



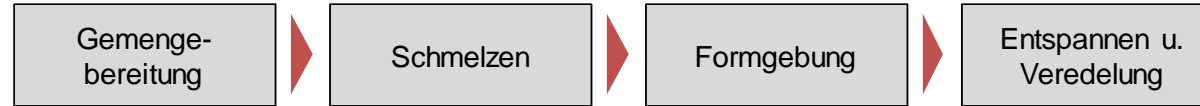
**FFE**

# CO<sub>2</sub>-Verminderung in der Hohlglasherstellung

Andrej Guminski, Elsa Rouyrre, Manuel Wiener  
27.11.2019

2019

# Prozessablaufdiagramm Hohlglasherstellung



## Prozessbeschreibung:

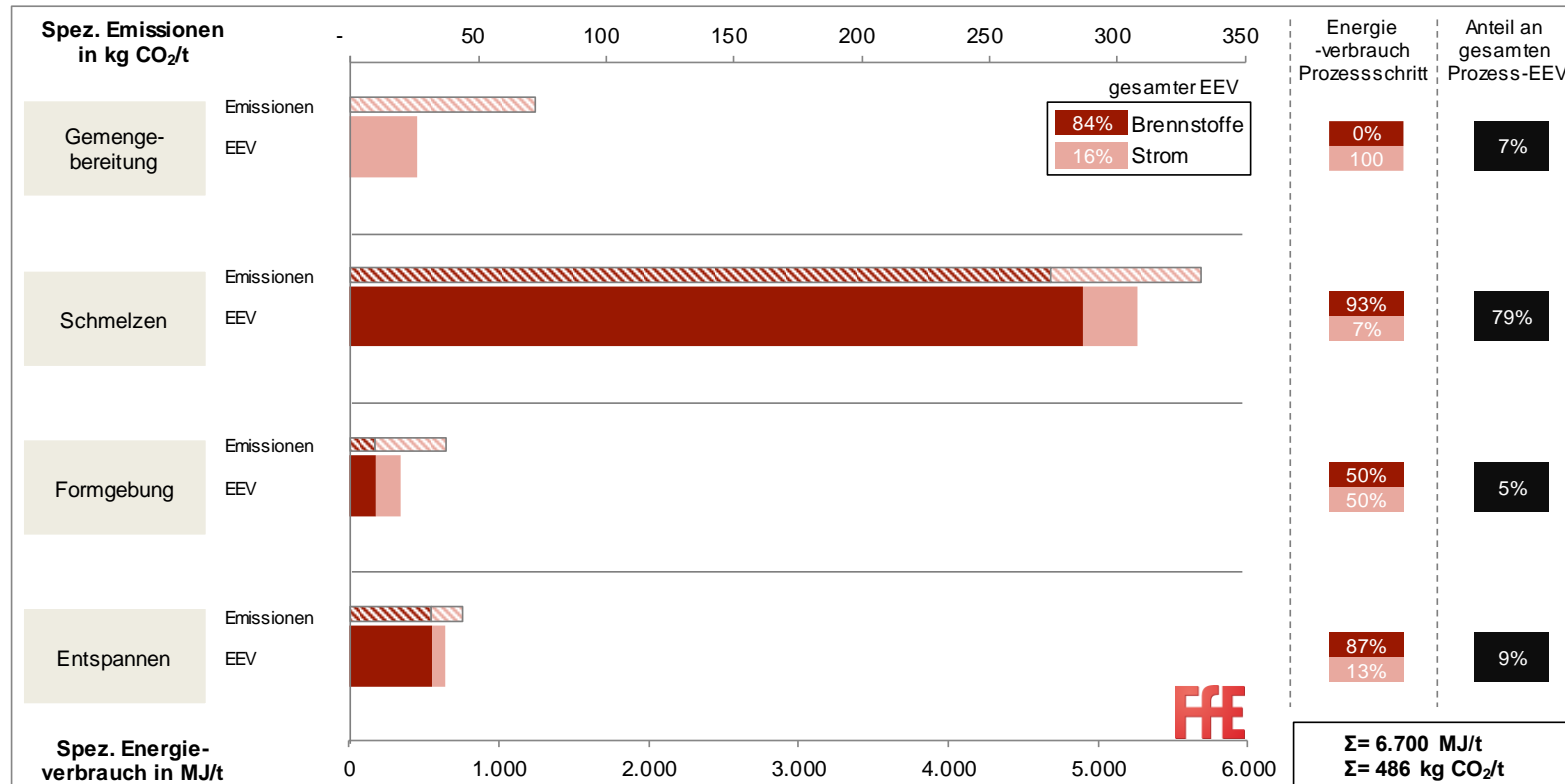
Die Herstellung von Hohlglas beginnt mit der Gemengebereitung, bei welcher die Rohstoffe portioniert und homogenisiert werden. Der Hauptbestandteil primärer Rohstoffe für die Herstellung von Behälterglas\* stellt Siliciumdioxid aus Quarzsand dar. Darüber hinaus werden Natriumoxid (durch Soda) und Calciumoxid (durch Kalk) sowie diverse Zusatzstoffe wie Aluminiumoxid (durch Feldspat) eingesetzt /LAN 01 14/. Allerdings wird vor allem in der Behälterglasherstellung unter anderem zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs ein bedeutender Anteil an Scherben, je nach Glassorte von bis zu 95 %, beigemischt. Laut dem Bundesverband Glasindustrie (BVG) liegt der Scherbenanteil für Behälterglas im Mittel bei 60 % /BVG 01 14/. Die Höhe des Scherbenanteils wird aktuell durch die Scherbenverfügbarkeit begrenzt (Qualität und Farbe). Der energetische Vorteil durch die Nutzung von Glasscherben, welche sich aus Altglas und Glasbruch der Produktion zusammensetzen, besteht darin, dass sich Scherben mit geringerem Energieaufwand schmelzen lassen, da hierfür keine Reaktionswärme mehr erforderlich ist.

