



Getränkebehälter aus recykliertem PET

Eigenschaften, Verarbeitbarkeit und
Einsatzmöglichkeiten von rPET



Inhalt

1. Ausgangssituation
2. Materialeigenschaften von rPET und deren Auswirkungen auf die Flaschenproduktion
3. Verarbeitung von rPET in der Krones Contiform
4. Wareneingangskontrolle als Grundlage für einen sicheren Prozess
5. Qualitätsbestimmung von rPET
6. rPET-Qualität und Flaschen-Performance
7. Mögliche rPET-Anteile in einer Flasche
8. Design for Recycling
9. Lebensmitteltauglichkeit von rPET
10. Beschichtung als Ausgleich schlechter rPET-Qualitäten?
11. rPET in aseptischen Anwendungen
12. rPET in Hotfill-Anwendungen
13. Fazit und Ausblick



1. Ausgangssituation

Als Mitglied der European Circular Economy Stakeholder Platform setzt sich Krones dafür ein, Verpackungskunststoffe in einem geschlossenen Kreislauf zu halten.¹ Unsere Technologien zum Herstellen und Weiterverarbeiten von Recycling-PET (rPET) sind bei Kunden auf der ganzen Welt im Einsatz – teilweise bereits seit mehreren Jahrzehnten. Zusätzlich unterhalten wir an unseren Standorten in Flensburg und Neutraubling eigene Labore, in denen wir die Materialeigenschaften, Einsatzmöglichkeiten und Verarbeitungsbedingungen verschiedener Kunststoffarten analysieren und testen.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus unserer Forschungs- und Praxisarbeit mit rPET bzw. Post-Consumer-Rezyklat (PCR) möchten wir in diesem Whitepaper teilen – und damit einen Beitrag dazu leisten, das Nachhaltigkeitspotenzial von rPET breiter nutzbar zu machen.

¹ <https://www.krones.com/de/unternehmen/presse/krones-schliesst-sich-eu-initiative-fuer-kreislaufwirtschaft-an.php>



2. Materialeigenschaften von rPET und deren Auswirkungen auf die Flaschenproduktion

Recycling-Material für die Preform- und Flaschenherstellung kann – in unterschiedlichem Ausmaß – folgende drei Eigenschaften aufweisen:

- a) **Vergilbung/Yellowing:** Die zunehmende Gelbfärbung des PET-Materials entsteht durch die Schmelzprozesse und insbesondere im Falle starker Verunreinigungen des Recycling-Stroms. Mit einer leichten Blaufärbung lässt sich der Gelbton teilweise ausgleichen. Ist die Färbung konstant, stellt sie für die Blasmuschine kein Problem dar. Eine uneinheitliche Färbung führt dagegen zu einer ungleichmäßigen Materialverteilung – sowohl innerhalb eines Behälters als auch von Flasche zu Flasche.
- b) **Black Specs:** Fremdstoffe, die während des Schmelzprozesses beim Recycling oder beim Spritzgießen verkohlen, erscheinen als kleine schwarze Punkte innerhalb der Preform-Wand. Sie können zu einer lokalen Übertemperatur führen. Die Folgen reichen von sehr dünnem oder schwachem Material in der Behälterwand bis hin zum Bersten der Flasche.
- c) **Inhomogenitäten (IV-Schwankungen²):** Im Recycling-Prozess lässt sich mit der Krones MetaPure Technologie der IV-Wert des Eingangsmaterials erhöhen. Dennoch gilt: Werden Eingangsmaterialien mit unterschiedlichen IV-Werten und Copolymer-Anteilen miteinander vermischt, kann dies nur teilweise ausgeglichen werden. Eine mögliche Folge ist ebenfalls eine ungleichmäßige Materialverteilung – wiederum sowohl innerhalb desselben Behälters als auch von einer Flasche zur anderen.

² IV = intrinsische Viskosität; der IV-Wert dient als wichtiges Qualitätsmerkmal von PET. Er wird in Deziliter pro Gramm (dl/g) gemessen und ist ein Maß für die Kettenlänge der PET-Moleküle.



