

Ansgar Rose, Norbert Sack  
Klemens Nothacker, Andrea Gassman

# **Recycling von Flachglas im Bauwesen – Analyse des Ist- Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen**

F 3202

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0459-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

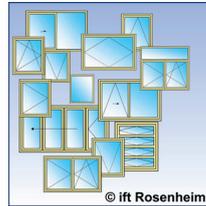
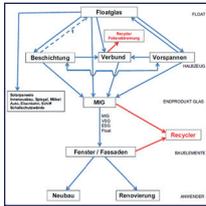
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

## Recycling von Flachglas im Bauwesen – Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen







## Abschlussbericht

<b>Thema</b>	<b>Recycling von Flachglas im Bauwesen - Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungs- empfehlungen</b>
<b>Kurztitel</b>	Flachglasrecycling
<b>Gefördert durch</b>	Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-16.07)
<b>Forschungsstelle</b>	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7–9 83026 Rosenheim  Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS in Alzenau und Hanau Brentanostr. 2a 63755 Alzenau
<b>Bearbeiter</b>	Dr. Ansgar Rose, Norbert Sack (ift Rosenheim)  Klemens Nothacker, Andrea Gassman (Fraunhofer ISC)
<b>Gesamtprojektleitung</b>	Dr. Ansgar Rose
<b>Institutsleitung ift Rosenheim</b>	Prof. Ulrich Sieberath

Rosenheim, November 2019

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Kennzeichen SWD-10.08.18.7-16.07).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.





## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation / Ziele	1
1.2	Ausgangslage	2
1.3	Projektgruppe	3
<b>2</b>	<b>Rechtliche/regulatorische Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungskonzept</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Technische Aspekte des Recyclings</b>	<b>11</b>
4.1	Glasbranche	11
4.2	Der Floatprozess	13
4.2.1	Art und Wirkung von Verunreinigungen	16
4.2.2	Anforderung an Rohstoffe	17
4.2.3	Standardblatt T 120	17
4.3	Recycling von Flachglas	18
4.3.1	Arten von Flachglasscherben	19
4.3.2	Quellen/Sammlung von Flachglasscherben	19
4.3.3	Flachglasaufbereitung	21
4.3.4	F&E Aufbereitungstechniken	22
4.4	Zusammenfassung – Technische Aspekte des Recyclings	25
<b>5</b>	<b>Stoffstrommodell und Stakeholder</b>	<b>29</b>
5.1	Qualitatives Stoffstrommodell und Stakeholder	29
5.2	Datenerhebung bei den Stakeholdern	32
5.2.1	Methode der Datenerhebung	32
5.2.2	bvse, Fachgruppe Flachglasrecycling	34
5.2.3	Floatglashütten	43
5.2.4	Flachglasveredler	44
5.2.5	Isolierglashersteller	45
5.2.6	Fenster-/Fassadenbranche	46
5.3	Weitere Datenquellen	48
5.3.1	Destatis	48
5.3.2	Bundesverband Flachglas	53
5.3.3	Verband Fenster und Fassade	54
5.4	Quantitatives Stoffstrommodell	54
5.4.1	Flachglasabfall im pre-consumer Bereich	54
5.4.2	Flachglasabfall im post-consumer Bereich	57
5.4.3	Vergleich der Daten der Recyclingbetriebe mit DESTATIS/BF/VFF	62
5.4.4	Quantitatives Stoffstrommodell	64

<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>75</b>
	<b>Anhang A: Umfrage an Flachglasrecycler</b>	<b>79</b>
	<b>Anhang B: Umfrage an Floatglashütten</b>	<b>83</b>
	<b>Anhang C: Umfrage an Flachglasveredler</b>	<b>87</b>
	<b>Anhang D: Umfrage an Isolierglashersteller</b>	<b>91</b>
	<b>Anhang E: Umfrage an Fenster- und Fassadenhersteller</b>	<b>95</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation / Ziele

In Deutschland sind nach Angaben der „Kreislaufwirtschaft Bau“ [1] im Jahr 2014 14,6 Mio. t Baustellenabfällen angefallen. Diese bestanden zu 95 % aus Eisen, Stahl, mineralischen Bestandteilen und Altholz sowie 5 % Glas, Kunststoff, Nichteisen-Metall und Dämmmaterial. Von diesen 14,6 Mio. t wurden 0,2 Mio. t (1,4 %) recycelt und 14,2 Mio. t (96,9 %) einer sonstigen Verwertung zugeführt. 0,2 Mio. t (1,7 %) wurden auf Deponien beseitigt. Detailliertere Angaben für Flachglas gibt es in dem jährlichen Bericht nicht [1]. Insbesondere geht aus dem Bericht nicht hervor, ob Flachglas zu einem hohen Grade recycelt wird oder ob der Großteil zusammen mit dem Bauschutt auf Deponien beseitigt oder einer sonstigen (minderwertigeren) Verwendung (z. B. im Straßenbau) zugeführt wird.

In einem Positionspapier [2] beziffert die Interessenvertretung europäischer Floatglashersteller „Glass for Europe (GfE)“ den Anteil des Floatglases an den Baustellenabfällen mit weniger als 1 %. Auch diese scheinbar kleine Menge ist nicht vernachlässigbar, da Glas prädestiniert ist für eine geschlossene Kreislaufwirtschaft (sog. closed-loop recycling). Der Einsatz von Glasscherben schont nicht nur die natürlichen Rohstoffressourcen, sondern reduziert auch die benötigte Schmelzenergie und damit auch die auftretenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Pro 10 Prozent Scherbeneinsatz wird mit einer Energieeinsparung von etwa 3 Prozent und einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 3,6 Prozent gerechnet [3]. In dem oben genannten Positionspapier von GfE [2] wird aber davon ausgegangen, dass Bauglas so gut wie nie zu neuen Glasprodukten recycelt wird, sondern dass es deponiert oder zusammen mit anderen mineralischen Abfällen einer minderwertigen Nutzung zugeführt wird. Nach Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie e. V. (BV Glas) [4] beschränkt sich der Einsatz von Altglasscherben in der Flachglasherstellung meist auf die eigenen Produktionsscherben (sogenannte Eigenscherben) und auf speziell recyceltes hochwertiges Altglasmaterial. Die Einsatzquoten von Scherbenmaterial betragen etwa 20 Prozent.

Auch die europäische Studie zu Ecodesignanforderungen für Fenster [5], die im Auftrag der europäischen Kommission von VHK aus den Niederlanden sowie dem ift Rosenheim durchgeführt wurde, zeigte, dass hinsichtlich des Recyclings von Flachglas aus dem Bauwesen kein belastbares Datenmaterial vorliegt, weder auf Ebene der Mitgliedsstaaten, noch auf europäischer Ebene. Es gibt keine Daten, auf deren Basis Handlungsempfehlungen bezüglich des Recyclings von Flachglas ausgesprochen werden könnten.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, eine Analyse des Ist-Zustandes hinsichtlich des Recyclings von Flachglas in Deutschland zu erstellen. Basierend auf den Ergebnissen sollten Handlungsvorschläge für ein closed-loop Recycling von Flachglas erarbeitet werden.

## 1.2 Ausgangslage

Zur Abstimmung dieses Forschungsantrags wurden mit Fachleuten aus der Flachglasbranche, dem ift Rosenheim sowie Verbands- und Branchenvertretern Gespräche zur Thematik geführt. Dabei wurde der Bedarf einer Aufarbeitung dieses Themas erkannt.

Bei einer Recherche in den Bauforschungsdatenbanken des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau IRB konnten keine öffentlichen Forschungsvorhaben gefunden werden, die sich mit der Thematik bereits detailliert befasst hatten.

Es gab bereits Studien zu Stoffströmen von Flachglas [6], [7]. Leider sind diese nicht immer in sich konsistent und detailliert genug für die Ziele dieses Forschungsvorhabens. Außerdem lassen sich die verwendeten Mengenangaben in t bzw. m<sup>2</sup> nicht ohne weitere Annahmen über Scheibendicken, Isolierglasaufbau (2-fach, 3-fach, VSG) und Beschichtungen vergleichen.

Um das Forschungsziel zu erreichen, sollten mit den betroffenen Kreisen, wie Flachglas-/Isolierglasherstellern, Fenster-/Fassadenbauern sowie einschlägigen Entsorgungsbetrieben, Analysen von Stoffströmen durchgeführt werden. Außerdem war es notwendig, die Anforderungen an Scherbenmaterial zur Verwendung in einem closed-loop System zu ermitteln, da anzunehmen war, dass die Scherbenqualität einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Verwendungsquote hat.

Im europäischen Ausland gab es einige Ansätze bzw. Forschungsprojekte, die auf ein verbessertes Recycling von Flachglas abzielen:

### Niederlande

In den Niederlanden ist VRN (Vlakglas Recycling Nederland) eine unabhängige und gemeinnützige Organisation der Flachglasindustrie, die ein landesweites Netzwerk von Sammelstellen für Flachglas betreibt. Es gibt etwa 400 feste Sammelstellen plus einige hundert zeitlich befristete, örtlich wechselnde Sammelstellen, die bei Bedarf an Baustellen eingerichtet werden. Sowohl Flachglasverarbeiter als auch Privatpersonen können ihre Flachglasabfälle abliefern. Dabei wird durch Beaufsichtigung der Sammelstellen und Schulungen der Glasverarbeiter versucht, das Flachglas möglichst sortenrein zu sammeln. [7], [8].

Die Sammelinfrastruktur und das Recycling werden über eine Entsorgungsgebühr finanziert, die Flachglashersteller und Importeure zahlen müssen. Die Abgabe von Flachglas an den Sammelstellen ist kostenlos. Es werden zwischen 80.000 und 90.000 Tonnen Flachglas pro Jahr gesammelt und recycelt.

### Frankreich

Das Projekt REVALO (Reduction and valorisation of building waste) [7] wird von mehreren Unternehmen der Flachglas-, Bau- und Recyclingindustrie sowie einer Universität betrieben und finanziert. Es erhält zusätzlich Unterstützung von der französischen Umweltbehörde.



Es zielt darauf ab, PVC-Fensterrahmen und Flachglas von Baustellen mittlerer Größe des tertiären Bereiches zu sammeln und einem Recycling zuzuführen. Dabei wird bereits auf den Baustellen darauf geachtet, möglichst keine Verunreinigungen in die Sammelcontainer einzubringen.

Des Weiteren gibt es ein Projekt für das Recycling von Flachglas aus dem Wohnbereich (Saint-Gobain, Lapeyre, Paprec) [7]. Auf den Parkplätzen einer Kette von Baustoffgroßhandlungen sind Sammelstellen für Fenster und Flachglas eingerichtet worden. Gegen eine Gebühr von einigen Euro können Fensterinstallationsbetriebe, Schreiner, Glasereien etc. Altfenster und –scheiben abliefern, damit sie einem Recycling zugeführt werden.

### **Großbritannien**

In Großbritannien betrachtet eine Arup-Studie [9] die logistischen, technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen eines closed-loop Recyclings von Flachglas. Die Sanierung eines ausgewählten Gebäudes ist zurzeit noch Gegenstand einer Pilotstudie, die quantitative Aspekte des Recyclings beleuchten soll.

Eine Studie der Universität Cambridge [10] beschäftigt sich mit verschiedenen end-of-life Szenarios für Glasfassaden-Systeme. Ziel ist es, heraus zu finden, ob durch neue Designkonzepte Abfälle vermieden und die Wiederverwertbarkeit von Komponenten eines Glasfassadensystems erhöht werden kann.

## **1.3 Projektgruppe**

Das Forschungsvorhaben wurde mit Unterstützung des Bundesverbandes Flachglas e. V. durchgeführt.

Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS, war im Unterauftrag eingebunden. Das IWKS hat den Stand der Technik von Recyclingverfahren für Flachglas ermittelt und daraus die möglichen Qualitäten des Rezyklates sowie die derzeitigen und potentiellen Verwendungsmöglichkeiten abgeleitet.

Auf dem ersten Projekttreffen am 21. März 2017 wurden mit Vertretern des BF, des IWKS sowie der Firmen Euroglas GmbH, Haldensleben, fglass GmbH, Sülzetal (OT Osterweddingen) und Guardian Glass GmbH, Thalheim, der Sachstand diskutiert und die Vorgehensweise im Forschungsvorhaben abgestimmt.





## 2 Rechtliche/regulatorische Grundlagen

Die rechtlichen/regulatorischen Grundlagen für das Recycling von Flachglas werden von europäischen Richtlinien sowie nationalen Gesetzen und Verordnungen gebildet. Die Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft aus dem Jahr 2008 [11] setzt den rechtlichen Rahmen für die Abfallgesetzgebung der Mitgliedstaaten. U. a. wird dort eine Abfallhierarchie festgelegt. Danach hat, nach Vermeidung und Wiederverwendung, Recycling Vorrang vor sonstigen Verwertungen (z. B. energetisch) und vor der Beseitigung von Abfällen. Außerdem soll bis 2020 die Wiederverwendungs-/Recyclingquote für Bau- und Abbruchabfälle auf 70 Gewichtsprozent erhöht werden. Da Flachglas nur etwa 1 % der Bau- und Abbruchabfälle darstellt, bietet diese Quote keinen besonderen Anreiz für das Recycling von Flachglas.

Die Deponierichtlinie der Europäischen Gemeinschaft aus dem Jahr 1999 [12] beabsichtigt, die Deponierung von Abfällen so weit wie möglich zu reduzieren und begünstigt damit eine Verschiebung in Richtung der höheren Stufen der in der Abfallrahmenrichtlinie definierten Abfallhierarchie [11]. Als inertes Material können Glasabfälle allerdings relativ problemlos und preiswert auf einer Deponie entsorgt werden. Insofern enthält die Deponierichtlinie ebenso keinen Anreiz zum Recycling von Flachglas.

Die Verordnung (EU) Nr. 1179/2012 der Kommission aus dem Jahr 2012 [13] stellt Kriterien auf, anhand deren festgelegt werden kann, wann aus Abfall gewonnenes Bruchglas nicht mehr als Abfall anzusehen ist (end-of-waste criteria, s. a. JRC Report [14]). Dadurch wird die Bedeutung und Verwertbarkeit von Flachglasscherben aus Bau- und Abbruchabfällen anerkannt und das Recycling von Flachglas rechtlich/regulatorisch begünstigt.

