

DLG-Expertenwissen 10/2016

## Funktionelle Barrieren gegen Mineralöl aus Papier- und Kartonverpackungen



## Einleitung

Mineralölkomponenten aus Papier- und Kartonverpackungen sind in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus der Überwachungsbehörden gerückt. Es handelt sich hierbei um gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, welche als MOSH und MOAH bezeichnet werden. Die ungesättigten Substanzen (MOAH) werden als mutagen und mit karzinogenem Potenzial eingeschätzt. Die Migration von solchen Substanzen aus Verpackungen auf Lebensmittel sollte so weit wie möglich reduziert werden. Bei der Frage, wie der Übergang von Mineralölbestandteilen aus Kartonverpackungen auf Lebensmittel zu minimieren ist, verweist das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) darauf, dass der Übergang von Mineralölbestandteilen nicht nur durch ihren Gehalt im Verpackungsmaterial, sondern auch durch die Lagerbedingungen und die Art des Lebensmittels beeinflusst wird.



*Der Übergang von Mineralölbestandteilen wird nicht nur durch ihren Gehalt im Verpackungsmaterial, sondern auch durch die Lagerbedingungen und die Art des Lebensmittels beeinflusst.*

„Er kann durch den Einsatz von Frischfaserkartons, die Verwendung von mineralölfreien Druckfarben bzw. durch die Einbeziehung von funktionellen Barrieren in den Verpackungsaufbau verhindert werden. Dabei muss nicht nur die direkte Lebensmittelverpackung betrachtet werden, sondern auch die Möglichkeit des Übergangs aus Umverpackungen“ [1]. Nach dem 3. Entwurf der Mineralölverordnung sind spezifische Migrationsgrenzwerte von 2 mg/kg für MOSH beziehungsweise 0.5 mg/kg für MOAH geplant [2].

Funktionelle Barrieren sind nicht alle gleich wirksam. Innenverpackungen aus Papier oder Polyolefinen verzögern die Migration (Durchbruchzeit), unterbinden sie jedoch nicht. Aluminium-, Polyethylenterephthalat- (PET) oder Polyamid- (PA) Sperrschichten gelten dagegen als migrationsdichte Barrieren, die den Übergang der MOSH/MOAH fast vollständig verhindern [3, 4]. Die Fähigkeit, das Ausmaß der Mineralölmigration vorherzusagen, ist für die Auswahl geeigneter Verpackungsmaterialien zur Minimierung der Mineralölmigration essentiell. Bereits 2011 wurden Permeationsmessungen zur Prüfung der Funktionalität von Barrierschichten vorgeschlagen [3]. Das Kantonale Labor Zürich hat ebenfalls Konzepte zur Prüfung der Funktionalität von Barrierschichten und Adsorbermaterialien entwickelt [4].

## Einflussparameter auf die Permeation durch eine funktionelle Barriere

Die Permeation einer Substanz durch eine funktionelle Barriere wird durch viele Parameter beeinflusst. Zunächst ist die Konzentration des Permeanten im kontaminierten Karton bzw. in der Gasphase entscheidend. Je höher diese Konzentration ist, desto höher ist auch die Permeationsrate des Permeanten durch die funktionelle Barriere. Weiterhin sind zwei Verteilungsgleichgewichte entscheidend. Zum einen das Gleichgewicht zwischen der Gasphase über dem Karton und der funktionellen Barriere ( $K_{g/b}$ ) und zum anderen das Gleichgewicht zwischen der Barriere und dem Lebensmittel ( $K_{b/l}$ ). Die Gleichgewichtskonstante  $K_{g/b}$  ist eine Materialkonstante für ein gegebenes Paar an Barriere/Permeant bei einer konkreten Temperatur.  $K_{g/b}$  wird hauptsächlich durch die Polaritäten des Polymers und des Permeanten bestimmt. Die Gleichgewichtskonstante zwischen Barriere und Lebensmittel ( $K_{b/l}$ ) spielt bei guten funktionellen Barrieren kaum eine Rolle, da das Gleichgewicht zwischen Barriere und Lebensmittel innerhalb der Lagerzeit meist nicht erreicht wird.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Dicke ( $l$ ) der Sperrschicht. Je größer die Schichtdicke, desto länger ist auch die Durchbruchzeit (lag time) des Permeanten durch die funktionelle Barriere. Nicht zuletzt übt die Temperatur einen großen Einfluss aus. Je höher die Temperatur, desto höher ist auch die Permeationsrate. Der wichtigste Einflussparameter bei

der Bewertung von Mineralölbarrieren ist jedoch der Diffusionskoeffizient ( $D_p$ ) des Permeanten in der Barriere-schicht. Der Diffusionskoeffizient ist ebenfalls eine Materialkonstante für ein gegebenes Paar an Polymer und Permeant bei einer konkreten Temperatur.