3. Verarbeitung von rPET in der Krones Contiform

Solange das Material in konstanter Qualität geliefert wird, treten beim Verarbeiten von rPET keine größeren Probleme auf. Zudem verfügt die Krones Streckblasmaschine Contiform über mehrere Funktionen, um mit schwankenden Materialeigenschaften umzugehen:

- a) **Vergilbung:** Langsam auftretende Farbschwankungen im Preform-Strom, die eine unterschiedliche Wärmeaufnahme zur Folge haben, werden durch die Heizmodul-Steuerung kompensiert. Sind die Farbschwankungen für einen automatischen Ausgleich zu groß, lassen sich die unterschiedlichen Einfärbungen mit einer Inspektionskamera erkennen und entsprechende Preforms ausschleusen.
- b) **Black Specs:** Flecken ab einer Größe von 0,5 Millimetern erkennt die 360°-Seitenwandinspektion des Preform-Kontrollsystems PET-View. Aus Black Specs resultierende Löcher kann auch die Blasmaschine detektieren. Wenn allerdings sehr kleine Löcher durch die lokale Überhitzung entstehen, dann können diese unter Umständen nicht mehr erkannt werden.
- c) **Inhomogenitäten:** Auch Abweichungen von einer geforderten Materialverteilung lassen sich mit PET-View messen und die fehlerhafte Flasche entsprechend ausschleusen.



4. Wareneingangskontrolle als Grundlage für einen sicheren Prozess

Generell kommt der Wareneingangskontrolle eine fundamentale Bedeutung zu. Zum einen, damit die Blasmuschine nicht die Aufgabe einer Sortiermaschine für schlechte rPET-Qualität übernehmen muss. Zum anderen, weil das Auftreten zu vieler Lücken in der Flaschenproduktion weitere Auswirkungen auf die Produktion haben kann. Um beides zu vermeiden, sollte die Qualität der eingehenden Preforms überprüft werden: entweder durch Sichtkontrolle oder beispielsweise durch stichprobenartige Prüfung des IV-Werts, der Farbkonstanz und des Feuchtigkeitsgehalts.

Im Idealfall sollten die Preform-Oktabins in der gleichen Reihenfolge verarbeitet werden, wie sie angeliefert werden. Auf diese Weise kommen schleichende Materialveränderungen aus der Spritzgießproduktion entsprechend langsam in der Blasmuschine an, sodass die unter Punkt 3a) erwähnte Heizmodul-Steuerung die Abweichungen ausgleichen kann.



4. Wareneingangskontrolle als Grundlage für einen sicheren Prozess

Werden die Oktabins nicht gemäß ihrer Eingangsreihenfolge verarbeitet, steigt das Risiko, dass Preforms mit stark variierenden Infrarot-Absorptionseigenschaften gleichzeitig in die Blasmachine gelangen. Im Extremfall sind die Unterschiede dabei so groß, dass das Steuerungssystem des Heizmoduls diese nicht mehr kompensieren kann. In der Folge werden nebeneinanderliegende Preforms mit stark variierenden Temperaturprofilen vom Ofen an die Blasstationen übergeben. Solche Vermischungen kann die Regelung des Heizmoduls nicht ausgleichen. Die Preform-Temperatur wird über die Ansteuerung des ganzen Ofens geregelt, sodass je nach Maschinengröße zwischen 300 und 400 Preforms gleichzeitig erhitzt werden. Mit anderen Worten: Das Linearofen-System benötigt eine gleichmäßige Wärmeaufnahme des Preform-Stroms ohne sprunghafte Änderungen, sowohl für rPET als auch für Neuware. Ist dies nicht der Fall, erhöht sich die Ausschussrate, was nicht nur für mehr Aufwand beim Entleeren der Auswurfbehälter sorgt, sondern vor allem die Produktionskosten in die Höhe treibt.