„Glass for Europe“ (Interessenvertretung europäischer Floatglashersteller) hält die gegenwärtigen rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen noch für unzureichend und betont in dem bereits erwähnten Positionspapier [2] die Bereitschaft der einschlägigen Industrie, sich an Initiativen zur Förderung des Recyclings von Bauglas zu beteiligen.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz [15], die Deponieverordnung [16] und die Gewerbeabfallverordnung [17] setzen die Vorgaben der EU-Abfallrahmenrichtlinie [11] in nationales Recht um.

Zweck des Kreislaufwirtschaftsgesetzes [15] ist es, „die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen“ (§1). In dem Gesetz erfolgt eine Unterscheidung zwischen Abfall und nicht dem Abfallgesetz unterfallenden Nebenprodukten (§4). Das Ende der Abfalleigenschaft wird in §5 definiert. Die fünfstufige Abfallhierarchie bzw. Rangfolge von Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen der EU Abfallrahmenrichtlinie [11] wird eingeführt (§6):

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Recycling,
- sonstige Verwertung, insbesondere energetisch und Verfüllung,
- Beseitigung.

Bei der Abfallbewirtschaftung ist diejenige Maßnahme auszuwählen, die den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistet (§6). Dabei sind technische, wirtschaftliche und soziale Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

§7 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes verpflichtet den Erzeuger bzw. Besitzer von Abfällen zur Verwertung derselben. Die Verwertung hat i. d. R. Vorrang vor der Beseitigung (Abfallhierarchie). Gemäß §8 bestimmt die Bundesregierung durch Rechtsverordnung den Vorrang oder Gleichrang von Verwertungsmaßnahmen und die Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung.

Seit dem 1. Januar 2015 gibt es eine Getrennthaltungspflicht für u. a. Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfälle, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist (§14 Kreislaufwirtschaftsgesetz). Bis zum 1. Januar 2020 sollen mindestens 70 Gewichtsprozent der nicht-gefährlichen Bau- und Abbruchabfälle, darunter fällt auch Flachglas, der Vorbereitung zur Wiederverwendung, dem Recycling oder einer sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt werden (§14). Letztere schließt auch die Verfüllung ein, bei der Abfälle genutzt werden, um Gruben, Stollen, Brüche, Tagebauen etc. wieder aufzufüllen. Diese Zielvorgabe sollte bis zum 31. Dezember 2016 durch die Bundesregierung „vor dem Hintergrund der bauwirtschaftlichen Entwicklung und der Rahmenbedingungen für die Verwertung von Bauabfällen“ überprüft werden (§14).

Die Deponieverordnung [16] regelt die Beseitigung von Abfällen durch Deponierung. Für Glas aus Bau- und Abbruchabfällen (Abfallschlüssel 17 02 02) gelten gemäß §8 (8) der Verordnung vereinfachte Annahmekriterien für die Beseitigung auf Deponien der Klasse 0 (Inertabfalldeponien). Dies entspricht nach wie vor der Deponierichtlinie der Europäischen Gemeinschaft aus dem Jahr 1999 [12] und stellt also noch keinen Anreiz zum Recycling von Flachglas dar.

Die neue Gewerbeabfallverordnung [17] (trat am 1. August 2017 in Kraft) schreibt in §8 Absatz 1 vor, dass Erzeuger und Besitzer von Bau- und Abbruchabfällen, diese jeweils nach den aufgeführten Abfallfraktionen, darunter auch Glas (Abfallschlüssel 17 02 02), getrennt sammeln, befördern und nach Maßgabe des §8 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes [15] vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuführen müssen. Diese Verpflichtung entfällt, sofern die getrennte Sammlung der jeweiligen Abfallfraktion technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist (§8 Absatz 2). Zu erfüllende Kriterien werden aufgeführt. Gemäß §8 Absatz 3 müssen Erzeuger und Besitzer der genannten Abfallfraktionen die Erfüllung der Verpflichtungen nach Absatz 1 dokumentieren bzw. die Nichterfüllung nach Absatz 2 begründen. Art und Umfang



der Dokumentation/Begründung sind vorgegeben. §9 sieht vor, dass Abfallgemische, die gemäß §8 Absatz 2 nicht getrennt werden müssen, einer Vorbehandlungs- bzw. Aufbereitungsanlage zuzuführen sind.





### 3 Untersuchungskonzept

Zunächst wurde ein qualitatives Stoffstrommodell für Floatglas erarbeitet. Es stellt die Stoffströme von der Erzeugung in der Floatglashütte über die Veredelung zu Halbzeugen, die Fertigung von Mehrscheiben-Isoliergläsern und die Anwendung in Fenstern und Fassaden bis zum Recycling zu neuem Floatglas oder anderen Verwendungen bzw. der Endlagerung auf einer Deponie dar. Dieses Modell zeigt die an dem Stoffstrom beteiligten Stakeholder, z. B. Floatglashütten, Fenster-/ Fassadenbauer und Recyclingbetriebe.

Über Umfragen bei den Stakeholdern (Fragebögen, Gespräche mit Experten aus der Industrie) wurden Daten zu den Stoffumsätzen und Informationen zur jeweiligen Situation hinsichtlich des Recyclings von Flachglas gesammelt. Die quantitativen Daten wurden so weit wie möglich auf Konsistenz geprüft, d. h. es wurde überprüft, ob sich die Ein- und Ausgänge der Materialströme bei den verschiedenen Stakeholdern die Waage halten. Als weitere Datenquellen wurden statistische Erhebungen des BF und des VFF sowie Daten des Statistischen Bundesamtes (Destatis) herangezogen.

Parallel zur quantitativen Datenerhebung der Stoffströme wurde der aktuelle Sachstand der Recyclingtechnologie über Literaturstudien und Gespräche mit Experten aus der Industrie ermittelt. Welche Recyclingverfahren gibt es? Welche Qualitäten von Rezyklat können erzeugt werden? Welche Kosten fallen dabei an? Wie kann das Rezyklat verwendet werden? Welche Rezyklatmengen können in Abhängigkeit der Qualität maximal in den Herstellungsprozess von Flachglas eingebracht werden? Wo liegen die Grenzen?

Abschließend wurde versucht, die gesammelten Informationen zusammenzufassen, zu interpretieren und ein quantitatives Stoffstrommodell zu erstellen.





## 4 Technische Aspekte des Recyclings

Bearbeitet durch das Fraunhofer ISC Projektgruppe IWKS

Im Mittelpunkt der Projektarbeit der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS stand die Darstellung der gegenwärtig existierenden Recyclingtechnologien innerhalb der Flachglasindustrie sowie die damit verbundenen technischen Anforderungen und Grenzen eines Closed-Loop-Recyclings. Dabei haben die erzielbaren Qualitäten des Rezyklats maßgeblichen Einfluss auf die Verwendungsmöglichkeiten. Die Bearbeitung der Thematik erfolgte durch systematische Literaturrecherchen in nationalen und internationalen Fachdatenbanken sowie in einschlägigen wissenschaftlichen Veröffentlichungen, auf Homepages von Unternehmen und in Patentdatenbanken. Des Weiteren wurden die innerhalb des Fraunhofer ISC bzw. der Fraunhofer-Projektgruppe IWKS vorhandenen Erkenntnisse und Erfahrungen genutzt. Außerdem wurden über Umfragen bei den Stakeholdern die praktischen Erfahrungen aus der Flachglasbranche einbezogen. Darüber hinaus nahm die Projektgruppe IWKS Kontakt mit einigen Experten aus der Flachglasindustrie auf, um weitere Erkenntnisse im Rahmen von Experteninterviews zu gewinnen.

Aufgrund der hohen Stabilität der Silikate und Oxide ist eine Rückgewinnung der Ausgangsstoffe sowohl aus technischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten praktisch ausgeschlossen, sodass kein rohstoffliches Recycling stattfindet. Vielmehr werden Glasabfälle durch Einschmelzen zusammen mit Primärrohstoffen bei der Herstellung neuer Glasprodukte verwendet. Da der Herstellungsprozess sowie die Verarbeitung von Flachglas maßgeblichen Einfluss auf ein Recycling und den erneuten Einsatz innerhalb der Flachglasindustrie haben, wird zunächst der Floatglasprozess dargestellt. Dabei stehen besonders die Art und Wirkung von Verunreinigungen der Rezyklate, also der aufbereiteten Flachglasgranulate, im Mittelpunkt der Betrachtung.

### 4.1 Glasbranche

Gläser bestehen grundsätzlich aus einem Rohstoffgemenge aus Quarzsand, Soda und Kalkstein sowie weiteren Rohstoffen in kleinerer Menge. Die Gemeinsamkeit aller Glasarten liegt in ihrem physikalischen Zustand, dem eines amorphen Festkörpers. In ist die Zusammensetzung der gängigsten Glasarten aufgeführt.

**Tabelle 1** Zusammensetzung verschiedener Glasarten, Angaben in % [18]

Glasart	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO
Flachglas	72	14	1	8	4		1,3		
Behälterglas	72	15	0,4	8,5	2		1,4		
Beleuchtungsglas	67,5	13,6	1,8	9,1			5		
Geräteglas	80,4	3,8	0,6				2,3	12,9	
Apparatebauglas	52						22		
Bildschirmfrontglas	68	8	7	0,3		11	3	2	
Bildschirmtrichterglas	58	7	9	1	1	2	3		22
Bleikristall	60	1	15						24

Der Produktionswert der Herstellung von Flachglas lag im Jahr 2017 bei rund 934 Mio. Euro, was einer Produktionsmenge von 2,1 Mio. Tonnen entsprach. Die Herstellung von Floatglas umfasste im Jahr 2017 95,6 % der Flachglasproduktion [19]. „Floatglas wird im „Floatverfahren“, bei dem die Glasschmelze auf ein Band von geschmolzenem Zinn fließt, sich auf diesem ausbreitet und erstarrt und an der Ausgangsseite mit Transportrollen als Glasband abgehoben, abgezogen und geschnitten wird, hergestellt“ [18]. Die übrige Flachglasproduktion entfällt auf gegossenes oder gewalztes Glas und gezogenes oder geblasenes Glas. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Kennzahlen aus dem Jahresbericht 2017 des Bundesverbands Glasindustrie e. V. zusammen.

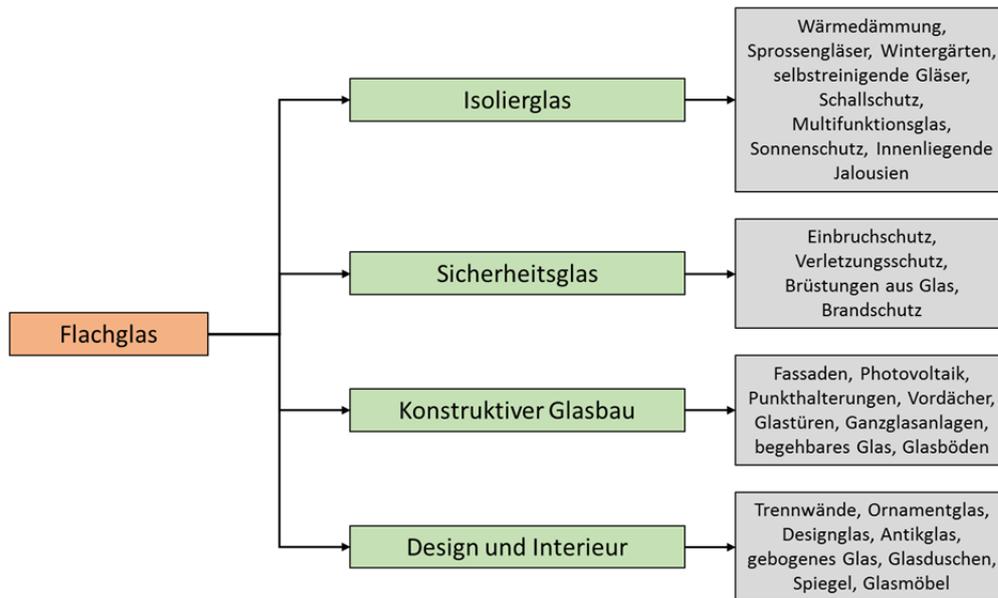
**Tabelle 2** Produktion von Flachglas in Deutschland in den Jahren 2016 und 2017 [20]

Branchensektor	Mengeneinheit	Produktionsmenge		Produktionswert in 1.000 EUR	
		2016	2017	2016	2017
Herstellung von Flachglas	1.000 t	2.116	2.115	913.677	934.132
Gegossenes oder gewalztes Glas	1.000 t	91	82	60.732	56.675
Gezogenes oder geblasenes Glas	1.000 t	11	10	12.107	12.207
Floatglas	1.000 t	2.013	2023	840.838	865.250

Weitere 3,5 Mrd. Euro Produktionswert wurden innerhalb der Flachglasveredelung und -bearbeitung erwirtschaftet. Die Flachglasveredelung umfasst die Beschichtung (z. B. Wärmeschutz-, Sonnenschutzschichten), den Verbund (Verbundsicherheitsglas) und die Vorspannung (TVG, ESG). Die bedeutendsten Sektoren sind hier unter anderem Wärmedämmglas und Verbundsicherheitsglas [19].



Flachglas findet in vielen Bereichen Anwendung. So kommt es als Isolierglas, Sicherheitsglas, im konstruktiven Glasbau und im Bereich Design und Interieur zum Einsatz (siehe Abbildung 1).

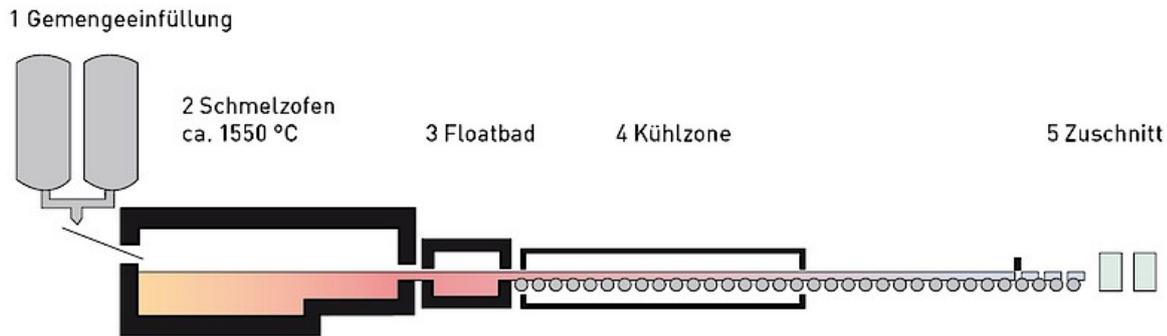


**Abbildung 1** Anwendungsgebiete von Flachglas nach Bundesverband Flachglas e. V. [21]

Für ein nachfolgendes Recycling des Flachglases sind neben der Zusammensetzung auch die Einsatzgebiete der Gläser und die damit verbundene Sammelwahrscheinlichkeit sowie die Veredelung bzw. Verunreinigung dieser ausschlaggebend. Die Vorteile des Scherben-einsatzes bei der Glasproduktion sind nach Krauß und Werner (2014) [22] die Einsparung von primären Rohstoffen, die Einsparung von Energie sowie damit verbundene Kosten und Deponieraumentlastung.

