

Energiewende in der Industrie

Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor

Branchensteckbrief der Glasindustrie

Bericht an:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

von:

Matthias Leisin, IER

in Zusammenarbeit mit:

Navigant Energy Germany GmbH
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft
BBG und Partner

Vorhaben: I C 4 – 80 14 38/42; Projekt-Nr. 42/17
Projektnummer: SISDE17915
27.08.2019

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Glasindustrie	1
1.1 Übersicht der Glasindustrie	1
1.2 Produktionsprozesse in der Glasindustrie	6
1.2.1 Schmelze	7
1.2.2 Gemengebereitung	9
1.2.3 Formgebung	11
1.3 Chancen und Herausforderungen durch die Energiewende.....	13
2. Literaturverzeichnis	15
3. Anhänge	16

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BWS	Bruttowertschöpfung
CaO	Calciumoxid
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CAGR	Jährliche Wachstumsrate (engl. compound annual growth rate)
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilisation
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EZH	Elektrische Zusatzheizung
MgCO ₃	Magnesiumcarbonat
MgO	Magnesiumoxid
Na ₂ CO ₃	Natriumcarbonat
Na ₂ O	Natriumoxid
NACE	System zur Klassifizierung von Wirtschaftszweigen (frz. Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne)
PJ	Petajoule
SiO ₂	Siliciumdioxid
TWh	Terawattstunde
VPSA	Vapour Pressure Swing Absorption
WZ	Wirtschaftszweige

1. GLASINDUSTRIE

1.1 Übersicht der Glasindustrie

Branche. Die Glasindustrie umfasst die Herstellung und Verarbeitung von Glasmaterialien, welche als Endprodukt (z. B. Behälterglas für Nahrungsmittel und Pharmazieprodukte) oder als Ausgangsprodukt für eine weitere Verarbeitung innerhalb einer Wertschöpfungskette (z. B. Flachglasscheiben für die Auto- und Bauindustrie) erzeugt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Verwendung von Glas kann die gesamte Branche in folgende fünf Sektoren unterteilt werden:

- WZ 23.11: Herstellung von Flachglas (Basisglas für verschiedene Anwendungen)
- WZ 23.12: Veredelung/Bearbeitung von Flachglas (Fenster, Windschutzscheiben, Solarglas, etc.)
- WZ 23.13: Herstellung von Hohlglas (Behälterglas für die Getränke-, Nahrungsmittel-, Pharmazie- und Kosmetikindustrie, Wirtschaftsglas als Trinkgläser und Tischdekore)
- WZ 23.14: Herstellung von Glasfasern und Waren daraus (Dämmstoffe (Glaswolle), Glasfaserkabel)
- WZ 23.19: Herstellung von Spezialglas und technischem Glas (Glas für Elektronik, chemische Industrie⁴, etc.)

Tabelle 1-1. Deutsche Glasindustrie 2015

Produktionsstandorte	Ca. 120 ¹
Arbeitsplätze	55.085 ²
Bruttowertschöpfung (BWS)	3.477 Mio. € ²
CAGR BWS	+3,2 % ²
Jährliche Produktionsmengen (verkaufsfähiges Glas)	6.784 kt/a ¹
Gesamtenergieverbrauch	18,53 TWh/a ³
Stromverbrauch	3,99 TWh _{el} /a ³
Gasverbrauch	13,51 TWh/a ³
Heizölverbrauch	0,77 TWh/a ³
Gesamtemissionen	4,88 Mio. t CO ₂
Eigenproduktions- & KWK-Anteil	90,84 GWh _{el} /a ³
	2,27 %

Diese zum Teil sehr heterogenen Sektoren haben einen sehr unterschiedlichen Anteil am Umsatz, an der produzierten Glasmenge und am Energieverbrauch der gesamten Glasindustrie (Abbildung 1-1).

Im Jahr 2015 erzielte die deutsche Glasindustrie einen Umsatz von insgesamt 10,0 Milliarden €. Dabei wird etwas weniger als ein Drittel, 3,2 Milliarden € (32 Prozent), durch die Veredelung von Flachglas erwirtschaftet. Darauf folgen die Sektoren „Herstellung von Hohlglas“ mit 2,5 Milliarden € (25 Prozent), „Herstellung von Spezialglas und technischem Glas“ mit 2,1 Milliarden € (21 Prozent) und „Herstellung von Flachglas“ mit 1,1 Milliarden € (11 Prozent). Die Herstellung von Glasfasern hat mit insgesamt 1,0 Milliarden € (11 Prozent) den geringsten Anteil am Gesamtumsatz⁵ (Abbildung 1-1 und Tabelle 3-1).

Bei der produzierten Menge an verkaufsfähigem Glas im Jahr 2015 stellt die Hohlglasbranche mit 3.980 kt (59 Prozent) den größten Anteil an der national hergestellten Glasproduktion dar. Dabei handelt es sich bei 98 Prozent des hergestellten Hohlglases um Behälterglas. Den zweitgrößten Anteil an der produzierten Glasmenge hat Flachglas mit 2.143 kt (32 Prozent). Somit machen die

¹ BV Glas (2017), Angabe ohne Steinwolle.

² Destatis (2018).

³ Destatis (2016).

⁴ Darüber hinaus gibt es weitere Spezialgläser, die laut NACE-Code zwar der chemischen Industrie zugeordnet sind, z. B. Wasserglas, deren Herstellprozess jedoch mit dem Standardschmelzprozess im Wesentlichen übereinstimmt.

⁵ Destatis (2018).

beiden Sektoren „Hohlglas“ und „Flachglas“ mit zusammen 91 Prozent den Großteil des in Deutschland hergestellten Glases aus. Die Herstellung von Glasfasern und Spezialglas spielen mit 349 kt (5 Prozent) bzw. 312 kt (4 Prozent) nur eine untergeordnete Rolle für die Produktionsmenge¹, (Abbildung 1-1 und Tabelle 3-1).

Die deutsche Glasindustrie hat einen entscheidenden Anteil an der europäischen Glasherstellung und ist für jeweils ca. 20 Prozent der produzierten Glasmenge und des Umsatzes verantwortlich.⁶

Die Produktion von 6.784 kt verkaufsfähigem Glas hatte 2015 einen Gesamt-Endenergieverbrauch von 18,52 TWh zur Folge. Dabei entfiel mit 8,12 TWh (44 Prozent) knapp die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs auf die Herstellung von Hohlglas. Für die Herstellung von Flachglas wurden 5,44 TWh (29 Prozent) und für die Verarbeitung von Flachglas 1,97 TWh (11 Prozent) aufgewendet. Die Herstellung von Glasfasern und Spezialglas hatte mit 1,52 TWh bzw. 1,46 TWh, also jeweils 8 Prozent, einen geringfügigen Anteil am Gesamtenergieverbrauch³, (Abbildung 1-1 und Tabelle 3-1).

Somit machen die Sektoren „Hohlglas“ und „Flachglas“ (Herstellung und Veredelung) den Großteil der deutschen Glasindustrie in Bezug auf den Umsatz (78 Prozent), produzierte Menge (91 Prozent) und Energieverbrauch (84 Prozent) aus.

