

Gedanken zur Nachhaltigkeit optischer Gläser

Teil 1: Mineralische Gläser



Seit Beginn der Industrialisierung sind der Erde Bodenschätze entnommen worden, wie niemals zuvor im Verlaufe der Menschheitsgeschichte. Der Schornstein muss rauchen, hieß das Motto einer neuen Zeitrechnung. Im Nachkriegsdeutschland begann in den 60er-Jahren eine Wegwerf-Mentalität, die zunächst als Errungenschaft der Technik gelobt wurde. Erst in den 70er-Jahren begann das Nachdenken über die Endlichkeit der Erde. Zu den Vorreitern der ökologischen Bewegung zählte Herbert Gruhl, damals Bundestagsabgeordneter und später Mitbegründer der grünen Bewegung. In seinem Buch „Ein Planet wird geplündert“ [1] führte er der Wegwerfgesellschaft vor Augen, dass unser Planet lediglich über begrenzte Ressourcen verfügt. Gleichzeitig setzte sich der Club of Rome mit den Grenzen des Wachstums auseinander. Diese Vereinigung agiert heute als Mahner für nachhaltiges Ökologie-Management.

Bis in die 80er-Jahre wusste man nichts von den Problemen der Fluorchlorkohlenwasserstoffe, die seit den 1930er-Jahren als Treibmittel eingesetzt wurden. Der Begriff Ozonloch war noch fremd. Auch die Probleme des Treibhausgases Kohlendioxid waren der Öffentlichkeit unbekannt, der Klimawandel und Recycling kein Thema. Lediglich das Waldsterben beschäftigte Mitte der 80er für eine Weile die Öffentlichkeit.

1996 wurde das Kreislaufwirtschaftsgesetz verabschiedet und verlieh Recycling erst jetzt Bedeutung. In den 90er-Jahren wurde über die gesetzliche Mülltrennung zum Teil kontrovers diskutiert. Es wurden neue Industriezweige geschaffen, die sich der Wiederverwertung widmen. In den vergangenen Jahren entwickelte sich Nachhaltigkeit zu einem ernstzunehmenden Wert. Man begann sich zu interessieren für den nachhaltigen Konsum von Fleisch, Genussmitteln und wollte wissen, wie in China Textilien hergestellt werden.

Ein Blick zurück: Anfang der 90er-Jahre sagte der Mineralölkonzern Shell das Versiegen des Erdöls bis zum Jahre 2013 voraus. Als Shell diese Voraussage machte, ging man von Tiefseeborungen aus, die eine Grenze von 200 Metern Tiefe nicht überschritten. Dazu war die Nordsee prädestiniert und mit 200 Me-

tern Tiefe glaubte man, die Grenze des wirtschaftlich Machbaren erreicht zu haben. Nun weiß man seit der Öl-Katastrophe im Golf von Mexiko, dass mittlerweile in 1.500 Metern Tiefe nach Öl gebohrt wird. Zwar wurden neue geografische und tiefere Quellen erschlossen, aber die Begrenztheit bleibt. Der Abbau der organischen Minerale kann lediglich um ein paar Jahrzehnte hinausgezögert werden. Damit bleibt Nachhaltigkeit für uns Menschen in sozialer und wirtschaftlicher Verknüpfung wichtiger denn je. Die Fragen sind: Wie gehen wir mit Ressourcen um? Welche Bodenschätze hinterlassen wir nachkommenden Generationen? Welche Gifte hinterlassen wir nachfolgenden Menschen als Müll? Mit welchen Gefahrstoffen werden Menschen belastet, die an der Produktion beteiligt sind?

Silikatglas und dessen Umweltverträglichkeit

Glas ist ein augenoptischer Werkstoff, dessen Grundstoffe als Bodenschätze schier unbegrenzt zur Verfügung stehen. Die Grundelemente aus denen Glas besteht, Silizium und Sauerstoff, sind die beiden häufigsten Elemente der Erdkruste. Allerdings sind die meisten dieser quarzhaltigen Gesteine für die Glasherstellung nicht geeignet. Grauwacke zum

Beispiel, ein Gestein des archäologisch verwitterten deutschen Mittelgebirges, besteht hauptsächlich aus Quarz, Feldspat und Glimmer. Dieses heterogene Gestein eignet sich – wie alle anderen Silikatgesteine – nicht zur Glasherstellung. Die Trennung von den Begleitstoffen wäre zu aufwendig. Ein Quarzgestein mit höherer Reinheit wäre besser geeignet; und es sollte häufig vorkommen. Dieses findet man im Quarzsand mit homogener Körnigkeit.

Quarzsand mit einer Reinheit von über 99 Prozent Siliziumdioxid wird zum Beispiel im Tagebau Frechen – in der Nähe von Köln – abgebaut. Deutschland ist auf diesem Gebiet Exportland eines „Bodenschatzes“. Der Fluss-Quarzsand der Loing, eines Flusses in Frankreich, bietet ebenfalls eine hohe Reinheit an Siliziumdioxid. Aus diesem Grunde wurde vor rund 300 Jahren eine Glashütte an der Loing gebaut, aus der dann während der Industrialisierung eine Stadt wurde: Bagnaux sur Loing. Aber wie ergiebig ist Quarzsand? Nicht nur in Deutschland und Frankreich, weltweit sind die Quarzsandreserven praktisch unbegrenzt. Und damit kann Quarzsand als unerschöpfliche Quelle des Werkstoffes Glas betrachtet werden, weshalb sich hier das Problem der Nachhaltigkeit nicht stellt, zumindest nicht aus Sicht der zur Verfügung stehenden Rohstoffe.