## 4.2 Der Floatprozess

Der Floatglasprozess ist das dominierende Verfahren bei der Herstellung von Flachglas. Dabei handelt es sich um einen Endlosprozess, bei dem die flüssige Glasschmelze auf ein Bad aus flüssigem Zinn geleitet wird und auf diesem aufschwimmt (englisch to float) [23]. Der Herstellungsprozess lässt sich dabei in fünf aufeinanderfolgende Prozessschritte unterteilen (Abbildung 2).



**Abbildung 2** Schema Floatglasherstellung [24]

Am Anfang des Prozesses werden vorbereitend die benötigten Rohstoffmengen miteinander vermischt. Dabei werden auch sogenannte Eigenscherben - Scherben die im Floatglasprozess selber angefallen sind (Borten, wo Transportwalzen das Glasband gezogen haben, Verschnitt) - wiederverwendet. Sie werden auf eine Größe von etwa 20 mm zerkleinert und dem Gemenge beigefügt.

Das Gemenge wird folgend auf die bereits vorhandene Schmelze aufgetragen, wodurch es zu einem Aufheizen des Gemenges kommt und verschiedene chemische und physikalische Prozesse ausgelöst werden, die eng miteinander verknüpft sind und teilweise gleichzeitig ablaufen. Der Einsatz von Scherben bei der Floatglasproduktion wirkt sich positiv auf den Schmelzprozess aus, dem zweiten Prozessschritt [24]. Die primär entstehende Scherbenschmelze fördert die Auflösung der anderen Rohstoffe, wodurch sich die Schmelzenergie und die Schmelzzeit reduzieren [18]. Dabei kann von einer Reduktion der Schmelzenergie von circa. 3 % je 10 % Scherbeneinsatz ausgegangen werden. Zudem wirkt sich der Scherbeneinsatz positiv auf die CO<sub>2</sub> Emissionen aus. So können die CO<sub>2</sub> Emissionen je 10 % Scherbeneinsatz um circa 3,6 % gesenkt werden [25]. Bei der Floatglasherstellung werden laut Martens und Goldmann rund 30 % Eigenscherben verwendet [18]. Dieser Wert variiert je nach Floatglashersteller – es kann von einem Eigenscherbenanteil zwischen 20 – 40 % ausgegangen werden. Verfahrenstechnisch wäre ein Einsatz von nahezu 100 % Eigenscherben denkbar. Dies wäre etwa im Falle eines Rohstoffengpasses denkbar, um den Betrieb der Anlagen aufrecht zu erhalten (Floatglasanlagen werden in einem endlos-kontinuierlichen Prozess betrieben - ein zwischenzeitliches Abschalten der Anlagen ist somit nicht möglich). Da die Oxidzusammensetzung der Eigenscherben bekannt ist und keine zusätzlichen Verunreinigungen zu erwarten sind, eignen sich diese in besonders hohem Maße für den erneuten Einsatz und stellen gleichermaßen die erste mögliche Route eines Closed-Loop-Recyclings dar. Zudem entfallen etwaige Transportkosten, da die Scherben direkt am Entstehungsort erneut Verwendung finden.

Innerhalb der Schmelzwanne erfolgen im nächsten Schritt die vollständige Homogenisierung der Schmelze und die Läuterung. Hierfür wird die Temperatur auf den Bereich 1.400 – 1.500 °C erhöht, wodurch die Viskosität der Glasmasse weiter abnimmt. Die Homogenisierung wird durch Einblasen von Luft oder Wasserdampf oder durch Rühren bewirkt. Während der anschließenden Läuterung werden Gasblasen in der Schmelze resorbiert oder sie



schwimmen zur Oberfläche der Schmelze auf. Als Läutermittel kommt beispielweise Natriumsulfat zum Einsatz, das bei Temperaturen über 1.200 °C  $\text{SO}_2$  und  $\text{O}_2$  abspaltet und dabei vorhandene Glasblasen mit zur Oberfläche reißt. Weiterhin kann Arsentrioxid als Läutermittel eingesetzt werden [18].

Im nächsten Schritt gelangt das flüssige Glas auf ein Bad mit flüssigem Zinn. Das Glas schwimmt auf dem Zinn auf und passt sich an die völlig ebene Oberfläche des Zinnbades an. Durch das parallele Heizen von oben (sogenannte Feuerpolitur) bildet sich eine planparallele Glasschicht. Das Glas kühlt auf dem Zinnbad ab bis es mit Hilfe seitlicher Transportrollen als Glasband vom Zinnbad abgehoben und in den Rollenkühlofen gezogen werden kann. Dort kommt es zur langsamen und kontrollierten Abkühlung, wodurch ein spannungsfreies Erstarren der Glasmasse sichergestellt werden kann [24].

Nach anschließender Qualitätskontrolle, bei der das Glasband mittels Laserstrahlen auf kleinste Fehler geprüft wird, erfolgt der Zuschnitt des Glases, bei dem auch fehlerhafte Stellen aus dem Glasband herausgeschnitten werden. Die Standardmaße der Glasabschnitte betragen 6.000 x 3.210 mm [26]. Während dieses Zuschnittes fallen Eigenscherben an, die auf einem Scherbenband gesammelt werden und erneut dem Floatglasprozess zugeführt werden können.

Der Floatglasprozess ist ein träges System. Durch die lange Verweilzeit der Glasschmelze bei den verschiedenen Herstellungsschritten werden mögliche Qualitätsverluste, etwa durch Verunreinigungen des Eingangsmaterials, erst später während der Qualitätskontrolle beim Zuschnitt sichtbar. Dadurch sind direkt Chargen eines längeren Produktionszeitraumes von möglichen Problemen hinsichtlich etwaiger Qualitätsanforderungen betroffen. Zudem werden Glaswannen in einem endlos-kontinuierlichen Prozess betrieben. Die Betriebszeit liegt i. d. R. bei 11-15 Jahren. Während dieser sogenannten Wannenreise sind Eingriffe von außen, wie etwa Reparaturen oder Reinigungen der Glaswanne nicht möglich [27], [28]. Aufgrund der langen Betriebszeiten, setzen sich technische Innovationen sowie deren Marktdurchdringung mit einer gewissen Verzögerung durch.

Weiterhin wird Floatglas in großen Einheiten produziert (6.000 x 3.210 mm als Standard). Dies führt dazu, dass Qualitätsmängel im Glas durch mögliches Zuschneiden nur sehr begrenzt ausgeglichen werden können und die Gefahr eines hohen Ausschusses bei Fehlern weiter steigt. Ebenfalls werden im Bauwesen immer größere Glaseinheiten verwendet, so dass auch hier zunehmend weniger Möglichkeiten bestehen, Fehler im Glas beim Zuschneiden auszusortieren. Aufgrund der genannten Aspekte muss bei der Auswahl der Eingangsmaterialien mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden, um Verunreinigungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dies betrifft sowohl die Scherben als auch die Primärmaterialien. Im nachfolgenden Kapitel wird die Problematik der unterschiedlichen Störstoffe und ihrer Auswirkungen auf die Floatglasherstellung tiefergehend erläutert.

### 4.2.1 Art und Wirkung von Verunreinigungen

Die Art und Wirkung von Verunreinigungen innerhalb des Floatglasprozesses haben maßgeblichen Einfluss auf die Qualitätsanforderungen an Scherben sowie deren Sammlung und Aufbereitung.

*Keramische Materialien*, sog. KSP (Keramik, Porzellan, Steine), können sich abhängig von ihrer Korngröße in der Glasschmelze nur sehr langsam oder gar nicht lösen und bilden feine, schwimmende Partikel. Diese Partikel können Spannungen im Glas erzeugen, die unter Umständen zum Reißen des Glases beim Erkalten führen.

*Metalle* und die entsprechenden *Metalloxide* haben einen Einfluss auf die Schmelze und die Glaswannen. So schmelzen Kupfer, Blei und Zinn in der Wanne und sinken auf den Wannensboden, wodurch es zu einer verstärkten Bodenerosion dieser kommt. *Fremdoxide* können zu einer Verfärbung der Schmelze führen. Hauptverunreinigungen sind meist Eisenoxide. Diesen Verfärbungen kann zu einem gewissen Grad durch geeignete Oxidationsmittel, wie z. B.  $\text{KNO}_3$ , entgegengewirkt werden.  $\text{KNO}_3$  wandelt geringe Eisen(II)oxidgehalte in die weniger färbende dreiwertige Oxidationsstufe um. Bei höheren Eisenoxidgehalten kommen andere färbende Oxide, wie zum Beispiel Manganoxid oder Selen zum Einsatz, die durch eine optische Kompensation zu einer Entfärbung führen. In der Glasschmelze gelöste Aluminiumoxide können geringe Mengen  $\text{SiO}_2$  reduzieren, so dass Si entsteht, welches wiederum zu Einschlüssen und damit Glasbruch führen kann [18].

*Nickelsulfid-Einschlüsse* können bei Einscheibensicherheitsglas (ESG) zu einem Spontanbruch führen, sofern sie in der Zugspannungszone liegen. Die Größe der Nickelsulfid-Einschlüsse liegt i. d. R. unter 0,2 mm, wodurch eine optische Detektion dieser nicht möglich ist. Durch eine allotrope Umwandlung ( $\alpha\text{-NiS}$  in  $\beta\text{-NiS}$ ) kommt es zu einer Volumenvergrößerung von etwa 4 %, wodurch es zu einem Spannungsanstieg im Glas kommt. Weiterhin hat Nickelsulfid einen größeren Temperaturexpansionskoeffizienten gegenüber Glas, sodass dies zusätzlich zu inneren Spannungen bei Temperaturerhöhungen führt. Die lokale Spannungserhöhung in Kombination mit der vorhandenen hohen Zugspannung im Glasinneren des ESG können letztendlich zu einer Überschreitung der Glasfestigkeit und somit einem sogenannten Spontanbruch führen. Diese Spontanbrüche können bis zu 10 Jahre nach der Herstellung auftreten. Um Spontanbrüche zu vermeiden, haben sich Heißlagerungsprüfungen etabliert. Hierbei wird das ESG nach dem Vorspannen einer Heißlagerung unterzogen. Durch die Erwärmung des Glases wird das Kristallwachstum angeregt, wodurch mögliche Nickelsulfid-Einschlüsse zu einem Brechen des Glases führen würden. Eine völlig Nickelsulfid-freie Glasherstellung ist nach Herstellerangaben derzeit technisch nicht möglich [29] - [32].

*Organische Stoffe* verbrennen überwiegend in der Schmelze. Dennoch ist auch hier eine Auswirkung auf die Redoxbedingungen möglich, die sich letztendlich auf die Färbung und Läuterung auswirken. *PVB-Folie*, die in Verbundsicherheitsgläsern Anwendung findet, wirkt



in der Glasschmelze als starkes Reduktionsmittel, wodurch ungewollte Reduktionsreaktionen hervorgerufen werden können [18]. Dadurch kann es unter anderem zur Blasenbildung sowie der Änderung der Oxidationsstufe von Metallen, die sich auf die Färbung auswirken können, kommen.

#### **4.2.2 Anforderung an Rohstoffe**

Die beschriebene Wirkung von Störstoffen definiert letztendlich die Anforderungen an Scherben zum Einsatz bei der Floatglasherstellung. Eigenscherven, also Glasscherben aus der eigenen Produktion, deren Oxidzusammensetzung bekannt ist und bei denen keine zusätzlichen Verunreinigungen zu erwarten sind, können problemlos erneut für die Produktion eingesetzt werden. Für den Einsatz von Flachglasgranulaten von externen Recyclingbetrieben werden Qualitätsparameter definiert. Innerhalb der Flachglasindustrie gibt es bisher keine allgemeingültige Leitlinie, hier werden die Spezifikationen nach Aussagen von Experten vielmehr individuell zwischen Lieferant und Kunde ausgehandelt, sodass aufgrund der Vertraulichkeit keine expliziten Werte genannt werden können. Als Orientierung kann jedoch das Standardblatt T 120 [33] aus der Behälterglasindustrie hinzugezogen werden. Wenngleich sich die Leitlinie auf die Behälterglasindustrie beschränkt, liefert sie eine wichtige Orientierung bezüglich der Qualitätsanforderung an Scherben beim Einsatz in der Flachglasindustrie. Es ist davon auszugehen, dass die Anforderungen an die Scherben für die Flachglasindustrie prinzipiell über den dargestellten Werten des Standardblatts T 120 liegen. Dies ist auf die dargestellten hohen Qualitätsanforderungen innerhalb der Floatglasherstellung zurückzuführen. Laut Aussagen von Experten aus dem Glasrecycling ist ein auf die T 120 aufbauendes Standardblatt Bestandteil aktueller Diskussionen, sodass hier mittelfristig mit einem Update gerechnet werden kann. Ob in absehbarer Zeit mit einem vergleichbaren Rahmenwerk für die Herstellung von Flachglas bzw. Floatglas gerechnet werden kann, ist nicht bekannt.

#### **4.2.3 Standardblatt T 120**

In der Leitlinie „Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie“ [33] werden spezifische Anforderungen an Scherben zum Einsatz in der Behälterindustrie vereinbart. Diese dienen als Grundlage für bilaterale Zusammenarbeit zwischen Lieferanten und Kunden. Das Standardblatt stellt Anforderungen an die maximal zulässige Menge an Verunreinigungen, die Korngrößenverteilung sowie die maximalen Farbfehlanteile beim Wareneingang des Verwenders.

