



**FFE**

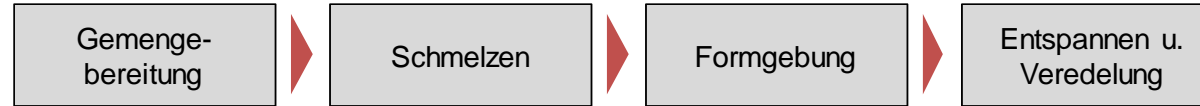
# CO<sub>2</sub>-Verminderung in der Flachglasherstellung

Andrej Guminski, Elsa Rouyrre, Manuel Wiener

27.11.2019

2019

# Prozessablaufdiagramm Flachglasherstellung

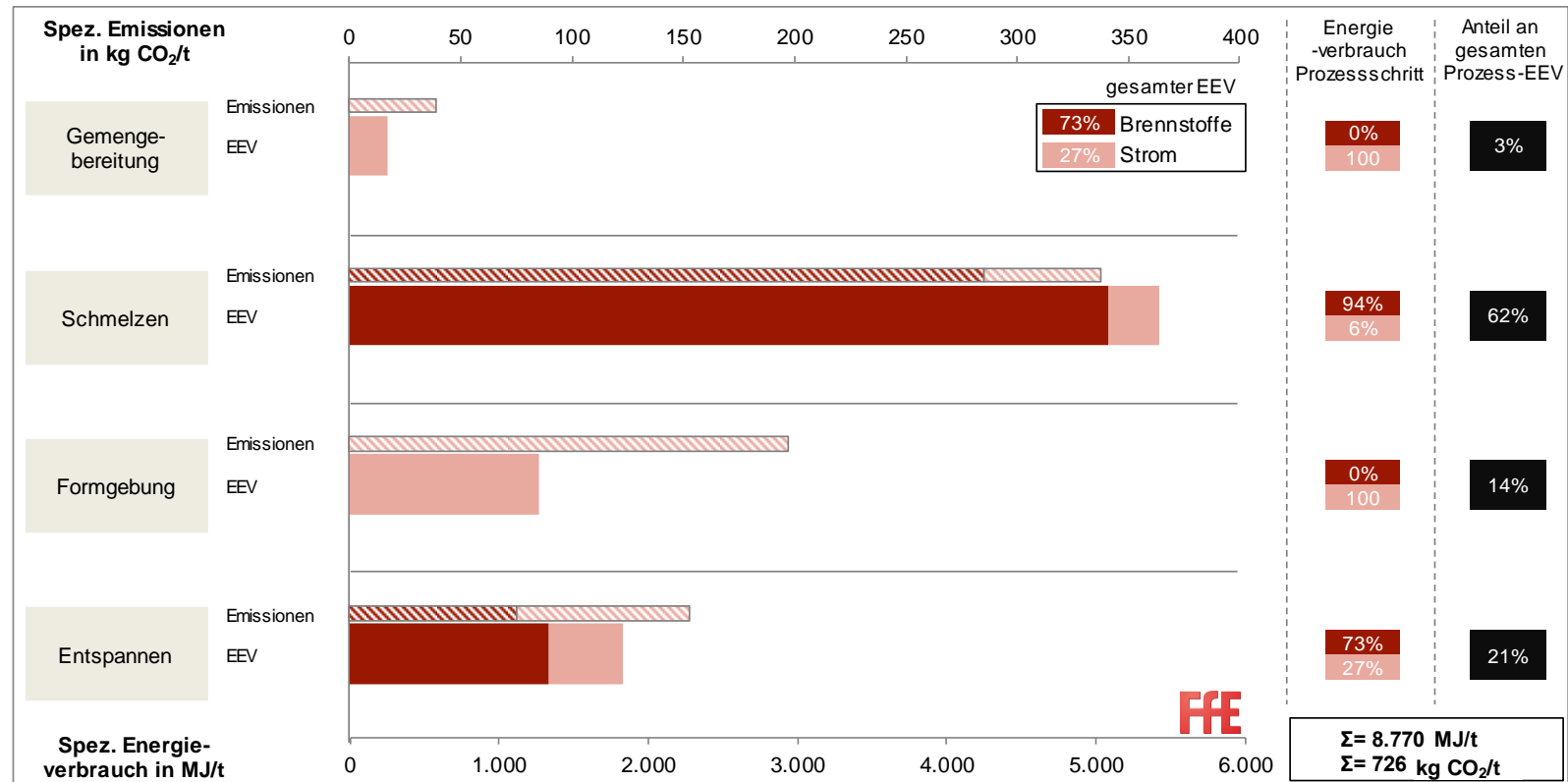


## Prozessbeschreibung:

In der Gemengevorbereitung werden vor allem die Rohstoffe Quarksand und Soda benötigt. Letzteres wird beigemischt, um die Schmelztemperatur zu senken. Zudem werden Kalk, Dolomit und Aluminiumoxid als Stabilisatoren beigemischt, die dem Glas seine Eigenschaften geben. Letztlich werden Glasscherben dem Gemenge beigefügt, um die benötigte Schmelzenergie im anschließenden Schritt weiter zu senken. Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen bei der Flachglasproduktion liegt der maximale Scherbenanteil jedoch unter dem der Behälterglasproduktion. Das Gemenge wird im Anschluss kontinuierlich einer Glaswanne zugeführt und geschmolzen.

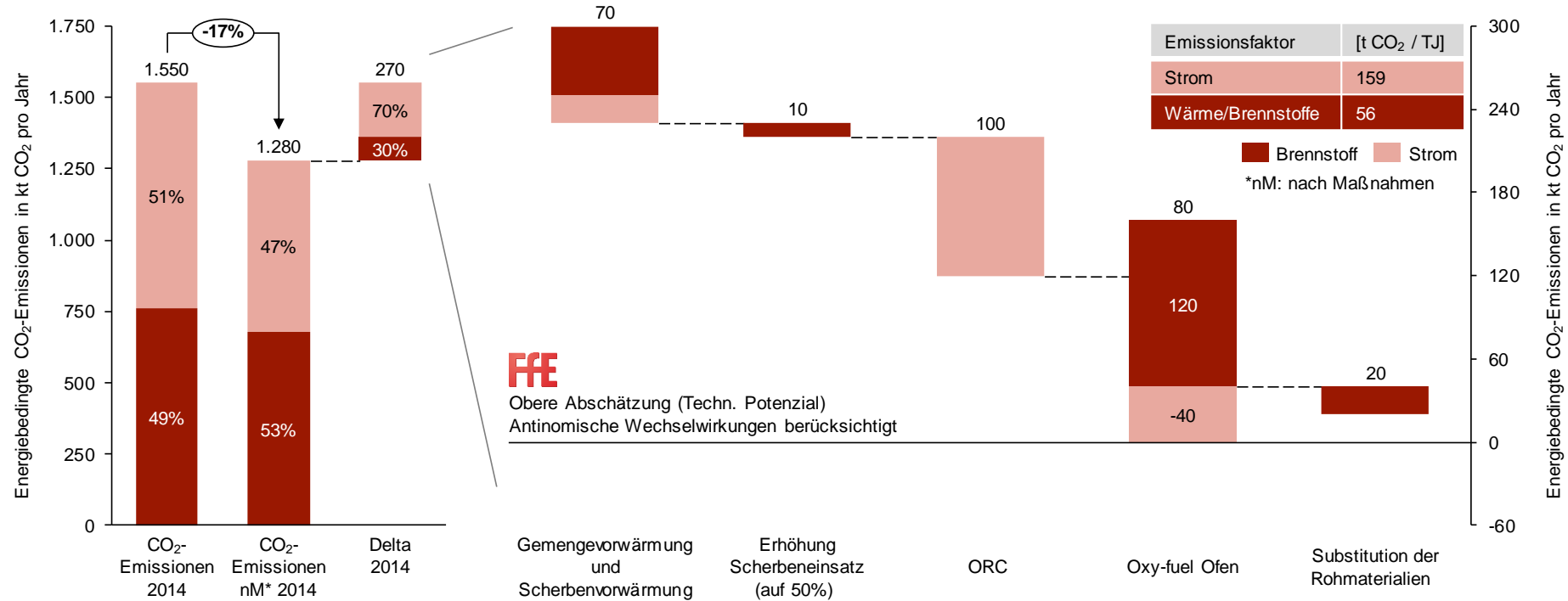
Im Anschluss daran wird das Glas im Überdruck durch ein Zinnbad mit Wasserstoff und Stickstoff gezogen. Danach wird das Glas spannungsfrei gekühlt und geschnitten. Da die leichtere Dichte vom Glas dazu führt, dass das Glas auf dem Zinnbad „schwimmt“, wird dieses Verfahren Float-Verfahren genannt. Damit wird in Deutschland mehr als 95 % des Flachglases erstellt. Die restlichen 5 % werden mit Hilfe des Walzverfahrens hergestellt. Hierbei handelt es sich meistens um hochwertige Fenstergläser. /ISI-05 13/ und /BRUNK-01 16/