Das heutige Werk Corning S.A. in Bagnaux sur Loing liefert hauptsächlich Float-Glas und ist die größte Anlage Europas dieser Art. Bei Float-Glas wird die erstarrende Glasschmelze über ein flüssiges Zinnbad gezogen und erstarrt deshalb in der Güte von geschliffenem und poliertem Spiegelglas. Die Produkte werden weltweit vertrieben. Fast alle Flachgläser wie Fensterglasscheiben oder Spiegelglas werden heute als Float-Glas hergestellt. Ebenso stellt Corning – als Mitbewerber neben Schott – den Weltbedarf an optischen Gläsern her, Glas für

Brillen. Abnehmer sind alle wichtigen optischen Industrien weltweit. [2]

Die heutigen, in Deutschland und Europa aufgestellten, Glassammelbehälter liefern Rohstoff für Glasflaschen und ähnliche Behältnisse aus Glas. Die Recyclingquote liegt hier bei nahezu 100 Prozent. Auch hier ist die Frage der Nachhaltigkeit eher nebensächlich; zumindest aus Perspektive des Rohstoffbestandes Altglas. Allerdings lässt sich durch Wiederverwendung von Altgläsern kein optisches Glas herstellen.

Energieeffizienz optischer Gläser

Der Begriff Nachhaltigkeit bei optischen Gläsern stellt sich in einem anderen Zusammenhang: Wie hoch ist die Energieeffizienz? Wie groß ist die Schadstoffemission bei der Herstellung von Glas? Wie können optische Gläser recycelt werden? Wie verhalten sie sich in Müllverbrennungsanlagen?

Diese Fragen sollen am Beispiel des augenoptischen Hi-Crown-Glas beantwortet werden. Dieses Glas (Tab. 1) ist seit 1984 auf dem Markt. Es wird heute als Standardwerkstoff im Bereich Silikatglas verwendet. Der Zusatz Titanoxid, der als Netzwerkwandler die Brechzahl 1,6 ermöglicht, ist ebenfalls kein knapp werdender Rohstoff. Titanoxid wird aus den Erzen Rutil und Ilmenit gewonnen, die zu den häufiger vorkommenden Erzen gehören. Abbildung 1 zeigt einen Teil der Anlage der Titanoxidherstellung im Chem-Park Bayer Leverkusen, die unter



Abb. 1: Titanoxidproduktion im Werk Bayer Leverkusen, neben Bestandteil im Gemenge des Hi-Crown findet Titanoxid breite Anwendung als weißes Farbpigment. (Foto: Flo Bergmann)

anderem die Glashütten optischer Gläser beliefert.

Hi-Crown-Glas wird – wie alle optischen Gläser heute – in Wannenöfen erschmolzen. Wannenöfen arbeiten in einem durchlaufenden, kontinuierlichen Prozess. Die allseits umbaute Wanne aus Schamottstein wird an einem Ende – dem Doghouse – mit dem gut durchmischten Gemenge befüllt. Das Gemenge ist die Rezeptur aus dem Glasbildner Quarz, den notwendigen Carbonaten und den bereits aufgearbeiteten Oxiden. In der Mitte der etwa zwei bis drei Meter langen Wanne ragt beidseitig die Flammföhrung auf den Spiegel des Wanneninhalts. Am anderen Ende sitzt der Speiser, ähnlich dem Abfluss einer Badewanne, und lässt

alle 20 Sekunden einen K6lbel – den teigigen Glaspfropf – zur Glaspressmaschine durch. Diese Maschine presst Glasrohlinge rund um die Uhr (Abb. 2).

Nachdem ein solcher Ofen gestartet wurde, l6uft er zwei bis f6nf Jahre ununterbrochen. Erst die f6llige Revision stoppt die Ofenreise. Hierbei muss f6r diese Ofenlaufzeit ebenso ununterbrochen die Feuerung aufrechterhalten werden, die Prozessw6rme erzeugt. Und ebenso wird ununterbrochen Kohlendioxid produziert.

Als Feuerung dient Erdgas. Regenerativfeuerungsanlagen haben sich heute durchgesetzt, das hei6t, der Wirkungsgrad des Erdgases wird durch vorgew6rmete Verbrennungsluft optimal genutzt. Der theoretische W6rmebedarf einer solchen Glasschmelze liegt bei 2,8 GJ/t Glas. [3] Der Brennwert des Erdgases, das chemisch haupts6chlich Methan (CH_4) ist, liegt bekanntlich bei 35.000 kJ/m³. Jeder Betreiber einer Gasheizung kennt diese Zahl, sie geh6rt zu den kleingedruckten Zahlen der Heizungseffizienz.

Rein theoretisch, also ohne Wirkungsgradverluste, w6rden demnach 12,5 kg Glas entstehen bei einem Verbrauch von einem Kubikmeter Erdgas. Dem ist allerdings nicht so, denn ein Glasofen ist keine Hausheizungsanlage. Die ben6tigten Temperaturen liegen um ein Vielfaches h6her. Ofenwandverluste, Abgasverluste und der endotherme Prozess der Umwandlung von Carbonaten in Alkalioxide mindern den Wirkungsgrad. Des Weiteren werden Scherben ben6tigt, die der Schmelze zugegeben werden m6ssen. ▶

Glasart	Chemische Zusammensetzung	Optische Daten	Dichte
High Crown h6herbrechendes Kronglas	Netzwerkoxid SiO ₂ 62%	Brechzahl n _e 1,6	2,63 g/cm ³
	Alkalioxide CaO 12% Na ₂ O 8% Li ₂ O 2% K ₂ O 5%	Abbezahl v _e 43	
	Hi Index Oxid TiO ₂ 11%	Absorption UV-A 100% UV-B 100%	
	UV-A-Blocker Ce ₂ O ₃ in Spuren		

Tab. 1: Daten des Hi-Crown, h6herbrechendes Kronglas.