Den energetisch bedeutendsten Prozessschritt stellt das Schmelzen der Rohstoffe im Glasschmelzofen dar. Aufgrund der hohen Temperaturen von bis zu 1.600° C im Inneren der Öfen sind diese mit Feuerfestmaterial ausgekleidet. /LAN 01 14/ Als Befeuerungsvariante kommt hierbei hauptsächlich ein Brenner mit zentralem Regenerator zum Einsatz /JRC-01 13/. Der Ofenprozess setzt sich grundsätzlich aus Aufschmelzen des Gemenges, Läuterung und der Arbeitswanne zusammen /BVG 01 14/. Von der Arbeitswanne, wo das Glas auf Formgebungstemperatur abgekühlt wurde, strömt das Glas zum Entnahmepunkt. Für die Herstellung von Hohlglas ist dies der Speisekopf. Die Tropfen werden mit einer Temperatur bis 1.200° C erzeugt und dann in der Formgebungsmaschine zu den Glasfertigprodukten geformt. Den letzten Prozessschritt stellt die Entspannung (oder Abkühlung) und Veredelung der Glasprodukte dar. Dies ist notwendig, da sich im Zuge der Formgebung mechanische Spannungen im Material ergeben haben. Für Hohlglas kommen überwiegend sog. Kühlbahnen (auch: Kühlöfen) zum Einsatz, in welchen die Temperatur der hergestellten Glasprodukte schrittweise in 30 bis 100 Minuten von 600° C auf 100° C verringert wird. /BVG 01 14/, /EOLB 01 08/

Die Veredelung der Glasprodukte erfolgt abhängig von dem Endprodukt und umfasst vor allem verschiedenste Verfahren der Oberflächenbehandlung (u.a. Beschichten, Mattieren). Nach der finalen Qualitätskontrolle werden die Produkte verpackt und versendet. /EOLB 01 08/, /BVG 01 14/