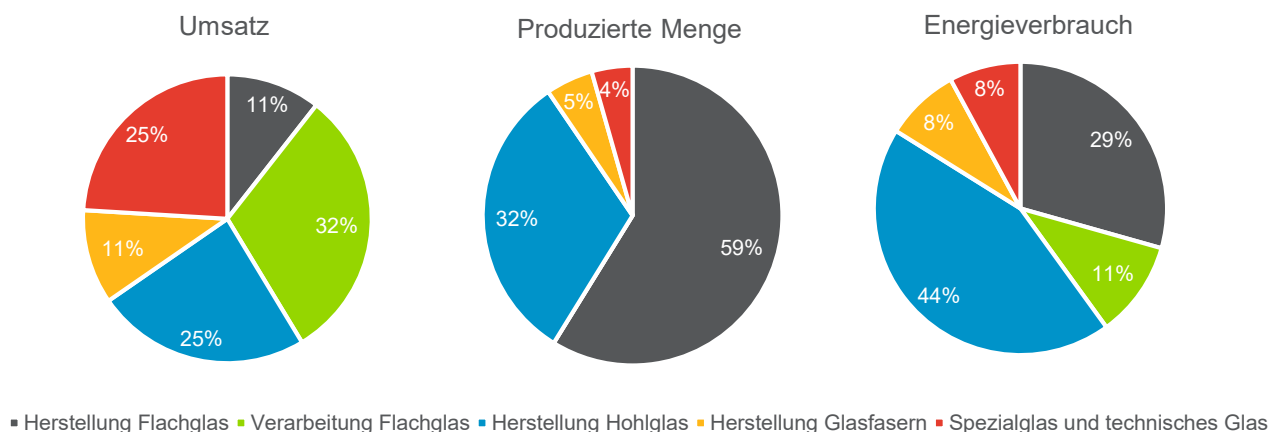


Abbildung 1-1. Umsatz, produzierte Menge und Energieverbrauch in der deutschen Glasindustrie 2015

Energieeinsatz nach Energieträgern. In der Glasindustrie wird Energie vor allem in Form von Prozesswärme benötigt, welche größtenteils durch den Einsatz von Erdgas (13,51 TWh, 72,9 Prozent) bereitgestellt wird. Zusätzlich wird durch den elektrischen Antrieb von Maschinen und dem elektrischen Zusatzheizen beim Schmelzen („Boosting“) bzw. durch vollständig elektrisch betriebene Schmelzwannen 3,99 TWh Strom (21,5 Prozent) bezogen. In einigen Schmelzöfen wird die Prozesswärme noch durch den Einsatz von Heizöl durch insgesamt 0,77 TWh (4,1 Prozent) bereitgestellt.³

Je nach Glasart und Produktionsverfahren entfällt beim Herstellungsvorgang bis zu 85 Prozent des Energiebedarfs auf den Schmelzprozess, Kapitel 1.2. Hierbei muss das eingetragene Gemenge aus Rohstoffen und Altglasscherben auf eine Temperatur von 1.450 °C bis 1.650 °C erhitzt werden. Dies geschieht in großen Schmelzwannen hauptsächlich durch erdgasbefeuerte Brenner, kleine Schmelzwannen können vollständig elektrisch oder ebenfalls mit Brennstoffen betrieben werden.⁷

⁶ ICF International (2015).

⁷ Schaeffer/Langfeld (2014).

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Flachglas werden einzelne energieintensive Prozesse gesondert betrachtet. Beim Herstellungsprozess von Flachglas kommt hauptsächlich das sogenannte Floatverfahren zum Einsatz, bei welchem die Glasschmelze auf ein 600 °C bis 1.100 °C warmes Zinnbad fließt.⁸

Der Großteil der benötigten Wärmeenergie (89 Prozent) wird zur Bereitstellung bei Temperaturen oberhalb von 500 °C benötigt. Hierdurch ergibt sich ein sehr geringes Potenzial für die Nutzung von erneuerbaren Energien wie Solarthermie, dem Einsatz von Wärmepumpen und von KWK-Anlagen.⁹ Eine energetische Eigenversorgung innerhalb von Glaswerken erfolgt in Deutschland bisher hauptsächlich mittels dem Schmelzprozess nachgeschalteter Dampfturbinen, welche nach der erfolgten Abwärmenutzung der heißen Abgase durch Regeneratoren bzw. Rekuperatoren Strom erzeugen. Hierfür stehen allerdings nur bestimmte Temperaturfenster zur sekundären Abwärmenutzung zur Verfügung, da die Betriebstemperaturen der Filteranlagen (200 °C (Tuchfilter) bis 400 °C (E-Filter)) nicht unterschritten werden dürfen.¹⁰ Zusätzlich wird in einzelnen Werken bereits Strom mit regenerativen Energiesystemen bereitgestellt. Hierdurch konnten 2015 in Deutschland insgesamt 90.840 MWh Strom erzeugt werden, 78.735 MWh aus fossilen und 12.105 MWh aus erneuerbaren und sonstigen Energieträgern.¹¹

Zuordnung zu amtlicher Statistik. In der amtlichen Statistik gehört die Glasindustrie zum Wirtschaftszweig „Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“, gekennzeichnet durch den NACE Code 23. Die Herstellung von Glas und Glaswaren wird durch den NACE Code 23.1 wiedergegeben, in welchem die einzelnen Sektoren durch die Wirtschaftszweige WZ 23.11 bis WZ 23.19 in 5 Kategorien untergliedert sind.¹²

Geographische Aufteilung. Aufgrund des hohen Energiebedarfs entstanden Glashütten hauptsächlich neben großen Waldgebieten, weshalb heute eine Vielzahl an Glaswerken, beispielsweise in der Nähe des Thüringer Waldes, zu finden sind. Heutzutage ist die Nähe zu den Hauptrohstoffen Quarzsand und Altglas der entscheidende lokale Faktor für den Standort eines Glaswerkes, sodass sich viele Glaswerke in der Umgebung der größten Quarzlagerstätten im Köln-Aachener-Gebiet (Frechen), im Elbe-Weser-Raum (Duingen) sowie im oberfränkischen Wellmersdorf angesiedelt haben.¹³ Abbildung 1-2 (aus dem BV-Glas Jahresbericht 2016) zeigt einen Überblick der deutschen Glaswerke.

Die deutsche Glasindustrie wird größtenteils von multinationalen Konzernen dominiert. Bei der Herstellung und Verarbeitung von Flachglas sind die beiden größten Unternehmen Saint-Gobain-Glass und NSG-Pilkington zu nennen. 80 Prozent des in Deutschland hergestellten Behälterglases werden in Glashütten der Unternehmen Ardagh, Owens-Illinois (O-I), Verallia und Wiegand produziert. Der größte deutsche Hersteller von Spezialglas ist die Schott AG¹⁴.

Wertschöpfungskette. Die zur Herstellung von Glas notwendigen Prozessschritte gehören größtenteils zur Wertschöpfungskette der Glasindustrie. Dabei läuft der Herstellungsprozess eines Glasproduktes von der Gemengebereitung bis zur Verpackung eines verkaufsfähigen Glases innerhalb eines Glaswerkes ab. Einzig die Wertschöpfungskette des Flachglases und des technischen Spezialglases, von der Herstellung bis

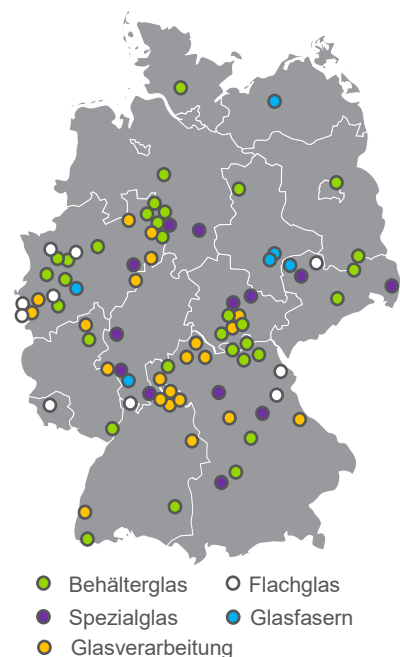


Abbildung 1-2. Glaswerke in Deutschland¹ Stand 2016

⁸ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁹ Klotz/et al. (2014).

¹⁰ Overath (2018).

¹¹ Destatis (2016).

¹² Destatis (2008).

¹³ Schaeffer/Langfeld (2014).