Die Permeation durch eine funktionelle Barriere ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Da es sich bei MOSH und MOAH um Stoffgemische handelt, ist die Vorhersage der Permeation komplex. Der Stofftransport in das Lebensmittel erfolgt in erster Linie über den Transport in der Gasphase und die Rekondensation auf dem Lebensmittel. Dabei ist sie beschränkt auf Mineralölkomponenten mit einem gewissen Dampfdruck (Kohlenwasserstoffe <C25). Je nach Art des Verpackungsmaterials und des Lebensmittels, können im Falle eines direkten

Kontakts zwischen Verpackung und Füllgut aber auch höhersiedende Mineralölkomponenten in das Lebensmittel übergehen.

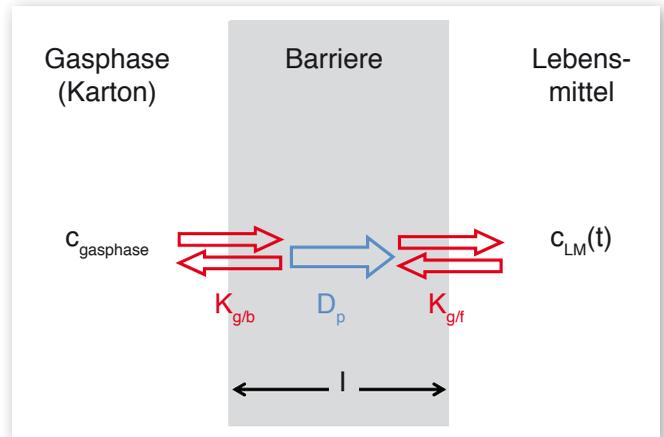


Abbildung 1: Schematische Darstellung der wichtigsten Einflussparameter auf die Permeation durch eine funktionelle Barriere.

## Verfahren zur Bestimmung der Eigenschaften einer funktionellen Barriere

Die Eigenschaften einer funktionellen Barriere können über folgende Verfahren bestimmt werden [5]:

- Migrationstests
- Permeationstests mit statischem Akzeptor
- Permeationstests mit dynamischem Akzeptor
- „Lag-time“-Experimente

### Der Migrationstest

Der Migrationstest ist das einfachste Experiment zur Bestimmung der Qualität einer funktionellen Barriere. Es wird in der Regel mit der realen Verpackung durchgeführt. Die Migrationsprüfung erfolgt entweder mit dem realen Lebensmittel oder mit einem Lebensmittelsimulanz wie beispielsweise Tenax<sup>®</sup>. Das Migrationsexperiment hat normalerweise keinen „worst-case“ Charakter und die Konzentrationen der Kontaminanten im Karton sind realistisch. Lediglich die Lagerung erfolgt bei erhöhter Temperatur, um den Testzeitraum zu verkürzen. Ein Migrationstest liefert eine Momentaufnahme einer Verpackung mit dem darin enthaltenen Lebensmittel unter den angewandten Kontaktbedingungen. Das Ergebnis eines Migrationstests ist die Menge an Kontaminanten, welche pro Verpackungsfläche in das Lebensmittel übergegangen ist (in mg pro dm<sup>2</sup>). Ein typisches Beispiel einer solchen Migrationsprüfung wurde kürzlich publiziert [6].

