



PRODUKTWECHSEL OHNE AROMAVERSCHLEPPUNG?

# Qualitätsanspruch bei hoher Produktvielfalt

Ein Blick in die Supermarktregale verdeutlicht die aktuelle Getränkewelt: Eine bunte Vielfalt an Geschmacksrichtungen, basierend auf aktuellen Trends, Zielgruppen und Jahreszeitenwechsel, beherrschen den Markt. Hohe Flexibilität bei gleichzeitigen hohen Qualitätsansprüchen stehen folglich für Abfüller zukünftig immer stärker im Vordergrund.

Von DR. EVA BEERLE, INES BRADSHAW, MARK REUTER, ANDREA TOMP

Die Produktionszeiten für einzelne Sorten werden kürzer, der Produktwechsel erfolgt häufiger. Infolgedessen steigt das Risiko, dass ein Produkt in das Folgeprodukt verschleppt wird, was insbesondere bei intensiven Aromastoffen eine nicht zu unterschätzende Gefahr darstellt.

Die Folgen von Aromaverschleppung sind neben Produktauschluss, ungewollter Stillstand, zusätzliche Kontrollen und Reklamationen. Im schlimmsten Fall kann es sogar zu Sperrungen und Bußgeld führen. Zur Vermeidung werden große Aufwände in Kauf genommen. Durch angepasste Produktions- und CIP-Pläne können Umrüst- und Reinigungszeiten halbwegs kurzgehalten und die Gefahr der sensorisch wahrnehmbaren Aromaverschleppung reduziert werden. Dies geht oftmals mit einer Einschränkung der Flexibilität einher, denn eine kurzfristige Änderung des Produktionsplanes ist schwierig. Auch bei neuen Sonderprodukten mit unbekanntem Aromastoffen bleibt das Restrisiko einer nicht vermeidbaren Geschmacksverschleppung.

Aufgrund dieser Ausgangssituation hat es sich die Krones AG zusammen mit dem Dichtungshersteller Trelleborg Sealing Solutions zur Aufgabe gemacht, Vorgänge der Aromamigration zu verstehen und somit den Kunden bedarfsgerechte Lösungen zur Umsetzung einer hohen Produktvielfalt zu bieten.

Hierzu wurde im ersten Schritt untersucht, welche Ursachen Aromaverschleppung hervorgerufen können. Eine detaillierte Betrachtung aller relevanten Anlagenkomponenten und -prozesse ergab hierbei folgende Schwerpunkte:

- Abspülverhalten, insbesondere bei Toträumen und Hinterschnitten
- Restverschmutzung in der Anlage
- Produktberührende Oberflächen
- Eingesetzter Werkstoff, insbesondere Dichtungsmaterialien

Somit ergibt sich als erste Herangehensweise, oben aufgeführte Punkte zu betrachten und als potenzielle Ursache für Aromaverschleppung auszuschließen. Hier lassen sich vor allem die Punkte der Reinigung gut erschließen, wohingegen sich das Thema Dichtungsmaterial in allen Untersuchungen als schwerwiegen-

de Ursache von Aromaverschleppung herausstellte. Da Aromastoffe während der Produktion in das weiträumige Netz von elastomeren Dichtungen migrieren können und ebenso, zum Beispiel im nächsten Produktionsschritt, wieder herausgehen, ist hier die primäre Ursache von Geschmacksverschleppung auszumachen. Darüber hinaus zeigte sich sowohl bei Anlagen im Feld als auch bei umfangreichen Laboruntersuchungen, dass eine klassische CIP-Reinigung nicht ausreicht, um die in Dichtungswerkstoffe migrierte Aromastoffe während des CIP-

Prozesses herauszulösen. Der Fokus der Forschungskooperation Krones AG und Trelleborg Sealing Solutions richtete sich daher insbesondere auf die Untersuchung von Dichtungswerkstoffen in Getränkeanlagen mit aromatisierten Produkten und deren Auswirkungen. Ziel war es hierbei, neben den bekannten Anforderungen an Dichtungen, wie der Beständigkeit, das Thema Aromaverschleppung durch Dichtungswerkstoffe zu beleuchten und adäquate Lösungsansätze zu erarbeiten.