5. Qualitätsbestimmung von rPET

Recyceltem PET wird eine gute Qualität zugesprochen, wenn seine wichtigsten Materialeigenschaften jenen von Virgin-PET entsprechen. Als Qualitätskriterien gelten zum Beispiel:

- IV-Wert (intrinsische Viskosität)
- Verunreinigungsgrad
- Gehalt an Acetaldehyd oder anderen migrierenden Substanzen
- Feuchtigkeitsgehalt
- Materialeinfärbung

Als Orientierungshilfe dienen beispielsweise die Vorgaben der RAL-Gütegemeinschaft, die zulässige Maximalwerte vorschlägt.





6. rPET-Qualität und Flaschen-Performance

Wenn das Material von konstant guter Qualität ist, sind bei der Flaschen-Performance keine größeren Unterschiede im Vergleich zu Virgin-PET erkennbar. Da die Eigenschaften von rPET während des Recycling-Prozesses auf ein ähnliches Niveau wie das von Neuware angehoben werden können, ist die Flaschen-Performance in Bezug auf CO₂-Dichtigkeit, Stresscrack, Topload, Berstdruck und thermischer Stabilität vergleichbar. Wenn jedoch die Vergilbung ungleichmäßig ist, zu viele Inhomogenitäten vorhanden sind oder die Anzahl der Black Specs den Grenzwert überschreitet, können Schwankungen in der Flaschen-Performance auftreten. Daher ist die Sicherstellung einer guten Qualität vor der Blasmuschine grundlegend.

Bei Behälter-/Preform-Kombinationen, die bereits die Spezifikationsgrenzen ausreizen, kann es aufgrund der zu erwartenden Qualitätsschwankungen bei rPET zu mehr Problemen kommen als beim Verwenden von Virgin-PET. Flaschen mit hohen Verstreckverhältnissen können beispielsweise öfter bersten. Dies sollte in der Design- und Entwicklungsphase berücksichtigt werden.



7. Mögliche rPET-Anteile in einer Flasche

In welchem Verhältnis sich Recycling- und Virgin-PET in einem Behälter kombinieren lassen, hängt ab von:

- der Qualität des verwendeten Post-Consumer-Rezyklats und
- den jeweiligen Preform- und Flaschen-Spezifikationen.

Bei sauberem, monofraktionalem Rezyklat lassen sich problemlos sehr hohe Anteile von PCR fahren – bei entsprechender Preform- und Flaschenspezifikation auch bis zu 100 Prozent.

Daher sollte immer ausreichend getestet werden, am besten in großem Maßstab an der Linie. Ein häufiger Nebeneffekt des Einsatzes von rPET ist, dass die Ausschussrate leicht ansteigt, was manchmal an den erwähnten unvermeidlichen Black Specs und Inhomogenitäten liegt.





8. Design for Recycling

Design for Recycling unterteilt sich in zwei große Bereiche:

- a) Auslegung der Flasche auf den Recycling-Prozess
- b) Berücksichtigung der Materialeigenschaften und der Qualität des Recycling-Materials

Hinsichtlich Punkt a) können Entscheidungen, die in einem frühen Stadium des Designs getroffen werden, wesentliche Auswirkungen darauf haben, ob sich eine Flasche wieder einer hochwertigen Nutzung, wie zum Beispiel der erneuten Produktion einer Flasche, zuführen lässt.





8. Design for Recycling

Das Design einer Primärverpackung umfasst die Wahl der Verpackungsmaterialien, Farben, Barriere-Materialien und Zusatzstoffe, Verschlüsse, Druckfarben sowie Klebstoffe. Alle hinzugefügten Materialien beeinflussen den Recycling-Strom und lassen sich hinsichtlich ihrer Auswirkungen in drei Kategorien einteilen: volle, limitierte und geringe Kompatibilität mit dem Recycling-Prozess.

Daher empfiehlt es sich, Materialien zu wählen, die

- sich **gemeinsam recyceln** lassen oder
- eine **unterschiedliche Dichte** aufweisen und sich somit leicht separieren lassen.

Je sauberer und monofraktioneller das Eingangsmaterial ist,

- desto hochwertiger ist die Ausgangsqualität des Recycling-Materials,
- desto weniger Probleme entstehen in der Blasmaschine,
- desto besser ist die Flaschen-Performance und
- desto besser lässt es sich erneut wieder recyceln.