¹⁴ Dispan/Vassiliadis (2014).

zur Verarbeitung, ist in andere Produktionszweige integriert (z. B. Windschutzscheiben in der Automobilindustrie, Fensterscheiben im Baugewerbe, technisches Glas in der Elektronik- und Chemieindustrie). Hierfür wird das Flachglas als Basisglas in einer Glashütte hergestellt und anschließend in einem Glasveredelungswerk für dessen spezielle Anwendung behandelt.¹⁵ Die Gewinnung der Rohstoffe und der Glasscherben gehört nicht in den Aufgabenbereich der Glasindustrie, obwohl mittlerweile erste Behälterglaswerke eine Altglasaufbereitung in ihre Produktionsstätten integrieren, um die Einsatzquote von Altglas zu erhöhen.¹⁶

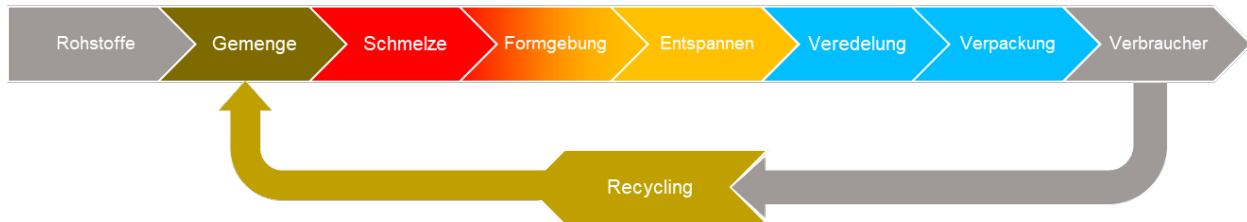


Abbildung 1-3. Wertschöpfungskette der Glasindustrie

Flexibilität. Der Glasherstellungsprozess läuft kontinuierlich 365 Tage im Jahr bei konstanten Temperaturen und Tonnagen zur Gewährleistung einer hohen gleichbleibenden Qualität des gefertigten Glases ab, sodass bei der Glasproduktion lediglich ein geringes Flexibilitätspotenzial bezüglich der Leistungsänderung vorhanden ist. Eine Möglichkeit zur Flexibilisierung liegt im Schmelzprozess bei Schmelzwannen mit installierter elektrischer Zusatzheizung (EZH), in welchen die zur Schmelztemperatur notwendige Energie teilweise durch Strom eingebracht wird. EZH werden zur gleichmäßigeren Energiezufuhr und Temperaturverteilung eingesetzt und wirken somit positiv auf die Glasqualität und den Schmelzdurchsatz. Der Einsatz von EZH ist abhängig von der Glassorte, Glasfarbe und der geforderten Glasqualität.¹⁷ In Deutschland verfügen heute bereits 45 von insgesamt 60 Behälterglaswannen¹⁸ und einige Flachglaswannen¹⁹ über eine EZH. Die elektrische Leistung einer EZH beträgt i. d. R. ca. 10 Prozent der Schmelzleistung einer Glaswanne und kann sowohl positiv als auch negativ variiert werden. Dabei muss die Temperatur der Glasschmelze für eine gleichbleibend hohe Qualität und Tonnage konstant gehalten werden, sodass die Flexibilisierung der elektrisch zugeführten Energie durch eine Anpassung der Verbrennung aus fossilen Energieträgern ausgeglichen werden muss. EZH werden bereits heute bei einigen Behälterglaswerken im Rahmen eines Demand-Side-Managements angewendet.²⁰

Weiteres Flexibilitätspotenzial liegt in der stromintensiven Sauerstoffproduktion durch Luftzerlegungs- und VPSA-(Vapour Pressure Swing Absorption)-Anlagen für den Einsatz von Oxy-Fuel-Schmelzwannen. Diese werden vereinzelt zur Herstellung von Behälter-, Spezial- und Faserglas eingesetzt.²¹ Der hierbei eingesetzte Sauerstoff lässt sich gut speichern und somit zeitversetzt zum eigentlichen Bedarf herstellen. Dabei muss der zusätzliche Energiebedarf zur Sauerstoffherstellung sowie anfallende Investitionskosten des Speicher- und Verteilersystems berücksichtigt werden.

Die übrigen Prozessschritte Gemengebereitung, Formgebung, Entspannen und Verarbeitung/Veredelung bergen keinerlei Flexibilitätspotenzial, da diese direkt an die Schmelzleistung der Glaswanne gebunden sind bzw. strikten Zeit-Temperatur-Kurven folgen.²²

¹⁵ Dispan/Vassiliadis (2014).

¹⁶ Verallia Deutschland AG (2017b, 2017a).

¹⁷ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

¹⁸ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

¹⁹ Brunke (2016).

²⁰ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

²¹ Brunke (2016).

²² Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

Kreislaufwirtschaft. Glas ist ein Werkstoff, der zu 100 Prozent und ohne Qualitätsverlust wiederverwendbar und somit prädestiniert für das Recycling ist. Die Kreislaufwirtschaft ist in den einzelnen Sektoren der deutschen Glasindustrie unterschiedlich stark fortgeschritten.²³ Bei der Glasherstellung kann dem Gemenge ein gewisser Anteil an Scherben Glas beigemischt und somit Energie und Ressourcen eingespart werden. Je nach geforderter Qualität des Glases kann der maximal einsetzbare Anteil an Scherben stark variieren und wird durch die Qualitätsanforderungen an die unterschiedlichen Glasprodukte durch nicht-aussortierte Fremdstoffe, aber auch durch Gläser mit verschiedenen Farben, Quarzglas, Bleikristallglas etc. begrenzt.²⁴ Ein weiterer limitierender Faktor des Einsatzes von Scherben Glas ist die Verfügbarkeit von sortenreinem Recyclingglas. Aufgrund der geforderten Reinheit der Altglasscherben muss das genutzte Glas nach Glassorten und Glasfarbe getrennt gesammelt, zerkleinert und Verunreinigungen wie Keramik, Metalle, Glaskeramiken, Spezialgläser etc. abgetrennt werden.²⁵

In der Behälterglasindustrie ist die Kreislaufwirtschaft aufgrund mehrerer Faktoren sehr stark ausgeprägt. Zum einen kann der eingesetzte Anteil an Glasscherben bei der Behälterglasherstellung aufgrund der Qualitätsanforderungen sehr hoch ausfallen. So besteht das Gemenge bei der Behälterglasherstellung in vielen Werken zwischen 65 Prozent und 90 Prozent aus Scherben, welches somit den Hauptbestandteil der Rohstoffe zur Behälterglasproduktion darstellt. Bereits heute werden bei Grünglas Quoten von 95 Prozent, bei Braunglas von 60 bis 80 Prozent und bei Weißglas von 50 bis 70 Prozent erreicht. Aufgrund der Inhomogenität der Altglasfarbe liegt die maximale Einsatzquote von recyceltem Glas bei Grün- und Braunglas deutlich höher als bei Weißglas.²⁶ Zum anderen ist die Verfügbarkeit an nutzbaren Scherben infolge des seit 1970 flächendeckendem Recyclingsystems und fortschrittlicher Aufbereitungsanlagen ausreichend gewährleistet.²⁷ Die Kreislaufwirtschaft in der Flachglasindustrie verhält sich gegensätzlich zur Kreislaufwirtschaft der Behälterglasindustrie. Aufgrund hoher Qualitätsansprüche bei Flachglas ist die Einsatzquote von Scherben bei der Flachglasherstellung stark begrenzt.²⁸ Dennoch wird verwendetes Flachglas recycelt, wovon der größte Teil zur Herstellung von Behälterglas eingesetzt wird. Lediglich 14.600 t, welche aus dem Abriss von Gebäuden stammen, fließen nicht wieder in die Glasindustrie zurück.²⁹ In der Glasfaserbranche werden die in Dämmstoffen verbauten Glasfasern nicht wiedergewonnen. Allerdings wird zu deren Herstellung ein großer Anteil Glasscherben von bis zu 80 Prozent³⁰ am Gemenge aus recyceltem Behälter-, Flach- und Spezialglas (Borosilikatglas) verwendet.³¹

²³ Martens/Goldmann (2016).