### Beständigkeit

Als gängigster Werkstoff wird hierbei in der Lebensmittelbranche häufig auf EPDM zurückgegriffen (siehe Abb. 1).

Insbesondere aufgrund hervorragender Beständigkeit gegenüber vielerlei Medien liegt der Vorteil dieses Elastomers vor allem in der breiten Anwendung, sowie in den Kosten. Da jedoch bekannt ist, dass insbesondere hoch aromatisierte Produkte bei EPDM oftmals Probleme hervorrufen können, wird bei höheren Anforderungen oft auf FKM beziehungsweise in sehr spezifischen Fällen auch auf FFKM zurückgegriffen.



Eigenschaften-Aromastoffe: In Lebensmittel sind eine Reihe unterschiedlicher Aromastoffe enthalten, die aus verschiedenen Stoffklassen stammen. Es handelt sich dabei um Ester, Terpene, Alkohole, Ketone oder Aldehyde mit unterschiedlichem Molekulargewicht, unterschiedlicher Polarität, Größe und Struktur. Charakteristische Sinnesindrücke werden zum Teil bereits durch einen Aromastoff erzeugt, zum Teil aber auch durch ein komplexes Gemisch verschiedener Substanzen. Geschmackschwellen der Aromastoffe liegen im unteren Bereich bis ppm-Bereich. Die Wahrnehmung derartiger Konzentrationen hängt hierbei stark von der einzelnen Person und der vorliegenden Matrix ab.

Bei der heutigen Komplexität von Abfüllanlagen reicht die Betrachtung von einzelnen Messwerten, wie zum Beispiel die Änderung

der Härte oder des Volumens, bei weitem nicht mehr aus, um einen Werkstoff hinsichtlich seiner Eignung in der Endanwendung bewerten zu können. Im ersten Schritt wurde in enger Abstimmung der beiden Labore eine umfassende Testmatrix bezüglich der durchzuführenden Basistests geschaffen, welche die Grundlage für die generelle Eignung eines Dichtungswerkstoffes in der Anwendung darstellt. Im zweiten Schritt wurden weiterführende Messreihen mit unterschiedlichen Parametern und Prüfmethoden definiert, deren Ergebnisse erst eine ganzheitliche Bewertung des Systems ermöglichen.

Getestet wurden drei speziell für diesen Anwendungsfall entwickelte Werkstoffe auf Basis EPDM, FKM und FFKM. Jeder dieser Werkstoffe wurde zunächst in vier typischen CIP-Reinigern der Firma Krones (sauer, basisch, oxidativ, chloralkalisch) bei definierter Temperatur, Konzentration und Zeit kollektiv vorgealtert und anschließend über 1008 Stunden bei hoher Temperatur in einem Simulanz für citrushaltige Softdrinks gelagert. In den Abbildungen 1 bis 4 sind einige Langzeitergebnisse der Grundsatzuntersuchungen dargestellt. Erwartungsgemäß schneidet der Werkstoff auf Basis von FFKM am besten ab, je-