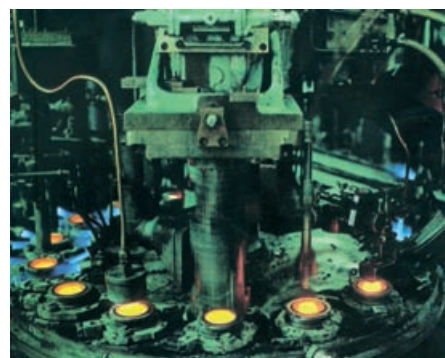


Abb. 2: Glaspressmaschine im Werk Corning S.A. in Bagneaux sur Loing, Frankreich; der gl6hende K6lbel rutscht 6ber eine Rinne (rechts im Bild) in eine Matrize, in der Bildmitte der bewegte St66el, der die Meniskenform augenoptischer Gl6ser presst. (Foto: Corning)

Das Scherbenvolumen beträgt bis zu 50 Prozent im Verhältnis zum Gemenge. Die Scherben sind ökonomisch notwendig, da sie die Schmelztemperatur des Wanneninhalts verringern. Die Temperatur einer reinen Quarzschmelze liegt bei 1705 °C. Bei Zugabe von Glasscherben beträgt die Schmelztemperatur an der heißesten Stelle im Feinschmelzbereich „nur“ noch 1650 °C. Es wird im Gesamtprozess weniger Energie in Form von Wärme benötigt. Da das Gemenge des optischen Glases nicht mit Scherben aus dem Recycling-Glascontainer vermischt werden kann, kann der Hi-Crown-Glassatz nur aus Scherben des Hi-Crown aufgewertet werden, die wiederum zunächst erzeugt werden müssen.

Zum wärmeenergetisch tatsächlichen Wärmebedarf benennt die Fachliteratur bei etwa sechs Quadratmeter Schmelzfläche

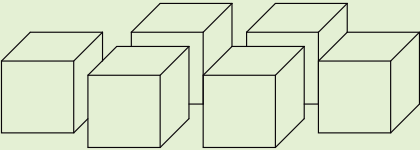
Chemische Gleichung	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
Molmassengleichung in der Einheit Gramm	$16 \text{ g} + 2 \cdot 32 \text{ g} \rightarrow 2 \cdot 18 \text{ g} + 44 \text{ g}$
Erweiterung des Molvolumens (22,4 Liter) auf 1 Kubikmeter (1000 Liter)	 $1 \text{ m}^3 \text{ Erdgas} + 2 \text{ m}^3 \text{ Sauerstoff} \rightarrow 2 \text{ m}^3 \text{ Wasserdampf} + 1 \text{ m}^3 \text{ Kohlendioxid}$
Zuordnung der Massen zu den o.a. Volumen in der Einheit Gramm	$714 \text{ g} \text{ Erdgas} + 2857 \text{ g} \text{ Sauerstoff} \rightarrow 1607 \text{ g} \text{ Wasserdampf} + 1964 \text{ g} \text{ Kohlendioxid}$

Abb. 3: Stöchiometrische Gleichung (Verhältnisrechnung der reagierenden Massen und Volumen) beim Abbrand von einem Kubikmeter Erdgas.

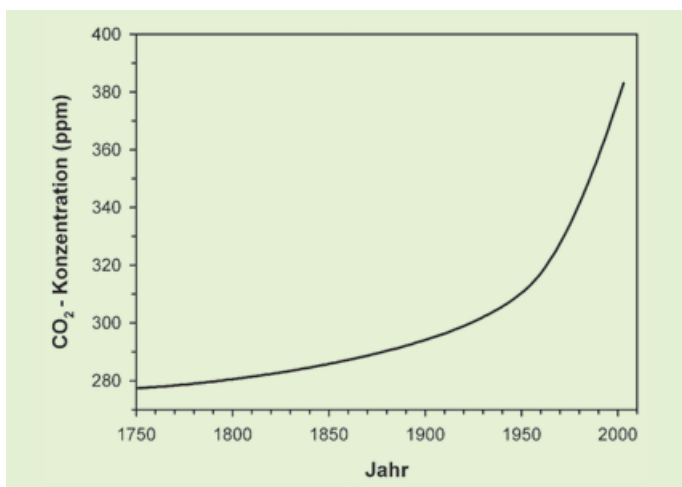


Abb. 4: Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre seit der Industrialisierung. [5]

einen Betrag von 25 GJ/t. [3] Damit läge der Wirkungsgrad des Wannenofens des Hi-Crown bei etwa acht Prozent. Zum Vergleich: Die Effizienz einer Hausheizungsanlage liegt bei über 90 Prozent, weil sie mit wesentlich geringeren Temperaturen arbeitet. Bei der Glasproduktion entstehen also lediglich 1,4 kg Glas beim Verbrennen von einem Kubikmeter Erdgas. Das sind etwa 40 Presslinge. Von diesen 40 Gläsern wird die Hälfte wieder dem Doghouse zugeführt, um die Schmelztemperatur zu senken. Übrig bleiben also 20 Gläser oder zehn verglaste Brillen, die durch die abgegebene Energie von einem Kubikmeter Erdgas erzeugt werden können.

Erdgasverbrennung

Nun ist Erdgas kein nachwachsender Rohstoff. Erdgas ist bekanntlich ein leichtflüchtiger Kohlenwasserstoff und gehört zu den fossilen Brennstoffen. Er ist endlich und wird, lange bevor der Quarzsandbestand aufgebraucht sein wird, versiegt sein.

Die Produkte der Erdgasverbrennung bei Wärmeabgabe sind Wasserdampf und Kohlendioxid. Sie entweichen einem hohen Schornstein der Glashütte. Wasserdampf, sofern dieser in den unteren Schichten der Troposphäre abgegeben wird, ist unschädlich für unsere Biosphäre. Bei kalter Witterung kann daraus allerdings Mischungsnebel entstehen, der als weißer Dampf sichtbar wird. Der Wasserdampf aus dem Schornstein einer Glashütte zählt also nicht zu den Problemstoffen.

