

# CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Recyclingscherben bei der Behälterglasherstellung

Bernhard Fleischmann,  
Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. (HVG), Offenbach am Main

Andreas Rosin,  
Keylab Glastechnologie, Lehrstuhl Keramische Werkstoffe, Universität Bayreuth

## Einführung/Motivation

Im Rahmen der aktuellen Diskussionen zum Thema „Klimaneutralität“ und „Circular Economy“ rücken (Recycling-)Scherben und ihr Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung bei der Herstellung von (Behälter-)Glas immer mehr in den Fokus. Die Frage ist daher, wie hoch der Beitrag von Recyclingscherben bei der Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sein kann. In diesem kurzen Diskussionspapier werden drei Herangehensweisen vorgestellt, um den Einfluss der Scherbenmenge auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu ermitteln.

Grundsätzlich setzt sich die verminderte CO<sub>2</sub>-Emission beim Einsatz von Scherben bei der Glasschmelze aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen enthalten die Scherben keine karbonatischen Verbindungen wie ein Teil der Bestandteile des Gemenges. Die natürlichen Rohstoffe Kalk und Dolomit sowie Soda geben CO<sub>2</sub> bei einer Umwandlung (Zersetzung) ab. Dies entfällt bei Scherben, da schon eine silicatische Oxidmischung vorliegt.

Zum anderen wirken Scherben als Schmelzbeschleuniger im Vergleich zum Gemenge. Es wird also weniger Energie zum Schmelzen benötigt. Erfahrungsgemäß werden pro 10 % Scherben mehr im Gemenge 3 % weniger an Energie bei der Schmelze im Glasschmelzwannenofen benötigt [1,2,8]. Die Summe der beiden Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Entwicklung soll hier berücksichtigt werden.

Ein Hinweis zur Bezugsgröße Glastonnage: Alle entsprechenden Kenngrößen (spezifischer Energieverbrauch, u.a.) werden in diesem Bericht auf die ‚Tonne verkaufsfähiges Glas‘ bzw. ‚verpacktes Glas‘ oder ‚formed and finished glass‘ bezogen, die in ihrer Größenordnung alle miteinander vergleichbar sind. Eine Umwandlung der Kennzahlen auf den Bezug ‚geschmolzene Tonne Glas‘ kann mit dem Faktor ‚Pack to Melt‘ (der Ausbeute bei der Glasherstellung) vorgenommen werden. Bei zwei Werten ist der Bezug ‚t<sub>Glas</sub>‘, da der Bezug nicht eindeutig geklärt ist. Es geht bei beiden Zahlen aber auch nur um den Vergleich in der Größenordnung.

Eine Anmerkung zu den verwendeten Verbräuchen, Jahrestonnagen und anderen Kennzahlen, die in die Berechnungen eingehen: Die Zahlen beruhen auf Statistiken und Verbräuchen in Deutschland, die durch die entsprechenden Randbedingungen nicht immer auf andere Länder übertragbar sind. Werden typische Mittelwerte aus dem europäischen Vergleich verwendet ist dies kenntlich gemacht.

## Vorgehensweise 1: Lebenszyklusanalyse, LCA, „cradle to cradle“

Aus der Steigung der in Abbildung 1 dargestellten Geraden ergibt sich ein genereller Minderungseffekt bei der Glasproduktion von -6,7 kg CO<sub>2</sub> pro zusätzlichen 1 % Scherbenzugabe und Tonne verkaufsfähiges Glas basierend auf europäischen Kennzahlen. Für eine Erhöhung des Scherbenanteils im Gemenge von 10 % ergibt sich also eine Minderung von -67 kg CO<sub>2</sub> pro 10% Scherben und einer Tonne verkaufsfähiges Glas [2].