**Tabelle 3** Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie [33]

Verunreinigungen	Behälterglas			
KSP (g/t) Keramik, Steine, Porzellan	20 / > 50			
NE Metalle	3 / > 5			
Fe Metalle (g/t)	2 / > 5			
Glaskeramik > 10 mm (g/t)	5 / > 5			
Glaskeramik ≤ 10 mm (g/t)	10 / > 30			
Lose Organik (g/t)	300 / > 500			
Feuchte (%)	2 / > 5			
Schwermetalle (ppm) Pb, Cd, Cr(VI), Hg	200 *			
<b>Korngröße</b>				
< 6,3 mm Quadratsieb (%)	18 / > 25			
< 1mm Quadratsieb (%)	5 / > 8			
<b>Fehlfarbe</b>	<b>Weiß</b>	<b>Grün</b>	<b>Braun</b>	<b>Bunt</b>
Weiß (%) inkl. Lichtgrün & Halbweiß				
Grün (%) Behälterglas incl. red. Grün λDom. 568 - 575 nm	<b>0,2 / &gt; 0,4</b>	<b>Min. 75 / -</b>	<b>10 / &gt; 15</b>	<b>Min. 80 / -</b>
Braun (%) inkl. aller Brauntöne	<b>0,3 / -</b>	<b>10 / -</b>	<b>Min. 80 / -</b>	
Bunt (%)	<b>0,2 / -</b>			

Legende:

- Wert (**fett** dargestellt) = **Mittelwert** aus 250 t oder aus einem Monat.
- Wert (*kursiv* dargestellt) = **Ablehnungsgrenze**.

Alle Werte sind maximale Werte.  
\*Richtwert

Die Grenzwerte bestehen jeweils aus einem monatlichen Mittelwert bzw. einem Mittelwert von mindestens 250 Tonnen Glasscherben und einer Ablehnungsgrenze, die sich auf einzelne Ladungen bezieht. Somit liegt die Verantwortung beim Recyclingbetrieb, die geforderten Qualitätsanforderungen zu erfüllen, andernfalls können Lieferungen von Glasproduzenten entsprechend bemängelt oder abgelehnt werden.

### 4.3 Recycling von Flachglas

Die Zusammensetzung sowie die Verunreinigungen der Altglasscherben haben maßgeblichen Einfluss auf die anschließende Verwertung. Schon am Anfang des Recyclings sollte der Reinheitsgrad der Altscherben daher so hoch wie möglich gehalten werden. Dies beginnt bei absolut sauberen Sammel- und Transportbehältern, um beispielsweise Keramiken, Steine, Porzellan, Bauschutt, Metalle, Fensterkitt, Kunststoffe sowie feuerfestes Glas



bei der Sammlung auf ein Mindestmaß zu reduzieren und den Abtrennaufwand an späterer Stelle zu reduzieren [34].

#### 4.3.1 Arten von Flachglasscherben

Beim Einsatz von Scherben wird im Rahmen dieses Berichtes wie folgt unterschieden:

- **Eigenscherben:** Glasscherben aus der eigenen Produktion. Die Oxidzusammensetzung ist bekannt und es sind keine zusätzlichen Verunreinigungen bekannt [18], [22], [35].
- **Fremdscherben:** Bei den Fremdscherben gibt es eine weitere Unterteilung der Scherben hinsichtlich ihrer Herkunft. So wird in pre- und post-consumer Fremdscherben unterschieden.
  - **Pre-consumer Fremdscherben:** Es handelt sich um Scherben, die in Produktionsabfällen der glasverarbeitenden Industrie anfallen. Die stoffliche Zusammensetzung ist i. d. R. bekannt und Verunreinigungen sind selten.
  - **Post-consumer:** Darunter werden Scherben zusammengefasst, die nach ihrer Nutzungsphase anfallen. Hier ist prinzipiell mit einem höheren Grad an Verunreinigungen und Störstoffen zu rechnen.

#### 4.3.2 Quellen/Sammlung von Flachglasscherben

Damit Flachglasabfälle einer Aufbereitung und einer erneuten Nutzung zugeführt werden können, ist zunächst eine Sammelinfrastruktur notwendig (Eigenscherben werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da diese betriebsintern rückgeführt und erneut genutzt werden). Die Sammlung kann als erster Schritt des Recyclingkonzepts verstanden werden. Die Charakteristik dieser Systeme hat einen direkten Einfluss auf mögliche Recyclingpotentiale und die spätere Nutzung. Je höher hier die Trennschärfe ist, desto effizienter und damit auch wirtschaftlicher kann eine Aufbereitung erfolgen. So läuft eine Sammlung von Flachglas je nach Art der Flachglasscherben und des Abfallaufkommens individuell ab.

Bei pre-consumer Scherben handelt es sich um Produktionsabfälle der glasverarbeitenden Industrie, sodass die stoffliche Zusammensetzung bekannt ist und Verunreinigungen selten sind. Die Glasabfälle werden in diesen Bereichen in sogenannten Monofractionen, das heißt sortenrein, gesammelt. Durch diese Sammelsysteme können Fraktionen mit einer sehr hohen Reinheit gesammelt werden, was eine Aufbereitung der jeweiligen Fraktionen erheblich erleichtert. Die gesammelten Monofractionen werden üblicherweise gesondert aufbereitet, wodurch schlussendlich Flachglasgranulate mit hoher Reinheit gewonnen werden, die sich grundsätzlich für den Wiedereinsatz in der Flachglasproduktion eignen.

Das zweite Sammelsystem bezieht sich auf Gläser aus dem post-consumer Bereich. Hier findet keine sortenreine Sammlung statt, es handelt sich vielmehr um einen sogenannten Isomix, also eine Mischung aus Flachglasabfällen. Aufgrund des i. d. R. eher geringeren Aufkommens an Gläsern lohnt sich eine Getrenntsammlung häufig nicht bzw. wäre nicht

wirtschaftlich, sodass alle Arten an Flachgläsern in eine Mulde verbracht werden. Eine sortenreine Sammlung wäre zudem häufig mit teuren Demontageverfahren in verschiedenen Anwendungsfällen verbunden.

### **Autoglas**

Ein weiteres Sammelsystem von Flachglas ist im Bereich der Autogläser zu finden. Die Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen – kurz AltfahrzeugV [36], sieht einen separaten Ausbau der Front-, Heck- und Seitenscheiben sowie Glasdächer und eine anschließende stoffliche Verwertung dieser vor. Jedoch sind hierbei Abweichungen zulässig, „wenn der Nachweis erbracht wird, dass durch andere geeignete Maßnahmen das Wohl der Allgemeinheit gemessen an den Anforderungen dieser Verordnung“ nicht beeinträchtigt wird. Über die Zulässigkeit von Abweichungen entscheidet die zuständige Behörde auf Antrag im Hinblick auf die Erteilung der Bescheinigung nach § 5 Abs. 3“ AltfahrzeugV 1997 [36]. Diese behördlichen Ausnahmen von der Demontagepflicht führen dazu, dass nur ein Bruchteil der Altfahrzeugverwerter einen Ausbau der Gläser durchführt und der Großteil der Fahrzeugscheiben und Glasdächer in die Shredderanlagen verbracht werden und letztendlich als Bergversatz oder im Deponiebau Verwendung finden. Das Umweltbundesamt gibt an, dass im Jahr 2016 lediglich 8 % bzw. 964 Tonnen der rund 12.000 Tonnen angefallenen Fahrzeuggläsern demontiert und einer stofflichen Verwertung zugeführt wurden [37]. Somit werden diese Materialströme zu einem Großteil einem Stoffkreislauf entzogen und müssen folglich an anderer Stelle durch Primärmaterialien ersetzt werden. Im Bereich der Ersatzverglasung, also dem Scheibenwechsel, findet eine sortenreine Sammlung in den jeweiligen Betrieben statt. Dies führt dazu, dass diese Gläser zu etwa 90 % einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Dies entspricht einer jährlichen Menge von rund 22.000 Tonnen (Ersatzverglasungen von Nutzfahrzeugen werden hierbei nicht berücksichtigt) [37].

Bei Flachglasabfällen aus Altfahrzeugen handelt es sich um komplexe Verbünde, die neben Glas aus Kunststofffolien, dunkler Einbrennemaile an den Scheibenrändern, Silber-Kupfer-Leiterbahnen und Spiegeln bestehen. Diese komplexen Materialverbünde fordern nach Martens und Goldmann [18] einen aufwendigen Recyclingprozess, um einen Einsatz bei der Scheibenproduktion zu ermöglichen. Altgläser mit eingefärbten Rändern finden vor allem bei der Herstellung von braunem oder grünem Behälterglas Anwendung. Laut Aussagen der Glasrecycling-Industrie sind die genannten Probleme aus technischer Sicht mittlerweile handhabbar, sodass hier eine erhöhte Verwertung von Autoglas angestrebt wird. Da ein Ausbau der Glasscheiben aus Altfahrzeugen aufgrund der geringen Werthaltigkeit häufig nicht wirtschaftlich ist, findet dieser, wie bereits erwähnt, begünstigt durch behördliche Ausnahmen von der Demontagepflicht, derzeit allerdings nur in sehr geringem Umfang, statt.

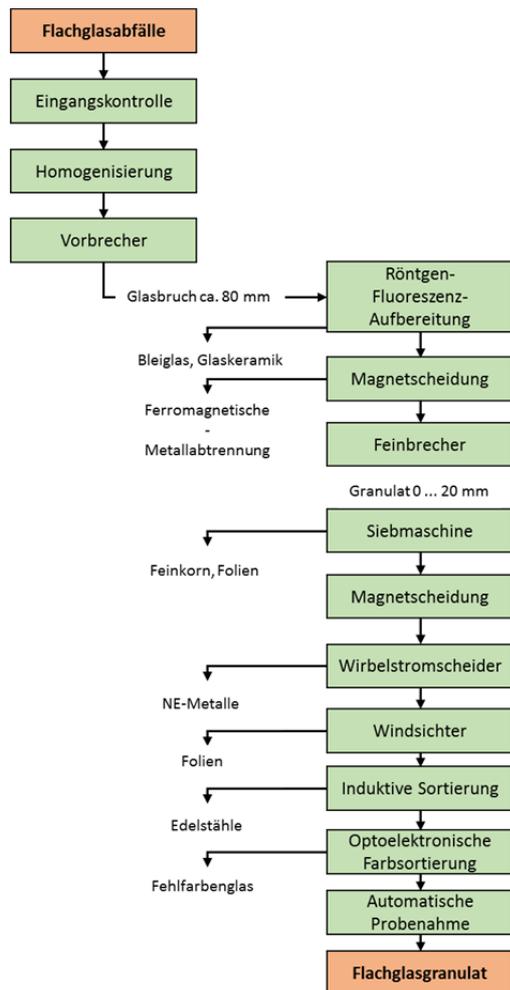


### 4.3.3 Flachglasaufbereitung

Im Anschluss an die Flachglassammlung über die beschriebenen Systeme erfolgt der Prozess der Flachglasaufbereitung, der auf die Gewinnung eines möglichst homogenen und störstoffarmen Flachglasgranulats für die Wiederverwendung innerhalb der Glasindustrie abzielt. Die Flachglasaufbereitung wird grundlegend von Martens und Goldmann beschrieben [18]. Gespräche mit Akteuren aus dem Bereich des Flachglasrecyclings brachten weitere Erkenntnisse, sodass nachfolgend ein modifiziertes System der Flachglasaufbereitung skizziert wird. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es sich um eine Darstellung des Standes der Technik handelt und je nach Recyclingunternehmen mit Abweichungen zu rechnen ist. So können die Prozessschritte individuell aufeinander abgestimmt werden und folgen keiner definierten Reihenfolge.

Die Flachglasaufbereitung setzt sich aus einem mehrstufigen Verfahren zusammen. Zu Beginn stehen verschiedene Prozessschritte an, die als vorbereitende Maßnahmen für die eigentliche Aufbereitung eingestuft werden können. Abbildung 3 zeigt den generellen Ablauf der industriellen Aufbereitung von Flachglasabfällen. Gelangen die Flachglasabfälle zum Recyclingunternehmen kommt es i. d. R. zunächst zu einer Sichtkontrolle. Hier wird das Material aus den Mulden gekippt und breitflächig verteilt, um einen Gesamtüberblick über die Materialzusammensetzung und evtl. Störstoffe zu bekommen. Nach erfolgter Eingangskontrolle verbleiben die Scherben häufig einige Zeit auf dem Recyclinghof, ohne dass weitere Bearbeitungsschritte durchgeführt werden. Diese Phase dient in erster Linie der Homogenisierung des Materials, d. h. gegeben durch die äußeren Bedingungen setzt eine Kompostierung der enthaltenen organischen Stoffe ein, wodurch sich diese gleichmäßig über das Scherbenmaterial verteilen. Dies ist gerade im Behälterglasrecycling bedeutend, da hier ein vergleichsweise hoher Anteil an organischen Störstoffen zu erwarten ist.

Im nächsten Prozessschritt gelangen die Flachglasabfälle in den Vorbrecher, der das Material auf etwa 80 mm zerkleinert. Moderne Anlagen verfügen über eine anschließende Röntgenfluoreszenz-Analyse, bei der kritische Bestandteile, wie etwa Bleiglas und Glaskeramik, frühzeitig der weiteren Aufbereitung entzogen werden können [34]. Glaskeramik ist dabei aufgrund seiner kristallinen Struktur und dem damit verbundenen hohen Schmelzpunkt problematisch. Bleiglas muss aufgrund gesetzlicher Vorgaben abgetrennt werden. Eisenhaltige Störstoffe werden mittels Magnetabscheider in einem Folgeschritt entfernt. Nach einer weiteren Zerkleinerung erfolgen diverse Siebschritte sowie die Sortierung mittels Wirbelstromscheider und Windsichter, um NE-Metalle, Feinkorn und Folien weiter zu entfernen. Fehlfarbglass wird mittels optoelektronischer Farbsortierung selektiert. Weiterhin gibt es neuerdings zusätzliche induktive Sortiertechniken, die auf die Abtrennung von Edelmetallen abzielen und als Prozessschritt integriert werden können.



**Abbildung 3** Aufbereitung von Flachglasabfällen, basierend auf Martens und Goldmann [18]

Endprodukt ist ein Flachglasgranulat, welches, wenn es die Qualitätsanforderungen erfüllt, auch wieder in der Floatglasherstellung genutzt werden kann [18]. Neben der Qualität des Flachglasgranulates haben zudem auch wirtschaftliche Aspekte, wie entstehende Kosten für den Transport und die unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften potentieller Abnehmer, Einfluss auf die weitere Verwendung.

#### 4.3.4 F&E Aufbereitungstechniken

Im Bereich des Flachglasrecyclings gibt es verschiedene Anstrengungen, die Sortierung und Aufbereitung des Altglases zu verbessern oder die eingesetzten Produkte recyclingfähiger zu machen.