²⁴ Schaeffer/Langfeld (2014).

²⁵ Martens/Goldmann (2016).

²⁶ Schaeffer/Langfeld (2014).

²⁷ Martens/Goldmann (2016).

²⁸ Martens/Goldmann (2016).

²⁹ BV Glas (2014).

³⁰ Schaeffer/Langfeld (2014).

³¹ Klotz/et al. (2014).

1.2 Produktionsprozesse in der Glasindustrie

Der Großteil des Herstellungsprozesses von Glas verläuft unabhängig von der Glasart bis zur Formgebung nahezu identisch. Allein bei der Zusammensetzung der Rohstoffe bzw. dem Anteil verwendeter Scherben, beim Formgebungsprozess und bei der Glasveredelung treten Unterschiede auf. Die Glasherstellung gehört zu den energieintensiven Prozessen, wobei 50 bis 85 Prozent des Gesamtenergiebedarfs für den Schmelzprozess benötigt wird. Weitere Prozessschritte wie die Gemengebereitung, die Formgebung und das Entspannen spielen aus energetischer und ökologischer Sicht eine untergeordnete Rolle und werden aufgrund ihres relativ geringen Energiebedarfs zu „Sonstiges“ zusammengefasst. Beim Produkt „Flachglas“ sind hierbei die Energieverbräuche für die Herstellung und Verarbeitung/Veredelung von Flachglas zusammengefasst.³² (Vgl. Tabelle 1-2)

Tabelle 1-2. Spezifischer Energieverbrauch pro Tonne verkaufsfähiges Glas und gesamter Energieverbrauch verschiedener Glassorten bei der Glasherstellung³³

Produkt	Teilprozess	Strom [GJ/t _{Glas}]	Brennstoffe [GJ/ t _{Glas}]	Gesamt [GJ/ t _{Glas}]	Gesamt [PJ/a]
Behälterglas		1,4	5,8	7,2	28.656
	Schmelze	0,5	4,9	5,4	
	Sonstiges	0,9	0,9	1,8	
Flachglas		3,3	9,3	12,6	27.002
	Schmelze	0,7	7,9 ³⁵	7,7	
	Sonstiges	2,6	1,4 ³⁴	2,8	
Glasfasern		1,8	7,1	8,9	3.106
	Schmelze	0,6	7,0 ³⁵	5,4	
	Sonstiges	1,2	0,1	1,3	
Spezialglas		5,0	11,5	16,5	5.150
	Schmelze	2,0	11,2	13,2	
	Sonstiges	3,0	0,3	3,3	
Gesamt		-	-	-	63.914

Auswahl relevanter Prozesse. Wie aus Tabelle 1-2 hervorgeht, ist der Schmelzprozess der mit Abstand energieintensivste Prozessschritt bei der Glasherstellung. Somit liegt der Fokus von energetischen und ökologischen Betrachtungen in der Glasindustrie auf dem Prozessschritt „Schmelze“. Die Zusammensetzung aus Rohstoffen und recyceltem Altglas hat einen entscheidenden Einfluss auf die benötigte Schmelzenergie, sodass der Prozessschritt „Gemengebereitung“ ebenfalls analysiert wird. Der Formgebungsprozess von Behälterglas, Flachglas und Glasfasern unterscheidet sich verfahrenstechnisch stark voneinander, weshalb diese gesondert betrachtet werden. Der Entspannungsprozess des Glases erfolgt bei Temperaturen von ca. 500 °C bis 600 °C und ist in Hinblick auf das KWK- und Flexibilisierungspotenzial nicht von Wichtigkeit und wird aufgrund seines im Vergleich zu den restlichen Prozessschritten geringen Energieverbrauchs nicht mit in die Analyse aufgenommen. Die Verarbeitung/Veredelung von Flachglas macht mit einem Anteil von 11 Prozent am Gesamtenergieverbrauch der Glasbranche einen nicht unwichtigen Faktor aus, wird aufgrund der Heterogenität einzelner Prozessschritte und einer unzureichenden Datenlage nicht untersucht.

³² Fleiter (2013).

³³ Fleiter (2013).

³⁴ Eigene Berechnung aus (VDI, 2017).

³⁵ Eigene Berechnung aus (VDI, 2017).

1.2.1 Schmelze

Prozess. Glas entsteht aus einer Rohstoffgemenge (Quarzsand, Kalkstein, Dolomit, Soda, Additive und Scherben), welches in einer Schmelzwanne bei ca. 1.450 °C – 1.650 °C aufgeschmolzen wird. Dieser Schmelzprozess stellt den gemeinsamen Prozessschritt bei der sortenübergreifenden Herstellung von Glas dar, sodass die Schmelzwanne durch ihren Betrieb und ihre Auslegung eine entscheidende Rolle einnimmt. Glasschmelzöfen werden als kontinuierliche Wannenöfen konzipiert, sodass an einem Ende das Rohstoffgemenge zugeführt und auf einer anderen Seite das geschmolzene Glas entnommen wird. Die Schmelzwanne kann je nach produzierter Glasqualität, -menge, -zusammensetzung u. a. m. unterschiedlich ausgelegt werden und unterscheidet sich dabei hauptsächlich in Bezug auf ihre Beheizung (direkte Verbrennung von Gas bzw. Öl (selten), ggf. als Verbrennung mit reinem Sauerstoff oder elektrisch), der Flammenausrichtung (querbeheizt oder stirnbeheizt) und durch die Art der Abgaswärmerückgewinnung (rekuperativ oder regenerativ).³⁶

Der Schmelzprozess wird in die beiden Teilprozesse Rauhschmelze und Feinschmelze unterteilt, (

Abbildung 1-4). Bei der Rauhschmelze wird das eingeführte Gemenge unter hohen Temperaturen zersetzt, wodurch eine Glasschmelze entsteht. Die entstandene Glasschmelze ist sehr inhomogen und mit Gasblasen durchsetzt. Im anschließenden Bereich der Feinschmelze erfolgt eine Läuterung der Glasschmelze, bei welcher diese homogenisiert und von Gasblasen befreit wird. Je nach geforderter Qualität des produzierten Glases variiert die Verweilzeit des geschmolzenen Glases in der Schmelzwanne. Abschließend gelangt die homogene Glasschmelze in einen gesonderten Bereich der Schmelzwanne, in welchem sie abkühlt und eine für die Formgebung geeignete Viskosität annimmt.³⁷

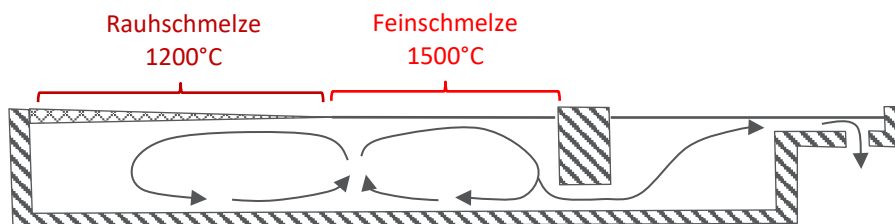


Abbildung 1-4. (Eigene Darstellung): Arbeitsbereiche in einer Schmelzwanne

Produktionsstandorte Deutschland. Für die Flachglasproduktion kommen in der Regel sehr große Schmelzwannen mit einer Schmelzleistung bis zu 1.000 Tonnen/Tag zum Einsatz. Diese Schmelzwannen sind häufig als querbeheizte Regenerativwannen ausgelegt und werden durch Erdgas betrieben. Bei der Produktion von Behälterglas kommen oftmals (ca. 40)³⁸ mit Gas stirnbeheizte Schmelzwannen mit regenerativer Abgaswärmerückgewinnung zum Einsatz, in welchen bis zu 400 Tonnen Glas am Tag hergestellt werden können. Zusätzlich werden ca. 15 Schmelzwannen³⁹ regenerativ und durch eine Querbeheizung betrieben. Bei diesen hohen Produktionsraten kommt bei den meisten Schmelzwannen (ca. 45)⁴⁰ zusätzlich eine elektrische Zusatzheizung („Boosting“) zum Einsatz, welche auch im Bereich der Feinschmelze durch Elektroden in die Glasschmelze eingebracht wird. Bei der Produktion von Spezialglas werden Schmelzwannen mit geringeren Produktionskapazitäten eingesetzt.⁴¹ Diese Schmelzwannen werden aufgrund ihrer

³⁶ Schaeffer/Langfeld (2014).

