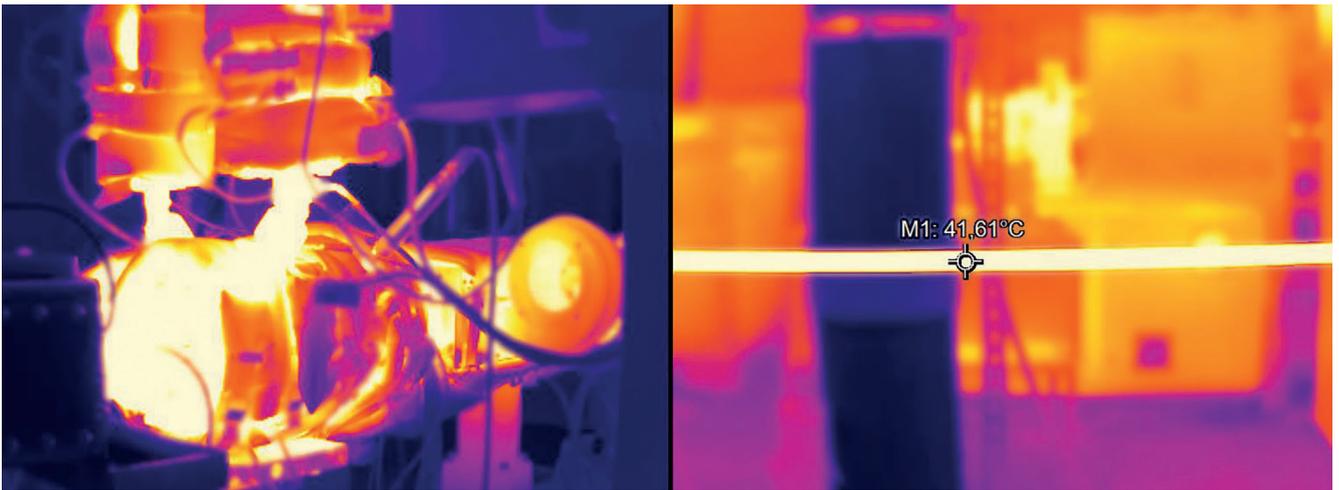


Durch Materialvorwärmung und nachhaltige Kühlung den Energieverbrauch senken

Höhere Effizienz in der Verarbeitung

Steigende Stromkosten und der Wunsch nach geringeren CO₂-Emissionen setzen auch die Kunststoffindustrie unter Druck, ihre Verarbeitungsprozesse anzupassen. Ansatzpunkte für eine Senkung des Verbrauchs bestehen etwa durch die Vorwärmung des Materials und bei der Kühlung. Am Kunststoff-Zentrum SKZ wurden verschiedene Ansätze untersucht, um dadurch die Energieeffizienz der Kunststoffindustrie zu steigern und Kosten sowie Treibhausgasemissionen zu verringern.



Thermografieaufnahmen aus der Rohrextrusion (helle Flächen zeigen hohe Temperaturen an, dunkle Flächen niedrige): Im Extruder (links) muss dem Material zunächst Wärme zugeführt werden. Das fertiggestellte Rohr (rechts) wird anschließend gekühlt. © SKZ

Bei der Kunststoffverarbeitung wird vor allem thermische Energieübertragung eingesetzt, um die gewünschten Aufbereitungs-, Ur- und Umformprozesse zu vollziehen. Während dem Material zunächst Wärme zugeführt werden muss, wird diese dem Produkt unmittelbar danach möglichst rasch wieder entzogen (**Titelbild**). Die nötige Zuführung von Wärme sowie die anschließende Kühlung finden im Prozess oder an der Prozessgrenze statt.

In **Bild 1** ist der gewählte Bilanzraum für die Energiebilanz eines Kunststoffverarbeitungsprozesses am Beispiel eines Extruders zu sehen. Dabei sind die folgenden ein- und ausgehenden Energieflüsse zu beachten:

- $H_{\text{Material-Beginn}}$: relative Materialenthalpie bei Prozessbeginn
- E_{Antrieb} , $E_{\text{Grundlast}}$, E_{Heizung} : elektrischer Bedarf für Antrieb, Grundlast und Heizung

- $H_{\text{Material-Ende}}$: relative Materialenthalpie bei Prozessende
 - $Q_{\text{Konvektion}}$, $Q_{\text{Strahlung}}$: Wärmeabgabe über Oberflächen an die Umgebung
 - $Q_{\text{Kühlung}}$: aktiv abgeführte Wärme für die Prozess- und Produktkühlung
- Zudem ist ein Energieeintrag zur anschließenden Kühlung der Verarbeitungsprodukte nötig (im Bild nicht gezeigt).

Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz, die verschiedene der oben gezeigten Energieflüsse betreffen:

- Reduzierung der Verluste, etwa durch Isolierung und effizientere Maschinenteknik
- Materialvorwärmung: Erhöhung der relativen Materialenthalpie bereits vor der Verarbeitung, dadurch Reduzierung des Bedarfs an elektrischer Energie. Umgesetzt wird das idealer-

weise mit alternativen Energiequellen wie Abwärme.

- nachhaltige Kühlung: effizientere bedarfsgerechte Rückkühlung

Zu den beiden Themen Materialvorwärmung und nachhaltige Kühlung wurden am Kunststoff-Zentrum SKZ die Projekte OptiHeat und SCoolS durchgeführt.

Reduzierung des Energieverbrauchs durch Materialvorwärmung

Vorgewärmte Verarbeitungsmaterialien reduzieren den Bezug von Prozessenergie bei der Kunststoffverarbeitung. Bei der formgebenden Kunststoffverarbeitung findet im Verarbeitungsprozess eine Enthalpieerhöhung und -reduzierung an verschiedenen Prozessschritten statt, an denen sich auch die Materialtemperatur ändert. Bei der Plastifizierung überträgt sich die Energie größtenteils mittels

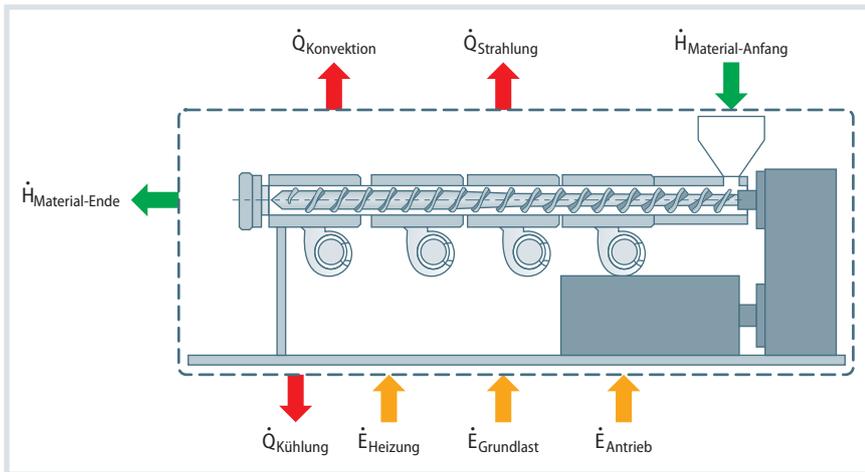


Bild 1. Energiebilanzraum in der Kunststoffverarbeitung am Beispiel eines Extruders: Dabei müssen sowohl ein- als auch ausgehende Energieflüsse beachtet werden. Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

Scherung beziehungsweise Friktion. Beides wird von einem elektrischen Antrieb im Prozess verursacht. Gelangen die Materialien vorgewärmt in den Prozess, dann reduziert sich der elektrische Bedarf für die Plastifizierung (erkennbar bei \dot{E}_{Antrieb}) aufgrund der Reduzierung der im Prozess zu leistenden Enthalpieerhöhung $\Delta\dot{H}$. Wird die Energie zur Vorwärmung mit Prozessabwärme beispielsweise von der Produktrückkühlung gedeckt, reduziert das den elektrischen Energiebedarf und steigert somit die Energieeffizienz.

