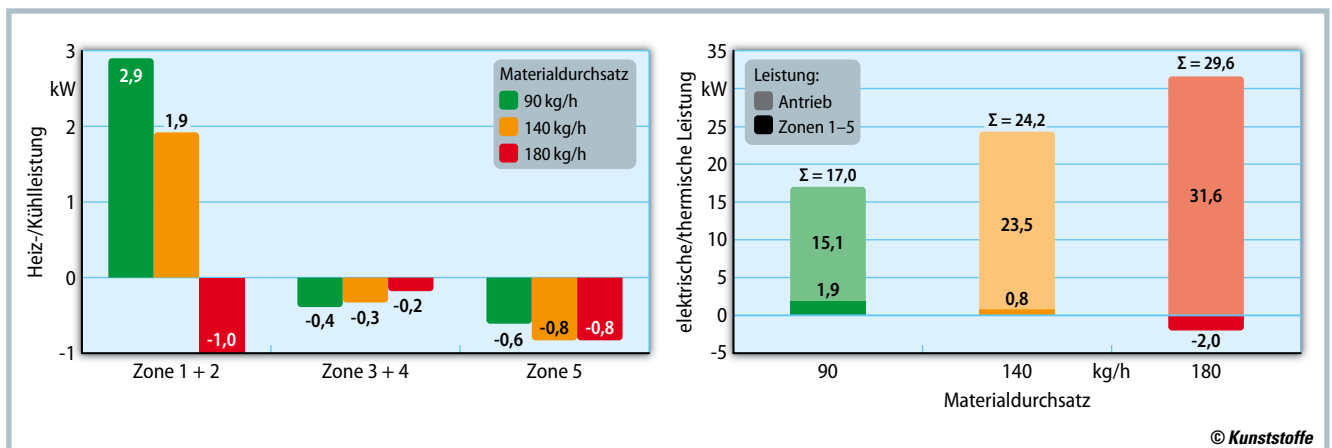
- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/1424854](http://www.kunststoffe.de/1424854)



**Bild 4.** Energetischer Ausgangszustand Extruder 2: oben: Heizleistungen von fünf Elementen; unten: Summe der Heizleistung und Antriebsleistung in den Temperierzonen (Quelle: Universität Kassel)



**Bild 5.** Spezifischer Energiebedarf der Materialien in Abhängigkeit vom Durchsatz (Quelle: Universität Kassel)



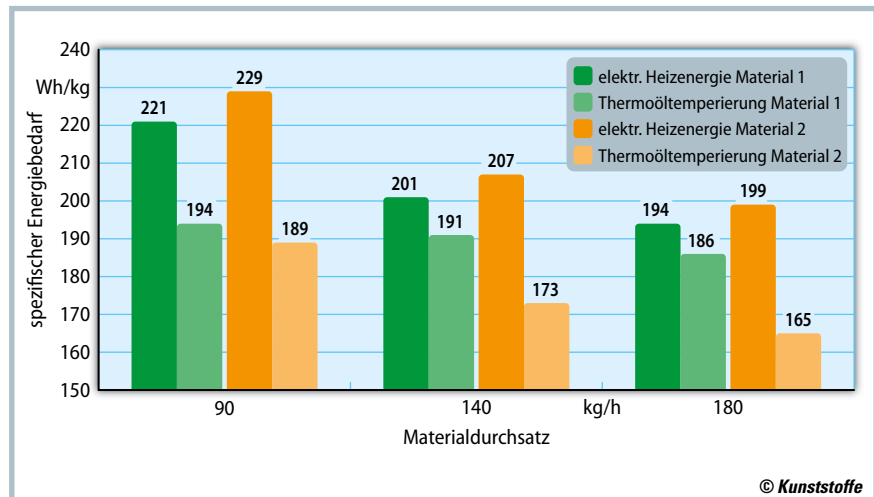
**Bild 6.** Temperierbedarf nach der Umstellung auf Thermoöl (Temperierzonen teilweise zusammengeschaltet) (Quelle: Universität Kassel)

Extruder 1 und 2 dienen der Erprobung der Funktionsfähigkeit eines ersten Funktionstyps (Bild 3). An dem dritten Extruder wurde ein erster Prototyp der neuen Temperiereinheit getestet (Bild 2).

Um neben einer qualitativen auch eine quantitative Aussage über die energetischen und technischen Veränderungen treffen zu können, wird im Vorfeld der Ausgangszustand definiert und für die vier Betriebszustände Standby, minimaler, durchschnittlicher und maximaler Durchsatz sowie zwei unterschiedliche Materialien (Material 1: 0,4 PE-LD; Material 2: 1,9 PE-LD; Hersteller: Saudi Basic Industries Corporation (Sabic), Riad/Saudi Arabien) ermittelt (in Bild 4 für Material 1 dargestellt). Für die Referenzmessung werden alle Temperierzonen sowie der Antrieb vermessen.