³⁷ Schindler/Ronner (1999).

³⁸ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

³⁹ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

⁴⁰ Ausfelder/Seitz/Roon (2018).

⁴¹ Dispan/Vassiliadis (2014).

geforderten hohen Qualität elektrisch beheizt oder als Oxy-Fuel-Wannen betrieben, wodurch der spezifische Energiebedarf pro Tonne Glas deutlich steigt.⁴²

Technische Parameter. Beim Schmelzprozess erfolgt die Energiezuführung an die Schmelze mittels Wärmeübertragung der Flamme durch Strahlung und durch die Reflexion an der Gewölbedecke. Hierdurch wird die Schmelzmasse, wie in

Abbildung 1-4 dargestellt, zunächst auf Temperaturen von 1.200 °C und anschließend zur Läuterung und Homogenisierung auf bis 1.500 °C erhitzt.⁴³

Der spezifische Energiebedarf einer Tonne produzierten Glases hängt stark von der Schmelzleistung der Schmelzwanne und somit direkt von der Verweildauer der Schmelze im Schmelzofen ab. Je höher die geforderte Glasqualität ist, desto länger muss die Glasschmelze im Feinschmelzbereich verweilen, damit diese vollständig geläutert und homogenisiert wird. Mit branchentypischen Schmelzwannen verweilt Spezialglas ca. 4-mal und Flachglas ca. 2-mal so lange in der Schmelzwanne wie Behälterglas. Die durchschnittliche Verweildauer der Glasschmelze in deutschen Behälterglaswannen beträgt ca. 12 Stunden.⁴⁴

Im Großteil der Glaswerke strömt das heiße Abgas zur Wärmerückgewinnung durch eine Regenerativkammer aus feuerfestem Material, welche aufgeheizt wird. Nach ca. 20 Minuten wird die Strömungsrichtung des heißen Abgases und der frischen Zuluft gewechselt, sodass die Zuluft auf eine Temperatur von ungefähr 1.400 °C vorgewärmt werden kann. Das Abgas hat nach Austritt aus der Regenerativkammer eine Temperatur von ca. 500 bis 650 °C, sodass sich eine sekundäre Abwärmenutzung in Form einer Stromerzeugung durch eine Dampfturbine in einem Temperaturfenster von der Austrittstemperatur der Wärmerückgewinnung (650 °C) bis zu der Eintrittstemperatur in eine Filteranlage (380 °C – 400 °C) oder eine Gemengevorwärmung anbietet.⁴⁵

Energiebedarf. Die benötigte Energiemenge lässt sich aus den spezifischen Energieverbräuchen für den Schmelzprozess und die in Deutschland hergestellte Glasmenge für die jeweilige Glassorte berechnen, Tabelle 1-2.

Somit wurden in der deutschen Glasindustrie im Jahr 2015 insgesamt 51,93 PJ für den Schmelzprozess benötigt. Dabei wird der Großteil des Energiebedarfs (47,6 PJ) durch Verbrennen von Brennstoffen realisiert. Nach Fleiter et al. werden dabei zu 97 Prozent Erdgas und zu 3 Prozent Heizöl eingesetzt, was einem Energiebedarf von 46,17 PJ bzw. 1,43 PJ entspricht. 4,32 PJ wurden dem Schmelzprozess elektrisch in Form von einer Zusatzheizung oder durch vollständig elektrisch betriebene Schmelzwannen zugeführt.

Emissionen. 2015 wurden insgesamt 4,881 Mio. Tonnen CO₂ in der deutschen Glasindustrie emittiert.⁴ Der Großteil dieser Emissionen fällt energiebedingt direkt durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen und indirekt durch fremdbezogenen Strom innerhalb des Schmelzprozesses an. 791.000 Tonnen³ davon gehören den prozessbedingten CO₂-Emissionen an, welche im Schmelzprozess durch die Zersetzung der im Gemenge befindlichen Karbonate, bspw. der Soda (Na₂CO₃) als Flussmittel zu Na₂O und CO₂ bzw. aus Kalkstein (CaCO₃) CaO und CO₂ entstehen.⁷ Die Menge an prozessbedingten Emissionen ist primär von den geforderten Eigenschaften des Glases und somit vom eingesetzten Anteil der Karbonate am Gemenge abhängig.

Die direkten CO₂-Emissionen des Schmelzprozesses teilen sich für die verschiedenen Glassorten wie folgt auf⁴⁶:

⁴² Schaeffer/Langfeld (2014).

⁴³ Eigene Berechnung aus (VDI, 2017).

⁴⁴ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁴⁵ Scalet u. a. (2013); Klotz/et al. (2014)..

⁴⁶ Schmitz u. a. (2011).

Tabelle 1-3. CO₂-Emissionen der verschiedenen Glassorten⁴⁶

Glassorte	Direkte energiebedingte Emissionen [t _{CO2} /t _{Glas}]	Direkte energiebedingte Emissionen [t _{CO2} /a]	Prozessbedingte Emissionen [t _{CO2} /t _{Glas}]	Prozessbedingte Emissionen [t _{CO2} /a]	Direkte CO ₂ -Emissionen [t _{CO2} /a]	Indirekte CO ₂ -Emissionen [t _{CO2} /a]
Behälterglas	0,36 / (82 %)	1.432.800	0,08 / (18 %)	318.400	1.751.200	295.183
Flachglas	0,46 / (71 %)	985.780	0,19 / (29 %)	407.170	1.392.950	222.515
Glasfasern	0,75 / (88 %)	261.750	0,1 / (12 %)	34.900	296.650	31.061
Spezialglas	0,7 / (92 %)	218.470	0,06 / (8 %)	18.726	237.196	92.590
Gesamt	-	2.898.800	-	779.196	3.677.996	641.349

KWK. KWK-Anlagen kommen für die Energiebereitstellung im Schmelzprozess, aber auch generell in der deutschen Glasindustrie, aufgrund der hohen Prozesstemperaturen von über 1.000 °C nicht zum Einsatz. Zukünftig wird sich das Potenzial für den Einsatz von KWK-Anlagen in der Glasindustrie zur Raumwärmebereitstellung und ggf. für die Auskopplung in Fern-/Nahwärmenetze begrenzen.⁴⁷

1.2.2 Gemengebereitung

Prozess. Glas besteht aus einer Anzahl verschiedener Rohstoffe. Je nach Anwendung und geforderter Qualität variieren die Anteile der einzelnen Stoffe. Die wesentlichen Bestandteile eines industriell hergestellten Glases sind⁴⁸:

- **Glas-/Netzwerkbildner:** Er ist Hauptbestandteil (>50 Prozent) eines Glases. Generell wird für heutige Glase Quarzsand (SiO₂) aufgrund seiner hohen Temperaturbeständigkeit genutzt. Diese Temperaturbeständigkeit spiegelt sich allerdings in einem hohen Schmelzpunkt von Temperaturen über 2.000 °C wider.
- **Netzwerkandler:** Verändern die Eigenschaften des Glasbildners und somit des Glases. Zum einen wird durch Hinzufügen von **Flussmitteln** die Schmelztemperatur des Glasbildners gesenkt. Hierfür werden vor allem Alkalioxide wie Natriumoxid oder Kaliumoxid verwendet. Das wichtigste Flussmittel für die deutsche Glasindustrie ist Soda (Natriumcarbonat Na₂CO₃), welches synthetisch hergestellt werden muss. Obwohl Soda nur einen relativ geringen Gewichtsanteil (ca. 13 Prozent) am gesamten Glas ausmacht, entfallen ca. 70 Prozent der Rohstoffkosten auf Soda. Zum anderen wird die chemische Beständigkeit, Festigkeit und Härte des Glases durch Zugabe von **Stabilisatoren** erhöht. Dies wird durch Erdalkalioxide wie Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) erreicht. In Deutschland werden diese durch Kalkstein (CaCO₃) und Dolomit (CaCO₃·MgCO₃) in das Gemenge eingebracht.
- **Spezifische Additive:** Je nach gewünschten Glaseigenschaften oder speziellen Merkmalen werden Additive wie färbende Oxide, etc. und Läutermittel zur Homogenisierung und Läuterung hinzugegeben.

⁴⁷ Beer/et al. (2009).

⁴⁸ Schaeffer/Langfeld (2014).

Außerdem wird dem Gemenge ein gewisser Anteil an Scherben hinzugefügt (siehe Kap. 1.1). Die Zugabe von Eigen- und Recyclingscherben zum Gemenge wirkt schmelzbeschleunigend und energieeinsparend, da die chemischen Reaktionen zwischen den einzelnen Glasbestandteilen bereits abgeschlossen sind.⁴⁹

Technische Parameter. Bei der Verwendung von Altglas lassen sich beim Schmelzprozess 3 Prozent Energie pro 10 Prozent Gewichtsanteil an Altglas im Gemenge einsparen.⁵⁰ Somit wird versucht, den maximalen Anteil an Scherben für die verschiedenen Glassorten zu erreichen. Diese variieren stark und sind von der geforderten Qualität des Glases abhängig. So können Behälterglas und Glasfasern zum Großteil aus Scherben hergestellt werden, während bei der Herstellung von Flach- und Spezialglas nur ein geringer Anteil an Eigenscherben verwendet wird.⁵¹

Tabelle 1-4. Typische chemische Zusammensetzung in Gew-% verschiedener Glassorten in Deutschland⁵²

Glassorte	Glas- / Netzwerkbildner	Flussmittel		Stabilisatoren		Spezifische Additive
	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Additive
Grünes Behälterglas	71%	14%	k.A.	11%	-	4%
Basis-Flachglas	72%	14%	-	9%	5%	-
Glaswolle	65%	17%	1%	7%	3%	7%

Produktionsstandorte Deutschland. Tabelle 1-5 stellt die typischen Zusammensetzungen der Rohstoffe (ohne Scherben) von verschiedenen Glassorten in Deutschland dar.

In Deutschland ist die Recyclingquote von Glas und die damit verbundene Altglasaufbereitung sehr fortschrittlich, sodass in der deutschen Behälterglas- und Glasfaserindustrie bereits relativ hohe Scherbenanteile eingesetzt werden können. So besteht das Gemenge bei der Behälterglasherstellung in vielen Werken zwischen 65 Prozent und 90 Prozent aus Scherben und ist somit der Hauptbestandteil der Rohstoffe zur Glasproduktion. Bei Grünglas können bereits Quoten von 95 Prozent, bei Braunglas von 60 bis 80 Prozent und bei Weißglas von 50 bis 70 Prozent erreicht werden.⁵³ Bei der Herstellung von Glaswolle werden bis zu 80 Prozent⁵⁴ Scherben und bei Flachglas ca. 20 Prozent⁵⁵ Eigenscherben verwendet.

Energiebedarf. Der Energiebedarf für die Gemengebereitung wird elektrisch bezogen und ist für die einzelnen Glassorten in der folgenden Tabelle aufgelistet:

⁴⁹ Fleiter (2013).

⁵⁰ Fleiter (2013).

⁵¹ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁵² Schaeffer/Langfeld (2014).

⁵³ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁵⁴ Kissel + Wolf GmbH

⁵⁵ Fleiter (2013).

Tabelle 1-5. Energiebedarf für die Gemengebereitung⁵⁶

Glassorte	Spezifischer Energieverbrauch [GJ/ t _{Glas}]	Stromverbrauch [PJ/a]
Behälterglas	0,17	0,682
Flachglas	0,04	0,092
Glasfasern	0,195	0,068
Spezialglas	0,17	0,054
Gesamt	-	0,897

Emissionen. Bei der Gemengebereitung fallen indirekte Emissionen durch die Nutzung des Stroms zum Betrieb des Prozesses an, welche mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 534 g CO₂ pro kWh Strom⁵⁷ berechnet wurden.

Tabelle 1-6. Emissionen bei der Gemengebereitung⁵⁸

Glassorte	Indirekte CO ₂ -Emissionen [t _{CO2}]
Behälterglas	101.206
Flachglas	13.739
Glasfasern	10.095
Spezialglas	8.041
Gesamt	133.080

KWK. Da der Energiebedarf für den Prozessschritt Gemengebereitung durch Strom gedeckt werden muss und eine Gemengevorwärmung, bei der die Rohstoffe und Glasscherben vor der Zuführung in die Schmelzwanne vorgewärmt werden, eine Technologie zur Energieeinsparung darstellt, könnte der Einsatz einer KWK-Anlage bei diesem Prozessschritt sinnvoll sein. Eine Gemengevorwärmung durch die Abwärmenutzung des Abgases ist vor allem bei hohen eingesetzten Scherbenanteilen im Gemenge möglich, weshalb diese Technologie bereits bei mehreren Behälterglaswerken in Deutschland eingesetzt wird.⁵⁹

1.2.3 Formgebung

Prozess. Im Anschluss an die Schmelzwanne wird das geschmolzene Glas durch einen Formgebungsprozess in zur Verwendung oder zur weiteren Verarbeitung gewünschte Form gebracht. Bei allen Glassorten, außer dem Flachglas, wird die geläuterte Glasschmelze aus der Schmelzwanne über einen sogenannten Speiser (engl. Feeder) zur Formgebung geleitet. In den Speisern wird der Glasschmelze weiter Energie zugeführt, sodass die zur Formgebung benötigte Temperatur und Viskosität erhalten bleibt. Beim Behälterglas und den meisten Spezialgläsern übernehmen vollautomatische Formgebungsmaschinen, wie beispielsweise eine IS-Maschine, diese Tätigkeit, indem proportionierte Glasmengen mechanisch bearbeitet werden.⁶⁰

Für die Herstellung von Flachglas wird ein speziell entwickeltes Verfahren, das Floatverfahren, genutzt. Hierbei tritt die Glasschmelze aus der Schmelzwanne über einen Lippstein in einen Floatkanal ein. In diesem Kanal befindet sich ein Bad aus geschmolzenem Zinn, auf welches die Schmelze fließt, ohne sich dabei mit dem Zinn zu vermischen. In dem Kanal wird eine reduzierende Atmosphäre aus ca. 90 Prozent Stickstoff und 10 Prozent Wasserstoff gehalten, damit eine Oxidation der Zinnoberfläche unterbunden wird. Die Dicke des Flachglases wird beim Floatverfahren auch

⁵⁶ Eigene Berechnung aus (Fleiter, 2013) und (Scalet u. a., 2013).

⁵⁷ Statista (2018)

⁵⁸ Kissel + Wolf GmbH .

