

Recycling in der Flachglasindustrie

A. Kasper, SAINT-GOBAIN GLASS Deutschland, Herzogenrath

Vortrag im Fachausschuss III der DGG am 27. März 2003 in Würzburg

Einleitung

Recycling – ein modernes Lehnwort und Akronym für die Rückführung gebrauchter Wirtschaftsgüter, Verbrauchs- und Abfallmaterialien in den Produktionsprozess – ist heute in aller Munde. Jeder sieht seine Notwendigkeit ein, fast alle beteiligen sich mit mehr oder weniger großer Begeisterung an der Sammlung und Trennung von Verpackungen, Papier und anderen Materialien, die „verbraucht sind“. Recycling hat seinen festen Platz im täglichen Leben. Andererseits verlangt der Gesetzgeber neben anderen Massnahmen das Recycling, da es unter den Gesichtspunkten Umweltschutz und Ressourcenschonung schon heute unabdingbar ist, um kommenden Generationen eine lebenswerte Umwelt zu erhalten, und um die Reichweite der natürlichen Rohstoffvorräte zu maximieren. Ein wichtiges Beispiel dazu ist das „Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz“ von 1994.

Auf der anderen Seite stehen die „Empfänger“ der gesammelten Materialien, die sich mit deren Verwendung nicht selten vor erhebliche Probleme gestellt sehen. Unter anderem befinden sich ihre Produkte nicht mehr in dem Zustand, in dem sie die Fabrik verlassen haben. Im speziellen Fall wird Flachglas praktisch nie unverändert verwendet. Veredelungen wie z.B. Vakuumbeschichtung, Verspiegelung, Biegen, Emaillieren und Verbinden zu komplexen Produkten sind die Regel. Andererseits werden an das Vorprodukt Flachglas höchste Qualitätsansprüche gestellt: die Abwesenheit optischer Fehler wie Schlieren und sichtbare Einschlüsse ist ebenso selbstverständlich wie die strikte Einhaltung von Spezifikationswerten wie minimaler Lichttransmission, Farbort und Funktionalität. Für bestimmte Anwendungen (Fahrzeugverglasung) ist die Glasqualität sogar direkt gesetzlichen Regelungen unterworfen.

Die Rückführung von Recyclingglas in den Flachglasproduktionsprozess unterliegt daher nur untergeordnet kommerziellen bzw. ökologischen Gesichtspunkten. Vielmehr steht an erster Stelle notwendig eine hohe Qualität des Rohmaterials, ohne die die Einhaltung der beschriebenen Qualitätsmerkmale nicht möglich ist. Auch die Scherben unterliegen daher strengen Spezifikationen. Flachglasscherben kann man nach Ihrer Herkunft und Qualität zusammenfassen nach:

- Eigenschерben, bzw. Rücklaufscherben, die direkt beim Produktionsprozess anfallen und zu 100% wiederverwertet werden.
- Scherben aus dem Zuschnitt, sowohl im Bau- als auch im Automobilglassektor. Diese sind im Allgemeinen nicht verunreinigt und können mit einem gewissen logistischen Aufwand dem Produktionsprozess zu einem sehr hohen Anteil wieder zugeführt werden.
- Produktionsabfälle aus der Weiterverarbeitung zu Bauglas (Spiegelbelegung, Beschichtungsanlagen) sind häufig nur geringfügig verschmutzt und können größtenteils wiederverwendet werden.
- Schrottscherben aus der Autoglasproduktion sind bereits stark kontaminiert und ohne Aufarbeitung überwiegend unbrauchbar.
- Scherben aus der Verschrottung von Altfenstern und dem Abriss von Gebäuden müssen aufgearbeitet werden und werden danach im Allgemeinen im Hohlglas verwendet.
- Eine besondere Rolle spielt das Glas aus Altautos: Windschutzscheiben bestehen fast immer aus Verbundglas (VSG), Seiten- und Rückwandscheiben in der Regel aus Einscheibensicherheitsglas (ESG). Die europäische Altauto-Verordnung verlangt ab 2006 ein mindestens 80%-iges Recycling aller Teile der zu verschrottenden Fahrzeuge (ab 2015: 85%). Da Glas bis zu 5% zum Gewicht der Fahrzeuge beiträgt, wäre seine vollständige Wiederverwertung ein großer Schritt in diese Richtung.