Die Frage ist, welche Systemgrenzen dabei zum Tragen kommen und welche Energieträger und -verbräuche bei der Betrachtung „cradle to cradle“ erfasst werden. Eine Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emission ermittelt bei dieser Herangehensweise nicht nur die Minderung im Glaswerk sondern auch weitere Einspareffekte entlang der Liefer- und Nutzungskette eines Behälterglases. Das Recycling von Glas minimiert die Abfallmenge und schützt natürliche (Rohstoff-)Ressourcen, d.h. es wird keine Energie für die Gewinnung, Verarbeitung und den Transport neuer Rohstoffe benötigt (>200 kg CO<sub>2</sub>/t<sub>Glas</sub> [9] bei der Erzeugung aus reinem Gemenge). Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung, die auf den Betrieb einer Scherbenaufbereitungsanlage und den meist lokal begrenzten Transport der Scherben zurückzuführen ist, ist im Vergleich dazu gering (ca. 8 kg CO<sub>2</sub>/t<sub>Glas</sub>) [9].

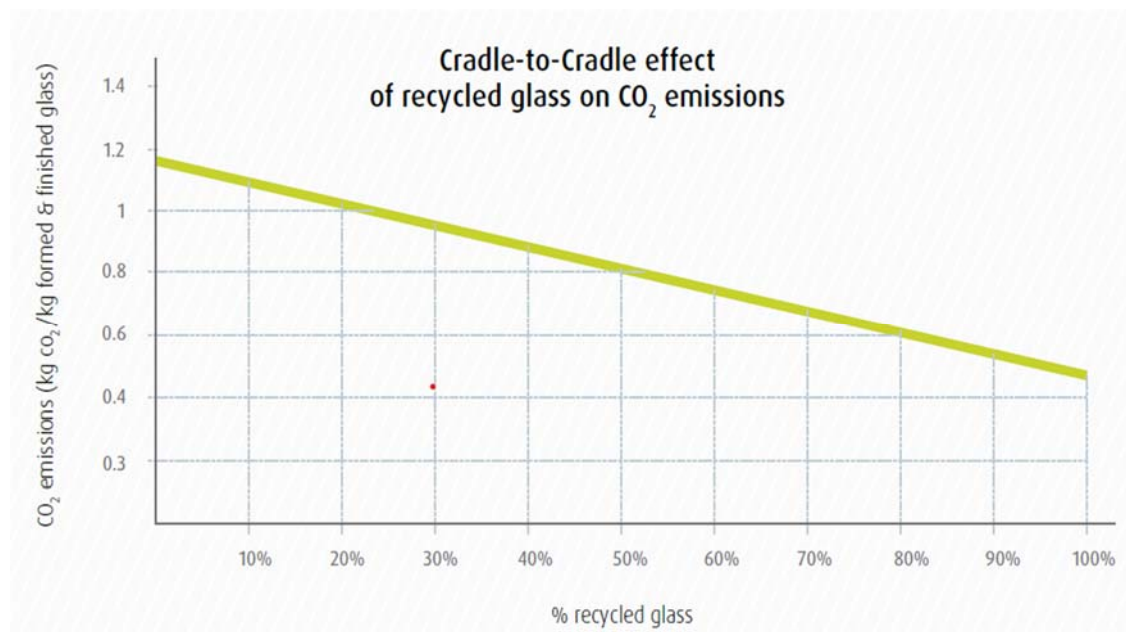


Abbildung 1: Effekt von (Recycling-)Scherben auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Behälterglasherstellung [2] unter den Randbedingungen einer Lebenszyklusanalyse

Bei der Betrachtungsweise „cradle to cradle“ werden also alle Aspekte des Produkt“lebens“ erfasst, einschließlich Recycling und letztendlich auch „end of life“ (Abfallentsorgung). Glas kann jedoch unendlich oft ohne Qualitätsminderung recycled werden. Es vermindert bei einer vollständigen Rückführung durch Recycling die zu entsorgende Abfallmenge. Auch bei den Energieträgern werden bei Lebenszyklusbetrachtungen sowohl die eingesetzten natürlichen Brennstoffe als auch die eingesetzte elektrische Energie berücksichtigt.

## Vorgehensweise 2: im Werk, „gate to gate“

Schaut man sich den Einfluss der Recyclingscherben auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der eigentlichen Glasherstellung im Glaswerk genauer an, so sind die zwei vorher genannten Effekte, Schmelzbeschleuniger und Karbonat-freier Rohstoff, zu berücksichtigen. Betrachtet man die beiden Quellen für CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennt, ergibt sich die im folgenden beschriebene Vorgehensweise.