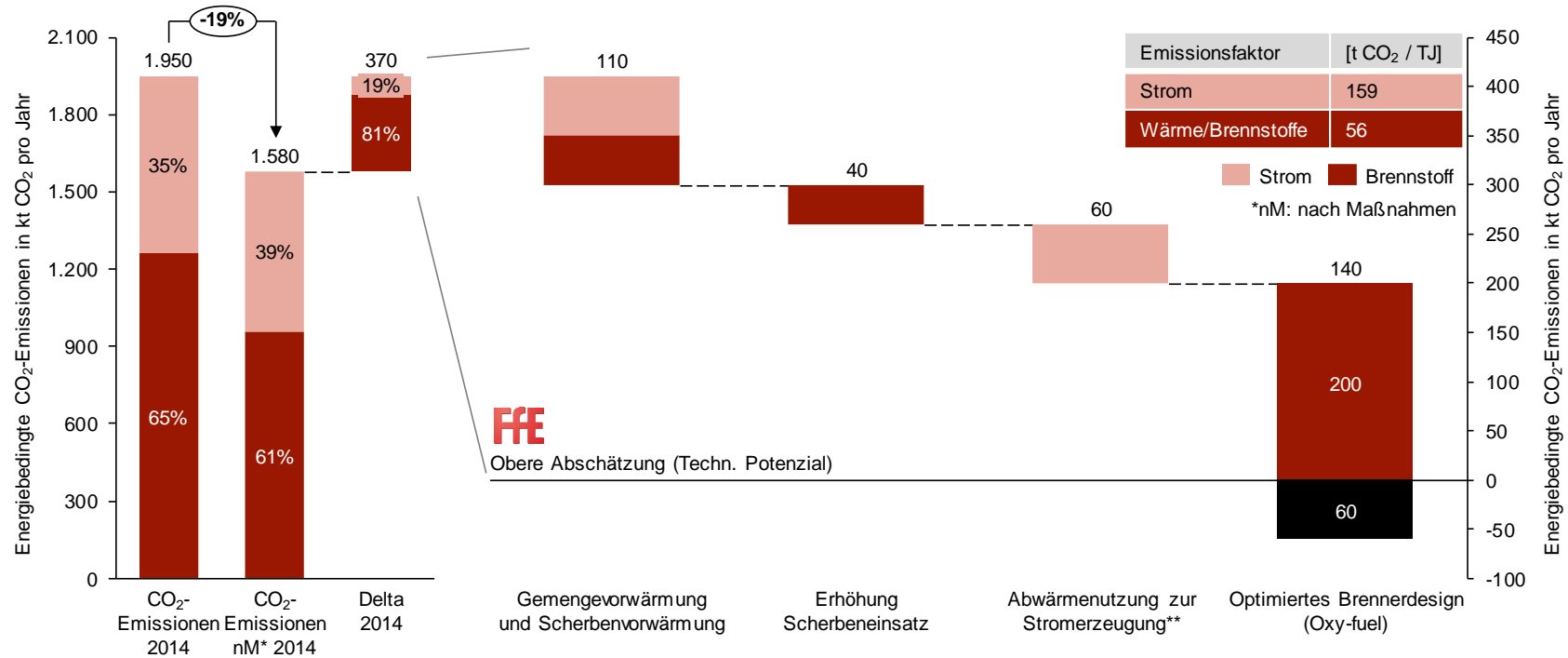
\* Nahezu 99 % der Hohlglasproduktion im Jahr 2014 entfiel auf die Herstellung von Behälterglas. Die restlichen 1 % stellen Kristall- und Wirtschaftsglas dar /BVG 01 15/.

# Spezifischer Energieverbrauch in MJ/t und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg CO<sub>2</sub>/t der Hohlglasherstellung



- Herstellung von Hohlglas im Jahr 2014 in Deutschland: 4.018 kt /BVG-01 15/
- Durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 6.700 MJ pro Tonne Hohlglas in 2014
- Deckung des Energiebedarfs zu ca. 84 % über Brennstoffe und zu ca. 16 % über Strom /EOLB-01 08/
- Brennen ist mit nahezu 80 % des gesamten Energieverbrauchs der energieintensivste Prozessschritt /EOLB-01 08/
- Durchschnittliche energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 490 kg pro Tonne Hohlglas in 2014 /AGEB-01 16/ /EOLB-01 08/
- Hierin enthalten ist der Energieverbrauch für den Elektrofilter, der keine Produktionsrelevanz hat, aber aufgrund gesetzlicher Vorschriften für die CO<sub>2</sub>-Verminderung benötigt wird.

