

## ■ Gut verpackt

**Barrierefolien sorgen für den notwendigen Schutz, damit Lebensmittel und andere empfindliche Produkte nicht aufgrund von Witterungseinflüssen vorzeitig verderben.**

**V**ierzig Mikrometer, also halb so viel wie ein gewöhnliches Blatt Papier, trennen Kartoffelchips in ihrer Tüte von der Umgebung. Diese 40 Mikrometer sorgen dafür, dass die Chips keine Feuchtigkeit ziehen und sich ihr Geschmack nicht durch eindringenden Sauerstoff verändert. Sie stellen sicher, dass die Chips nicht ihr Aroma verlieren und der leichte Überdruck eines Gasgemischs aus Kohlendioxid und Stickstoff erhalten bleibt, der die Chips bei Transport und Lagerung vor dem Zerbröseln bewahrt. Im Querschnitt gesehen bestehen diese 40 Mikrometer aus zwei Polypropylenfolien mit einer Aluminiumschicht dazwischen. Miteinander verklebt bilden sie eine Barrierefolie.

Barrierefolien müssen am häufigsten Sauerstoff und Wasserdampf von empfindlichen Produkten fernhalten. Diese Gase wirken sich auf Lebensmittel und Pharmazeutika negativ aus und verringern zum Beispiel die Lebensdauer gedruckter Elektronik. Bei Lebensmitteln begünstigt eindringender Sauerstoff – wie auch Licht – die Keimbildung und führt durch Oxidation zu Geschmacksveränderungen. Wasserdampf wiederum kann Lebensmittel ungenießbar machen, indem er ihre Konsistenz oder ihren Geschmack verändert. Bei manchen Produkten, wie Feuchttüchern, ist es wichtig, dass Wasserdampf



von Lieres, Fotolia

Kartoffelchips sollen frisch und knackig sein, wenn man die Tüte öffnet. Damit das klappt, muss die Verpackung aus

einer Barrierefolie bestehen, welche die Diffusion von Gasen und Aromen verhindert.

nicht aus der Verpackungsfolie austritt. Auch Aromen und Gase wie Kohlendioxid und Stickstoff, die als Schutzgas dienen, sollen in der Verpackung bleiben.

Für eine Barriere sind Kunststofffolien die erste Wahl, weil sie billig sind, sich leicht verarbeiten lassen und ausgefallene Verpackungen ermöglichen. Je nach Anwendung beschichten die Hersteller sie mit einem Metall, einem Metalloxid oder amorphem Siliziummonoxid ( $\text{SiO}_x$ ). Entscheidend für die Wirkung einer Barrierefolie ist ihr Permeationsverhalten. Es beschreibt, wie leicht ein Stoff durch sie hindurch geht: Je geringer die Permeation, desto höher ist die Barriere. Mikroskopisch lässt sich der Stofftransport durch eine Barriere als Abfolge von Adsorption, Diffusion und Desorption beschreiben (Abb. 1). Gasmoleküle lagern sich zunächst an der Oberfläche der Barriere an (Adsorption) und diffundieren dann aufgrund des Konzentrationsunterschiedes beiderseits der Grenzfläche zum Teil in die Barriere. Wenn sie durch die Barriere hindurchgewandert sind, treten sie nach und nach wieder aus (Desorption).

Polymerfolien zählen zu den organischen Barrieren. Bei ihnen ist

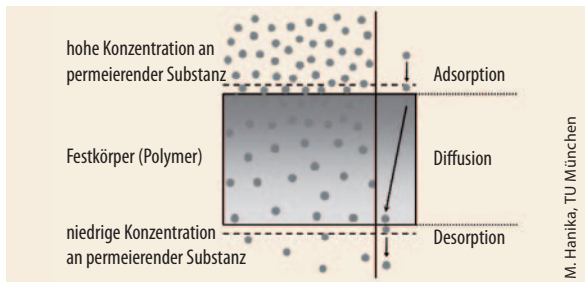
die Diffusion der zeitbestimmende Faktor für den Stofftransport. Er hängt von den Diffusionseigenschaften der Barriere und ihrer Dicke ab sowie vom Partialdruckunterschied zwischen den beiden Seiten der Barriere.

Auf molekularer Ebene erfolgt die Diffusion in einer Polymerfolie durch Platzwechsellvorgänge: Da Polymere langkettige Makromoleküle sind, bilden sie im Festkörper eine Art Matrix, in der kristalline und amorphe Bereiche vorliegen. Vorzugsweise in den amorphen Bereichen des Polymernetzwerkes entstehen durch Fluktuationen der Makromoleküle freie Plätze, die eindiffundierende Gasmoleküle vorübergehend einnehmen können, bevor sie weiterwandern. In den kristallinen Bereichen des Polymernetzwerkes treten freie Plätze dagegen selten auf, weil die Fluktuationen der Makromoleküle deutlich geringer sind.