##### ForCycle

Der Projektverbund ForCycle [38], finanziert durch das Bayerische Staatministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, setzt sich in einem Projekt mit der Aufreinigung von Gebrauchs- und Spezialgläsern zur Dissipations-Limitierung und Rückgewinnung von Wertme-



tallen auseinander. Durch die Beimischung von schwermetallhaltigen Spezialgläsern in das Recyclingsystem von Behälterglas (Fehlwürfe) stoßen die Konzentrationen dieser Metalle immer häufiger an den verordneten Grenzwert. Hierbei handelt es sich unter anderem um sogenanntes Bleikristall, also glattes oder geschliffenes Bleiglas, welches fälschlicherweise über die Altglascontainer entsorgt wird. Durch eine selektive Schwermetallabtrennung sollen zum einen hochwertige Scherben für die Glasindustrie gewonnen werden und zum anderen Wertmetalle zurückgewonnen werden. Die Aufreinigung der Glasscherben erfolgt dabei durch die Extraktion in Glasschmelzen. Als Extraktionsmittel kommen Zinn- und Siliziumschmelzen zum Einsatz. Verunreinigungen, die auf diese Weise nicht bzw. nur unvollständig entfernt werden können, können gezielt durch selektives Verdampfen aus der Glasschmelze entfernt werden [38]. Dazu wird dem Altglas Calciumchlorid oder Calciumhydroxid zugegeben. Dieses zersetzt sich bereits bei moderaten Temperaturen. Daraus entstehen CaO, ein Bestandteil von Kalk-Natron-Silikatglas, und Schwermetallchloride. Aufgrund des höheren Dampfdrucks des Schwermetallchlorids verdampft dieses in der Glasschmelze des Herstellungsprozesses von neuem Behälter- oder Spezialglas. Es können sich ebenfalls andere Chloride wie NaCl oder KCl bilden, die höhere Siedepunkte haben und in der Glasschmelze verbleiben. Mit dieser Methode konnte die Konzentration von Blei im Glas um bis zu 97 % an der Glas-Luft-Grenzfläche und knapp 80 % in der Glasmitte verringert werden [39].

### **Mechano-chemische Abtrennung von PVB-Folie**

Swain *et al.* [40] untersuchen die Trennung von PVB-Folie und Glas von Sicherheitsglas in Windschutzscheiben. Hierzu wird ein mechano-chemisches Verfahren angewandt. Dabei wird das Sicherheitsglas zunächst zerkleinert, um Glas und Folien mit einem Trommelsieb voneinander zu trennen. Etwa 30 % des Sicherheitsglases können dadurch jedoch nicht getrennt werden und benötigen eine spezielle Behandlung bzw. Nachreinigung. So wird das zerkleinerte Glas mit dem nichtionischen Tensid (sog. Niotensid) D201, das von der Firma Jeong Chem. Ltd. vertrieben wird, und Wasser in einem Reaktionsgefäß vermischt und gerührt, wodurch sich die Folie vom Glas löst. Anschließend werden die festen Bestandteile über ein Sieb vom Tensid, das rückgeführt wird, getrennt und getrocknet.

Eine mögliche Behandlung mit Tensidmischungen zur Trennung der PVB-Folie und der Glasfraktionen hat sich bisher aus wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht am Markt etabliert.

### **Vorkonditionierung von Behälterglas**

Eine Vorkonditionierung von Behälteraltglas durch Sublimation, einer speziellen Trockenreinigung für Glasscherben, verbessert die nachfolgende Sortierung. Hier wird das Material in einem Fließbettrockner getrocknet, in einem Attritionswäscher ohne Zugabe von Wasser oder Lösungsmittel, allein über Reibung, von anhaftenden Etiketten gesäubert (Trockenwäsche) und anschließend in einer Kühl- und Entstaubungsrinne mit Umgebungsluft gekühlt und von Restverschmutzung befreit. Durch die vorangehende Entfernung von Verunreinigungen wird der Fehlaustrag infolge besserer Trennschärfe in der Sortierung verringert, die Scherbenqualität gesteigert und die Sortierung von feinkörnigeren Fraktionen (bis 5 mm) durch Entfernung von Organik ermöglicht. Selbst glashaltige Schlacke aus Hausmüllver-

brennungsanlagen kann so für den Einsatz in Sortieranlagen aufbereitet werden [41]. Je nach Art der Verschmutzung (z. B. feuchtes und verschmutztes Material infolge von Witterungseinflüssen) kann diese Aufbereitung auch für Flachglasscherben sinnvoll sein.

### **Herstellung recyclingverträglicher keramischer Farben**

Auch die Veränderung der eingesetzten Produkte ist möglich. So soll die Entwicklung von speziellen keramischen Farben für emaillierte Glasprodukte für Autofenster die Glasrecyclingverträglichkeit verbessern. Der Fensterhersteller Asahi Glass Co., Ltd. stellte 2004 einen Patentantrag für eine Farbe, die aus einem Glaspulver mit niedrigem Schmelzpunkt (65 – 80 %), einem Pulver hitzebeständiger Pigmente (18 – 35 %) und optional hitzebeständigen Fasern (max. 5 %) sowie einem feuerfesten Pulver (max. 5 %) besteht [42].

### **Photovoltaik**

Verbundglas enthält meist Kunststofffolien aus Polyvinylbutyral (PVB), aber auch Ethylenvinylacetat (EVA), Polyacrylat (PA), Polymethylmethacrylat (PMMA) oder Polyurethan (PUR), während Wärme- und Sonnenschutzgläser eine Beschichtung aus Metalloxiden oder Edelmetallen, wie z. B. Silber enthalten [26]. Da PV-Module ebenfalls Folien aus PVB, EVA oder Silber enthalten [43], erscheint eine Relevanz der Recyclingverfahren von Photovoltaikmodulen, insbesondere zur Delamination und Entmetallisierung, für Flachglas gegeben.

Das Thema gewinnt zunehmend an Aktualität, da immer mehr Photovoltaik-Anlagen das Ende ihrer Lebensdauer erreichen und somit mit einem vermehrten Abfallaufkommen zu rechnen ist. Der BVSE geht davon aus, dass ab 2020 mit größeren Mengen an Altmodulen zu rechnen ist. Bis zum Jahr 2026 werden Schätzungen zufolge bis zu 50.000 Tonnen Altmodule pro Jahr erwartet, bis zum Jahr 2040 200.000 Tonnen [44].

Daher werden auch in diesem Bereich bereits Recyclingmöglichkeiten erforscht. Aufgrund von Verunreinigungen wird das enthaltene Glas derzeit kaum zu Flachglas recycelt, obwohl beim aktuellen Recycling der Schwerpunkt auf der Glasrückgewinnung und weniger auf anderen Stoffen liegt. Problematisch für das Glasrecycling sind anhaftende Kunststoffreste und Verunreinigung mit feinen Silizium- oder Metallbestandteilen, sowie die langlebige Kunststofflaminiierung und gefährliche Bestandteile, wie z. B. Cadmium, von Dünnschichtmodulen [43].

Eine Trennung von Glas und Folie (Delamination) erfolgt i. d. R. durch thermische oder mechanische Verfahren, kann aber auch mit Hilfe einer Trennflüssigkeit erreicht werden. Anhaftendes Halbleitermaterial kann mechanisch, mit Hilfe eines abrasiven Mediums, mit Hilfe von Emulsionen auf Tensidbasis oder einem anderen Lösemittel oder in einem Druckstrahlverfahren abgetrennt werden [43],[45].

Seit September 2018 betreibt die Firma Suez am Standort Kittlingen eine Anlage, die auf das Recycling von siliziumbasierten Altmodulen spezialisiert ist. Hier werden mehr als 90 % der enthaltenen Materialien zurückgewonnen [46].



### **Life Project: Flat to Flat**

Beim Flat to Flat Projekt handelt es sich um ein AGC Glass Europe Projekt (Projektzeitraum 2013 – 2017), welches im Rahmen der EU Life+ Programme gefördert wurde. Die Umweltauswirkungen der Flachglasproduktion (CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energie, Rohstoffe) sollten dabei durch die Entwicklung und Validierung einer innovativen Methode für das Recycling und die Aufbereitung von Flachglas verringert werden, wodurch Gläser mit einem hohen Anteil an KSP, die bisher keine Verwendung innerhalb der Glasindustrie gefunden haben, dem Kreislauf erhalten bleiben. Durch einen ganzheitlichen Ansatz, der sowohl die Qualitätskontrolle während der Sammlung, die Umweltauswirkungen der Sammel-Logistik, die Zerkleinerung und Behandlung der Gläser als auch die Schmelzfähigkeit der Störstoffe berücksichtigt, sollte dies realisiert werden [47].

Durch regelmäßige Besuche der Sammelstellen bot sich die Möglichkeit, den Füllstand und die Scherbenzusammensetzung zu kontrollieren. Durch den persönlichen Austausch vor Ort und die Einführung eines sogenannten ORCIV Zertifikates (Independent Certification Registry Collection point VRN), konnte die Qualität der gesammelten Flachglasabfälle gesteigert werden.

Bei der Zerkleinerung der Scherben bestand die Herausforderung darin, die Brechparameter so zu optimieren, dass sich der Anteil an sehr feinkörnigem Material und Feinstaub reduziert, da diese nicht für die weitere Verwendung in der Flachglasindustrie geeignet sind und abgesiebt werden müssen. Zusätzliches Trocknen vor dem Zerkleinern war notwendig, um die erforderliche Korngröße im Brecher zu erhalten. Im Anschluss an die Zerkleinerung erwies sich eine Trockenlagerung als entscheidend. Feuchte Scherben können im Laufe der Zeit zur Bildung von Glasbeton führen. Wenn dies in Lagersilos geschieht, ist eine aufwendige und kostspielige Wartung erforderlich. Aus diesem Grund wurden die Scherben vor der Zerkleinerung unter speziellen Abdeckungen gelagert. Nach der Zerkleinerung der Scherben wurden diese in großen Silos gelagert.

Durch die Optimierungen der Parameter für die Zerkleinerung der Gläser sowie der Entwicklung innovativer Schmelzverfahren konnten die bisher hohen Qualitätsanforderungen an Rezyklate für den Einsatz innerhalb der Flachglasindustrie nachhaltig gesenkt werden [47].

## **4.4 Zusammenfassung – Technische Aspekte des Recyclings**

Die Anforderungen an das Flachglasrecycling setzen sich aus logistischen, technischen, wirtschaftlichen Aspekten und Qualitätsanforderungen zusammen. Somit ist es eine Vielzahl an Faktoren, die Einfluss auf das Recycling von Flachglasabfällen haben, sodass allgemeine Aussagen nur bedingt möglich sind und häufig im Einzelfall entschieden werden muss, wie mit Flachglasabfällen verfahren wird.

Aufgrund der bereits erwähnten hohen Qualitätsanforderungen kommen innerhalb der Flachglasproduktion überwiegend Eigen- und Fremdscherben aus dem pre-consumer Bereich, die von den Glasherstellern oder der glasverarbeitenden Industrie sortenrein und sauber gesammelt werden, zum Einsatz [22]. Der Großteil der post-consumer Fremdscherben wird in der Behälterglasindustrie verwendet, da diese geringere Anforderungen an die Scherbenqualität stellt [18]. Der Eigenscherbenanteil in der Flachglasproduktion beträgt etwa 20 – 40 % [34],[48]. Saint-Gobain, einer der größten Flachglashersteller in Europa, gibt an, bei der Floatglasproduktion rund 30 % recyceltes Material, bestehend aus Eigenscherben und Scherben aus dem pre-consumer Bereich, zu verwenden [49].

Das Recycling der Flachgläser aus dem Bauwesen bzw. dem end-consumer Sektor ist schwierig, da das zur Verfügung stehende Fensterglas häufig beschichtet, bedruckt, emailiert oder gefärbt ist. Eine Reinigung dieser Glasreste und -scherben gemäß den Anforderungen an Fensterglas ist derzeit verfahrenstechnisch aufwendig und damit wirtschaftlich kaum praktikierbar [48]. Glass for Europe gibt ebenso an, dass Flachglas aus dem Bausektor in Europa selten in neues Glas recycelt wird, sondern mit anderen Abbruchmaterialien deponiert oder als Füllmaterial verwendet wird. Dies liege unter anderem am geringen Marktwert des Glases [2]. Auch mit dem Einsatz aufwendiger Sortiertechniken können „Beimengungen von Spezialgläsern, die oftmals Schwer- oder Wertmetalle zur Läuterung, Färbung sowie Einstellung von optischen Eigenschaften enthalten, nicht vollständig vermieden werden“ [39], sodass Qualitätsanforderungen an eine stoffliche Wiederverwendung innerhalb der Flachglasindustrie nicht erfüllt werden können. Weiterhin spielen die im Vergleich zur Primärproduktion häufig hohen Kosten für Aufbereitung, Sammlung und Transport eine wesentliche Rolle [50]. Der bvse berichtet, dass steigende Preise von Scherben aus dem Dualen System trotz möglicher Energieeinsparungen teilweise zu einer Favorisierung von Primärmaterialien führen würden [51]. Zusammenfassend ergeben sich somit die in Abbildung 4 dargestellten Recyclingpfade innerhalb der Flachglasindustrie.