# Auswirkungen quantifizierter CO<sub>2</sub>-Verminderungsmaßnahmen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Hohlglasherstellung



\*\* Nur relevant wenn die ersten beiden Maßnahmen (Vorwärmung und Scherbeneinsatz) nicht worden sind

# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Hohlglasherstellung (1)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Gemenge- und Scherben-vorwärmung (Gemengebereitung)	Während Gemenge sowie Scherben normalerweise kalt in die Schmelzwanne eingebracht werden, können durch deren Vorwärmung mit Abgasen signifikante Energieeinsparungen realisiert werden. Die Vorwärmungstemperaturen liegen überwiegend im Temperaturbereich von 275-325° C. /JRC-01 13 /	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme (Brennstoff): 112 kWh / t Glas /OVE-01 09/, JRC-01 13/, /EOLB-01 08/, /TS-01 16/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 40 % /OVE-01 09/</li> </ul>
Erhöhung Scherbeneinsatz (Gemengebereitung)	Aufgrund der bereits vollendeten chemischen Reaktion bei der Glasbildung benötigen Scherben weniger Schmelzenergie als Rohmaterialbestandteile. Außerdem ist die Masse des Gemenges von Scherben um ca. 20 % geringer als für Rohmaterial. Ein erhöhter Scherbenanteil geht daher mit einer Energieeinsparung einher. Als Faustformel wird in der Literatur häufig angegeben, dass die Schmelzenergie in der Wanne pro 10 % erhöhtem Scherbenanteil um 2 % reduziert werden kann. /JRC-01 13/	<p><i>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 56 kWh / t Glas /EOLB-01 08/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 90 %</li> <li>- Annahme basierend auf /JRC-01 13/, dass der Scherbenanteil im Mittel und aufgrund begrenzter Scherbenverfügbarkeit (Qualität und Farbe) bei 60 % liegt und auf 80 % gesteigert werden kann /BVG 01 14/</li> </ul>
Abwärmenutzung zur Stromerzeugung / Wärmerück-gewinnung (ORC) (Schmelzen)	<p>Strom, welcher aus industrieller Abwärme gewonnen wird, ist gleichsam emissionsfrei. Durch den Organic Rankine Cycle (ORC) kann bereits bei relativ geringen Temperaturniveaus (ab 70 bis 80 °C) Strom aus Wärme erzeugt werden. Daher bietet sich ORC vor allem auch zur Nutzung von Abwärme aus Industrieprozessen an. /QUO-01 13/ Hier wird Abwärme aus dem Verbrennungsgas verwendet.</p> <p>Das ORC Potenzial hängt stark von dem verfügbaren Temperaturniveau ab. Durch den Einsatz eines zentralen Rekuperators am Brenner sinken die Abgastemperaturen von ca. 1400 °C auf 980 °C. Durch den Einsatz eines zentralen Regenerators am Brenner sinken die Abgastemperaturen von 1400 °C auf ca. 430 °C Grad ab. /ISI-08 13/, /GLIN-01 16/</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 28 kWh / t Glas /GLIN-01 16/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 100 % /GLIN-01 16/</li> </ul>
Substitution der Rohmaterialien (Einsparung im Schmelzprozess)	Durch die Substitution bestimmter Rohmaterialien der Glasschmelze kann die zum Schmelzen notwendige Energie gesenkt werden. Dies kann beispielsweise durch den Wechsel des Aluminiumoxid-Trägers hin zu Pyrophyllit, welches eine geringere Schmelzenthalpie besitzt, erfolgen. /MEE-01 13/, SHA-01 16	<p><i>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 24 kWh/t Glas /MEE-01 13/ unter Annahme von 80 % Scherbenanteil (aufbauend auf der Erhöhung des Scherbeneinsatzes)</li> <li>- Anwendungsfaktor: 20 %</li> </ul>

# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Hohlglasherstellung (2)

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Optimiertes Brennerdesign (Oxy-fuel) (Schmelzen)	<p>Grundsätzlich existieren in der Glasindustrie zwei verschiedene Verbrennungstechnologien. Neben fossil befeuerten (v.a. Erdgas) Anlagen mit Luftverbrennung wird beim Oxy-fuel-Verfahren (fast) reiner Sauerstoff bei der Verbrennung eingesetzt. Außerdem gibt es auch Elektroglasschmelzen, welche allerdings überwiegend in der Spezialglasindustrie existieren. Auch Mischformen, wie der kombinierte Einsatz fossiler Brennstoffe und elektrische Energie, sind möglich (fossil befeuert mit elektrischem „Boosting“). /JRC-01 13/, /HVG-01 07/</p> <p>Das ausgewiesene Potenzial bezieht sich auf den Ersatz fossiler Brennersysteme mit Luftverbrennung durch Oxy-fuel-Systeme. Zusätzlicher Stromverbrauch, welcher zur Sauerstofferzeugung verwendet wird, muss berücksichtigt werden.</p>	<p><i>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO<sub>2</sub>/a</i></p> <p><i>Herleitung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spez. Einsparpotenzial Wärme: 270 kWh/t Glas, Annahme basierend auf /JRC-01 13/, /EOLB-01 08/, /APC-01 17/</li> <li>- Spez. Einsparpotenzial Strom (Stromverbrauch für Sauerstofferzeugung): -29 kWh/t Glas, Annahme basierend auf /SUE-01 09/</li> <li>- Anwendungsfaktor: 90 %, Annahme basierend auf /JRC-01 13/</li> </ul>
<b>Alle Maßnahmen</b>	<b>Summe der Maßnahmen</b>	<b>Maximales technisches Potenzial: 362 kt CO<sub>2</sub>/a</b>