Laut dem „Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2004“ des UBA [3] wird unter Berücksichtigung der Gewichtsanteile der Glasoxide, die als Karbonate im Gemenge vorliegen (CaO, Na<sub>2</sub>O, MgO und BaO), für die Behälterglasproduktion der prozessbedingte Ausstoß an CO<sub>2</sub> aus reinem, trockenem Gemenge mit 193 kg CO<sub>2</sub> pro t geschmolzenes Glas aufgeführt. Rechnet man das auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung pro Tonne verkaufsfähiges Glas um, so ergibt sich ein Richtwert von 214 kg CO<sub>2</sub>/t verkaufsfähiges Glas. Damit ergibt sich für jeweils 10 % Scherbenzu- bzw. -abnahme ein CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von + bzw. -21,4 kg CO<sub>2</sub>/(10 % Scherben und Tonne verkaufsfähiges Glas).

Die Brennstoff-bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich aus dem Brennstoffeinsatz zum Schmelzen von Glas und den Brennstoff-spezifischen Emissionsfaktoren berechnen. Laut [4] beträgt der Brennstoffverbrauch bei der Schmelze von Behälterglas in der Wanne im Mittel 4,9 GJ/t verkaufsfähiges Glas. Unter Berücksichtigung der spezifischen Emissionsfaktoren für Energieträger (Erdgas 202 kg CO<sub>2</sub>/kWh; Schweröl: 294 kg CO<sub>2</sub>/kWh [5]) und dem Verhältnis der Energieverbräuche an Erdgas (ca. 95%) und Erdöl (ca. 5%) bei der Hohlglasherstellung [6] ergibt sich ein Brennstoff-bedingter CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 281 kg CO<sub>2</sub> /t verkaufsfähiges Glas für die Wanne. Dies berücksichtigt nicht den Energieträger elektrische Energie, da die Emission zur Erzeugung elektrischer Energie der Energie-erzeugenden Industrie zugerechnet wird.

Nimmt man die Erfahrung der Glasindustrie, dass 10 % Scherben den Energieverbrauch um 3 % mindern [1,2, 8], so ergibt sich eine Minderung von -8,4 kg CO<sub>2</sub>/(10 % Scherben und Tonne verkaufsfähiges Glas) auf Grund des verminderten Brennstoffverbrauchs.

Beide berechneten Minderungspotentiale ergeben zusammen -29,8 kg CO<sub>2</sub>/(10 % Scherben und Tonne verkaufsfähiges Glas). Nochmal zur Erinnerung: Die Systemgrenzen für diesen Wert unterscheiden sich extrem von den bei der Vorgehensweise 1 zu Grunde liegenden Berechnungen.

## Vorgehensweise 3: Ausgangspunkt VET-Bericht 2019 und Erfahrungswert für CO<sub>2</sub>-Minderung

Laut FEVE [2] führen 10 % mehr Scherben im Glaswerk zu einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 5 %. Dies fasst beide Effekte zusammen. Ausgehend von 1.622.000 kg CO<sub>2eq</sub> im Jahr 2019, die im VET-Bericht der Deutschen Emissionshandelsstelle DEHSt [7] für Hohlglas ausgewiesen wurden, kann damit folgender Schätzwert ermittelt werden bei Berücksichtigung einer Jahrestonnage von

4.089.500 t verkaufsfähiges Behälterglas:

$$\frac{1.622.000}{4.089.500} \cdot 0,05 \cdot 1000 = 19,8 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{10 \text{ Prozent Scherben und t verkaufsfähiges Glas}}$$

Die Erfahrungen des Glasherstellers Vetropack spiegeln sich in [8] mit 7 % CO<sub>2</sub>-Minderung bei einer Anhebung der Scherbenanteils um 10% wider. Dies ergibt bei gleicher Vorgehensweise 27,8 kg CO<sub>2</sub>/(10% Scherben und Tonne verkaufsfähiges Glas). Da sich die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Glasherstellungsprozess nur auf das Schmelzen von Glas in der Wanne auswirkt und nicht auf den Energieverbrauch im Feeder, bei der Formgebung oder dem Kühlprozess bzw. bei anderen Nebenprozessen, ist es nicht erstaunlich, dass man bei der Bilanzgrenze Schmelzwanne ähnliche Werte erhält wie bei der Bilanzgrenze Glaswerk.