Abb. 1 | Volumenänderung in Prozent nach 1008 Stunden bei hoher Temperatur

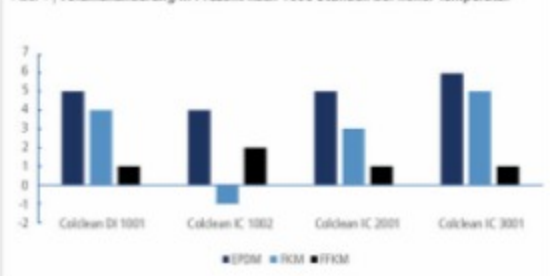


Abb. 2 | Härteänderung in Shore A nach 1008 Stunden bei hoher Temperatur

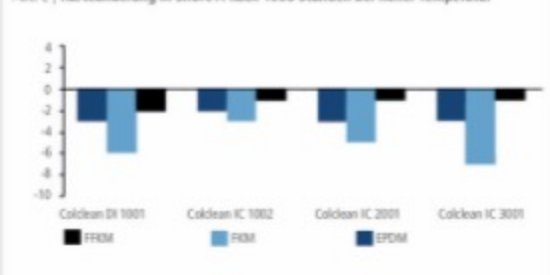


Abb. 3 | Zugfestigkeitsänderung in Prozent nach 1008 Stunden bei hoher Temperatur

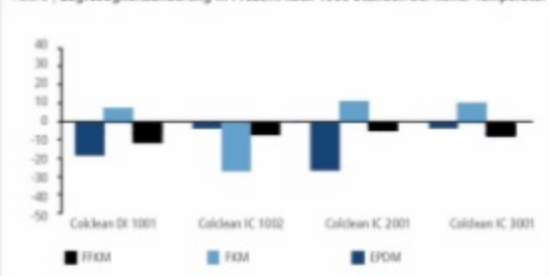
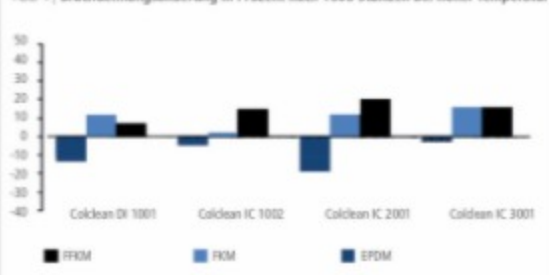


Abb. 4 | Bruchdehnungsänderung in Prozent nach 1008 Stunden bei hoher Temperatur



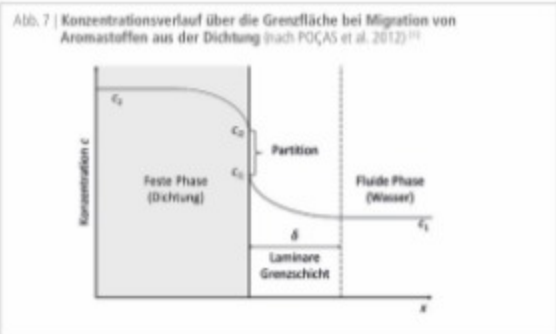


doch konnten auch EPDM und FKM in diesen Langzeittests ohne signifikante Schädigung überzeugen. Ein deutlich kritischeres Bild ergibt sich, wenn die unterschiedlichen Aromen in unverdünntem Zustand geprüft werden. Limonen, eines der Hauptaromen in citrushaltigen Softdrinks, verursachte bei EPDM eine signifikante Volumenzunahme. Weitere Tests folgten in einem Aromamix, welcher vom Labor der Firma Krones entwickelt wurde und aus sorgfältig ausgewählten Einzelaromen besteht (siehe Abb. 5).

Während EPDM in einer Aromakonzentration, wie sie üblicherweise in einem Softdrink vorkommt, gut abschneidet, kann er bei konzentrierten, unpolaren Aromen wie beispielsweise Limonen stark quellen. Im Extremfall, zum Beispiel bei einer Fehldosierung, ist die Quellung so hoch, dass es zum Stillstand der Anlage wegen Dichtungsaustausch kommen kann. Im unverdünnten Aromamix, welcher aus polaren und unpolaren Aromen besteht, zeigen sowohl EPDM als auch FKM deutliche Quellung. Der Werkstoff auf Basis FFKM zeigt sich hingegen völlig unbeeindruckt.