### Der Permeationstest

Bei einem Permeationstest wird die Eigenschaft einer funktionellen Barriere nahezu unabhängig vom Lebensmittel bestimmt. Es werden in der Regel erhöhte („worst-case“) Konzentrationen verwendet. Prinzipiell kann hier der Karton entweder mit Mineralöl [7] oder mit Modellsubstanzen [3] dotiert werden, welche die Mineralöl- oder andere Kartonkontaminanten repräsentieren. Die Verwendung von Mineralöl hat jedoch den entscheidenden Nachteil, dass der Mineralölberg analytisch nicht in Einzelsubstanzen aufgetrennt werden kann. Die funktionelle Barriere kann daher nur als Summenparameter bestimmt werden. Problematisch ist hierbei, dass kleine Substanzen deutlich schneller permeieren als große Moleküle. Der Mineralölberg verschiebt sich daher mit zunehmender Zeit hin zu höheren Retentionszeiten, was eine quantitative Bestimmung erschwert. Es hat sich daher bewährt, anstatt eines Mineralölgemischs eine Reihe von Modellsubstanzen mit analytisch gut auftrennbaren und scharfen Substanzpeaks für Permeationsexperimente zu verwenden. Dadurch werden auch deutlich geringere Nachweisgrenzen erreicht, was die quantitative Bestimmung der Barriereigenschaften von guten Sperrschichten ermöglicht. Die Modellsubstanzen sind so gewählt, dass sie den gesamten relevanten Bereich an Molekulargewichten (bzw. Flüchtigkeiten) abdecken. Bei einem Permeationstest gibt es zwei unterschiedliche Varien-

ten: Der Akzeptor ist statisch oder dynamisch. Bei beiden Permeationstests ist nachteilig, dass die Permeation von der Konzentration der Permeanten abhängig ist. Dies bedeutet, dass die gemessene Permeation von den experimentellen Randbedingungen abhängig ist. Wird beispielsweise die Konzentration der Substanzen im dotierten Karton halbiert, so halbiert sich auch die Permeation bzw. die Permeationsrate. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Permeation bereits während des Bestückens und Aufheizens der Permeationszellen startet. Der Startpunkt der Permeation ist dadurch nicht definiert und es kann keine Durchbruchzeit (lag time) bestimmt werden. Die „lag time“ ist jedoch ein entscheidender Parameter für die Bewertung einer funktionellen Barriere.

### Permeationstest mit statischem Akzeptor

Bei diesem Permeationstest befindet sich die funktionelle Barriere zwischen einem dotierten Reservoir und einem Akzeptormaterial. Die gesamte permeierte Menge wird auf dem Akzeptormaterial aufgefangen. In regelmäßigen Intervallen wird eine kleine Menge des Akzeptormaterials entnommen und auf den Gehalt an Permeanten untersucht. Über die zeitliche Zunahme der Permeanten kann eine Permeationskinetik erstellt werden [3, 8, 9]. Der eigentliche Messwert ist die kumulierte Menge an Permeanten pro Verpackungsfläche (in mg/dm<sup>2</sup>). Beim Permeationstest mit statischem Akzeptor stellen sich zwei Verteilungsgleichgewichte ein. Zum einen zwischen dem dotierten Karton bzw. der Gasphase darüber und dem Barrierematerial ( $K_{g/b}$ ) und zum anderen zwischen der Barriere und dem Akzeptor ( $K_{b/r}$ ). Letzteres hängt vom Akzeptormaterial ab (z. B. Silikon-Papier, Polyethylenfolie oder einfach ein Filterpapier) und ist nicht notwendigerweise genauso groß wie bei einem Lebensmittel.

### Permeationstest mit dynamischem Akzeptor

Bei diesem Permeationstest ersetzt ein kontinuierlicher Gasstrom das Akzeptormaterial. Der Gasstrom nimmt die permeierte Menge mit sich und fängt diese auf einer stark gekühlten analytischen Falle auf. In kurzen Abständen wird die analytische Falle schnell desorbiert und direkt in den Gaschromatografen injiziert. Als Ergebnis liefert diese Methode die Permeationsrate, also die permeierte Menge pro Zeit und Verpackungsfläche (in  $\mu\text{g/d dm}^2$ ). Im Vergleich zur Methode mit statischem Akzeptor wird hier also nicht die kumulierte Menge an Permeanten detektiert, sondern die Menge pro Messintervall. Dies hat den Vorteil, dass damit sehr einfach festgestellt werden kann, wann der stationäre Zustand erreicht ist. Die permeierte Menge pro Messintervall (bzw. die Permeationsraten) sind dann konstant [3]. Beim Permeationstest mit dynamischem Akzeptor stellt sich auch kein Gleichgewicht zwischen dem Barrierematerial und dem Akzeptor ein. Der Verteilungskoeffizient zwischen der Barriere und dem Akzeptor ( $K_{b/r}$ ) kann daher vernachlässigt werden.