Andere Glasarten (Behälter, ...) kommen zum Einlegen in Flachglaswannen im Allgemeinen nicht in Frage, unter anderem, weil ihre abweichende chemische Zusammensetzung zu optischen Fehlern führen würde.

Als Beispiele für die Möglichkeiten, Beschränkungen und Maßnahmen beim Recycling sollen einerseits die offensichtlich kontaminierten Spiegelscherben, zum anderen, wegen der Aktualität der Fragestellung, die Altagoscherben dienen.

Spiegelscherben

Spiegelscherben sind offensichtlich kontaminiert. Die Metallschichten (Silber, ca. 0,08 μm , manchmal auch Kupfer von etwa der halben Dicke) werden von einer doppelten Lackschicht geschützt, die ca. 55 μm dick ist und neben organischen Bestandteilen die Schwermetalle Barium und (heute nur noch in minimalem Umfang) Blei enthält.

Metallische und organische Verunreinigungen in Scherben sind grundsätzlich höchst unerwünscht. Andererseits wären Spiegelscherben, beispielsweise die Abfallscherben eines Spiegelbelegebands, ein leicht verfügbarer Rohstoff, der im Vergleich zur Verschrottung als Abfall einen finanziellen Vorteil in der Größenordnung von 100'000 € pro Jahr einbringen könnte. Daher stellte sich die Frage, ob Spiegelscherben mit der Flachglasproduktion verträglich sind.

Bereits vor einigen Jahren haben wir in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen gezeigt, dass Silber im Glas zu mindestens 5000 ppm löslich ist, und dass die Lösungskinetik hinreichend schnell ist, um die Bildung von Silbertröpfchen im Glas sicher zu verhindern. (Analog zum Blei führen auch Silbertröpfchen aufgrund des Marangoni-Effekts zum Tropfenbohren und daher u.U. zu einer empfindlichen Beschädigung des Wannenbodens.) Diese Untersuchungen wurden veröffentlicht¹⁾, genügten aber den Praktikern nicht als endgültiger Beweis.

Weitere Laboruntersuchungen an Scherben mit dickeren Silberauflagen (Scherben von Kfz.-Rückwandscheiben mit flächigem Silberdruck, Abb.1) zeigten in konkreten Bildern, wie heftig die Glasschmelze mit dem Silber reagiert, und dass tatsächlich schon bei 1200°C eine aktive Auflösung in kurzer Zeit erfolgt (Abb.2).

Als endgültiger Beweis kann ein industrieller Großversuch gelten, bei dem während ca. 6 Monaten insgesamt 1200 t Spiegelscherben mit ca. 12% Anteil am geschmolzenen Glas eingesetzt wurden, ohne dass eine Beeinträchtigung der Produktion auftrat (Abb. 3). Die Bilanzierung der Schwermetallmengen über chemische Analysen des Glases, sowie die Inspektion des Wannenbodens bei der anschließenden Kaltreparatur zeigten, dass tatsächlich alles Silber im Glas in Lösung gegangen war. Auch die organischen Anteile des Spiegellacks führen offensichtlich nicht zu einer Störung des Schmelzprozesses. Es lässt sich berechnen, dass man Flachglas von einwandfreier Qualität rein aus Spiegelscherben erschmelzen könnte (abgesehen von den sich bei einer reinen Scherbenschmelze ergebenden Läuter- bzw. Homogenitätsproblemen...).

Das Beispiel der Spiegelscherben zeigt, dass auch offensichtlich kontaminierte Scherben bei näherem Hinsehen ohne aufwändige Aufarbeitung zum Recycling im Flachglas geeignet sein können. Der große Vorteil ist, dass sie im vorliegenden Fall direkt beim Herstellungsprozess anfallen und ohne weitere Kontaminationsgefahr direkt, analog wie Rücklauf- oder Zuschnittscherben, dem Prozess wieder zugeführt werden, während die intrinsischen Kontaminationen berechenbar und relativ gering sind. Die Gefahr einer produktionsgefährdenden „Panne“ ist praktisch gleich Null.