## Zusammenfassung

Je nach Betrachtungsweise und je nach Festlegung der Systemgrenzen ergeben sich für das CO<sub>2</sub>-Minderungspotential einer Erhöhung des Scherbenanteils im Gemenge um 10 % die in Tabelle 1 dargestellten Werte.

Tabelle 1: CO <sub>2</sub> -Minderungspotential bei einer Erhöhung des Scherbenanteils um 10 %			
Vorgehensweise: System- und Bilanz- grenze	LCA „cradle to cradle“	Glaswerk „gate to gate“	Erfahrungswerte für Behälterglaswannen
CO <sub>2</sub> -Minderungspotential von zusätzlichen 10% Scherben im Gemenge in kg CO <sub>2</sub> /(10 % Scherben und Tonne verkaufsfähiges Glas)	-67,0	-29,8	-27,8

Will man also abschätzen, wie viel weniger CO<sub>2</sub> bei der Behälterglasherstellung im Jahr freigesetzt wird, wenn der Scherbenanteil im Gemenge von heute durchschnittlich 65% auf 75 % um 10% steigt, ergeben sich bei der Multiplikation mit der Jahrestonnage für die Betrachtungsweise „Wanne“ bzw. „Glaswerk“ folgende Minderungspotentiale: -113.688 bzw. -121.866 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Bei einer Lebenszyklusbetrachtung für Behälterglas mit den zusätzlichen Beiträgen aus der Liefer- und Nutzungskette erhält man als Schätzwert für den gesamtwirtschaftlichen Effekt (Brennstoffe, elektrischen Energie, prozessbedingte Emissionen) eine Einsparung von -273.997 t CO<sub>2</sub> im Jahr

## Literatur

- [1] B. M. Scalet, M. Garcia Munos, A. Q. Sissa, S. Roudier und L. Delgado Sancho, „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass,“ Joint Research Centre of the European Commission, 2013. Seite 314
- [2] „FEVE-brochure-Recycling-Why-glass-always-has-a-happy-CO2-ending,“ 04 2016. [Online]. Available: <https://feve.org/wp-content/uploads/2016/04/FEVE->

brochure-Recycling-Why-glass-always-has-a-happy-CO2-ending-.pdf. [Zugriff am 22.04.2021].

- [3] N.N.: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2004. Umweltbundesamt. Mai 2006. S. 211.  
[<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3040.pdf>] am 23.04.2021
- [4] M. Leisin: Energiewende in der Industrie - Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energie sektor. Branchensteckbrief der Glasindustrie. 2019. Seite 6  
[[https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-glas.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-glas.pdf?__blob=publicationFile&v=4)] am 23.04.2021
- [5] Merkblatt zu den CO2-Faktoren. Version 1.1, Januar 2019.
- [6] Jahrerhebung über die Energieverwendung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden. Tabelle 3: Energieverbrauch nach Energieträgern. Deutschland. Berichtszeitraum: 2019: 060\_Tab03\_mit\_GH\_2019.xlsx, angefragt beim Statistischen Bundesamt in Wiesbaden im Dezember 2020.
- [7] N.N.: Treibhausgasemissionen 2019 - Emissionshandlungspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2019). UBA; DEHSt. Berlin, Mai 2020
- [8] Vetropack: Glas bleibt Glas.  
[[https://www.vetropack.at/fileadmin/doc/01\\_publications/04\\_Brochures/German/recycling\\_d\\_rz.pdf](https://www.vetropack.at/fileadmin/doc/01_publications/04_Brochures/German/recycling_d_rz.pdf)] (in deutscher Sprache) bzw.  
[[https://www.vetropack.at/fileadmin/doc/01\\_publications/04\\_Brochures/recycling\\_en.pdf](https://www.vetropack.at/fileadmin/doc/01_publications/04_Brochures/recycling_en.pdf)] (in englischer Sprache) am 26.04.2021
- [9] H. Frischenschlager et al.: Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich, Endbericht an das Umweltbundesamt Österreich, Wien 2010, S. 64  
[<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0303.pdf>] am 23.04.2021

29. April 2021