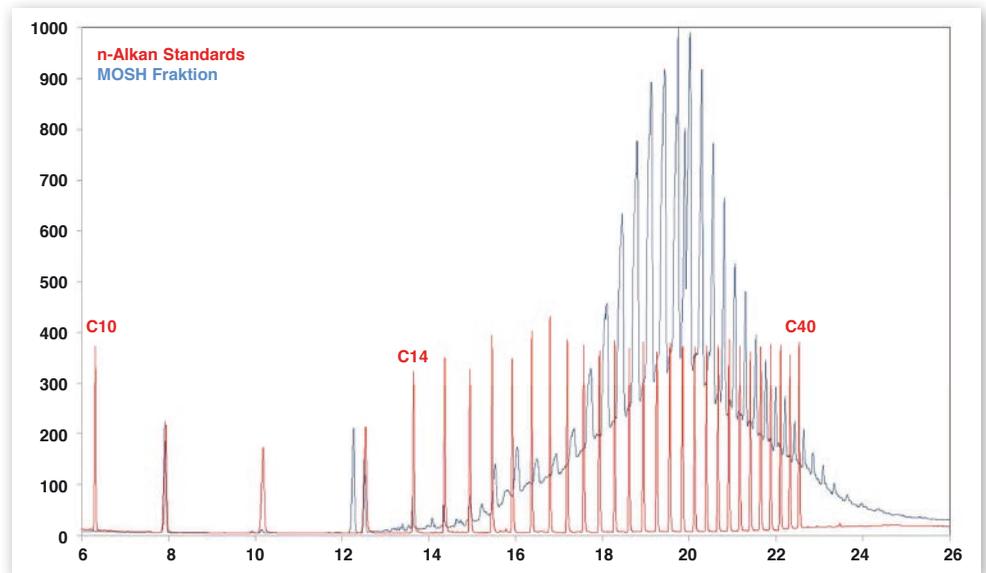
### Das „lag time“-Experiment

Das „lag time“-Experiment ist eine Weiterführung des Permeationstests mit dynamischem Akzeptor. Der apparative Aufbau ist nahezu derselbe, es wird jedoch nicht mit dotiertem Karton gearbeitet, sondern mit einer konstanten Konzentration in der Gasphase. Dadurch kann das komplette System aufgebaut und bei der Messtemperatur konditioniert werden. An einem definierten Zeitpunkt wird dann die Messung entweder durch Umstellen auf einen dotierten Gasstrom oder durch Injektion der Permeanten durch ein Septum gestartet. Dadurch liegt der Startpunkt der Permeation genau fest und es kann die Durchbruchzeit bestimmt werden. Aus der Durchbruchzeit kann dann der Diffusionskoeffizient  $D_p$  bestimmt werden [10]. Weiterhin kann aus der Steigung der Permeationskurve über die Zeit der Verteilungskoeffizient  $K_{g/b}$  bestimmt werden. Da es sich sowohl bei  $D_p$ , als auch bei  $K_{g/b}$ , um Materialkonstanten handelt, die nicht mehr von der Konzentration der verwendeten Substanzen abhängig sind, kann die Konzentration der Permeanten in einem optimalen Konzentrationsbereich eingestellt werden. Der eigentliche Messwert ist bei einem „lag time“-Experiment, wie beim Permeationstest mit dynamischem Akzeptor, die Permeationsrate.

### Bewertung der funktionellen Barriere

Zunächst sollte angemerkt werden, dass weder die ermittelte „lag time“, noch die ermittelte Permeationsrate eine generelle Aussagekraft haben. Eine kurze Durchbruchzeit (hoher Diffusionskoeffizient) kombiniert mit einer sehr kleinen Permeationsrate (günstiger Verteilungskoeffizient) liefert trotz des schnellen Durchbruchs eine passable Barriere, weil ja letztlich die Konzentration im Lebensmittel entscheidend ist. Auf der anderen Seite kann bei einer langen Durchbruchzeit