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



- Flachglasproduktion in Deutschland: 2.126 kt in 2014 /BVG-02 15/
- Durchschnittlicher Energieverbrauch von 8.870 MJ pro Tonne Flachglas /ISI-05 13/, /EOLB-01 08/, /OVE-01 09/, /IETD-03 17/, /USL-01 17/ und /ISI-05 13/
- Schmelzen ist der energieintensivste Schritt mit 62 % des gesamten Energieverbrauchs. /EOLB-01 08/
- Bei der Flachglasherstellung wird ca. 73 % des gesamten Energieverbrauchs mit Brennstoffen abgedeckt. /EOLB-01 08/
- Durchschnittliche energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen von 732 kg pro Tonne Flachglas /AGEB-01 16/ und /UBA-03 16/
- Leichte prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen 178 kg pro Tonne Flachglas /ISI-05 13/ und /BVG-01 08/

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



# Herleitung des maximalen technischen CO<sub>2</sub>-Verminderungspotenzials der Effizienzmaßnahmen in der Flachglasherstellung (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>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</p> <p>- Spez. Einsparpotenzial Strom: 15 kWh/t Glas /JRC 01 13/, /EOLB 01 08/ (Annahme, dass 15 % der Glasschmelzen für Flachglas in Deutschland elektrisches Boosting einsetzen)</p> <p>Spez. Einsparpotenzial Wärme: 112 kWh/t Glas /OVE-01 09/, /JRC-01 13/, /EOLB-01 08/, /TS-01 16/</p> <p>Anwendungsquote: 100 % basierend auf /EOLB-01 08/</p>
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 diese für Rohmaterial ist. 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>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</p> <p>Herleitung: Spez. Einsparpotenzial Wärme: 30 kWh/t Glas /EOLB-01 08/ (Annahme basierend auf /JRC-01 13/, dass der Scherbenanteil bei 40 % liegt und auf 50 % gesteigert werden kann)</p> <p>Anwendungsquote: 100 %</p>
Abwärmennutzung zur Stromerzeugung / Wärmerückgewinnung (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/</p> <p>Hier wird Abwärme aus der Glasschmelze verwendet.</p> <p>Das ORC-Potenzial hängt stark von den eingesetzten Brennern ab. Durch den Einsatz rekuperativer Brenner sinken die Abgastemperaturen von ca. 1.300 °C auf ca. 980 °C. Durch den Einsatz regenerativer Brenner sogar auf ca. 540-320 °C. /ISI-08 13/, /GLIN-01 16/</p>	<p>Maximales technisches Potenzial: 100 kt CO<sub>2</sub>/a</p> <p>Herleitung: Spez. Einsparpotenzial Strom: 84 kWh/t Glas /CAM-01 13/</p> <p>Anwendungsquote: 100 % basierend auf /FIRE-01 14/</p>