Im Forschungsprojekt „OptiHeat – Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung“ wurde dieser Zusammenhang am SKZ in Versuchen unter anderem an Polystyrol (PS) messtechnisch nachgewiesen (Bild 2). Die Reduzierung des Energieverbrauchs bei Erhöhung der Eingangstemperatur in den Prozess wird über den Massenstrom und die Enthalpieänderung aus der Enthalpiekurve berechnet. Die gemessenen Werte wurden in Versuchen im SKZ-Technikum ermittelt, indem unter anderem der elektrische Leistungsbedarf des Hauptantriebs des Extruders erfasst wurde. Es zeigte sich dabei eine sehr gute Überein-

stimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Werten. Zusätzlich wurde über ausführliche Materialprüfungen nachgewiesen, beispielsweise zur thermischen bzw. thermo-oxidativen Beständigkeit, Schlagzähigkeit und dem Zugverhalten, dass die Vorwärmung keine Veränderungen der Materialeigenschaften hervorruft.

20 % geringerer Verbrauch des Extruderantriebs

Bei den Versuchen zeigte sich, dass bei der Extrusion durch Materialvorwärmung der nötige Energieeintrag des Antriebs um bis zu 20 % reduziert werden kann. Materialvorwärmung ist somit tatsächlich eine gute Möglichkeit, um bei Verarbeitungsprozessen, die einen hohen elektrischen Energiebedarf für die Plastifizierung haben, die Energieeffizienz zu steigern. Zudem kann saisonal bedingt variierenden Materialeingangstemperaturen aufgrund der Lagerung in Außensilos entgegengewirkt werden. Auf Basis der erzielten Ergebnisse wurde das Online-Tool OptiHeat entwickelt. Es zeigt, welche Einsparungen je nach Material,

Vorwärmtemperatur und Durchsatz erwartbar sind.

Reduktionspotenziale in der Kältetechnik

Durch die zunehmende Verbreitung von Energiemanagementsystemen sowie aufgrund steigender Energiekosten bestehen außerdem Anreize, die Energieeffizienz der Kältetechnik zu betrachten. In den 80er-Jahren erfuhr die ozonschädigende Wirkung vieler »

Info

Autoren:

Julius Ort ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am SKZ in Würzburg in der Gruppe „Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft“ und SKZ-Klimamanager; j.ort@skz.de

Dr. Jan Werner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am SKZ in der Gruppe „Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft“.

Dr. Hermann Achenbach leitet die Gruppe „Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft“ am SKZ.

Dr. Thomas Hochrein ist Geschäftsführer der „Forschung & Bildung“ am SKZ.

Prof. Martin Bastian ist Institutsdirektor des SKZ und Professor für Technologie der Polymeren Werkstoffe an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Dank

Das IGF-Vorhaben 20236 N „OptiHeat: Vorwärmung in der Kunststoffverarbeitung – Empirische Ermittlung materialspezifischer Kennwerte und Entwicklung eines Expertensystems“ und das Cornet-Vorhaben 236 EN „SCoolS: Sustainable Cooling Systems“ der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum (FSKZ) wurden über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung.

Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Konventionelle Kältemittel	GWP ₁₀₀	Alternative Kältemittel	GWP ₁₀₀
R22	1760	R717 (Ammoniak, NH ₃)	0
R134a	1300	R290 (Propan, C ₃ H ₈)	3
R12 (R500)	11 547	R744 (Kohlenstoffdioxid, CO ₂)	1
R23	12 400	R1234yf	< 1

Tabelle. GWP verschiedener üblicher Kältemittel und ihrer Alternativen. Quelle: Bitzer Kühlmaschinenbau

Bild 2. Enthalpiekurve von PS und Vergleich des theoretisch berechneten und gemessenen Effizienzvorteils durch Vorwärmung (blaue Pfeile, Vorwärmtemperatur 60 bzw. 80 °C im Vergleich zu 23 °C normaler Materialtemperatur): Durch vorgewärmtes Material lässt sich der Energiebedarf im Verarbeitungsprozess reduzieren.

Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

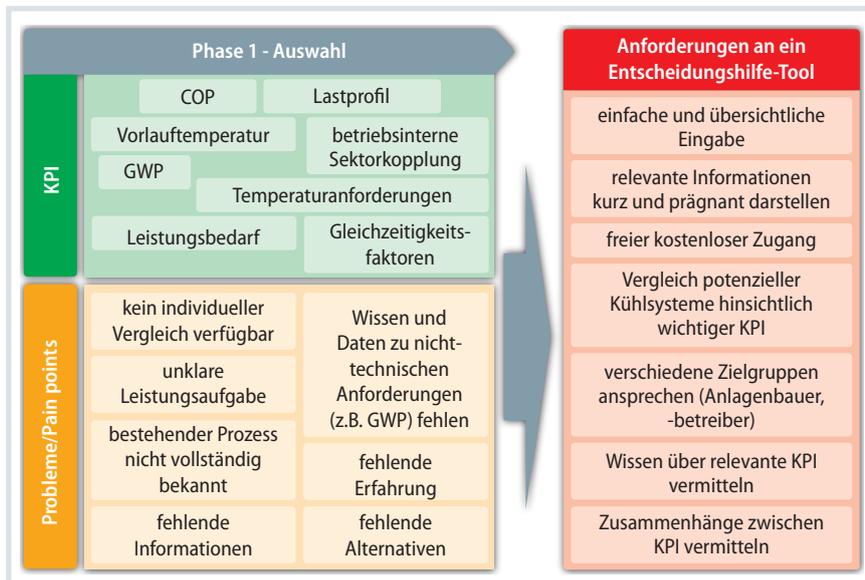
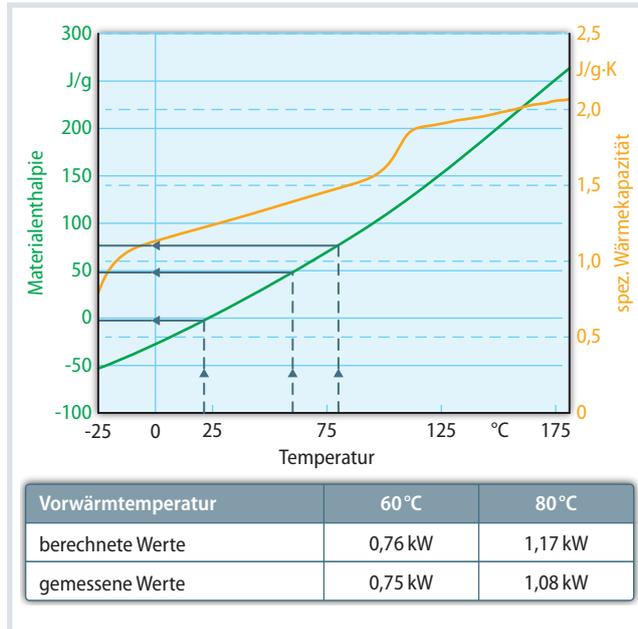


Bild 3. Ausschnitt aus der User Journey Map für die Auswahlphase im Beschaffungsprozess einer Kühlanlage mit KPI und auftretenden Problemen. Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

Kältemittel (vor allem Fluorchlorkohlenwasserstoffe, FCKW) große Aufmerksamkeit, was letztlich zum schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung von FCKW durch das Montreal-Protokoll führte. Gegenwärtig verschiebt sich auch bei Kältemitteln der Fokus auf eine höhere Nachhaltigkeit und somit auf deren Global Warming Potential (GWP, siehe **Kasten**). Beispielsweise erlaubt die F-Gase-Verordnung (EU-Verordnung Nr. 517/2014) seit 2020 nur noch Kältemittel mit $GWP_{100} < 2500$. Auch im Rahmen der deutschen Kälte-Klima-Richtlinie wird der Fokus klar auf Kälteanlagen gerichtet, die Kältemittel mit

niedrigem GWP verwenden. Aus dieser Sicht ideal sind natürliche Kältemittel, zum Beispiel Ammoniak, Wasser oder Kohlenstoffdioxid, deren GWP sehr gering oder sogar Null ist (**Tabelle**).

Neben konventionellen Kompressionskälteanlagen werden zunehmend alternative Wärme- und Kältequellen, auch im industriellen Kontext, relevant. Dafür kommen vor allem Geothermie und Solarthermie in Frage. Über Geothermie kann sogar eine unmittelbare Kühlung erreicht werden. Alternativ lässt sich auch wärmegetriebene Kälte durch Absorptions- oder Adsorptionsverfahren nutzen. Als Wärmequelle kann auch

Abwärme aus anderen Prozessen relevant sein.