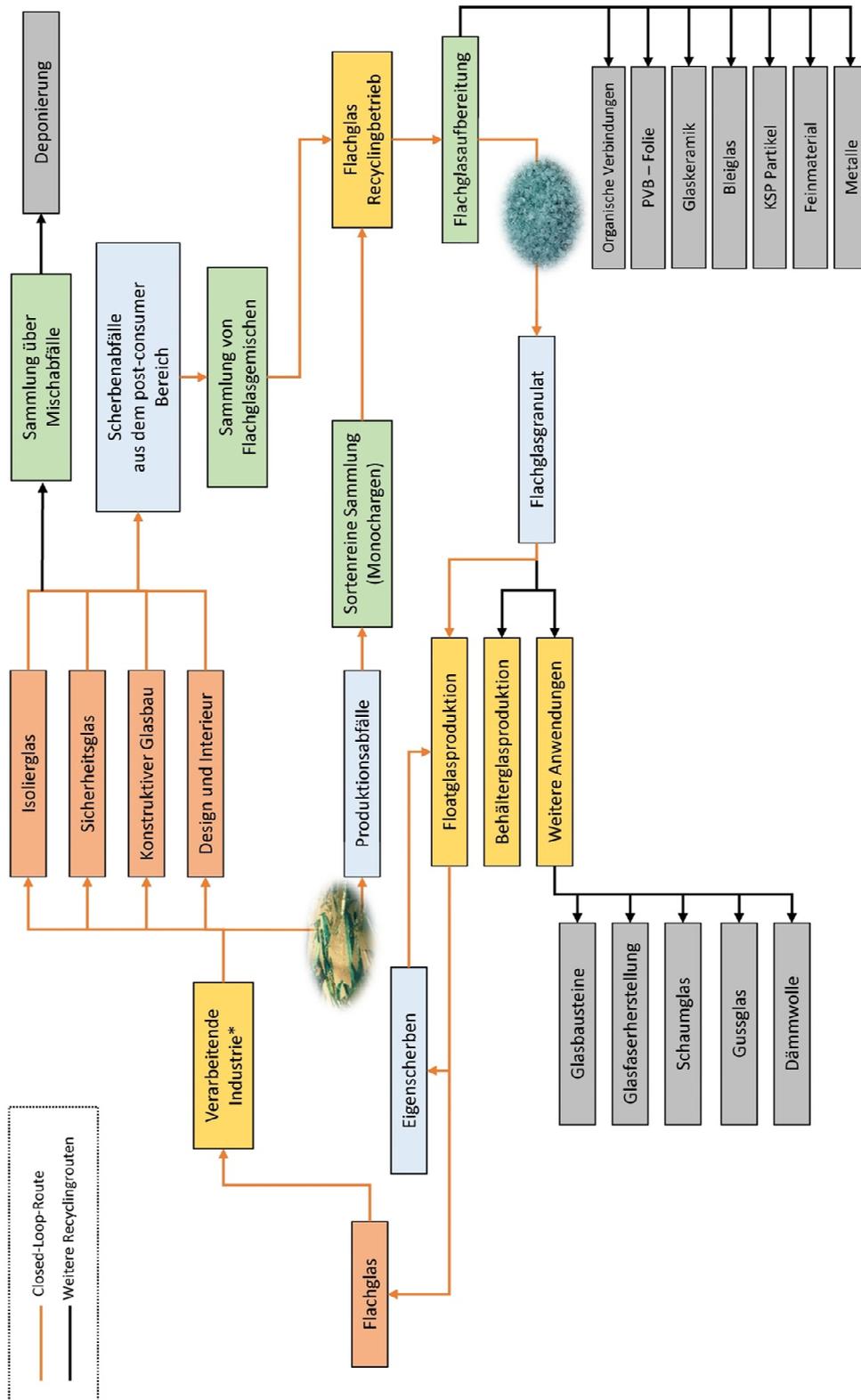


Abbildung 4 Übersicht Flachglas-Recyclingpfade (IWKS Darstellung)

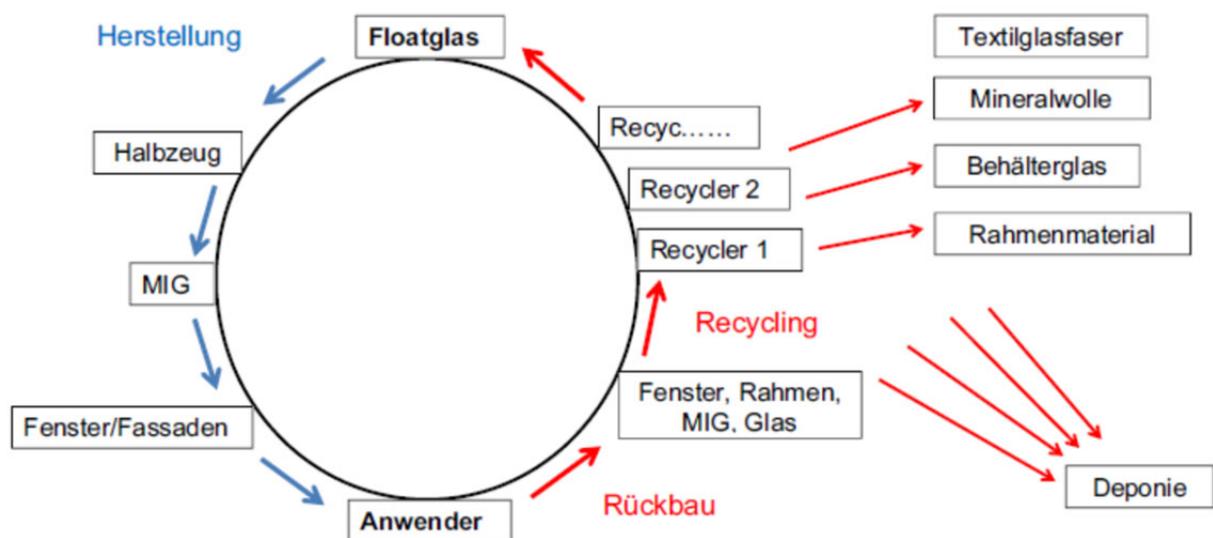




## 5 Stoffstrommodell und Stakeholder

### 5.1 Qualitatives Stoffstrommodell und Stakeholder

Die Abbildung 5 bis Abbildung 7 zeigen ein qualitatives Stoffstrommodell für Flachglas. Während Abbildung 5 den gesamten Stoffkreislauf im Überblick darstellt, zeigen Abbildung 6 und Abbildung 7 die Herstellung von Flachglasprodukten bzw. den Rückbau mit dem Recycling in größerem Detail.



**Abbildung 5** Stoffkreislauf Floatglas in der Bauanwendung Fenster und Fassade

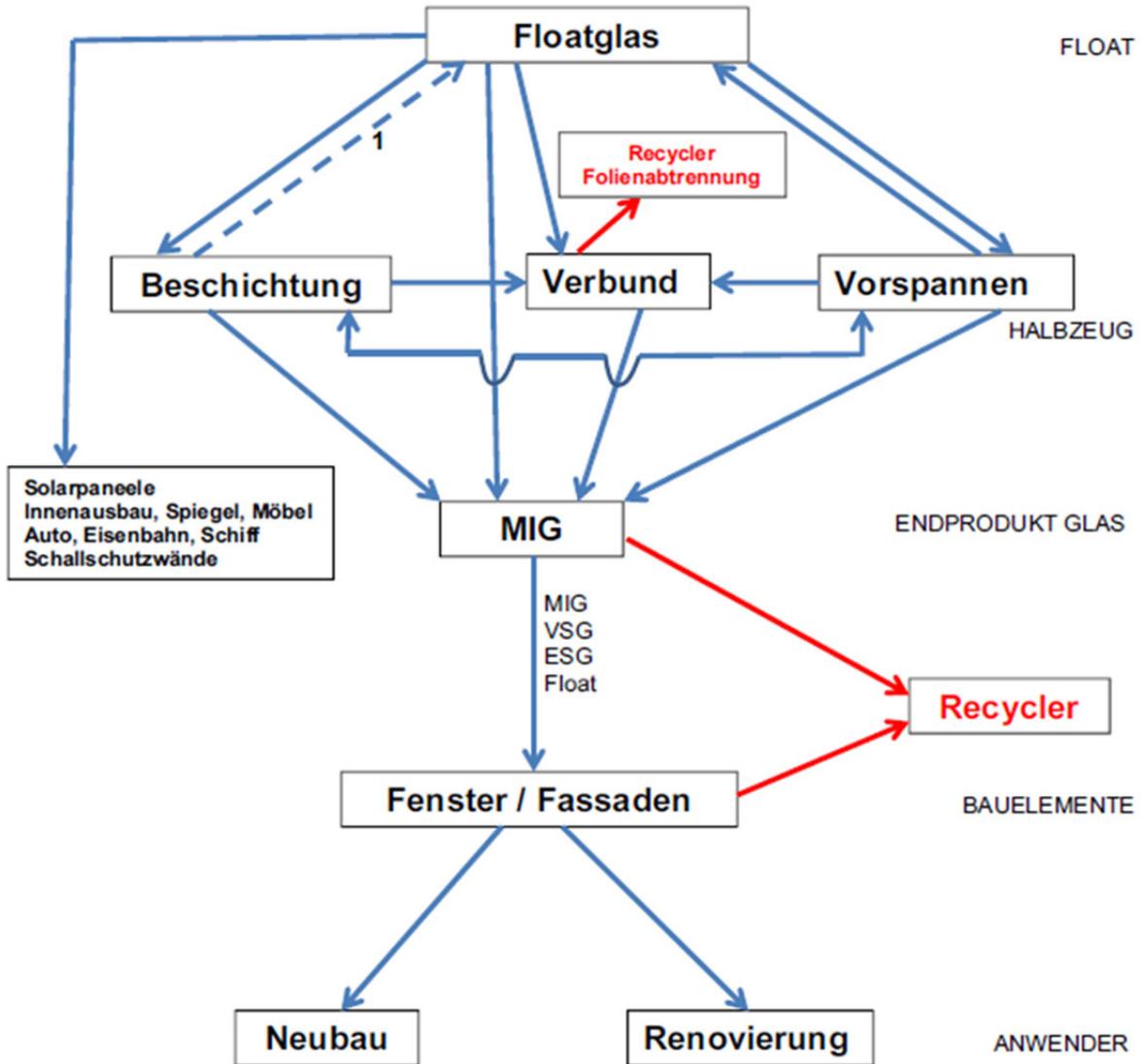


Abbildung 6 Herstellung von Flachglasprodukten aus Floatglas

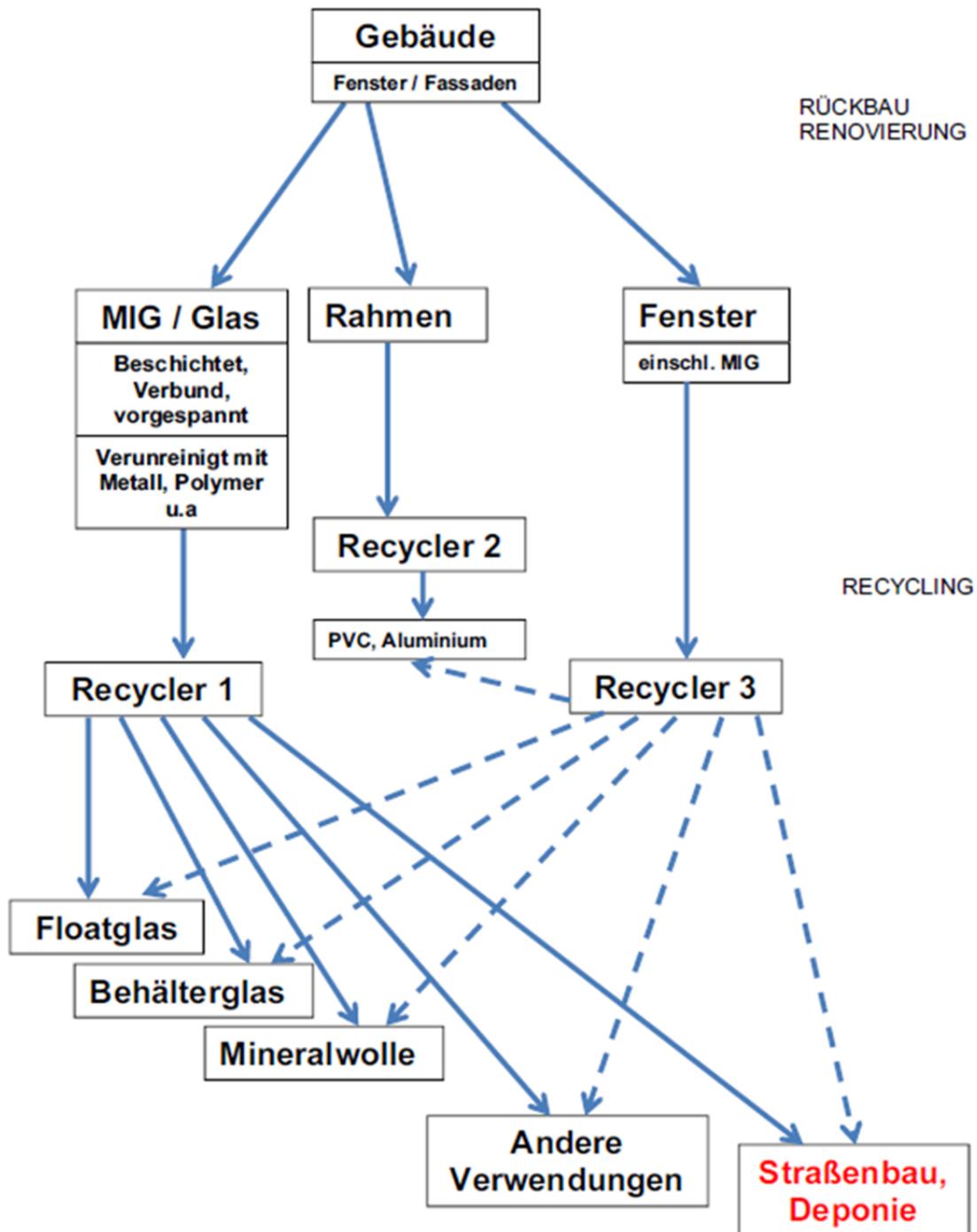


Abbildung 7 Recycling von Flachglas aus Renovierung/Rückbau von Gebäuden

Aus dem qualitativen Stoffkreislauf sind die relevanten Stakeholder beim Recycling von Flachglas ersichtlich:

#### Herstellung von Flachglasprodukten

- Floatglashütten
- Glasveredler: Beschichtung, Vorspannung, Verbund
- Isolierglashersteller
- Fenster-/Fassadenbauer
- Fachhandel/Installation (Neubau, Renovierung)

#### Rückbau/Renovierung + Recycling

- Fachhandel/Installation
- Sammelstellen, Containerdienste
- Recyclingbetriebe
- Floatglashütten
- Andere Glasverwerter: Behälterglas, Mineralwolle, etc.

## 5.2 Datenerhebung bei den Stakeholdern

### 5.2.1 Methode der Datenerhebung

Zum Ausbau des in den Abbildung 5 bis Abbildung 7 dargestellten Stoffstrommodells mit quantitativen Angaben und zur Klärung weiterer technischer und wirtschaftlicher Zusammenhänge wurden Stakeholder befragt. Die Datenerhebung erfolgte mit Hilfe von Fragebögen sowie über persönliche und Telefongespräche mit ausgewählten Vertretern der Stakeholdergruppen. Die Fragebögen für die verschiedenen Stakeholdergruppen sind im Anhang beigefügt.