¹⁾ DAHLMANN, U., RESCHKE, D., CONRADT, R., KASPER, A.: Auflösungsverhalten von Silber in Flachglasschmelzen bei der Wiederverwertung von Spiegelscherben. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 72(1999)No.2 p.N21-N22 (0299F034) ;
Vortrag (Dahlmann) im Fachausschuss III der DGG, 8.10.1998 in Würzburg

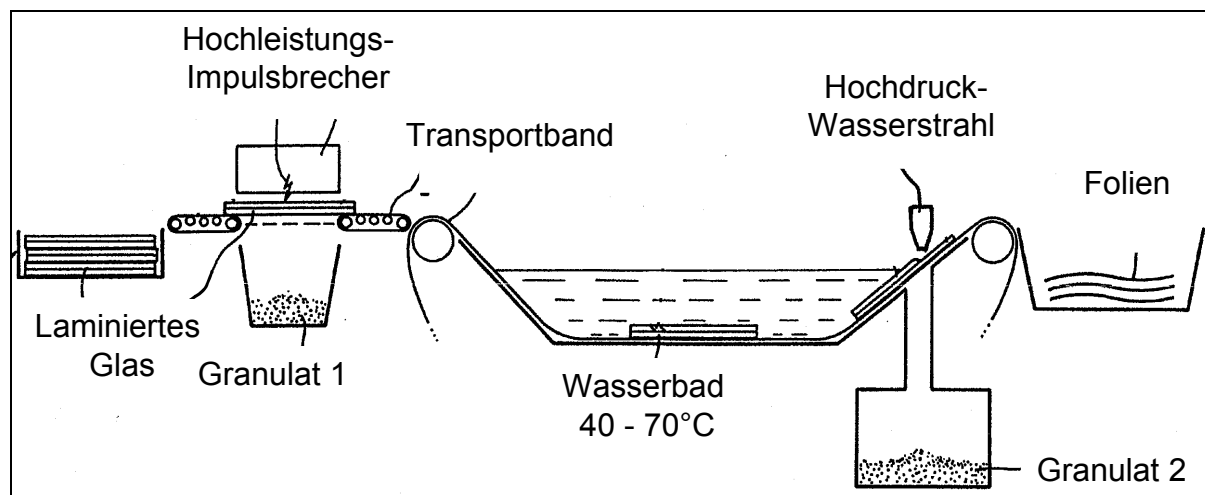


Abb.4: Beispiel für eine Delaminationsanlage für VSG nach Patent DE196 08 045.

Altautoscherben

Schon beim Ausbau der Scheiben aus den Altautos ist es wichtig, jede Kontamination durch Fremdstoffe zu vermeiden. Die Scheiben müssen selektiv ausgebaut und farbrein gesammelt werden, anderenfalls ist der Einsatz der gewonnenen Scherben in einer Flachglaswanne praktisch ausgeschlossen. Der logistische Aufwand hierfür ist enorm.

Wie bereits erwähnt, enthalten Altautos zwei Arten von Sicherheitsglas.

VSG aus Automobilen enthält, eingeschlossen zwischen zwei Glasscheiben, ca. 10 Gew.-% Polyvinylbutyral (PVB), das als organische Substanz ein sehr starkes Reduktionsmittel im Glasschmelzprozess darstellt. VSG kann daher keinesfalls ohne Aufarbeitung eingeschmolzen werden. Die Delamination ist ein technisch gelöster, aber aufwändiger Vorgang (Abb.4). Das Beispiel zeigt die drei typischen Verfahrensschritte: Brechen, Behandeln mit Wasser, Endseparation von Glas und PVB(-Fetzen).

Nach dem heutigen Stand ist es nicht möglich, die gewonnenen Folienreste wieder zur VSG-Produktion einzusetzen, unter anderem, da sie mehr oder weniger mit anhaftenden Glaspartikeln kontaminiert sind und unkontrolliert sehr viel Feuchtigkeit aufgenommen und wasserlösliche Substanzen abgegeben haben.

Das Glasgranulat dagegen enthält weniger als 0,1% PVB und kann daher als Glasrohstoff dienen. Außer für die Herstellung von Faserglas störend ist „lediglich“ der schwarze Emailrand, der den Montagekleber vor der solaren UV-Strahlung schützt und daher den Einsatz der Glasscheibe als tragendes Karosserieteil überhaupt erst ermöglicht.