Nachhaltige Kühllösungen: teuer in der Anschaffung, aber sehr effizient

Alle verfügbaren Verfahren haben verhältnismäßig hohe Investitionskosten. Dafür ergeben sich im Prozess ein sehr geringer Energieverbrauch sowie stark reduzierte Treibhausgasemissionen. Bisher werden diese Technologien allerdings nur in sehr geringem Umfang in der Industrie eingesetzt. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- **Fehlendes Wissen:** Viele dieser nachhaltigen Kühllösungen beziehungsweise deren Tauglichkeit für die industrielle Anwendung sind nicht bekannt.
- **Mangelnde Informationen:** Belastbare Angaben zu erzielbaren Einsparungen beziehungsweise Effizienzgewinnen, notwendigen Kosten, Amortisation und potenziellen zusätzlichen Prozessrisiken sind nicht verfügbar. Es mangelt an verlässlichen Informationen über die Leistungsfähigkeit und -grenzen nachhaltiger Lösungen.

Das führt dazu, dass nachhaltige Alternativen bei der Auswahl von Kühllösungen von Beginn an nicht in Betracht gezogen oder frühzeitig ausgeschlossen werden. Um die Verbreitung nachhaltiger Kühllösungen zu unterstützen, haben das SKZ, die Universität Bayreuth (UBT), die Thomas More Hochschule (Geel, Belgien) und das WTCB (Brüssel, Belgien) gemeinsam das Cornet-Forschungsprojekt „SCools – Sustainable Cooling Systems“ durchgeführt. Anhand realer Fallstudien wurden die Leistungsfähigkeit nachhaltiger Kühllösungen analysiert sowie Simulationsumgebungen und Tools zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter Kühllösungen entwickelt. Das SKZ und die UBT fokussierten sich dabei auf industrielle Gebäude und Prozesse, insbesondere in der Kunststoffverarbeitung, während die belgischen Partner primär Wohn- und Bürogebäude analysierten.

Vielversprechende Hebel zur Optimierung

Aus dem Austausch mit Herstellern und Planern von Kühlanlagen sowie industriellen Anwendern wurde ein Abbild des Beschaffungsprozesses einer Kühlanlage

Global Warming Potential (GWP)

Das Global Warming Potential oder Treibhauspotenzial gibt an, in welchem Maß eine Substanz in der Atmosphäre zum Treibhauseffekt beiträgt. Üblicherweise wird dabei die Wirkung über 100 Jahre betrachtet (GWP₁₀₀). Die Referenzsubstanz ist dabei Kohlenstoffdioxid (CO₂),

das relevanteste Treibhausgas mit GWP₁. Das GWP anderer Substanzen wird relativ dazu in CO₂-Äquivalenten angegeben. Halogenierte Kohlenwasserstoffe haben häufig ein sehr hohes GWP. Gleichzeitig werden sie vielfach als Kältemittel in Kühlanlagen eingesetzt.

erstellt. Dieser gliedert sich grob in die drei Phasen Auswahl (1), Dimensionierung (2) und Installation (3). Dabei spielen jeweils unterschiedliche Leistungskennzahlen (KPI) eine Rolle. Zudem treten verschiedene Probleme auf. Diese wurden mittels der Methode der „User Journey Map“ erfasst (Bild 3). Um Informationen zu den KPI zu bieten und damit die vorhandenen Probleme zu adressieren, wurden praxisbezogene Instrumente konzipiert und entwickelt.

Folgende vielversprechende Hebel zur Optimierung der Prozesskühlung wurden im Rahmen von ScooLS erarbeitet:

- Anhebung der Vorlauftemperatur: Erhöhung der Soll-Temperatur der

Kühlung über bisher gängige Werte. Das ist in vielen Prozessen ohne oder mit geringen Anpassungen möglich.

- Separierung: Trennung verschiedener Kühlkreisläufe mit unterschiedlichen Anforderungen, zum Beispiel hinsichtlich der Vorlauftemperatur
- Modularisierung: Verwendung mehrerer und kleinerer, lastpunktoptimierter Kühlanlagen. Gerade in Verbindung mit Separierung bestehen interessante Potenziale.
- Natürliche Kältemittel: Einsatz von Kühllösungen mit natürlichen Kältemitteln, unter Berücksichtigung der sich dadurch ergebenden Limitationen

Ein entwickeltes Online-Tool zur Entscheidungshilfe bei der Kühlung industrieller Prozesse bietet darauf aufbauend und anhand weniger Eingabedaten eine Orientierung, welche Potenziale zur Optimierung bestehen. Die UBT hat außerdem ein entsprechendes Online-Tool für die Kühlung industrieller Gebäude entwickelt.