Abbildung 2:  
 Beispiel für die  
 Segmentierung des  
 gemessenen MOSH  
 Mineralölberges  
 (blau) mittels  
 Modellsubstanzen  
 (rot, Alkane  
 C10-C40)



(niedriger Diffusionskoeffizient) trotzdem der Grenzwert für die Permeation überschritten werden, wenn nach dem Durchbruch die Permeationsrate (ungünstiger Verteilungskoeffizient) entsprechend hoch ist. Für die Bewertung einer funktionellen Barriere sind also der Diffusionskoeffizient ( $D_p$ ) und der Verteilungskoeffizient zwischen Gasphase und der funktionellen Barriere ( $K_{g/b}$ ) entscheidend.

Problematisch bei der Bewertung einer funktionellen Barriere ist zudem, dass es sich bei Mineralölkontaminanten um komplexe Mischungen handelt, welche experimentell nicht in Einzelsubstanzen aufgetrennt werden können. Eine Bestimmung von Permeationsraten, Diffusions- oder Verteilungskoeffizienten ist daher prinzipiell nicht möglich. Ein möglicher Ausweg liegt in der Segmentierung des Mineralölberges. Hierzu wird der Mineralölberg mit einzelnen Modellsubstanzen, wie beispielsweise Alkanen, überlagert und jeweils deren Permeationsraten, Diffusions- oder Verteilungskoeffizienten bestimmt. Die experimentell bestimmten Diffusionsdaten der jeweils vorherigen Modellsubstanz werden für die Summe der nachfolgenden unaufgelösten Mineralölsubstanzen genutzt (Abbildung 2). Mithilfe dieser Segmentierung kann eine Beschreibung des Permeationsverhaltens eines komplexen Stoffgemisches erfolgen.

### Bewertungskriterium 1 % Durchbruch

Ein einfaches Bewertungskriterium ist die prozentuale Menge, welche durch eine funktionelle Barriere permeiert [4]. Es wird hierbei die Permeation in Prozent der verfügbaren (dotierten) Menge im Karton angegeben. Als maximale Permeation wurde ein Übergang von maximal 1 % der verfügbaren Menge an Mineralöl im Karton festgelegt. Durch die experimentellen Prüfungen wird demnach die Lagerzeit bestimmt, bei der ein Durchbruch von 1% der dotierten Menge des Kontaminanten erfolgt. Bei der Festlegung dieses Kriteriums wird davon ausgegangen, dass das typische Massenverhältnis zwischen Karton und Lebensmittel etwa 1: 10 ist. Die gesamte Menge eines (Modell-)Kontaminanten geht in das Lebensmittel über. Wird eine Konzentration von  $10 \mu\text{g}$  eines Permeanten pro kg im Lebensmittel als unkritisch angenommen, dann darf somit maximal  $0,1 \text{ mg/kg}$  Mineralöl im Karton sein. Falls eine funktionelle Barriere unter gegebenen Lagerbedingungen nun lediglich 1 % der Gesamtmenge an Kontaminanten hindurchlässt, darf die maximale Konzentration im Karton nun also  $10 \text{ mg/kg}$  betragen. Der Vorteil dieser Bewertungsmethode ist, dass die Konzentration im Karton als Kontrollparameter verwendet werden kann. Das Ziel ist daher, dass die Konzentration der Kontaminanten unterhalb von  $10 \text{ mg/kg}$  bleibt. Die Bewertung gilt allerdings nur für die angewandten Prüfbedingungen. Die Ergebnisse können jedoch mit Hilfe der Arrhenius-Gleichung auf anderen Temperaturen umgerechnet werden.

### Bewertung aus der Permeationsrate unter Vernachlässigung der Durchbruchzeit

Eine weitere einfache Bewertungsmethode basiert auf experimentell bestimmten Permeationsraten [11] und verwendet die spezifischen Migrationsgrenzwerte, zum Beispiel  $2 \text{ mg/kg}$  MOSH oder  $0,5 \text{ mg/kg}$  MOAH [2]. Bei dieser Bewertungs-