Die Kontaktaufnahme und Bereitstellung der jeweiligen Fragebögen erfolgte überwiegend über die jeweiligen Branchenverbände (Newsletter, Jahresversammlungen, direktes Anschreiben durch die Verbandsvorstände) aber auch direkt durch Anschreiben von Seiten der Forschungsstelle. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Datenerhebung.



**Tabelle 4** Datenerhebung bei den verschiedenen Stakeholdergruppen

Stakeholdergruppe	Kontaktaufnahme über	Teilnehmende Unternehmen (die auch Zahlenmaterial zur Verfügung gestellt haben)
Flachglasrecycler	bvse	5
Floathütten	BF	Zahlenmaterial 1 Informationen 4
Flachglasveredler	BF	5
Isolierglashersteller	BF	6
Fenster-/Fassadenbranche	VFF, ift	24

bvse: Bundesverband für Sekundärrohstoffe und Entsorgung

BF: Bundesverband Flachglas

VFF: Verband Fenster + Fassade

ift: Institut für Fenstertechnik

Relativ viele Unternehmen aus den Stakeholdergruppen Floatglashütten, Glasveredler, Isolierglashersteller und der Fenster-/Fassadenbranche waren nicht bereit, Daten zur Verfügung zu stellen. Einige betrachteten die erbetenen Angaben zum Teil als vertraulich, andere waren an der Thematik nicht interessiert.

Eine weitere Gruppe angesprochener Unternehmen war zwar willens, Zahlenmaterial zur Verfügung zu stellen, aber es war für sie schwierig bis unmöglich, Angaben so aufzuschlüsseln, wie in den Fragebögen erbeten. Die gewünschten Informationen sind für den normalen Betriebsablauf nicht erforderlich und erscheinen daher auch in keiner der üblichen Betriebsstatistiken. Die Zahlen mussten zum Teil aus verschiedenen Quellen zusammengeführt bzw. geschätzt werden. So nutzen einige Betriebe, die sowohl eine Glasveredlung als auch eine Isolierglasfertigung betreiben, nur eine Sammelmulde für Scherben aus beiden Bereichen. Eine klare Unterscheidung zwischen Scherben aus der Glasveredlung und solchen aus der Isolierglasfertigung war daher nicht möglich. Andere Betriebe sammeln den Verschnitt aus der Isolierglasfertigung und Altscherben aus Gebäuderenovierungen gemeinsam. Hier war es nicht immer möglich, eindeutig zwischen pre-consumer Scherben und solchen aus der post-consumer Gebäudehülle zu unterscheiden.

Am umfangreichsten und detailliertesten waren die Informationen von den Flachglasrecyclingbetrieben. Nach Angaben des bvse umfassen die von seinen Mitgliedern zur Verfügung gestellten Daten 90-95 % des deutschen Marktes für Flachglasscherben.

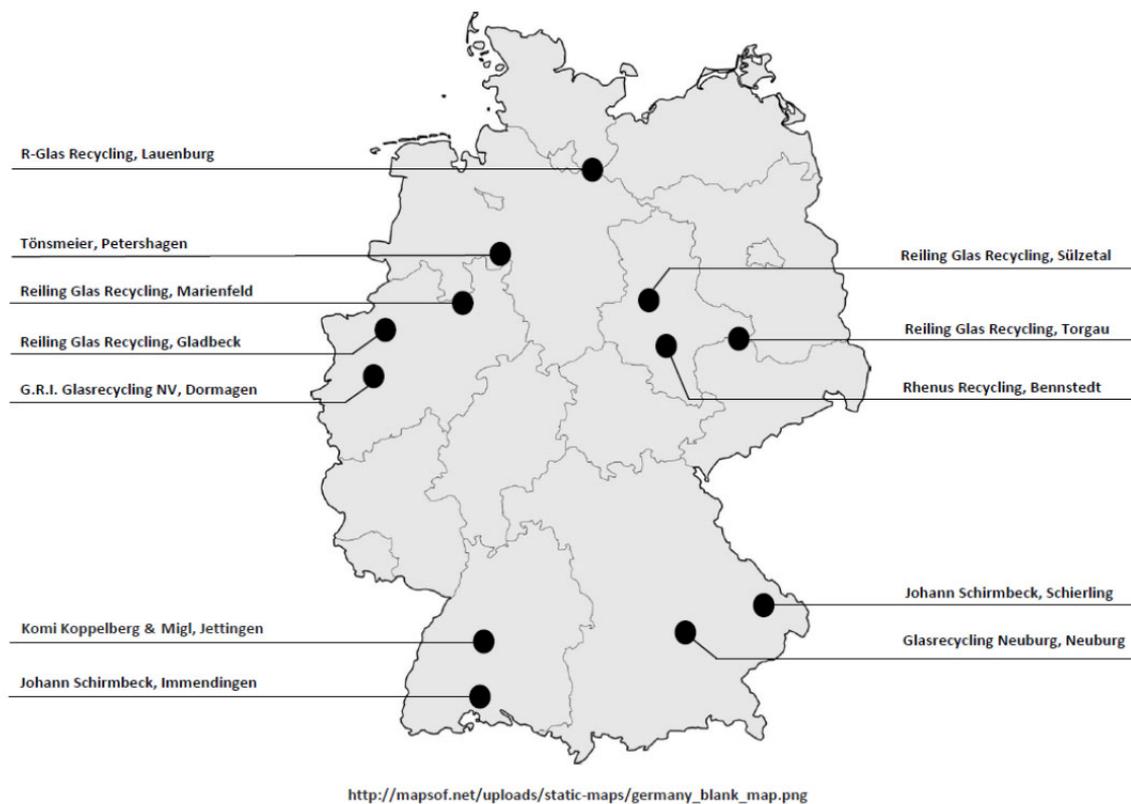
Wo immer möglich wurden Zahlenangaben von der Forschungsstelle auf Plausibilität überprüft und gegebenenfalls bei den Unternehmen nachgefragt. Übriggeblieben sind nur einige Unstimmigkeiten in den Zahlen der Fragebögen, die sich nicht mehr mit einem für die teilnehmenden Betriebe vertretbaren Aufwand aufklären ließen. Zum Beispiel sollten die folgenden Angaben gleich sein:

- Tabelle 5: Summe der post-consumer FGS aus der Gebäudehülle: 88.174 t
- Tabelle 6: Anlieferungsformen der FGS aus Gebäudehülle: 97.296 t

Die Differenz beträgt ca. 9 %. Die Ursachen für diese Abweichung konnten aber nicht aufgelöst werden.

### 5.2.2 bvse, Fachgruppe Flachglasrecycling

Die Mehrzahl der Flachglasrecycler sind im Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung bvse zusammen geschlossen. Abbildung 8 zeigt die Standorte von Flachglas-Recyclinganlagen.



**Abbildung 8:** Standorte von Flachglas-Recyclinganlagen (Stand 2017)

(Quelle: bvse: Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung)

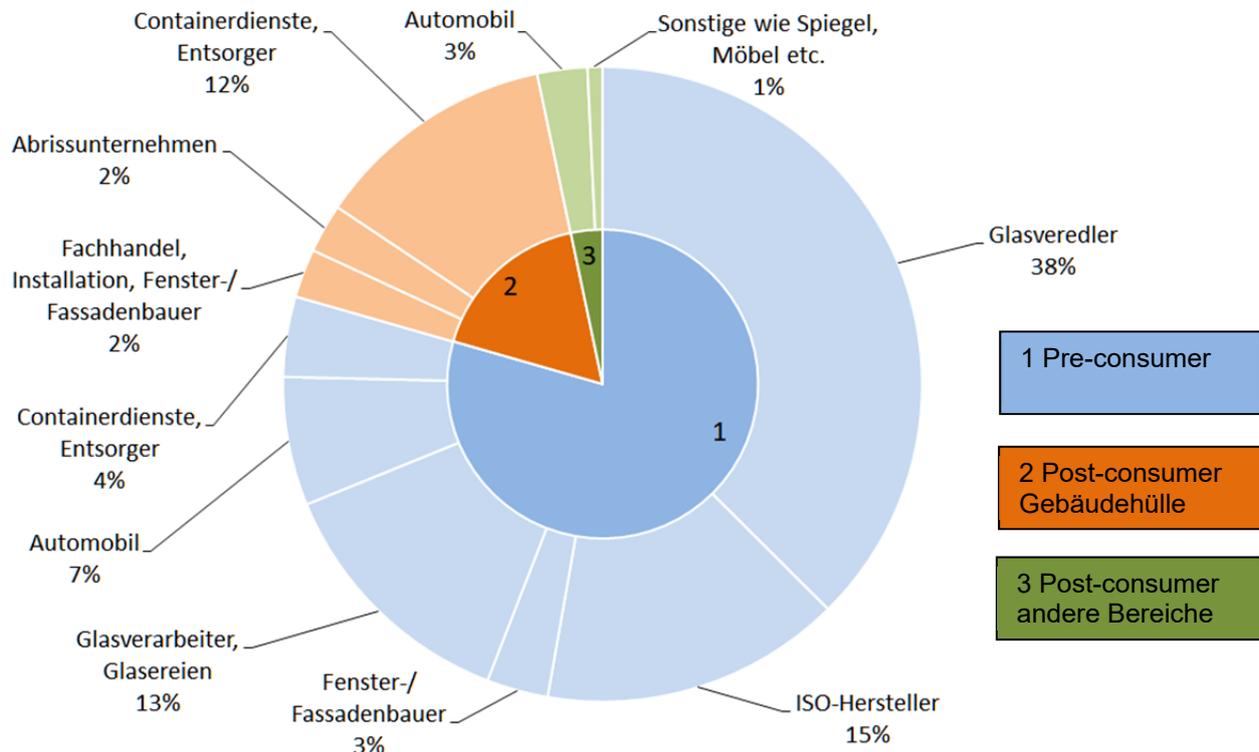
Die Ergebnisse der Datenerhebung bei den Flachglasrecyclern sind in Tabelle 5 bis Tabelle 9 sowie Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt. Um die Vertraulichkeit der zur Verfügung gestellten Daten zu gewährleisten, sind nicht die Angaben einzelner Recyclingbetriebe aufgeführt, sondern nur zusammenfassende Daten für alle Flachglasrecycler, die an der Datenerhebung teilgenommen haben. In Tabelle 10 sind dann nochmal die wichtigsten Daten aus der Umfrage hochgerechnet auf den gesamten deutschen Markt für FGS zusammengefasst.

Tabelle 5 und Abbildung 9 zeigen die Herkunft der Flachglasscherben, die im Jahr 2016 bei den Flachglasrecyclern zur Aufbereitung angeliefert wurden. Es sind nur Scherben aus Deutschland aufgeführt. Eigenschерben aus Floathütten, die durch Brechen für den Wiedereinsatz in der Floatwanne aufbereitet wurden, sind nicht enthalten (s. a. 5.2.3).

**Tabelle 5** Herkunft und Menge der von Flachglasrecyclern in Deutschland in 2016 aufbereiteten Flachglasscherben (FGS) (die Daten bilden 90 – 95 % des deutschen Marktes ab).

Ursprung der FGS		Menge		
		in t	in %	Summe
Pre-consumer	Glasveredler	191.846	38	406.185 t ± 79 %
	ISO-Hersteller	77.811	15	
	Fenster-/Fassadenbauer	15.900	3	
	Glasverarbeitung, Glasereien	66.268	13	
	Automobil	33.462	7	
	Containerdienste, Entsorger	20.898	4	
Post-consumer Gebäudehülle	Fachhandel/Installation, Fenster-/Fassadenbauer	12.653	2	88.174 t ± 17 %
	Abrissunternehmen	12.702	2	
	Containerdienste, Entsorger	62.819	12	
Post-consumer andere Bereiche	Automobil	12.956	3	16.802 t ± 4 %
	Sonstige wie Spiegel, Möbel	3.846	1	
FGS insgesamt		511.161	100	

Auch wenn die Analyse der Glasabfälle aus dem Fahrzeugsektor nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens ist, fällt auf, dass die in Tabelle 5 aufgeführten 12.956 t für den post-consumer Bereich Automobil stark von den in 4.3.2 „Autoglas“ genannten Mengen von unter 1000 t abweichen. Dies kann als erstes Indiz dafür gewertet werden, dass Daten aus unterschiedlichen Quellen signifikant voneinander abweichen können.



**Abbildung 9** Herkunft der von Flachglasrecyclern in Deutschland in 2016 aufbereiteten Flachglasscherben (die Daten bilden 90 – 95 % des deutschen Marktes ab).

Bei den pre-consumer Scherben gibt es die Kategorie „Glasverarbeitung, Glasereien“. Darunter fallen überwiegend kleine bis mittlere Unternehmen, die in den verschiedensten Bereichen der Glasverarbeitung tätig sind, von der Glasveredlung über die Isolierglasherstellung bis zu Produkten für den Innenraum (Dusche, Küche, Tische, Spiegel etc.). Hier gibt es auch viele kleine Glasereien. Eine Aufgliederung nach Tätigkeitsschwerpunkt erschien wegen der Vielzahl der Unternehmen und weil eine größere Anzahl von ihnen in mehreren Bereichen tätig ist, nicht sinnvoll. Diese Unternehmen sammeln ihre pre-consumer FGS in einer vom jeweiligen Recycler aufgestellten Mulde. In den Kategorien Glasveredlung, Isolierglashersteller und Fenster-/ Fassadenbauer sind die FGS der großen Vertreter der Branchen erfasst. Einige Containerdienste/Entsorger sammeln ebenfalls pre-consumer Scherben bei ihren Kunden ein und liefern sie dann an die Recycler. Die Automobilindustrie liefert Verschnitt und schadhafte Scheiben aus der Fertigung i. d. R. direkt an Flachglasrecycler.

Die post-consumer Scherben kamen überwiegend aus der Gebäudehülle, und zwar über Containerdienste/Entsorger. Fachhandel- und Installationsbetriebe sowie Fenster-/ Fassadenbauer und Abrissunternehmen trugen nur jeweils kleine Anteile zur Menge der post-consumer FGS bei. Das gilt auch für den Automobilbereich (Ersatz von beschädigten Scheiben) und sonstige Bereiche wie Spiegel, Möbel etc.