Fazit

Die erzielten Ergebnisse sind gerade im Hinblick auf die sich verändernden Rahmenbedingungen (unter anderem Energiemanagement, CO₂-Bepreisung, Bestreben hin zur Klimaneutralität) für die Industrie interessant. Die im Rahmen der Projekte entwickelten Online-Tools bieten industriellen Anwendern Unterstützung bei der Einschätzung, welche Effizienzsteigerungen durch Materialvorwärmung beziehungsweise durch nachhaltige Kühllösungen zu erreichen sind. Alle Tools stehen in Kürze über das SKZ und die UBT zur Verfügung. Weitere Ergebnisse können den Abschlussberichten entnommen werden, die in Kürze in der Reihe „SKZ – Forschung und Entwicklung“ erscheinen werden. ■

Biobasiertes PP und PE

Polyolefine für nachhaltigere Medizintechnik

Der Kunststoffdistributor Ultrapolymers bietet ab sofort kürzlich von LyondellBasell vorgestellte Polyolefine an. Sie sind für das Spritzgießen und die Extrusion geeignet und sollen über einen deutlich verringerten CO₂-Fußabdruck verfügen. Unter anderem umfasst das biobasierte PP- und PE-LD-Typen aus der CirculenRenew-C14-Familie mit festen biobasierenden Anteilen sowie nach dem Massebilanzansatz bewertete CirculenRenew-Typen. Sie sind für Lebensmittelverpackungen, Konsumgüter sowie den Medizin- und Pharmabereich gedacht. Die Eigenschaften entsprechen Ultrapolymers zufolge bei beiden Gruppen denen der bisherigen erdölbasierten Produkte. Daher können sie als Drop-in-Lösungen für bestehende Anwendungen eingesetzt werden.

Bei den CirculenRenew-C14-Polymeren wird der jeweilige C14-Gehalt von einem akkreditierten Drittlabor gemessen und auf dem zugehörigen Analysenzertifikat (CoA) angegeben. Typischerweise liegen die Anteile über 40 %. Die biobasierenden Ausgangsstoffe sind laut dem Distributor frei von tierischen Bestandteilen und Rohpalmöl. Neu hinzugekommen sind insgesamt drei Typen aus der C14-Reihe. CirculenRenew C14 LD1800S ist ein nicht additiviertes, leichtfließendes PE-LD für die Verarbeitung im Spritzgießen und der Compoundierung. Es verfügt Ultrapolymers zufolge über eine hohe Fließfähigkeit so-

wie eine gute Zähigkeit und Dimensionsstabilität. Es eignet sich deshalb für Spielwaren, Verschlüsse, technische Teile sowie Sport- und Freizeitgeräte. CirculenRenew C14 HP456J ist ein PP-Homopolymer und ein Drop-In-Produkt für den gleichnamigen, für Extrusions- und Tiefziehenanwendungen vorgesehenen Moplen-Typ von LyondellBasell. Aufgrund seines speziellen Additivpakets gehören Monofilamente, Seile und Bänder zu den typischen Anwendungen. Bei CirculenRenew C14 HP640J handelt es sich um ein nukleiertes PP-Homopolymer mit guter Steifigkeit und Transparenz. Es soll ebenfalls direkt anstelle des entsprechenden Moplen-Typs in der Extrusion und für das Tiefziehen einsetzbar sein. Zu den Hauptanwendungen gehören Schalen, transparente Becher und Behälter.

Für die Produktion der ins Produktangebot aufgenommenen Purell-CirculenRenew-Typen werden Vorprodukte nach dem Massebilanzansatz aus biobasierenden Reststoffen hergestellt. Wie bei den CirculenRenew-C14-Typen nutzt LyondellBasell dafür keine Rohstoffe aus tierischen Bestandteilen oder Rohpalmöl. Bei Ultrapolymers verfügbar sind nun die für die Medizintechnik und Pharmaindustrie bestimmten Typen Purell EA678P, Purell HP570Y und Purell HP570Z.

<https://ultrapolymers.com>