Bei Verpackungen liefern makroskopische Defekte den entscheidenden Beitrag zum Transport von Gasen. Anorganische Barrieren werden meist auf Polymerfolien aufgedampft oder mit ihnen verklebt. Die makroskopischen Defekte entstehen dabei durch Verunreinigungen der Folien-



Hochbarrierefolien – hier in einer Lackier- und Kaschieranlage – sind gegenüber Umwelteinflüssen und mechanischer Beanspruchung stabilisiert.



**Abb. 1** Der Transport eines Stoffes durch eine Barriere lässt sich als Abfolge von Adsorption, Diffusion und Desorption beschreiben: Adsorbierte Gasmoleküle diffundieren aufgrund des Konzentrationsunterschiedes beiderseits der Grenzfläche durch die Barriere und werden dann wieder desorbiert.

oberfläche, durch Risse infolge von Spannungen oder durch sog. Antiblockpartikel. Diese Partikel ermöglichen die Verarbeitung von Folien als Rollenmaterial, indem sie auf der Folienoberfläche aufgebracht die van-der-Waals-Kräfte zwischen zwei Lagen absenken.

Bei der Folienverpackung spielen neben den Barriereigenschaften auch die Herstellungskosten und das Design eine wichtige Rolle. Nahrungsverpackungen müssen zudem lebensmittelecht sein; Lagerung und Transport stellen weitere Anforderungen. Aufgrund des Designs liegt einer anorganischen Barriere aus amorphem  $\text{SiO}_x$  häufig ein stöchiometrisches Verhältnis von 1 : 1,7 zugrunde: Es ist ein Kompromiss zwischen Wirkung und Optik. Siliziummonoxid hat zwar bessere Barriereigenschaften als Siliziumdioxid, aber eine unschöne Gelbfärbung, während Siliziumdioxid transparent ist.

Die Gestaltung einer Barrierefolie hängt immer stark von der Anwendung ab, pauschal gilt aber:

Die großen Stärken von Polymerfolien sind ihre billige Herstellung durch Extrudieren und ihr geringes Gewicht. Aufgrund ihrer molekularen Eigenschaften ist ihre Barrierewirkung gegenüber Wasserdampf aber oft gering. Hohe Wasserdampfkonzentrationen in der Umgebung können sogar dazu führen, dass die prinzipiell gute Sauerstoffbarriere eines Polymers sich verschlechtert. Ein Beispiel ist Ethylen-Vinyl-Alkohol (EVOH). Es hat eine gute Sauerstoffbarriere und lässt sich gemeinsam mit einem anderen Polymer, das sozusagen als „Substrat“ dient, in einem Fertigungsschritt herstellen. Bei hoher Luftfeuchtigkeit können die Wassermoleküle relativ leicht zwischen die Polymerketten dieser Folie diffundieren, was zu einem „Aufquellen“ führt. Die entstehenden Hohlräume erleichtern das Eindiffundieren von Sauerstoff und senken damit die Barrierewirkung.

Anorganische Schichten aus Metallen, Metalloxiden oder amorphem Siliziumoxid haben diese

Probleme nicht: Sie sperren gut gegen Wasserdampf, Sauerstoff und Aromen. Metall- und Metalloxidschichten schützen das Produkt vor Lichteinfall. Soll eine Folie durchsichtig sein, kommt Siliziumoxid ins Spiel. Zwei Nachteile gibt es aber doch: Erstens lassen sich anorganische Schichten nicht zusammen mit der Polymerfolie herstellen, sondern müssen nachträglich mit ihr verbunden werden. Zweitens sind sie spröde und wenig verformbar. Durch Falzkanten an den Rändern oder an Öffnungsnähten von Verpackungen können in der anorganischen Schicht Brüche entstehen und so die Barrierewirkung einer Verpackung zunichte machen. Einfach dickere Schichten zu verwenden ist übrigens keine Lösung, denn anorganische Materialien werden mit steigender Dicke noch spröder, zudem kostet der Rohstoff Metall vergleichsweise viel Geld. Und letzteres ist das K.o.-Kriterium für eine Barrierefolie.

**Michael Vogel**

Ich danke Kajetan Müller vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising, für hilfreiche Erläuterungen.