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

Kurzbezeichnung	Beschreibung	Maximales technisches Potenzial und Zukunftsfähigkeit
Substitution der Rohmaterialien (Gemengebereitung)	Durch die Substitution bestimmter Rohmaterialien der Glasschmelze kann die zur Schmelze notwendige Energie gesenkt werden. Dies kann beispielsweise durch den Ersatz von Aluminiumoxid durch Pyrophyllit, welches eine geringere Schmelzenthalpie besitzt, erfolgen. /MEE-01 13/, /SHA-01 16/	<p>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</p> <p>Herleitung: Spez. Einsparpotenzial Wärme: 75 kWh/t Glas /MEE-01 13/</p> <p>Anwendungsquote: 50 % basierend auf /JRC-01 13/</p> <p>Annahme: Scherbenanteil liegt durch Erhöhung Scherbeneneinsatz bei 50 %, damit können noch 50 % der Primärrohmaterialien substituiert werden</p>
Optimiertes Brennerdesign (Oxy-fuel) (Schmelzen)	<p>Grundsätzlich existieren in der Glasindustrie drei verschiedene Brennerdesigns. Neben rekuperativen und regenerativen fossil befeuerten (v. a. Erdgas) Anlagen mit Luftverbrennung, wird beim Oxy-fuel-Verfahren 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 Strom sind möglich (entweder fossil befeuert und mit elektrischem „Boosting“ oder umgekehrt). /JRC-01 13/, /HVG-01 07/</p> <p>Oxy-Fuel-Brenner sind in der Flachglasindustrie nicht weit verbreitet /JRC-01 13/.</p> <p>Das ausgewiesene Potenzial bezieht sich auf den Ersatz fossiler Brennersysteme mit Luftverbrennung durch Oxy-fuel-Systeme. Zusätzlicher Stromverbrauch, welcher zur Sauerstoffherzeugung verwendet wird, muss berücksichtigt werden.</p>	<p>Maximales technisches Potenzial: &lt;100 kt CO<sub>2</sub>/a</p> <p>Herleitung: Spez. Einsparpotenzial Strom: -29 kWh/t Glas für die Sauerstoffherzeugung, Annahme basierend auf /SUE-01 09/</p> <p>Spez. Einsparpotenzial Wärme: 280 kWh/t Glas, Annahme basierend auf /JRC-01 13/, /EOLB-01 08/, /APC-01 17/</p> <p>Anwendungsquote: 100%</p>
Alle Maßnahmen	Summe der Maßnahmen	<p>Maximales technisches Potenzial: 300 kt CO<sub>2</sub>/a</p>

# Quellen

- 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
- BRUNK-01 16** Brunke, Jean-Christian: Energieeinsparpotenziale von energieintensiven Produktionsprozessen in Deutschland - Eine Analyse mit Hilfe von Energieeinsparkostenkurven. Dissertation. Herausgegeben durch die Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, geprüft von Voß, Alfred und Sauer, Alexander: Stuttgart, 2016.
- BVG-01 08** Jahresbericht 2007. Düsseldorf: BV Glas, 2008.
- CAM-01 13** Campana, F. et. al.: ORC waste heat recovery in European energy intensive industries: Energy and GHG savings in: Energy Conversion and Management 76 (2013). Amsterdam: Elsevier, 2013
- 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
- FIRE-01 14** Forni, Daniele; Di Santo, Dario; Campana, Francesco: Innovative system for electricity generation from waste heat recovery - Peer-reviewed paper in: eceee 2014 Industrial Summer Study: Retool for a competitive and sustainable industry, Panel 4. Undertaking high impact actions: The role of technology and systems optimisation. Rome: FIRE – Italian Federation for Rational Use of Energy, Italy, 2014
- 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
- HGV-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/6qwfl1y8Qs>. Washington, D.C. (USA): Institute for Industrial Productivity, 2017

- ISI-05 13** Fleiter, Tobias; Schlomann, Barbara; Eichhammer, Wolfgang: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotentiale, Hemmnisse und Instrumente in: ISI Schriftenreihe "Innovationspotentiale". Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), 2013
- ISI-08 13** Hirzel, Simon; Sontag, Benjamin; Rohde, Clemens: Industrielle Abwärmenutzung - 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
- 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-03 16** Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2014. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2016
- USL-01 17** Falk, Guido: Vorlesung: Glas-Unterlagen Hohl- und Flachglasherstellung. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 2017