Wie aber sieht es mit Kohlendioxid aus? Ein Kubikmeter Erdgas hat unter Idealbedingungen eines Gases eine Masse von 714 g. Beim Abbrand werden hieraus knapp zwei Kilogramm Kohlendioxid produziert. Dieses Klimagas nimmt theoretisch einen konzentrierten Raum von wiederum einem Kubikmeter (Abb. 3) ein, verflüchtigt sich jedoch in der Atmosphäre. Der stetig steigende Gehalt an Kohlendioxid in der Atmosphäre liegt derzeit bei ca. 400 ppm oder 0,04 Volumenprozent im Gesamtanteil der Luft. Zum Vergleich: Vor 50 Jahren lag der Anteil bei nur 310 ppm (Abb.4).

Zum Recycling des Hi-Crown: Theoretisch wäre es möglich, die Hi-Crown-Altgläser den Glashütten zurückzugeben, um damit den Rohstoff Glasscherben (als Flussmittel) für die neue Hi-Crown-Serie zur Verfügung zu stellen. Dies ist allerdings logistisch nicht möglich, weil Kosten der Reinheitsprüfung, der Nachsortierung etc. bei der Vielzahl der anfallenden Glasarten in keinem Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen. Also Hi-Crown-Altgläser dem Sammelcontainer zuführen? Theoretisch ja, aber die Sammelbehälter sind den Haushalts-Glasbehältnissen gewidmet, nicht den optischen Spezialgläsern. Glasflaschen bestehen aus Kalk-Natron-Glas, was Hi-Crown nicht ist. Folglich werden die Weißglasscherben bei mehreren Recycling-Durchgängen „verunreinigt“, was wiederum dem Rohstoff aus dem Recycling-Glasbehälter schadet. Am besten ist es derzeit, die nicht mehr gebrauchten Hi-Crown-Gläser dem Restmüll zuzuführen. Giftig sind diese allerdings nicht. In Müllverbrennungsanlagen erzeugen diese Gläser ungiftige Schlacken. ■

Johannes Schweinem,

Höhere Fachschule für Augenoptik Köln

Teil 2 beschäftigt sich mit Kunststoffgläsern und deren Umweltverträglichkeit.

Die Literaturangaben erscheinen mit dem abschließenden Teil.

Gedanken zur Nachhaltigkeit optischer Gläser

Teil 2: Kunststoffgläser und deren Umweltverträglichkeit



Im Gegensatz zur Glasproduktion (siehe Teil 1, DOZ 11-2012, S. 40ff) ist bei der Herstellung von Kunststoffgläsern das Problem der Prozesswärme nicht das Hauptproblem. Zwar wird auch bei der Monomerherstellung für Kunststoffe Kohlendioxid produziert (als Abgas thermischer Prozesse), allerdings auf die Masse bezogen spezifisch weniger als bei der Glasproduktion. Die Prozesswärme der Kunststoffherstellung liegt bei den Siedetemperaturen der Kohlenwasserstoffe und ist wesentlich niedriger als die Schmelztemperatur der Glassatz-Mineralien. Eine genaue Analyse der Prozesswärme lässt sich für einen bestimmten Kunststoff nicht ermitteln, da der Kunststoff-Rohstoff aus Destillation gewonnen wird, bei der größere Mengen anderer Produkte anfallen (Abb. 5). Zudem benötigt ein Kunststoff weitere Zwischenprodukte, die wiederum aus anderen Substanzen gewonnen werden.

Es gibt Kunststoffe, die ganz ohne „Chemie“ auskommen, wenn von Erdölraffinate und Polymerisation abgesehen wird: Dies sind die Kunststoffe, die allgemein als „Plastik“ bezeichnet werden, nämlich Polyethylen und Polypropylen. Diese Stoffe sind geschmeidig ohne Additive und ihre Ausgangsstoffe sind nicht giftiger als beispielsweise Benzin oder Dieselöl. Zwar sind Kraftstoffe giftig, aber sie gehören lediglich zu den mindergiftigen Erzeugnissen der Erdölchemie, so auch die Monomere dieser beiden Plastikwerkstoffe. Ohne diese Kunststoffe wäre unser Leben heute nicht mehr denkbar und sie sind – auspolymerisiert – toxisch unbedenklich. Selbst bei einer neutralen Verbrennung entsteht lediglich Wasserdampf und Kohlendioxid, sieht man – je nach Intensität und Sauerstoffzufuhr – von geringfügigen Mengen an Stickoxiden und Kohlenmonoxid ab.

In einer gewissen Weise gehört auch das Polyethylenterephthalat (PET) der heutigen Getränkeflaschen aus Kunststoff dazu. Diese Plastikflaschen, zur Familie der Polyester gehörend, sind zwar als Lebensmittelbehältnisse nicht ganz so chemieneutral wie Glasflaschen, haben aber den Vorteil, dass sie leichter sind und somit weniger „Transportpro-

zesswärme“ benötigen. Das heißt, sie verursachen durch ihr geringeres Gewicht weniger Straßenverkehrsaufkommen. Nach dem Einweg-Pfandflaschengesetz von 2003 werden die Kunststoff-Flaschen nach der Rückgabe geschreddert, gereinigt, granuliert und wieder der Spritzgussmaschine zugeführt.