Verbindung	Modellkomponente für	b.p. [°C]	Permeationsrate [ $\mu\text{g/d dm}^2$ ]					
			BOPP 20 $\mu\text{m}$	BOPP 20 $\mu\text{m}$ metallisiert	EVOH 20 $\mu\text{m}$	Acryl 31 $\mu\text{m}$	PVDC/Acryl 25 $\mu\text{m}$	BOPET 12 $\mu\text{m}$
Dodecan	MOSH	216	4900	1640	0,02	1,43	1,51	0,010
Naphthalin	MOAH	218	693	395	0,009	0,44	0,39	0,010
1-Methylnaphthalin	MOAH	243	1590	808	<0,006	0,98	0,79	<0,006
Tetradecan	MOSH	254	1390	1250	0,014	3,90	4,05	0,008
1-Ethyl-naphthalin	MOAH	260	1000	690	<0,006	1,90	1,57	<0,006
2,7-Di-isopropyl-naphthalin	MOAH	279	88,0	79,5	<0,006	1,30	1,45	<0,006
TXIB	Photoinitiatoren	280	244	103	<0,009	0,25	0,26	0,015
Hexadecan	MOSH	287	238	275	0,008	3,85	6,14	<0,006
Benzophenon	Photoinitiatoren	305	68,0	76,5	0,008	0,21	0,26	<0,007
Octadecan	MOSH	317	33,0	31,5	0,010	2,61	4,02	0,009
4-Methylbenzophenon	Photoinitiatoren	326	22,0	22,5	0,017	1,27	0,59	0,017
Phenanthren	MOAH	336	32,0	31,5	<0,006	1,37	1,00	<0,006
Eicosan	MOSH	343	5,51	4,95	<0,006	0,76	1,17	<0,006
Docosan	MOSH	369	1,02	0,90	<0,007	0,11	0,11	<0,007
Tetracosan	MOSH	391	<0,03	<0,03	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

Tabelle 1: Experimentell bestimmte Permeationsraten bei 40 °C [11]

methode wird angenommen, dass die Permeation von der ersten Minute an mit einer konstanten Permeationsrate (keine „lag time“) stattfindet. Dies hat eine Überschätzung der Permeation zur Folge. Wenn die Permeationsrate für einen Permeanten und eine Barriere bekannt ist, kann der Zeitpunkt zum Erreichen des spezifischen Migrationsgrenzwertes  $t_{\text{SML}}$  nach folgender Gleichung berechnet werden. Aber auch hier gilt die Bewertung nur für die angewandten Prüfbedingungen.

$$\text{Gleichung 1: } t_{\text{SML}} = \frac{\text{SML} \cdot m_{\text{LM}}}{P \cdot A}$$

- $t_{\text{SML}}$ : Zeit zum Erreichen des SML (in Tagen)  
 SML: Spezifischer Migrationsgrenzwert (in  $\mu\text{g/kg}$  Lebensmittel)  
 $m_{\text{LM}}$ : Masse des Lebensmittels (in kg)  
 P: Permeationsrate (experimentell bestimmt in  $\mu\text{g/d dm}^2$ )  
 A: Kontaktfläche des Verpackungsmaterials (in  $\text{dm}^2$ )

### Bewertung über Diffusions- und Verteilungskoeffizient

Aus experimentell bestimmten Diffusionskoeffizienten und Verteilungskoeffizienten kann die Permeation eines Kontaminanten in ein Lebensmittel unmittelbar berechnet werden. Da sowohl der Diffusionskoeffizient, als auch der Verteilungskoeffizient bei einer gegebenen Temperatur, Materialkonstanten darstellt, können diese Parameter einmalig für ein Barrierepolymer bestimmt werden. Danach lässt sich die Permeation für alle möglichen Barrieredicken und Verpackungsgeometrien berechnen. Je genauer die Diffusions- und Verteilungskoeffizienten bestimmt wurden, desto genauer kann die Vorhersage erfolgen. Da bei diesem System kein „worst-case“-Szenario angewandt wird, sollte ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor in die Berechnung einfließen. Es können kürzere Lagerzeiten (Mindesthaltbarkeit) als die berechneten angewandt werden oder es kann bei der Berechnung der Diffusionskoeffizient etwas erhöht werden. Für messtechnisch nicht mehr erfassbare Substanzen können Diffusionskoeffizienten aus dem Molekülvolumen abgeschätzt werden [10].