Der Leistungsbedarf hängt maßgeblich vom Betriebszustand (Stand-by oder Betrieb) sowie dem gefahrenen Durchsatz und der Granulatart ab. Typischerweise sinkt der Anteil der Heizleistung am Plastifizierprozess mit steigendem Durchsatz. Materialabhängig sind Unterschiede erkennbar, die aber relativ gering ausfallen (Bild 5). Bei der Umstellung auf die neue Temperierung wurden einzelne Zonen zusammengeschaltet, da prozessbedingt ähnliche Temperaturniveaus vorhanden sind (Bild 6).

Die aufgebrauchte Isolierung führt in der Folge dazu, dass in einzelnen Zonen bzw. bei sehr hohem Durchsatz eine aktive Kühlung notwendig ist. Gleichzeitig führt sie zu einer starken Reduktion der Wärmeverluste am Zylinder. Diese sind in der Folge so gering, dass sie bei der Gesamtbetrachtung nicht berücksichtigt werden. Da die Leistungsaufnahme des Antriebs gleich bleibt, kann davon ausgegangen werden, dass nicht deshalb weniger Heizenergie nötig ist, weil mehr Dissipationsenergie eingebracht wird.



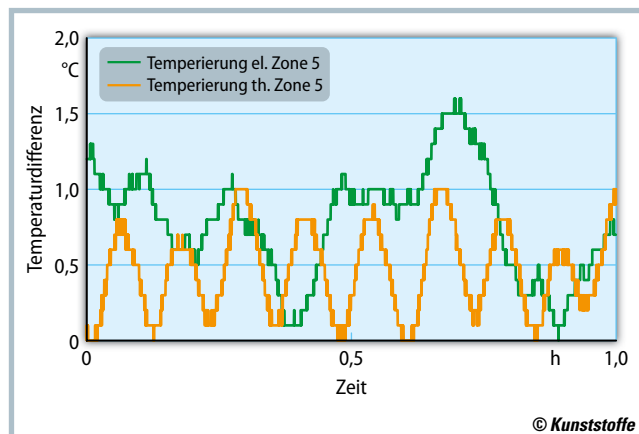
**Bild 7.** Vergleich der spezifischen Energiebedarfe der Materialien in Abhängigkeit vom Durchsatz

(Quelle: Universität Kassel)

Die Gegenüberstellung (Bild 7) von herkömmlicher und neuer Temperierung zeigt die Energieeinsparungen für das Gesamtsystem aus Temperierung und Antrieb. Die Temperaturkonstanz innerhalb der Zylinderzonen im laufenden Betrieb, also unter quasistationären Bedingungen, ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal. Die hohe Regelgüte elektrischer Heiz- und Kühlsysteme erlaubt einen beinahe schwankungsfreien Temperaturverlauf. Dennoch treten bisweilen, insbesondere bei älteren Maschinen, unerwünschte Schwankungen auf (Bild 8). Messungen an dem neuen System haben eine hohe Temperaturkonstanz mit einem  $\Delta T < 1$  K nachgewiesen, die aus der fluidbasierten und damit taktungsfreien Beheizung und Kühlung resultieren.

### Kurze Amortisationszeiten

Berechnungen für einen Beispielbetrieb ergaben hohe primärenergetische und wirtschaftliche Einsparungen. Der Bei- »



**Bild 8.** Temperaturverhalten: Die Temperaturschwankungen der fluidbasierten und damit taktungsfreien Temperierung sind geringer als bei älteren Maschinen (Quelle: Universität Kassel)

spielbetrieb besteht aus zehn Extrusionsanlagen mit Dreizonenschnecken. Die Investitionskosten für die Umrüstung richten sich primär nach der Anzahl der benötigten Temperiereinheiten und weniger nach der Leistungsaufnahme der Temperierzonen.

Abhängig von Produktionsplan und benötigter Heizleistung (1,5 bis 6 kW) lassen sich Amortisationszeiten zwischen 3 und 16 Jahren realisieren. Je höher die Heizleistung der einzelnen Zonen, desto eher amortisiert sich das Gesamtsystem [10]. Die Substitution der bestehenden Temperierung spart die Hälfte der Primärenergie ein, wenn ein Gaserhitzer zum Einsatz kommt [11].

### Fazit und Ausblick

Der Betrieb elektrischer Temperiersysteme ist kostenintensiv und primärenergetisch ungünstig. Eine Substitution durch eine indirekte Gasbeheizung über ein Wärmeträgermedium birgt große Potenziale, um Kosten und Primärenergie einzusparen. Dafür ist ein neuartiges Temperiersystem notwendig, das erfolgreich an einem Funktions- und einem Prototyp über vier Monate im laufenden Betrieb getestet wurde.

Eine Erweiterung des Systems auf die Werkzeugbeheizung wurde am Beispiel eines Blasfolienwerkzeugs bereits an einem Funktionstyp erfolgreich in den Laboren der Universität Kassel erprobt. Damit lassen sich weitere Potenziale nutzen. Gleichzeitig ist es denkbar, Gas- und Elektroerhitzer zu kombinieren, um ein Lastmanagement in der Kunststoffverarbeitung zu ermöglichen. ■

**Nichts mehr verpassen!**

**[www.kunststoffe.de/newsletter](http://www.kunststoffe.de/newsletter)**

**Kunststoffe.de**