- AGEB-01 16** Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2014. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2016
- APC-01 17** Huang, Richard et al.: Oxy-fuel glass melting trends in Asia. Detroit, Michigan, USA: Air Products and Chemicals, Inc, 2017
- BVG-01 14** Glas - Ein Werkstoff mit vielen Talenten. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V, 2014
- BVG-01 15** Produktion von Glas und Glaswaren nach Branchensektoren: 2014 und 2015. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., 2015
- EOLB-01 08** Worrell, Ernst; Galitsky, Christina; Masanet, Eric; Graus, Wina: Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry - An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Berkeley, Kalifornien: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Lab, 2008
- GLIN-01 16** Roos, Christian; Lubitz, Guenter: Alternative concepts for energy efficient container glass melting - A Global Review of Glassmaking in: Glass International (April 2016 - Vol. 39 No. 4). Redhill, UK: Quartz Business Media Ltd, 2016
- HVG-01 07** Gitzhofer , Karlheinz: BAT determination in selected industrial fields as a contribution to the fulfilment of the climate protection targets and further immission control legal requirements - Partial Project 02: German contribution to the Review of the Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Offenbach am Main: Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. (HVG) , 2007
- IETD-03 17** Glass - Benchmarks in: The Industrial Efficiency Technology Database (IETD) verfügbar unter: <http://ietd.iipnetwork.org/content/glass#benchmarks> (Abruf: 02.06.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6qwf1y8Qs>. Washington, D.C. (USA): Institute for Industrial Productivity, 2017
- ISI-08 13** Hirzel, Simon; Sontag, Benjamin; Rohde, Clemens: Industrielle Abwärmennutzung - Kurzstudie. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2013
- JRC-01 13** Scalet, Bianca et al.: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass. Sevilla: Joint Research Centre of the European Commission (JRC), 2013
- LAN-01 14** Langfeld, Roland; Schaeffer, Helmut A.: Werkstoff Glas - Alter Werkstoff mit großer Zukunft in: Technik im Fokus. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014



- MEE-01 13** Meechoowas, Ekarat; Tapasa, Kanit; Jitwatcharakomol, Tepiwan: Alternative Soda-lime Glass Batch to Reduce Energy Consumption in: Key Engineering Materials Vol. 545 (2013). Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2013
- OVE-01 09** Overgaag, Martijn; Harmsen, Robert; Schmitz, Andreas: Industry & refineries sector - Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change (SERPEC-CC). Utrecht, NL: Ecofys, 2009
- QUO-01 13** Quoilin, Sylvain et al.: Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems in: Renewable & Sustainable Energy Reviews (Volume 22, Pages 168-186). Amsterdam: Elsevier, 2013
- SHA-01 16** Shalygina, O. V. et al.: Increasing the Energy Efficiency of Container-Glass Production by Using Mineral Raw Materials in: Glass and Ceramics (2016, Volume 73, Issue 5). Heidelberg: Springer International Publishing AG, 2016
- SUE-01 09** Pfeifer, Herbert et. al.: Energieeffizienz und Minderung des CO<sub>2</sub> -Ausstoßes durch Sauerstoffverbrennung - Energy efficiency and decrease of CO<sub>2</sub> by oxyfuel combustion in: Stahl und Eisen 129 (2009). Düsseldorf: Stahleisen GmbH, 2009
- TS-01 16** Dolianitis, Ioannis et al.: Waste heat recovery at the glass industry with the intervention of batch and cullet preheating in: Thermal Science (2016, Vol. 20). Belgrade: Vinča Institute of Nuclear Sciences, 2016
- UBA-02 16** Icha, Petra: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2016
- UBA-13 16** Juhrich, Kristina: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2016