### Schlussfolgerungen

Das Ausmaß der Mineralölpermeation durch eine funktionelle Barriere vorherzusagen ist für die Auswahl geeigneter Verpackungsmaterialien essentiell. Migrations- und Permeationsexperimente können jedoch nur begrenzt zu einer allgemein

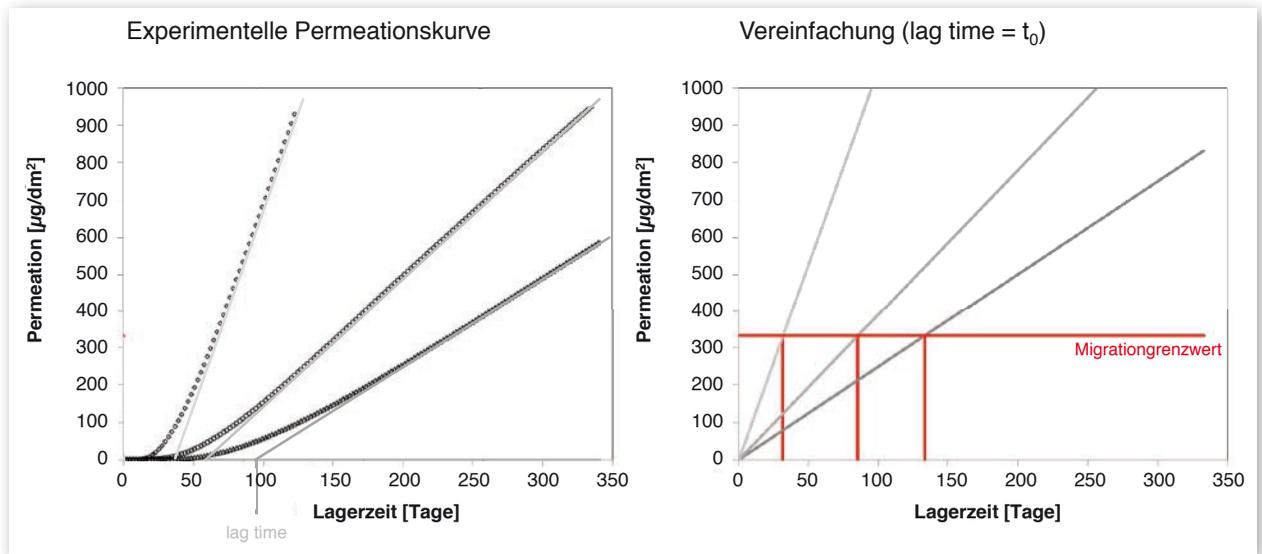


Abbildung 3: Vereinfachte Bewertung. Links: Experimentelle Daten und „lag time“. Rechts: „Worst-case“ Vereinfachung mit gleichmäßiger Permeationsrate ab  $t_0$  ohne Berücksichtigung der „lag time“.

gültigen Bewertung der Eigenschaften einer Barriere herangezogen werden, weil die Ergebnisse von den angewandten Randbedingungen (Konzentration der Modellsubstanzen, Temperatur, Verpackungsfläche) abhängen. Dies schränkt die Aussagekraft der Bewertung von funktionellen Barrieren ein und macht Vergleiche zwischen den Ergebnissen verschiedener Labore schwierig. Die beim „lag time“-Experiment gewonnenen Materialkonstanten - Diffusions- und Verteilungskoeffizienten - ermöglichen dagegen, die Eigenschaften einer funktionellen Barriere durch eine rechnerische Bewertung umfassend zu beschreiben. Für reale Verpackungsszenarien kann der Belastungsgrenzwert von Lebensmitteln mit Mineralölkomponenten nach einer bestimmten Zeit auf Basis der Ausgangsbedingungen, wie zum Beispiel die Ausgangskontamination der Verpackung, die Art der Verpackung, Lagerzeit und -temperaturen, vorhergesagt werden.

Die ideale Barriere gegenüber Mineralölkomponenten ist ein polares Polymer (günstiger Verteilungskoeffizient) mit hoher Dichte (geringes Auftragsgewicht) und niedrigem Diffusionskoeffizienten (lange „lag time“). In der Praxis ist diese ideale Mineralölbarriere sowohl technisch, als auch ökonomisch nicht immer realisierbar.