⁵⁹ Brunke (2016).

⁶⁰ Schaeffer/Langfeld (2014).

durch die Ziehgeschwindigkeit bestimmt, mit welcher die Glasschmelze den Floatkanal durchläuft. Innerhalb des Floatkanals sind an den Decken Heizelemente angebracht, welche eine kontrollierte Abkühlung des Glases ermöglichen.⁶¹

Bei der Herstellung von Glasfasern hat die Formgebung einen Anteil von ca. 30 bis 50 Prozent am Gesamtenergiebedarf. Dabei kommt hauptsächlich das Düsenziehverfahren zum Einsatz, bei welchem die Glasfäden durch mechanische Kräfte aus der Schmelzwanne durch kleine Düsen zu dünnen Elementarfäden ausgezogen werden.⁶²

Technische Parameter. Bei der Herstellung von Behälterglas wird die IS-Maschine durch formgerechte Tropfen mit einer Temperatur von ca. 1.200 °C gespeist. Das durch Druckluft und Presskraft geformte Behälterglas verlässt den Prozessschritt der Formgebung mit einer Temperatur von ca. 500 °C.⁶³

Beim Floatverfahren fließt die Glasschmelze mit einer Temperatur von ca. 1.100 °C auf das flüssige Zinn und verlässt den Floatkanal mit ca. 600 °C. Für das kontrollierte Abkühlen des Flachglases kommen im Floatkanal elektrisch betriebene Heizelemente zum Einsatz.

Für Glasfaserherstellung muss die Schmelze in der Arbeitswanne auf eine Verarbeitungstemperatur von 900 bis 1.200 °C abkühlen.⁶⁴

Energiebedarf. Der Energiebedarf bei der Formgebung wird elektrisch in Form von Druckluft oder durch thermisches Beheizen des Zinnbades (Flachglas) bereitgestellt und ist in folgender Tabelle dargestellt. Die in den Speisern benötigte Wärme kann durch die Verbrennung von Gas oder elektrisch erzeugt werden.⁶⁵ Aufgrund unzureichender Datenverfügbarkeit kann keine Aussage zur Aufteilung der eingesetzten Energieträger zur Energiebereitstellung getroffen werden.

Tabelle 1-7. Energiebedarf bei der Formgebung⁶⁶

Glassorte	Spezifischer Energieverbrauch [GJ/ t _{Glas}]	Energieverbrauch [PJ/a]
Behälterglas	1,03	4,09
Flachglas	0,13	0,28
Glasfasern	0,26	0,09
Spezialglas	2,25	0,70
Gesamt	-	5,16

⁶¹ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁶² Schaeffer/Langfeld (2014); Klotz/et al. (2014).

⁶³ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁶⁴ Scalet u. a. (2013).

⁶⁵ Schaeffer/Langfeld (2014).

⁶⁶ Eigene Berechnung aus (Fleiter, 2013) und (Scalet u. a., 2013).

1.3 Chancen und Herausforderungen durch die Energiewende

Chancen durch die Energiewende

Eine Chance für die Glasindustrie infolge der Energiewende besteht vor allem in der erhöhten Nachfrage nach umweltschonenden und energieeffizienten Produkten. Hierzu zählen unter anderem die Erhöhung der Sanierungsrate und Steigerung der Wärme-Effizienz im Bausektor sowie notwendige Materialien zum Bau von erneuerbaren Energiesystemen. Dies wird zu einer erhöhten Herstellung von Produkten, wie beispielsweise Wärmedämm-Verglasungen, Glaswolle für Gebäudedämmungen, Glasfasern zur Verstärkung von Bauteilen von Windkraftanlagen, Glasanwendungen für Photovoltaik-Anlagen und weiteren Spezialglaswendungen führen. Zusätzlich wird das hierfür verwendete Flachglas höhere Anforderungen erfüllen müssen, sodass in Deutschland produziertes Qualitätsglas verstärkt zum Einsatz kommen kann.

Eine weitere Möglichkeit von der Energiewende zu profitieren, besteht in der Ausschöpfung von Flexibilitätspotenzialen zur Stabilisierung des deutschen Stromnetzes. Hierbei können finanzielle Anreize wie die Teilnahme am Regelenergiemarkt oder eine zukünftige staatliche Förderung zur Hilfe der Gewährleistung von Versorgungssicherheit genutzt werden. So kann beispielsweise durch den flexiblen Einsatz einer elektrischen Zusatzheizung in den Schmelzwannen sowohl positive als auch negative Regelenergie bereitgestellt werden. Diese Flexibilitätsoption kann allerdings nur bei bivalenten Schmelzwannen genutzt werden, da die Glasschmelze einem strengen Temperatur-Zeit-Regime (± 5 Kelvin) folgen muss, damit die Herstellung von qualitativ hochwertigem Glas gewährleistet wird. Somit muss ein flexibler Stromeinsatz durch eine Anpassung der Prozesswärmebereitstellung durch die Verbrennung von Gas kompensiert werden. Generell muss allerdings betont werden, dass die strenge Einhaltung der Temperaturen während der Glasherstellung zu einem sehr geringen Flexibilitätspotenzial führt.⁶⁷ Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von Flexibilitätsoptionen besteht im flexiblen Betrieb von Luftzerlegungsanlagen zur Produktion von Sauerstoff für die Nutzung in Oxy-Fuel-Brennern.

Ein Brennstoffwechsel von Erdgas zu synthetisch hergestellten bzw. biogenen Gasen zur Wärmebereitstellung der Schmelzenergie kann aufgrund der daraus resultierenden Unabhängigkeit von importierten Energieträgern eine weitere Chance für die Glasindustrie darstellen. Hierbei können bestehende Anlagen und die vorhandene Infrastruktur, bei Gewährleistung geforderter Qualität der Gase, genutzt werden. Dabei sind die Anlagen sowie die Infrastruktur in den meisten deutschen Werken vorhanden, da Erdgas der Hauptenergieträger in der Glasindustrie ist. Zusätzlich kann Gas verhältnismäßig leicht gespeichert werden, sodass eine Entkopplung von der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung und somit von temporär hohen Strompreisen erreicht werden kann. Allerdings ist der Einsatz von biogenen Gasen im Schmelzprozess aufgrund der Gewährleistung der Gasqualität durch die Gasversorger problematisch und somit eher als Herausforderung anzusehen. Die Glasindustrie ist auf eine sehr gute, qualitativ hochwertige Gasversorgung angewiesen, da die Glasschmelzwannen sehr empfindlich auf Brennwertschwankungen und Schwankungen der Gaszusammensetzungen reagieren. Zudem liegen die Bezugskosten von synthetischem oder biogenen Gas aufgrund der energieintensiven und/oder aufwendigen Herstellung um ein Vielfaches über den Bezugskosten von Erdgas.

⁶⁷ Ausfelder/Seitz/Roon (2018)

Herausforderung durch die Energiewende

Aufgrund hoher Investitionssummen und Investitionszyklen infolge der langen Lebensdauer einer Schmelzwanne von 12 bis 15 Jahren⁶⁸, lassen sich disruptive Technologien im Bereich der Glasschmelze nur schwer durchsetzen. Zusätzlich läuft man als Vorreiter bei der Umsetzung von neuen Produktionsverfahren Gefahr, technisch bedingte Ausfälle zu verstärken oder sogar größere Fehlinvestitionen zu tätigen.

Die größte Herausforderung beim Einsatz von umweltfreundlichen Technologien zur Glasherstellung liegt allerdings neben einigen technischen Problemen vor allem in den hohen Betriebskosten infolge hoher Stromkosten oder der Herstellungskosten von synthetischen/biogenen Gasen. Unabdingbare Voraussetzung für Einsatz dieser Technologien sind somit wettbewerbsfähige Strom- und erneuerbare Gaspreise, welche sich nach Einschätzung des Bundesverbandes Glas im aktuellen politischen Umfeld in nächsten Jahren und Jahrzehnten zunächst nicht signifikant ändern. Somit würde der Einsatz dekarbonisierender Technologien im Glasherstellungsprozess die nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Glashersteller durch Importe von Glasprodukten aus Ländern mit weniger ambitionierten Umweltzielen und konventioneller Glasherstellung stark gefährden.