Einen solchen Emailrand tragen auch alle anderen eingeklebten Scheiben, die normalerweise aus dem vorgespanntem ESG bestehen. Ihr unbeschädigter Ausbau aus der Karosserie ist schwierig, so dass die Tendenz dahin geht, diese Scheiben bei der Demontage der Schrottfahrzeuge bewusst zu zerschlagen und die resultierenden Krümel sauber in „Tüten“ aufzufangen. Gleichzeitig erreicht man eine Separation vom Montagekleber, der zunächst an der Karosserie hängen bleibt. Eine andere diskutierte Methode ist es, in die Kleberaupe schon bei der Montage einen Draht einzulegen, mit dem man bei der Demontage die Scheibe aus der Karosserie „herausschneiden“ kann.

In jedem Fall steht der Emailrand einem Recycling der erhaltenen Gläser entgegen, denn er enthält neben Schwermetallen (früher: Bleisilicat; heute wegen gesetzliche Auflagen zunehmend Bismutsilicat als Glasfluss) schwarze Farbpigmente. Diese bestehen heute aus Spinellen, hauptsächlich dem schwarzen Kupferchromit (CuCr_2O_4), denen aber zur „Farb-“ Anpassung häufig Kobalt-, Nickel- und Eisenoxid beigefügt sind. Die meisten dieser Übergangsmetalle sind dafür bekannt, dass sie die Glasschmelze sehr stark färben. Man kann berechnen,

dass die über die angewendeten Schichtdicken und emaillierten Flächenanteile eingetragenen Mengen schon bei einem geringen Recyclinganteil jede Toleranzgrenze überschreiten, vor allem dann, wenn man ein Mehrfachrecycling des Glases berücksichtigt. Die emaillierten Anteile der Scherben müssen daher abgesondert und einer anderen Verwendung (z.B. dem Faserglas) zugeführt werden. Die Aussonderung ist technisch im Prinzip machbar (Abb.5), aber sehr aufwändig und häufig (vor allem bei dem sehr feinkrümelig anfallenden ESG) ökonomisch nicht lohnend.

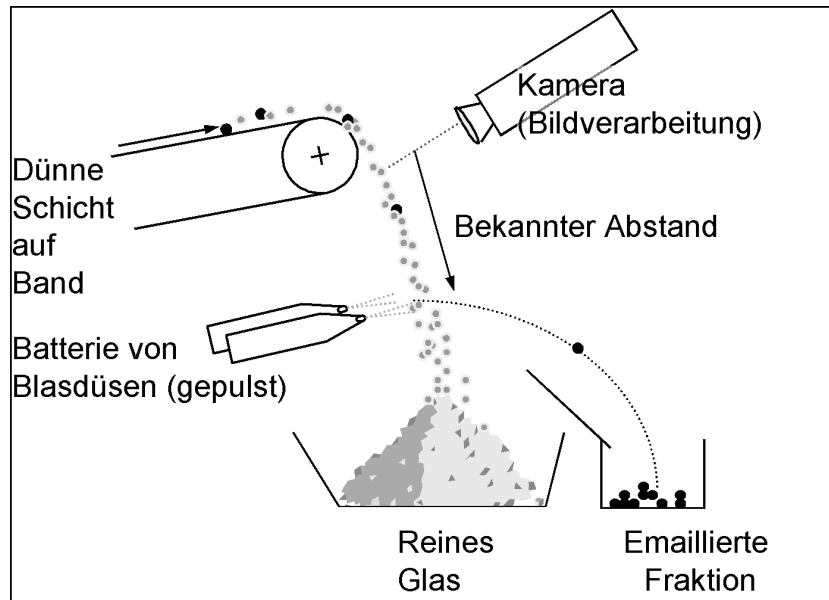


Abb.5: Prinzip der Ausscheidung emaillierter Scherben aus einem frei fallenden Scherbenstrom.