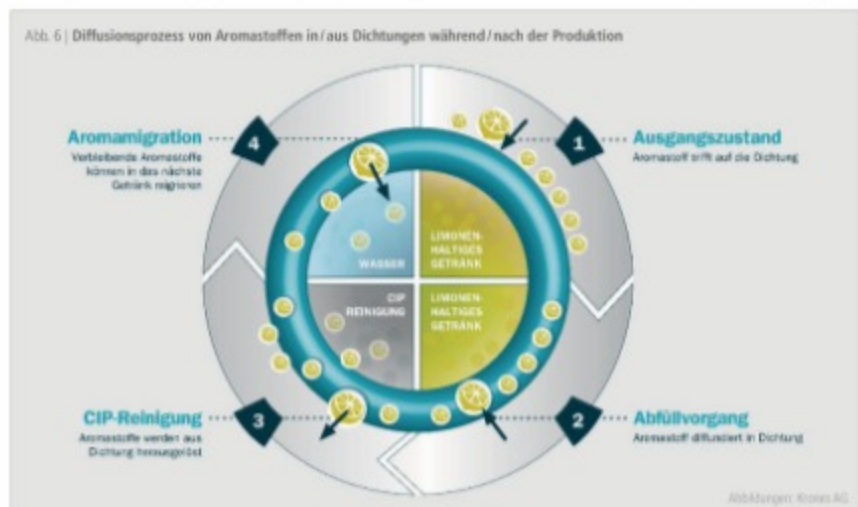
**Aromaverschleppung**

Der Diffusionsprozess von Aromastoffen aus den Dichtungsmaterialien ist in Abbildung 6 dargestellt. Diese Darstellung der Filmtheorie zeigt, dass es sich bei dem Prozess um eine Abfolge mehrerer



erer Prozesse handelt. Die treibende Kraft ist dabei das Konzentrationsgefälle der Aromastoffe zwischen Dichtungsmaterial und der umgebenden Flüssigkeit. Diese molekulare Diffusion kann klassisch über die Fick'schen Gesetze beschrieben werden (siehe Abb. 7).

Zunächst erfolgt die Diffusion der Aromastoffe durch die Dichtung zur Grenzfläche hin. Anschließend werden die Aromastoffe aus der Dichtung gelöst und gehen in die wässrige Phase über. Der letzte Schritt ist der Transport durch die laminaire Grenzschicht, der die Dichtung um-



gibt. Diese laminaire Grenzschicht wird durch die Strömung (und die Viskosität) des umgebenden Mediums bestimmt. Mathematisch wird der Massentransport aus der Dichtung über folgende Formeln beschrieben.<sup>12</sup>

**Diffusion der Aromastoffe in der Dichtung:**

$$j_c = -D_c \cdot \frac{dc_c}{dx}$$

Hier sind

- ▶  $j_c$  der Stoffmengenstrom in der Dichtung,
- ▶  $D_c$  der Fick'sche Diffusionskoeffizient der Aromastoffe in der Dichtung,
- ▶ und  $c_c$  beziehungsweise  $c_c$  die Aromastoffkonzentration in der Dichtung beziehungsweise an der Grenzfläche der Dichtung.

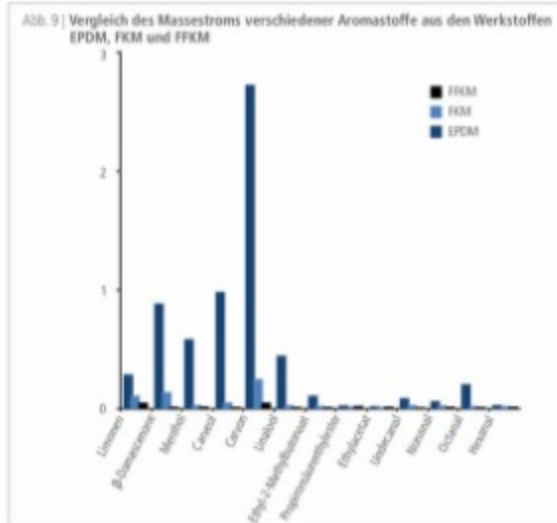
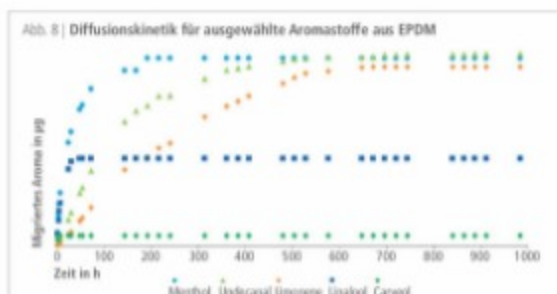
**Übergang in die flüssige Phase und Transport durch die laminaire Grenzschicht:**