Eine unterbrechungsfreie und sichere Energiezufuhr innerhalb des Schmelzprozesses hat bei der Glasherstellung oberste Priorität, da eine Erstarrung der Glasschmelze zu enormen wirtschaftlichen Verlusten führen kann. Diese werden einerseits durch die erhöhte Menge an Ausschuss, andererseits durch die Beschädigung von Teilbereichen bzw. der gesamten Anlage verursacht. Somit ist der Ausbau erneuerbarer Energien und die Entwicklung eines sicheren und stabilen Energiesystems eine notwendige Grundvoraussetzung für den Einsatz von umweltfreundlichen Technologien.

Zur Einhaltung der ambitionierten CO₂-Reduktionszielen von 95 Prozent ist der Einsatz von CCS-/CCU-Anlagen zur vollständigen Dekarbonisierung der Glasindustrie aufgrund der prozessbedingten CO₂-Emissionen notwendig. Hieraus entstehen zusätzlich Kosten, welche sich auf die Produktionskosten und somit auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirken.

⁶⁸ Schaeffer/Langfeld (2014).

2. LITERATURVERZEICHNIS

- Ausfelder, Florian/Seitz, Antje/Roon, Serafin von* (2018): Flexibilitätsoptionen in der Grundstoffindustrie: Methodik Potenziale Hemnisse, <https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/news/662EB9A945A57D6EE0539A695E86C80B/live/document/Buch_FLEXIBILITAETSOPTIONEN_aktualisiert.pdf> [Zugriff 2018-06-13]
- Beer, M./et al.* (2009): Energiezukunft 2050 - Teil II – Szenarien, München
- Brunke, Jean Christian Ulf* (2016): Energieeinsparpotenziale von energieintensiven Produktionsprozessen in Deutschland: Eine Analyse mit Hilfe von Energieeinsparpotenzialen, Dissertation, 134. Aufl., Stuttgart
- BV Glas* (2014): BV Glas-Stellungnahme zum BMUB-Entwurf des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRes) II, Düsseldorf
- (2017): Jahresbericht 2016, Düsseldorf, <https://www.bvglas.de/media/user_upload/Jahresbericht_2016.pdf> [Zugriff 2018-08-22]
- Destatis* (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008), <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008_eri.pdf?__blob=publicationFile> [Zugriff 2018-07-17]
- (2016): Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarb. Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden: Tabelle 2: Energieverbrauch nach Energieträgern
- (2017): Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen: Teil 3: Anthropogene Luftemissionen
- (2018): Kostenstrukturerhebung im Verarb. Gewerbe, Bergbau, Zeitreihen aus 42251BJ002, <www.destatis.de> [Zugriff 2018-05-21]
- Dispan, Jürgen/Vassiliadis, Michael* (2014): Glasindustrie in Deutschland: Eine Branchenanalyse, <<https://www.igbce.de/vanity/renderDownloadLink/8214/70908>> [Zugriff 2018-08-22]
- Fleiter, Tobias* (Hrsg.) (2013): Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien: Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente, Stuttgart: Fraunhofer-Verl., 2013
- ICF International* (2015): Study on energy efficiency and energy saving potential in industry and on possible policy mechanisms, London, <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-%20final%20report_clean_stc.pdf> [Zugriff 2018-08-22]
- Kissel + Wolf GmbH*: Glas-Rohstoffe zur Glasherstellung, <<https://www.siebdruck-partner.de/werkstoff/glas-keramik/werkstoff-glas/glasherstellung.html>> [Zugriff 2018-08-27]
- Klotz, Eva-Maria/et al.* (2014): Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014, Berlin
- Martens, Hans/Goldmann, Daniel* (2016): Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, 2. Aufl.: Springer Vieweg, 2016
- Overath, Johann* (2018): Hauptgeschäftsführer Bundesverband Glasindustrie e.V.
- Scalet, Bance Maria u. a.* (2013): Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf> [Zugriff 2018-08-27]
- Schaeffer, Helmut A./Langfeld, Roland* (2014): Werkstoff Glas: Alter Werkstoff mit großer Zukunft, Berlin: Springer Vieweg, 2014
- Schindler, Ilse/Ronner, Christoph* (1999): Stand der Technik bei der Glasherstellung, <<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/R152.pdf>> [Zugriff 2018-08-27]
- Schmitz, Andreas u. a.* (2011): Energy consumption and CO₂ emissions of the European glass industry, in: Energy Policy 39 (2011), S. 142–155, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.022#>
- Statista* (2018): CO₂-Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland bis 2017, <<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/>> [Zugriff 2018-08-27]
- VDI* (2017): VDI-Richtlinie 2578 – Emissionsminderung Glashütten, Düsseldorf
- Verallia Deutschland AG* (2017a): CSR-Bericht 2017: Nichtfinanzielle (Konzern-)Erklärung §289b HGB und § 315b HGB, <https://de.verallia.com/sites/verallia.germany/files/files/csr17-vd_fv-web.pdf> [Zugriff 2018-08-22]
- (Hrsg.) (2017b): Unternehmen + Umwelt: aktualisierte Umwelterklärung nach der EG-Verordnung, <https://de.verallia.com/sites/verallia.germany/files/images/2017_ausgabe_7_validierte_umwelterklaerung.pdf> [Zugriff 2018-11-06]

3. ANHÄNGE

Nachfolgend sind die im Bericht erwähnten Anhänge beigefügt:

Tabelle 3-1. Kennzahlen der einzelnen Glasbranchen

Sektor	Umsatz	Produzierte Menge [kt]	Erdgas [TWh]	Schweres Heizöl [TWh]	Strom [TWh]	Gesamt [TWh]
Herstellung Flachglas	1,1 Mrd. €	2.143	4,41	0,449	0,538	5,44
Verarbeitung Flachglas	3,2 Mrd. €	-	0,898	-	1,02	1,97
Herstellung Hohlglas	2,5 Mrd. €	3.980	6,18	0,324	1,60	8,12
Herstellung Glasfasern	1,0 Mrd. €	349	1,11	-	0,404	1,52
Spezialglas und technisches Glas	2,1 Mrd. €	312	0,90	-	0,420	1,46
Gesamt	10,0 Mrd. €	6.784	13,51	-	3,99	18,52

Tabelle 3-2. Spezifischer Energieverbrauch für den Schmelzprozess nach Glassorten

Produkt	Quelle	Strom [GJ/ t _{Glas}]	Brennstoffe [GJ/t t _{Glas}]	Gesamt [GJ/ t _{Glas}]
Behälterglas				
	Fleiter et al. 2013	0,5	4,9	5,4
	Fleischmann 2010	k.A.	k.A.	4,5
	Schaeffer und Langfeld 2014	k.A.	k.A.	4,7
Flachglas				
	Fleiter et al. 2013	0,7	10,7	11,4
	Fleischmann 2010	k.A.	k.A.	6,5
	Schaeffer und Langfeld 2014	k.A.	k.A.	6,5
Glasfasern				
	Fleiter et al. 2013	0,6	4,8	5,4
	Fleischmann 2010	k.A.	k.A.	6,0
	Schaeffer und Langfeld 2014	k.A.	k.A.	k.A.
Sonstiges Glas	Fleiter et al. 2013	2,0	11,2	13,2
Spezialglas	Fleischmann 2010	k.A.	k.A.	9,3
Spezialglas	S. & L. 2014	k.A.	k.A.	9,4