Details finden Sie in der Krones Richtlinie „Design for Recycling“ oder auf der Website der European PET Bottle Platform (EPBP): <https://www.epbp.org/design-guidelines>



9. Lebensmitteltauglichkeit von rPET

Alle Technologien für die Produktion von lebensmitteltauglichem Recycling-Material müssen in der EU von der EFSA bzw. für die USA von der FDA zertifiziert sein. Die Krones MetaPure Technologie verfügt über beide Zertifizierungen.

Notwendige Bedingung für das Erlangen des EFSA-Zertifikats ist eine bestimmte Dekontaminations- und Reinigungsleistung des Verfahrens. Besteht eine Lebensmittelverpackung aus Recycling-Kunststoff, so gelten in der EU außerdem folgende verbindliche Provenienz-Quoten:³

- 95 Prozent des Recycling-Materials muss aus Lebensmittel-Anwendungen stammen.
- Maximal 5 Prozent des Recycling-Materials darf aus Non-Food-Anwendungen stammen.

Die Einhaltung dieser Quoten müssen im Recycling-Prozess geregelt und überwacht werden. Die Verantwortung für die Lebensmitteltauglichkeit von rPET liegt demnach in den Händen der Materialhersteller bzw. Recycler. Zusätzlich regelt die EU die maximal zulässigen Migrationswerte, die ein Endprodukt wie zum Beispiel stilles Wasser nach 365 Tagen bei einer Aufbewahrungstemperatur von 25 °C aufweisen darf.

³ In anderen Ländern können, je nach dortigen Regularien, andere Werte gelten.



9. Lebensmitteltauglichkeit von rPET

Kommt mangelhaftes rPET zum Einsatz, kann die Streckblasmaschine eine mögliche Kontamination des späteren Füllguts nicht verhindern. Denn diese verändert nicht die Zusammensetzung des Materials und damit auch nicht die Lebensmittelsicherheit von neuem oder recyceltem Material.

Allerdings lässt sich die Contiform mit entsprechender Inspektionstechnik ausstatten, um die Seitenwand der Preforms auf größere Verunreinigungen (Black Specs) zu prüfen und mangelhaften Preforms entsprechend auszusortieren. Die Inspektionstechnik ist dabei aber nur als zusätzliche Absicherung zu verstehen, da die Materialqualität bereits bei der Granulat- und Preform-Herstellung sichergestellt sein sollte.





10. Beschichtung als Ausgleich schlechter rPET-Qualitäten?

Bei der Frage, ob das zusätzliche Beschichten der Flaschen die Produktqualität bei schlechtem Verpackungsmaterial sicher stellen kann, sind Zweifel angebracht.

Um abgefüllte Getränke von möglicherweise schlechtem Verpackungsmaterial zu trennen, müssten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Beschichtung erstreckt sich über die gesamte die Oberfläche und hält auch Belastungen stand.
- Flaschen mit mangelhafter oder fehlender Beschichtung müssen zuverlässig aus dem Prozess ausgeschleust werden können.

Um beide Bedingungen zu erfüllen, müsste jede einzelne Flasche auf das Vorhandensein und die Qualität der Beschichtung kontrolliert werden – und zwar ohne diese zu beschädigen. Eine Inspektionstechnik, die das leisten könnte, gibt es jedoch nicht.

Wer das Verwenden geringerer Materialqualitäten dennoch mit einer Beschichtung ausgleichen möchte, muss zwei Dinge in Kauf nehmen: erstens die Investitions- und Betriebskosten einer Beschichtungsanlage sowie zweitens das Restrisiko, das mit den fehlenden Inspektionsmöglichkeiten einhergeht. Zudem ist genau zu prüfen, wie und ob der Einsatz der Beschichtungstechnologie unter den jeweils lokal geltenden gesetzlichen Vorgaben zulässig und ausreichend ist.

Dem gegenüber steht die Möglichkeit, von Anfang an auf eine hochwertige rPET-Qualität zu setzen. Auch beim Einsatz einer Beschichtung kann darauf nach heutigem Kenntnisstand nicht verzichtet werden.