## Literatur

- [1] Fragen und Antworten zu Mineralölbestandteilen in Schokolade aus Adventskalendern und anderen Lebensmitteln. Aktualisierte FAQ des BfR vom 26. November 2015 (Online unter [http://www.bfr.bund.de/de/fragen\\_und\\_antworten\\_zu\\_mineraloelbestandteilen\\_in\\_schokolade\\_aus\\_adventskalendern\\_und\\_anderen\\_lebensmitteln-132213.html](http://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_mineraloelbestandteilen_in_schokolade_aus_adventskalendern_und_anderen_lebensmitteln-132213.html))
- [2] BMEL Entwurf Stand: 24.07.2014: Zweiundzwanzigste Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung
- [3] Ewender, J., Franz, R., Welle, F., Permeation of mineral oil components from cardboard packaging materials through polymer films. *Packaging Technology and Science* 2013, 26, 423-434.
- [4] Schweizerisches Verpackungsinstitut SVI, SVI Guideline 2015.01 „Überprüfung und Bewertung der Barrierewirksamkeit von Innenbeuteln für Lebensmittelverpackungen in Recyclingkarton“. 2015.
- [5] Diehl, H., Welle, F., How to determine functional barrier performance towards mineral oil contaminants from recycled cardboard. *Food Packaging and Shelf Life* 2015, 5, 41-49.
- [6] Guazzotti, V., Limbo, S., Piergiovanni, L., Fengler, R., Fiedler, D., Gruber, L., A study into the potential barrier properties against mineral oils of starch-based coatings on paperboard for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life* 2015, 3, 10.

- [7] Fiselier, K., Grob, K., Barriers against the migration of mineral oil from paperboard food packaging: Experimental determination of breakthrough periods. *Packaging Technology and Science* 2012, 25, 285-301.
- [8] O'Connor, G., Hudson, N., Buckley, S., Mineral oil barrier testing of cellulose-based and polypropylene-based films. *Packaging Technology and Science* 2015, 28, 75-89.
- [9] Biedermann-Brem, S., Biedermann, M., Grob, K., Required barrier efficiency of internal bags against the migration from recycled paperboard packaging into food: A benchmark. *Food Additives and Contaminants: Part A* 2016, 33, 725-740.
- [10] Ewender, J., Welle, F., Determination and prediction of the lag times of hydrocarbons through a polyethylene terephthalate film. *Packaging Technology and Science* 2014, 27, 963-974.
- [11] Ewender, J., Langowski, H.-C., Welle, F., Functional barriers towards mineral oil contaminants - Evaluation of alternatives to PET and PA. *Verpackungs-Rundschau, Technisch-wissenschaftliche Beilage*, 2015, 50-51.

## Autoren

Johann Ewender, Romy Fengler, Roland Franz, Ludwig Gruber, Frank Welle,  
Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung,  
Giggenhauser Straße 35, 85354 Freising, Welle@ivv.fraunhofer.de

## Kontakt:

Dr.-Ing. Annette Schmelzle, DLG-Fachzentrum Lebensmittel, A.Schmelzle@DLG.org  
In Zusammenarbeit mit dem DLG-Ausschuss für Lebensmitteltechnologie.

© 2016

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung. Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main.

## DLG-Expertenwissen: Kompakte Informationen zu aktuellen Themen der Lebensmittelbranche

Expertenwissen, Trends und Strategien aus erster Hand. In zahlreichen Publikationen informiert die DLG regelmäßig über aktuelle Themen und Entwicklungen in den Bereichen Lebensmitteltechnologie, Qualitätsmanagement, Sensorik und Lebensmittelqualität.

In der Reihe „DLG-Expertenwissen“ greifen Experten aktuelle Fragestellungen auf und geben kompakte Informationen und Hilfestellungen.

Die einzelnen Ausgaben der DLG-Expertenwissen stehen als Download zur Verfügung unter: [www.DLG.org/Publikationen.html](http://www.DLG.org/Publikationen.html).

Weitere Informationen zu den DLG-Expertenwissen: DLG e.V., Marketing, Guido Oppenhäuser, G.Oppenhäuser@DLG.org



**DLG e.V.**

**Fachzentrum Lebensmittel**

Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main

Tel. +49 69 24788-311 · Fax +49 69 24788-8311

FachzentrumLM@DLG.org · [www.DLG.org](http://www.DLG.org)