Sind also Kunststoffe weniger umweltbelastend als Glas? Hier muss zunächst der Rohstoff selbst betrachtet werden: Erdöl. Laut wissenschaftlichen Erkenntnissen aus den Jahren ab 1950, als die Ölfelder am Persischen Golf erschlossen wurden, sind Erdöl und Erdgas aus Kleinstlebewesen entstanden, die in Küstennähe die Meere belebten. Nach ihrem Ableben sanken diese Mikroben zum Meeresboden ab, wurden dort vom feinen Schlamm des Meeres begraben und wandelten sich unter Abschluss von Sauerstoff in Erdöl um. Die geografischen Veränderungen, die sich über Jahrtausenden auf der Erdoberfläche ergaben, erklären, weshalb die Erdöllager heute oft weit von der Küste entfernt sind. [4] Die mengenmäßige Entstehung dieser organischen Minerale ist allerdings im Vergleich zu den globalen Mengen von anorganischen Mineralen, aus denen letztlich die Erdkruste besteht, ein winziger

Bruchteil. Folglich wird der Rohstoff Rohöl in einigen Jahrzehnten aufgebraucht sein – im Gegensatz zum metamorphen Quarzsand. Zu der Frage der Umweltbelastung müssen des Weiteren die Zwischenprodukte betrachtet werden. Bei der Produktion von Olefinen – den Ausgangsstoffen für höherwertige Monomere – fallen Teersümpfe an, die Karzinogene (krebserregende Stoffe) enthalten. [4] Bestimmte Monomere sind giftig oder hinterlassen bei ihrer Entstehung giftige Reststoffe. Zwar werden Reststoffe heute gefiltert, dennoch bleiben Filtrerrückstände zurück, die als Sondermüll entsorgt werden müssen. Letztlich sind bei allen Arbeitsgängen Menschen beteiligt.

Produktion des Kunststoffglases MR8

Als Beispiel für Umweltverträglichkeit soll an dieser Stelle das MR8 betrachtet werden, das Kunststoff-Äquivalent zum Hi-Crown mit den gleichen optischen Daten (Tab. 2). Dieses Kunststoffglas trägt unter anderem Namen wie „Clarlet 1.6“, „Cosmolit 1.6“, „Eyas“ oder „Ormix“. Dieser Werkstoff kam erstmals 1998 auf den Markt.

Die Bedeutung, die Glashütten wie Corning und Schott/Barberini für Silikatglas haben, nämlich die eigentlichen Glaserzeuger zu sein, hat die Petrochemie (auch Erdölchemie) als Erzeuger für Kunststoffe. Beim Betrachten dieser Chemiewerke entsteht für den Betrachter ein verwirrendes Bild von Rohrleitungen, Absperrorganen, Kesseln, Behältern und Rührwerken. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt des Werks der Erdölchemie in Dormagen bei Köln. In diesem Werk werden unter anderem die Monomere für Schuhsohlen hergestellt. Was aber haben Schuhsohlen und MR8-Kunststoffgläser gemeinsam? Beide benötigen Diisocya-

nate als Monomere. Diese gehören zu den giftigsten Zwischensubstanzen in der Produktion. Beide sind nach dem Herstellungsverfahren der Gruppe der Polyaddukte zuzuordnen, und beide sind Mitglieder der Familie der Polyurethane. Natürlich lassen sich die physikalischen Eigenschaften von Schuhsohlen nicht einfach mit augenoptischen Kunststoffgläsern vergleichen.

Polyurethane entstehen, wenn Diisocyanate mit zwei-, drei- oder vierwertigen Alkoholen reagieren. Bei Schuhsohlen wird während der Polyaddition eine kleine, dosierte Menge Wasser zugegeben. Einige der Isocyanat-Gruppen reagieren dabei mit Wassermolekülen und es entsteht Kohlendioxid während der Additionsreaktion; das Gas schäumt den Werkstoff auf. Bei diesem Verfahren entsteht ein hochelastisches, inhomogenes Polyurethan mit kleinen, geschlossenen Zellen, aber ohne optische Transparenz. [5] Zurück zu den MR8-Gläsern: Hierbei wird kein Wasser bei der Polyaddition eingesetzt. Folglich schäumt der Werkstoff nicht auf, sondern polyaddiert amorph. Der Werkstoff wird hart und transparent. Die glasklare Homogenität wird letztlich durch komplizierte Temperungsverfahren erzeugt.

Die deutsche Petrochemie hat sich nicht an der Entwicklung der speziellen MR8-Monomere beteiligt. Die Entwicklungskosten würden die Absatzerlöse bei Weitem übersteigen. Der Absatz von Monomeren als Zwischenprodukt müsste Güterzüge füllen, sollte er sich nach deutschen Maßstäben lohnen. [8] Die Monomere für die augenoptische Industrie werden dagegen nur in Größenordnungen von Fassgebinden benötigt. Diese Fassgebinde werden von der japanischen



Abb. 5: Erdölchemie (EC), Fraktionierkolonnen erzeugen Destillationsprodukte, Ausschnitt der Werksanlage Bayer Dormagen. (Foto: Flo Bergmann)

Petrochemie geliefert. Hersteller der Monomere ist der japanische Chemiekonzern Mitsui Chemicals, gleichzeitig Lizenzinhaber. Hergestellt werden zwei Monomere, die für diesen Kunstglastyp benötigt werden. Der Konzern stellt lediglich die Monomere her, die beide zum Teil sehr giftig sind. Der Name des Herstellers gab dem Kunstglaswerkstoff den Namen: MR8 heißt so viel wie Mitsui Resin Nr. 8 (siehe DOZ 12-2010, S. 28).