Langfristig einen grundsätzlichen Ausweg aus dieser unerfreulichen Situation bieten würde die Einführung von Schwarzemails, deren Pigment die störenden Übergangsmetalle Chrom, Kobalt und Nickel nicht enthält. Derartige Entwicklungen sind aber heute von einer Markteinführung noch weit entfernt, obschon es etliche Denkansätze und konkrete Entwicklungen gibt. Es bedürfte einer gemeinsamen Anstrengung aller Autoglaserhersteller, „recyclingfähige Emails“ zu entwickeln und lückenlos bei der Produktion von Autoscheiben einzuführen – nicht nur in Deutschland, sondern Europa bzw. weltweit. Auch dann würde das skizzierte Problem nur sehr langsam verschwinden, denn die Nutzungszeit von neuen Automobilen liegt heute häufig bei über 10 Jahren, und auch ein relativ geringer Anteil an Emails mit stark färbendem Pigment macht das Recycling des Glases ohne Separation unmöglich.

Der Gesamtaufwand für die Herstellung von Recyclingscherben aus Automobilglas ist sehr groß. Die Arbeitsschritte:

- Demontage,
- sortenreine Lagerung und Transport zur Aufbereitung,
- Delamination des PVB,
- Separation metallischer Bestandteile, z.B. durch Wirbelstromabscheider,
- optische Separation emaillierter Flächen und
- Transport zum Glashersteller

sind mit einem hohen logistischen Aufwand und viel Handarbeit verbunden. Die Kosten dafür werden heute auf 60 bis 300 €/t beziffert²⁾. Recyclingscherben aus der Altaufoaufbereitung sind daher offensichtlich erheblich teurer als andere, qualitativ mindestens gleichwertige, die auf dem freien Markt angeboten werden. Dieser Kostenaspekt muss in einem übergreifenden Konzept zur Altaufoverwertung jedenfalls Berücksichtigung finden, da die Glashersteller ökonomische Gesichtspunkte beim Kauf der Rohstoffe nicht außer Acht lassen können.

Trotz – oder gerade wegen – des hohen Aufwandes bleibt ein Restrisiko. Metallische Teile und stark färbende Bestandteile sind vermutlich nicht völlig rückstandsfrei zu entfernen, zumal, da gelegentliche Pannen mit in Betracht gezogen werden müssen. Der potenzielle Schaden bei der Flachglasproduktion ist erheblich: eine einzelne Fehlcharge kann mehrere Tage Produktionsausfall und einen enormen finanziellen Verlust zur Folge haben. Auch kann eine wechselnde bzw. von der hauseigenen stark abweichende chemische Zusammensetzung der Scherben (Beispiel: japanisches Flachglas mit > 1% Al₂O₃) zur Schlierenbildung führen und daher erhebliche Dauerprobleme verursachen.

Im Hohl- und Faserglas dagegen, bei denen die Reinheit der Rohstoffe bei weitem weniger kritisch ist, können aufbereitete Altaufocherben durchaus Verwendung finden.

Zusammenfassung

Die beiden Beispiele – Spiegelrecycling und Autoglasrecycling – zeigen, dass ein Recycling von Scherben im Flachglas nur dann möglich ist, wenn das Recyclat von sehr hoher Qualität ist. Unkontrollierbare Kontaminationen, z.B. mit stark färbendem Schwarzemail, oder mit unvollständig abgetrennten Metall- oder großstückigen organischen Bestandteilen, stellen ein nicht tragbares Risiko dar. Der potenzielle Schaden – selbst wenn seine Eintrittswahrscheinlichkeit vergleichsweise gering ist – ist zu groß. Bei den offensichtlich kontaminierten Spiegelscherben dagegen ist der Eintrag an Fremdbestandteilen gleichmäßig, exakt berechenbar und so niedrig, dass das produzierte Glas qualitativ nicht beeinträchtigt wird. Entsprechendes gilt auch für andere ähnliche „Kontaminationen“, wie z.B. funktionelle Schichten, und für bestimmte Fremdstoffe, wie z.B. die hier nicht erörterten Filterstäube aus der Abgasreinigung. In diesen Fällen ist es möglich, die Stoffe kontaminationsfrei zu sammeln und ohne Aufbereitung einzulegen. Das Risiko, bzw. die Auswirkungen auf den Schmelzprozess, sind daher berechenbar und gering.

²⁾ KAIRIES, P.: End of life vehicle directive – Chances, risks and opportunities of glass recycling for old cars. ATIV Conference, Parma 2002.