11. rPET in aseptischen Anwendungen

Recycling-PET eignet sich auch für aseptische Anwendungen. In welcher Menge es eingesetzt werden kann, hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- Qualität des Recycling-Materials
- Prozessfenster der aseptischen Anwendung
- Höhe der akzeptierten materialinduzierte Ausschussrate, die wiederum je nach Linienkonfiguration und Produktionszeit variieren kann

Die Ausschussrate wird durch manchmal unvermeidbare Black Specs und Inhomogenitäten erhöht. Dies kann bei aseptischen Systemen aufgrund der begrenzten Möglichkeiten für manuelle Eingriffe des Bedieners eine größere Herausforderung darstellen als bei konventionellen Systemen.





12. rPET in Hotfill-Anwendungen

Auch für Hotfill-Anwendungen lässt sich Recycling-PET verwenden. Hier hängt die mögliche Menge im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

a) Qualität und Copolymer-Gehalt des rPET

Für Heatset schreibt Krones einen IV-Wert von 0,78 bis 0,84 dl/g und einen Copolymer-Gehalt von weniger als 2 Prozent vor. Letzteres stellt wahrscheinlich die größte Herausforderung für das Verwenden von rPET im Heatset-Verfahren dar. Denn alle anderen Anwendungen auf dem Markt werden mit einem höheren Copolymer-Gehalt gefahren. Wurde das Recycling-Material allerdings aus monofraktionellen Hotfill-Flaschen gewonnen, lässt sich dessen Anteil auch in der Heatset-Anwendung deutlich erhöhen.

b) Prozessfenster der Hotfill-Anwendung

Gerade in der Hotfill-Anwendung gibt es einige Anwendungen auf dem Markt, die sich bereits im Grenzbereich des technisch Möglichen befinden und daher keine zusätzlichen Prozessvariationen aufgrund des rPET-Anteils vertragen.





13. Fazit und Ausblick

Auf Krones Produktionslinien laufen bereits seit vielen Jahren Anwendungen mit rPET. Die frühesten Referenzprojekte wurden 2003 umgesetzt. Mit einem rPET-Anteil von damals bereits 30 Prozent waren sie ihrer Zeit um gut zwanzig Jahre voraus. Inzwischen ist der Einsatz von rPET relativ weit verbreitet, in den meisten Fällen wurde er von unseren Kunden eigenständig umgesetzt.

Dank der heute verfügbaren Recycling-Technologie, auch aus dem Hause Krones, haben wir Verpackungen mit einem Anteil an Post-Consumer-Rezyklat von bis zu 100 Prozent getestet und in der Praxis auch umgesetzt. Üblich sind 20 bis 60 Prozent. Wir wissen jedoch, dass einige unserer Kunden höhere Anteile verwenden und der Trend deutlich in diese Richtung geht.

Dass das Thema rPET seit einiger Zeit deutlich an Fahrt aufnimmt, können wir nur begrüßen. Denn hochwertige Verpackungsmaterialien wie PET bleiben auch nach ihrer Erstverwendung eine wertvolle Ressource. Sie in einem geschlossenen Kreislauf zu halten, ist nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

Sei es mit Technologie oder Know-how: Sehr gerne unterstützen und beraten wir Unternehmen dabei, die Vorteile der Kreislaufwirtschaft für sich zu nutzen – und gleichzeitig einen wertvollen Beitrag zum Klima- und Ressourcenschutz zu leisten. Einen Überblick über unsere Lösungen und Dienstleistungen rund um zukunftsgerechte Kunststoff-Verpackungen finden Sie auf [krones.com](https://www.krones.com) unter der Rubrik „Kunststoffe und Nachhaltigkeit.“



13. Fazit und Ausblick

Bei weiteren Fragen zum Thema wenden Sie sich gerne an:

Aurelie Börmann

Tel.: +49 9401 70-5282

E-Mail: aurelie.boermann@krones.com

Jochen Forsthövel

Tel.: +49 9401 70-1804

E-Mail: jochen.forsthoewel@krones.com



We do more.

 **KRONES**