Ausgangsstoffe für Monomere

Ausgangsstoff für Monomer 1 ist zunächst Pentaerytritol, ein vierwertiger Alkohol. Dieser Alkohol besitzt vier Hydroxylgruppen pro Molekül, weswegen eine starke Wasserstoffbrückenbindung zwischen den Molekülen vorliegt. Somit hat die Substanz die Form eines kristallinen Pulvers. Diesem Pulver sind keine Gefahrensymbole zugeordnet, wohl

aber dessen Ausgangsstoffe. Benötigt werden hierzu Aldehyde sowie konzentrierte Natronlauge als Reaktionssubstanz. Gleichzeitig werden auf einem anderen Fließband flüssige Mercaptan-Säuren hergestellt. Mercaptane sind Kohlenwasserstoffketten mit einer angehängten Hydrogensulfidgruppierung. Das heißt, eine SH-Gruppe sitzt in der Primärstruktur des Moleküls. Dieses Zwischenprodukt besitzt einen äußerst unangenehmen Geruch. Im nächsten Verfahrensgang werden das Pulver und die Flüssigkeit zusammengebracht. Es entsteht eine Veresterung zwischen der Säuregruppierung der Mercaptane und den Alkoholsubstituenten des Pentaerytritol; die Gesamtsubstanz wird zu einer klaren Flüssigkeit. Das Produkt daraus ist das Monomer PTMP (Pentaerytritoltrikismerkaptopropionat). [6-8] Nach der EU-Gefahrstoffkennzeichnung werden Derivate dieses Monomers als „giftig“ eingestuft. [9] Verdunstende Monomer-Moleküle können beim Einatmen Gesundheitsschäden hervorrufen.

Ausgangsstoffe für Monomer 2 sind Phosgen (COCl_2), das als Nervengas im 1. Weltkrieg traurige Berühmtheit erlangte, sowie Abkömmlinge des stechend riechenden Ammoniaks. Durch Umsetzung von Aminen mit Phosgen entstehen nach einem weiteren Zwischenschritt flüssige Diisocyanate. Der Hersteller Mitsui produziert das Monomer als Cyclohexyldiisocyanat (CHDC). [7, 8] Nach der EU-Gefahrstoffkennzeichnung ist diese Flüssigkeit als „sehr giftig“ gekennzeichnet. [9] Die zulässigen Luftgrenzwerte am ▶

Glasart	Chemische Zusammensetzung	Optische Daten	Dichte
MR8 höherbrechendes Kunstglas	Duroplast Polyaddukt aus den Monomeren 1) PTMP 2) CHDC z. T. Limonen als Duftstoff in Spuren	Brechzahl n_e 1,6 Abbezahl v_e 42 Absorption UV-A 100% UV-B 100%	1,34 g/cm ³

Tab. 2: Daten des MR8, höherbrechendes Kunstglas (Kunststoffglas).

Arbeitsplatz liegen bei nur 0,005 ppm. [10] Auch hier sind es wieder Monomer-Moleküle, die durch Verdunstung Dampf-Form einnehmen und folglich eingeatmet werden können.

Nun werden diese Monomere in Japan hergestellt. Japan besitzt – ähnlich wie die EG – strenge Sicherheitsvorkehrungen. Die beiden Monomere kommen in Fassgebinden und Containern über den Seeweg nach Deutschland und Europa. Die großen optischen Industrien in Baden-Württemberg, Bayern, Frankreich und schließlich Japan verarbeiteten die Monomere zum Kunststoffglas MR8. Die Kokillenguss-Anlagen stehen in hermetisch abgeschlossenen Räumen. Mitarbeiter dieser optischen Industrien kommen mit den Monomeren und deren Dämpfen nicht in Berührung. Eine Reihe weiterer Sicherheitsvorkehrungen runden die hohen europäischen und japanischen Sicherheitsbestimmungen ab.

Nach der Polyaddition der beiden Monomere und einer stufenweisen, dreitägigen Temperung liegen die fertigen Blanks glasklar vor. Die Toxizität ist abgeklungen. Als Duroplaste sind MR8-Kunststoffgläser weichmacherfrei und besitzen keinerlei weitere Additive, außer eventueller Geruchsneutralisatoren. Sie lassen sich in den Mund nehmen, ohne dass der Mensch befürchten muss zu erkranken. Warum ist das so? Der Grund ist, dass aus zwei Giften, die miteinander addiert werden, ein ungiftiges Makro-

molekülnetzwerk entsteht; die ehemals giftige Molekülgruppierung wurde zu einer neutralen Urethan-Gruppierung umgewandelt (Abb. 6).

Mögliche Giftstoff-Freisetzung

Vor rund zehn Jahren gab es in der damals ausgeführten Logistik noch keine Probleme bezüglich eventueller Giftstoff-Freisetzung. Wie schon dargestellt, kommt i.d.R. kein Mensch in Japan oder Europa mit den Giftstoffen der Monomere in Berührung. Heute allerdings werden die Probleme durch mögliche Giftstoff-Freisetzung größer. Dies ist eine Folge der Umverteilung auf dem Weltmarkt. Die optischen Industrien verzichten fortschreitend auf Blank-Produktionen als Folge der Zunahme der Freiformtechnologie. Die Zahl der benötigten Hightech-„Generators“, die Freiformflächen berechnen und herstellen, steigt. Der steigende Absatz dieser Maschinen senkt deren Preis und die logistische Trennung von Blank-Herstellung und Rezeptschliff ist die Folge. Anstatt Lagerhaltung konventionell vorgefertigter Blanks ist es kostengünstiger, Kunststoff-Rohlinge bei fernöstlichen Herstellern einzukaufen, um hieran beidseitig die Freiform-Designs in europäischer Wertarbeit anzubringen. [11-13]

So haben sich in Thailand und China Castings und Joint-Ventures etabliert, die

nur die Monomere zu MR8-Blancs verarbeiten und die Rohlinge an Rezeptschleifer und Gründungsgesellschaften in Europa exportieren. Das Problem, das damit verbunden ist, ist der geringe oder fehlende Arbeitsschutz der Menschen dort im Umgang mit giftigen Monomeren. Die Arbeitsbedingungen sind nicht mit europäischen Arbeitsschutzbedingungen vergleichbar. Wirtschaftsethik, speziell im asiatischen Raum, fehlt derzeit noch weitestgehend. Dort sind „Arbeitskräfte billig und im Fall des Falles auch sehr einfach wieder zu ersetzen“. [14] Nachhaltigkeit in sozialer Hinsicht darf bei dieser Betrachtung nicht ausgeklammert werden.