$$j = -\frac{D}{\delta} \cdot (c_1 - c_2) = \beta \cdot (c_1 - c_2) = \beta \cdot \left( \frac{c_c}{K} - c_c \right)$$

Hierbei sind

- ▶  $j$  der Stoffstrom in der flüssigen Phase,
- ▶  $D$  der Diffusionskoeffizient der Aromastoffe in der laminairen Grenzschicht,
- ▶  $\delta$  die Dicke der laminairen Grenzschicht.
- ▶  $D_c$  und  $\delta$  werden als  $\beta$ , dem Transportwiderstand über die laminaire Grenzschicht zusammengefasst.
- ▶  $c_1$  und  $c_2$  sind die Konzentration der Aromastoffe an der Grenzfläche der fluiden Phase beziehungsweise dem umgebenden Medium,
- ▶  $K$  der Partitionskoeffizient und
- ▶  $c_c$  die Konzentration des Aromastoffs an der Grenzfläche der Dichtung.

Mit dem Wissen der Einflussgrößen dieses Prozesses wird die Voraussetzung geschaffen, Aromamigration zu verringern oder sogar zu vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden umfangreiche Versuchsreihen, die den Einfluss der Aroma-



stoffe, Dichtungswerkstoffe, Prozessparameter und Reinigungsverfahren betrachten, durchgeführt. Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

Die Migration verschiedener Aromastoffe aus EPDM über die Zeit zeigt, dass es sich hierbei um einen sehr langsamen Prozess handelt. Terpene wie Limonen migrieren erst nach 600 Stunden nicht mehr aus der Dichtung. Klassische Reinigungsverfahren sind hierbei nicht ausreichend, so dass auch nach einer CIP-Reinigung fast unverändert Aroma aus den Dichtungen migriert (siehe Abb. 8).

Aus Diffusionskurven (wie in Abbildung acht) kann der Massenstrom der Aromastoffe aus den Dichtungen ermittelt werden. Diese Werte erlauben einen einfachen Vergleich der Aromamigration für verschiedene Aromastoffe und Dichtungswerkstoffe (siehe Abb. 9).

Da die Untersuchung einzelner Aromastoffe zwar einen quantitativen Vergleich der Einflussfaktoren ermöglicht, jedoch keinen Hinweis auf die subjektive Wahrnehmung der Aromaverschleppung liefert, wurden für die abschließende Bewertung der Werkstoffe Verkostungsreihen durchgeführt. Hierzu wurden unterschiedliche Dichtungsmaterialien durch Einlegen in Getränke beladen. Anschließend wurden die Dichtungen kurz gereinigt und für eine definierte Zeit in Wasser eingelegt. Im Anschluss wurde in den Verkostungsreihen dieser

**Quellen:**

- <sup>11</sup> POČAS, M. T., ČERNÝ, J. C., ŠTANĚK, K. B. HOŠT, T. (2012) Analysis of mathematical models to describe the migration of additives from packaging plastic to foods. – Journal of Food Process Engineering 35 (4): 457–470.
- <sup>12</sup> CORRE, N., CLAYTON, C., GARDNER, T., SMAY, G. B. WOLFE, A. (2008) Measurement of transport phenomena of plastic compounds. A review. – Food Research International 41 (6): 949–954.
- CORRE, N. (2011) Diffusion. Mass transfer in food systems, 3. ed., 4. printing. – Cambridge Univ. Press, Cambridge, 451 pp.