Oft wird die Frage gestellt, warum höherbrechende Kunststoffe beim Randalen in einer Augenoptikerwerkstatt unangenehme Gerüche verbreiten. Sind diese Emissionen ebenfalls Giftstoffe? Ja und nein: Verflüchtigender Schwefelwasserstoff ist zweifellos ein Gift, aber es kommt auf die Dosis an. Die Berufsgenossenschaft (damals BGFE) hatte Anfang der 2000er-Jahre eine Studie in Zusammenarbeit mit der Höheren Fachschule für Augenoptik Köln (HFAK) durchgeführt. Um den Worst Case zu simulieren, wurden eine Stunde lang über 40 Stück MR8-Gläser geschliffen. Alle Fenster und Türen des ca. 50 m² großen und 2,5 m hohen Werkstattraums wurden geschlossen gehalten. Währenddessen übernahmen Messgeräte Luftpro-

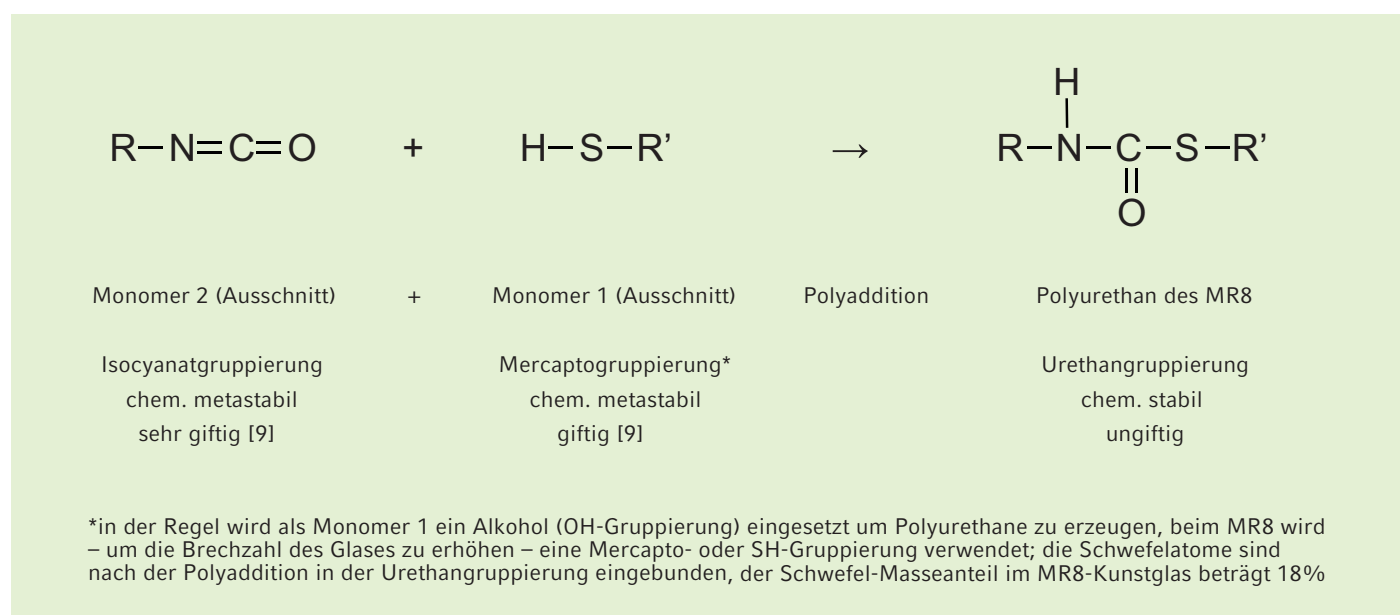


Abb. 6: Verlust der Giftigkeit von Monomeren bei Polyaddition.

ben und analysierten diese. Der Vorgang wurde mehrmals durchgeführt. Fazit: Die Hydrogensulfid-Konzentration lag am Ende einer Stunde bei durchschnittlich ca. 1 ppm, ebenso wurden Mercaptan-Fragmente vermutet. Damit lag die Konzentration bei nur einem Zehntel der strengen deutschen Auflagen der damaligen MAK-Dosis, die mit 10 ppm festgelegt gewesen war. [15] Erst die 20-fache MAK-Dosis H_2S löst Kopfschmerzen und Atembeschwerden aus. Mercaptane werden in geringen Mengen auch von Lebensmitteln wie Knoblauch und Zwiebeln emittiert, was beweist, dass unsere Nasenschleimhäute sehr empfindlich sind und die Geruchsschwelle bereits überschritten wird, wenn noch keine Giftkonzentration vorliegt. Bei dieser Studie wurde ferner Limonenaroma in der Abluft festgestellt. Einige der europäischen Blank-Hersteller verwenden diesen Duftstoff als Additiv, um beim Randen hochbrechender Kunststoffgläser die Geruchsbelästigung in Grenzen zu halten.

Entsorgung

Ausgediente MR8-Gläser sollten nicht in die Gelbe Tonne entsorgt werden. Sie sind vernetzte Duroplaste, lassen sich also thermisch nicht wiederverwerten. Theoretisch könnte man sie granulieren und als Füllstoff verwerten. Allerdings fehlt hierzu die Logistik. In dem Jahrhundert dauernden Verrottungsprozess werden keine Isocyanate freigesetzt. Das ist chemisch ausgeschlossen, weil die chemisch stabile Urethan-Verbindung keine metastabile Rückführung erlaubt (Abb. 6). Dies ist vergleichbar damit, dass sich Wasser nicht in Wasserstoff zersetzt, während es abgelagert wird. In Müllverbrennungsanlagen allerdings wird es problematischer. Neben Kohlendioxid und Wasserdampf entstehen auch Schwefeldioxid und Sulfo-Fragmente. Durch die besondere Molekülkonfiguration sind sie anfällig dafür, dass – in Verbindung mit chlorhaltigen Stoffen bei der Verbrennung – Dioxine und Furane entstehen können. Moderne Müllverbrennungsanlagen filtern giftige Abgase heraus und machen sie unschädlich. [16] Andere Quellen berichten jedoch, dass in Müllverbrennungsanlagen toxische Emissionen unterschlagen werden, weil die pla-

nen, symetrisch geformten Moleküle von Dioxinen und Furanen eine große Haftfähigkeit besitzen und in den tiefen, verwinkelten Nischen der Rußfilter festsitzen. [17] Es darf angenommen werden, dass organische Gläser mit dazu beitragen, dass Aschen, Schlacken und Filterrückstände in Form von Sondermüll übrig gelassen werden, für die entsprechende Deponiekonditionen eingehalten werden müssen.

Zusammenfassung

Gedanken zur Nachhaltigkeit optischer Gläser: Wie können Erdgasverbrauch, entstehendes Kohlendioxid, Giftstoffe, Probleme bei der Abfallentsorgung etc. gegeneinander aufgewogen werden? Rohöl und Erdgas benötigen beide, sowohl Silikat- als auch Kunststoffgläser. Ebenso produzieren beide Müll, wenn sie ausgedient haben.

Bei der Herstellung von Silikatglas ist es insbesondere Erdgas, das die nötige Prozesswärme liefert. Der Energieeinsatz ist bei den erforderlichen Temperaturen entsprechend hoch. Die als Abgas entstehende Kohlendioxidmenge ist bei Silikatgläsern höher als bei Kunststoffgläsern.

Kunststoffgläser sind ein direktes Rohölprodukt. Bei der Raffination der Grundsubstanz fallen Teersümpfe an. Bei der Monomerherstellung werden Giftstoffe als Zwischenprodukte benötigt. Die Monomere selbst sind ebenfalls giftig. Die Herstellung von Kunststoff-Blanks in asiatischen Billiglohnländern bleibt problematisch in Bezug auf Arbeitsschutz. Beim Randen können unangenehme Gerüche entstehen; die abgegebene Dosierung von Schadstoffen in der Luft ist unbedenklich.

Recycling ist bei beiden – sowohl bei Hi-Crown als auch bei MR8 – derzeit logistisch nicht möglich. Beim Verbrennen von Kunststoffgläsern in Müllverbrennungsanlagen können Rückstände entstehen, die in Sondermülldeponien abgelagert werden müssen. Silikatgläser verbrennen nicht und geben auch keine Giftstoffe frei.

In Bezug auf die geringere Prozesswärme bei der Herstellung sind es Kunststoffgläser, die als ökologisch nachhaltiger bezeichnet werden können. In Bezug auf die Vermeidung von Giftstoffen sind es Silikatgläser, die als ökologisch nach-

haltiger zu bezeichnen wären. Auch ist deren Grundstoff nahezu unbegrenzt.

Eine Relativierung zum Schluss: Jeder Autofahrer kennt heute den Kohlendioxidausstoß pro gefahrenen Kilometer. Verkehr und Kraftwerke verursachen den größten Teil des Verbrauchs an Erdöl und produzieren den größeren Anteil des Treibhausgas Kohlendioxid, weit mehr, als bei der Herstellung von Brillengläsern anfällt. Dennoch stehen wir – wie alle in der Industriegesellschaft – in der Verantwortung unserer Produkte. ■

**Johannes Schweinem, Höhere
Fachschule für Augenoptik Köln**

Literatur

- [1] Gruhl H. Ein Planet wird geplündert, Frankfurt 1975.
- [2] Corning-Broschüre. Das Glas und die Augenoptik, Bagnaux sur Loing 1998.
- [3] Nölle G. Technik der Glasherstellung, Stuttgart 1997.
- [4] Mayer L. Verfahren der Chemie-Industrie, Braunschweig 1963.
- [5] Förster R, Asselborn W. Chemie heute, Braunschweig 2011.
- [6] Rehm R. Kunststoffe für Brillengläser, DOZ 11/1994.
- [7] U.S. Patent Documents 3168545, 3884951, 3998866, 4689387, 5475074, Mitsui Toatsu Chemicals 1998.
- [8] Schweinem J. Kunststoffe der Brillenoptik im Wandel der Zeit, DOZ 2/2000.
- [9] aus EU-Verordnung (EG) 1272/2008.
- [10] TRGS 900, Gefahrstoff Isocyanate, Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 2006.
- [11] Baumbach P. The Freedom of Freeform, Mafo (Ophthalmic Labs & Industry), 3/2008.
- [12] Schneider G. Individual Freeform Lenses – From the First Idea to Fully Integrated Surfacing Solutions, Mafo 5/2011.
- [13] Mackenzie M. A Short History of Freeform, Mafo 6/2011.
- [14] <http://bi-gb.de/billiglohnlander-arbeitsbedingungen/>
- [15] TRGS 900, Gefahrstoff Hydrogensulfid, BGFE Köln 2001.
- [16] AVG-Broschüre, Restmüll-Verbrennungsanlage, Köln 1998.
- [17] Rosin H. Toxikologie: Müllverbrennung – die chronische Vergiftung, Umwelt-Medizin-Gesellschaft, Rundbrief 3/2008.