## ROH- UND INHALTSSTOFFE | Aromaverschleppung

Wasserproben die Aromaverschleppung bewertet. Beispielhaft sind die Ergebnisse der Verkostungen eines Softdrinks sowie eines aromatisierten Wassers in Abbildung zehn dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei EPDM immer ein signifikanter Unterschied zu Wasser wahrnehmbar ist. Bei FKM konnte nur bei einzelnen Getränken ein Unterschied zu Wasser wahrgenommen werden, während FFKM immer unauffällig war (siehe Abb. 10).

Diese Ergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass durch die Auswahl eines geeigneten Dichtungswerkstoffes die Aromaverschleppung deutlich reduziert werden kann.

### Zusammenführung und Fazit

Mit dem Wissen hinsichtlich Beständigkeit, sowie den chemischen und physikalischen Ablaufvorgängen der Aromadiffusion, schafft Krones zusammen mit Trelleborg Sealing Solutions die Grundvoraussetzung für eine passende Werkstoffauswahl. Mit dem aktuellen Stand der Technik kann hierzu neben den Standardwerkstoffen auf Hochleistungs-



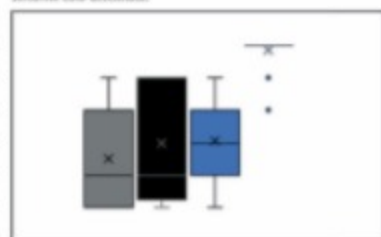
Abbildungen: Krones AG

elastomere zurückgegriffen werden, insbesondere wenn der Kompromiss aus Beständigkeit und geringer Aromaverschleppung gefunden werden muss. Die Tatsache, dass bei jeder

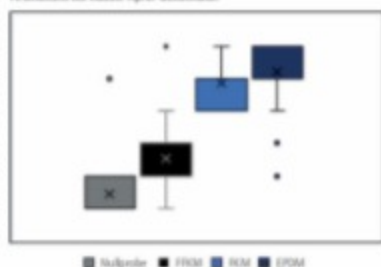
noch so guten technischen Lösung auch der finanzielle Aspekt bei der Auslegung stimmen muss, wird hierbei zudem nicht außer Acht gelassen.

Abb. 10 | Ergebnisse der Verkostungsreihen des aus den Dichtungswerkstoffen migrierten Aromas

Selbstk Cola-Geschmack:



Aromatisiertes Wasser Apfel-Geschmack:



### Ausblick

Die gemeine Grundlagenforschung zeigt, dass eine beachtliche Reihe an unterschiedlichsten Produkten mit bereits heute verfügbaren und aufeinander abgestimmten Kombinationen aus Abfülltechnologie und Dichtungswerkstoff sicher beherrscht werden kann.

Allerdings stellen speziell neue, moderne Produkte, deren hohe Geschmacksintensität auf Grund starker Aromatisierung erzielt wird, den Abfüller insbesondere bei Produktwechsel vor neue Herausforderungen. Eine technische Lösung ist in Form der holist® FFKM-Produktfamilie von Trelleborg Sealing Solutions gegeben und kann in bestimmten Anwendungen eine sinnvolle Alternative zu Standard-Dichtungswerkstoffen sein.

Jedoch besteht durchaus noch Raum für eine Weiterentwicklung der bestehenden Werkstoffe. Für derartige Anwendungszwecke soll dem Endanwender zukünftig eine maßgeschneiderte Lösung im Hinblick auf Performance und Wirtschaftlichkeit geboten werden. Die Grundlagen hierfür wurden geschaffen.

Mehr Informationen

[www.krones.com](http://www.krones.com)