Die Zuordnung von Scherbenmengen zu einer Quelle ist nicht immer eindeutig möglich. So senden einige Betriebe des Fachhandels, der Installation sowie des Fenster- und Fassadenbaus all ihre Scherben - also auch post-consumer Scherben aus der Modernisierung -



an den Isolierglashersteller, von dem sie ihr Neuglas beziehen, zurück. Ob die Isolierglashersteller dann eine Auftrennung nach pre- und post-consumer Scherben vornehmen, ist nicht bekannt. Es könnte sich also eine Verschiebung zwischen pre- und post-consumer Scherben ergeben. Der Anteil der post-consumer Scherben würde erhöht werden.

Nach den Daten des bvse stammten fast 80 % der Scherben aus dem pre-consumer Bereich und nur etwa 20 % aus dem post-consumer Bereich.

Die Verteilung der FGS auf die Bereiche war von Recycler zu Recycler unterschiedlich. Einige erhielten überwiegend Scherben aus dem pre-consumer Bereich, andere mehr aus dem post-consumer Bereich. Einige Recycler erhielten Scherben überwiegend von Flachglasveredlern, andere von Isolierglasherstellern oder Containerdiensten.

Tabelle 6 zeigt in welcher Form die post-consumer Scherben aus der Gebäudehülle angeliefert wurden: fast je zur Hälfte als aus dem Rahmen ausgelöste Isoliergläser und als Scherben. Wiederum ist die Situation unterschiedlich von Recycler zu Recycler. Einige erhalten überwiegend Isoliergläser zur Aufbereitung, andere überwiegend Scherben. Ganze Fenster inklusiv Glas wurden bei keinem der Flachglasrecycler angeliefert. Hier gibt es spezialisierte Recyclingsysteme für PVC- und Aluminiumfenster, die in erster Linie darauf abzielen, das Rahmenmaterial einer Wiederverwertung zuzuführen (Rewindo, A/U/F). Alte Holzfenster müssen häufig wegen der in Holzschutzmitteln vorhandenen Inhaltsstoffe gesondert entsorgt werden. Das Glas wird dann üblicherweise ausgeschlagen und über lokale Containerdienste entsorgt.

**Tabelle 6** Form und Menge der Flachglasscherben aus der post-consumer Gebäudehülle (Modernisierung und Abriss), die 2016 an Flachglasrecycler in Deutschland geliefert wurden (die Daten bilden 90 – 95 % des deutschen Marktes ab).

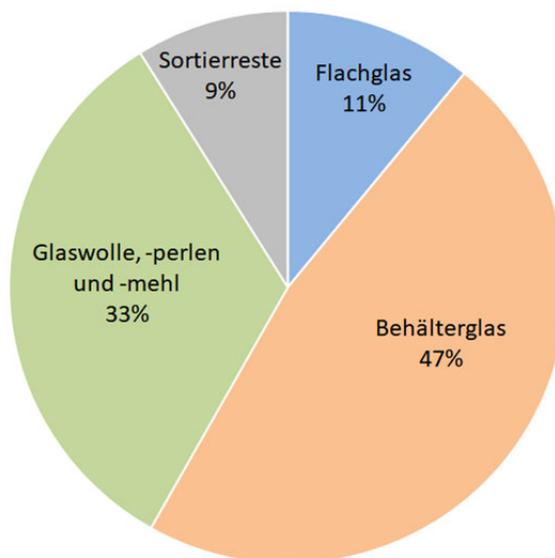
Form der FGS aus post-consumer Gebäudehülle	Menge	
	in t	in %
Ganze Fenster inkl. Glas	0	0
Aus dem Rahmen ausgelöste ISO-Gläser	44.196	45
Scherben	53.100	55
Summe	97.296	100

Fast die Hälfte aller an die Recycler gelieferten Flachglasscherben (sowohl aus Bau- als auch aus Nichtbauanwendungen) wurden zu Rezyklat für die Behälterglasindustrie aufbereitet, nur etwas mehr als 1/10 zu Rezyklat für die erneute Floatglaserzeugung. Etwa 1/3 ging nach Angaben der an der Umfrage teilnehmenden Recyclingbetriebe in die Herstellung von Glaswolle, -perlen und -mehl. Etwa 1/10 der Ausgangsmenge fielen als Sortierreste an. Dieses sind verschiedene Metallfraktionen, Keramik/Steine/Porzellan (KSP), Kunststoffe aus Abstandhaltern, PVB-Folie aus laminiertem Glas, Etiketten und Glasfeinkorn, das in den Glashütten nicht erwünscht ist. Sortierreste werden weiterem Recycling zugeführt, als Ersatzbrennstoffe z. B. in der Zementherstellung verbrannt oder auf einer

Deponie endgelagert. Tabelle 7 stellt die übermittelten Daten in der Übersicht dar; eine grafische Darstellung der Daten befindet sich in Abbildung 10.

**Tabelle 7** Von Flachglasrecyclern in Deutschland in 2016 erzeugte Rezyklatqualitäten (die Daten bilden 90 – 95 % des deutschen Marktes ab) .

Erzeugte Rezyklatqualitäten	Menge	
	in t	in %
Flachglas	55.832	11
Behälterglas	241.535	47
Glaswolle, perlen, -mehl	168.347	33
Sortierreste: Verschiedene Metallfraktionen, KSP, Kunststoffe aus Abstandhalter, PVB Folie, Holz, Etiketten, Glas-Feinkorn	45.447	9
Summe	511.161	100



**Abbildung 10** Von Flachglasrecyclern in Deutschland in 2016 erzeugte Rezyklatqualitäten (die Daten bilden 90 – 95 % des deutschen Marktes ab).

Auch hier sind die Werte für die einzelnen Recyclingbetriebe sehr unterschiedlich. So lag der Anteil des Rezyklats mit Flachglasqualität zwischen 0 und 20 %, der Anteil des Rezyklats mit Behälterglasqualität zwischen 30 und 70 %, und für Glaswolle, -perlen und -mehl lag der Anteil zwischen 0 und 67 %. Die Sortierreste machten zwischen 5 und 20 % aus. Die Verteilung hängt sehr stark von der jeweiligen Marktsituation eines Recyclingbetriebes ab: Welche Eingangsqualitäten von FGS sind an dem jeweiligen Standort verfügbar? Welche potentiellen Abnehmer für das Rezyklat (Floathütten, Behälterglashütten, Dämmstoffindustrie...) gibt es? Wie ist das Preisgefüge für die Recyclingprodukte?



So zahlten Floatglashütten und Behälterglashütten sehr ähnliche Preise für die jeweils benötigte Rezyklatqualität. Der Preis lag 2016 zwischen 80-90 €/t, üblicherweise mit einer Preisdifferenz von 3-5 €/t zwischen Float- und Behälterglas. Floathütten stellen aber höhere Qualitätsanforderungen an das Rezyklat als Behälterglashütten. Die Dämmstoffindustrie hat ebenfalls einen hohen Bedarf an Scherben. Die dort erzielbaren Preise für aufbereitete Scherben sind zwar etwas niedriger als in der Floatglas- und Behälterglasindustrie, aber die Qualitätsanforderungen sind ebenfalls geringer. Wobei auch diese in den letzten Jahren gestiegen sind, hauptsächlich bedingt durch Umweltauflagen, z. B. hinsichtlich Verunreinigungen durch Blei oder Quecksilber. Außerdem spielen die Transportwege und -kosten eine erhebliche Rolle. Tabelle 8 und

Tabelle 9 zeigen das für ein angenommenes closed-loop Recycling von Flachglas aus die Gebäudehülle. Der überwiegende Teil der FGS und des Rezyklats wurden nicht weiter als 100 km transportiert. Trotzdem lag der Anteil der Transportkosten an dem für das Rezyklat erzielbaren Preis zwischen 20 und 33 %. Als Resultat dieser komplexen Marktsituation ist nur ein relativ geringer Anteil des erzeugten Rezyklates (etwa 1/10) an die Floatglasindustrie gegangen, obwohl diese, nach eigener Aussage (Abschnitt 5.2.3), mehr Scherben hätte aufnehmen können.

**Tabelle 8** Transportwege für closed-loop Recycling, Angaben für 2016:  
 - Flachglasscherben aus post-consumer Gebäudehülle zum Recycler  
 - Rezyklat zur Floathütte

Entfernung	Menge	
	in t	in %
<b>FGS aus post-consumer Gebäudehülle zum Recycler</b>		
Bis zu 100 km	68.178	69
100 bis 300 km	28.127	28
> 300 km	2.530	3
Summe	98.835	100
<b>Rezyklat zur Floathütte</b>		
Bis zu 100 km	44.909	80
100 bis 300 km	7.896	14
> 300 km	3.027	6
Summe	55.832	100

**Tabelle 9** Transportkosten für closed-loop Recycling, Angaben für 2016:  
 - Flachglasscherben aus post-consumer Gebäudehülle zum Recycler  
 - Rezyklat zur Floathütte

Transport	Anteil an Kosten des Rezyklats in %
FGS zum Recycler	10 – 25
Rezyklat zur Floathütte	5 – 20
Gesamt	20 – 33

Nach Angaben der Recyclingunternehmen lag der Preis für eine Tonne Rezyklat 2016 bei etwa 80-90 €, üblicherweise mit einer Preisdifferenz von 3-5 €/t zwischen Float- und Behälterglas.

### Zusammenfassung der von den Flachglasrecyclern erhaltenen Daten

Um die von den Flachglasrecyclern erhaltenen Daten mit denen aus anderen Quellen (DESTATIS, BF und VFF, Abschnitt 5.4.3) vergleichen zu können, mussten die Angaben der Flachglasrecycler auf 100 % des Marktes hochgerechnet werden. Nach Aussage des bvse umfassen die von seinen Mitgliedern zur Verfügung gestellten Daten 90-95 % des deutschen Marktes für Flachglasscherben. Zum Zwecke der Hochrechnung wurde daher angenommen, dass die Daten 92,5 % des Marktes umfassen, dementsprechend wurden die Daten in Tabelle 5 und Tabelle 7 mit dem Faktor  $1/0,925 \approx 1,08$  multipliziert und auf 1.000 t gerundet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Dabei sind FGS-Mengen, die eindeutig nicht in den Bereich der Gebäudehülle gehören, separat unter „Flachglasscherben / Andere (pre- u. post-consumer Automobil, post-consumer Spiegel, Möbel etc.)“ aufgeführt.

**Tabelle 10** Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen aus der Datenerhebung für das Jahr 2016 bei den Flachglasrecyclern, hochgerechnet auf 100 % des deutschen Marktes für Flachglasscherben.

<b>Flachglasscherben an Recycler geliefert</b>		
	Pre-consumer (ohne Automobil)	403.000 t
	Post-consumer Gebäudehülle (Modernisierung, Abriss),	95.000 t
	Andere (pre- u. post-consumer Automobil, post-consumer Spiegel, Möbel etc.)	54.000 t
<b>Erzeugte Rezyklatqualitäten:</b>		
	Flachglas	60.000 t
	Behälterglas	261.000 t
	Glaswolle, -perlen, -mehl	182.000 t
	Sortierreste	49.000 t
<b>Transport für closed-loop Recycling:</b> (FGS aus post-consumer Gebäudehülle zu Recycler, und Rezyklat zu Floathütte)		
	Entfernung <100 km	70 – 80 %
	Transportkosten an Gesamtkosten des Rezyklats	20-33 %
	<b>Preis des Rezyklats</b> für Flachglas bzw. Behälterglas	80-90 €/t

Die Antworten/Ansichten der befragten Flachglasrecycler zu den übrigen in dem Fragebogen angesprochenen Themen Sammelinfrastruktur, Recyclingtechnologie, Verwendung von Rezyklat und closed-loop Recycling von FGS aus der Gebäudehülle sind im Folgenden zusammengefasst. Dabei wird versucht, das Spektrum der Antworten/Ansichten der an der Datenerhebung beteiligten Flachglasrecycler wiederzugeben. Das bedeutet umgekehrt



auch, dass wahrscheinlich nicht jeder Flachglasrecycler allen hier gemachten Aussagen zustimmen würde.

### **Sammelinfrastrukturen**

Nach Aussagen der Flachglasrecycler gibt es für die meisten Bereiche eine Sammelinfrastruktur für FGS. Das gilt insbesondere für die Glasveredler, die Isolierglashersteller und die Automobilindustrie. Uneinheitlich ist die Situation bei den Fenster-/Fassadenbauern sowie im Fachhandel und dem Installationsgewerbe. Hier werden FGS zum Teil über den Isolierglashersteller/-lieferanten an den Recycler weitergegeben, zum Teil auch über Containerdienste und Wertstoffhöfe. Bei größeren Abrissprojekten wird Flachglas separat gesammelt und einem Recycling zugeführt. Bei der Modernisierung oder dem Abriss eines kleineren Gebäudes (z. B. Einfamilienhaus) dagegen, ist die separate Sammlung von Flachglas u.U. wirtschaftlich nicht vertretbar. Die Scherben werden als Baumischabfall oder im Bauschutt entsorgt.

### **Technologische Entwicklungen**

In zwei Bereichen würden Flachglasrecycler technologische Neuerungen/Verbesserungen begrüßen:

1. in der Verarbeitung von 2-5 mm Körnungen und
2. in der Reduzierung der Restglasmenge an PVB-Folie.

Feinkorn der Größe 2-5 mm enthält einen relativ großen Kontaminationsanteil ähnlicher Körnung. Das macht es schwierig, die Kontaminationen auszusortieren, da entsprechend empfindliche Detektionsgeräte notwendig sind. Außerdem neigt Feinkorn, wenn es feucht wird, zur Verklumpung, wodurch eine Trennung von Glas und Kontaminant praktisch unmöglich wird. Eine Vortrocknung des Feinkorns ist daher unerlässlich. Die bisher mögliche Verarbeitung von Feinkorn wird als unzureichend angesehen. Zuviel Glas muss einer minderwertigen Verwendung als Zuschlagsstoff o.ä. zugeführt oder auf einer Deponie entsorgt werden.

PVB-Folie aus laminiertem Glas wird üblicherweise der Zementindustrie als Ersatzbrennstoff zugeführt. Hierfür muss der Recycler zahlen, und zwar pro Tonne Abfall des Verbundes Folie/Glas. Daher ist es erstrebenswert, dass so wenig wie Glasreste möglich an der Folie haften. Auch hier gibt es noch Raum für technologische Verbesserungen.

### **Verwendung des Rezyklats und Mengenumsätze**

Die Flachglasrecycler erwarten in den nächsten Jahren keine wesentlichen Verschiebungen in der Verwendung von Rezyklat. Falls kleinere Veränderungen eintreten sollten, dann vermutlich in Richtung eines noch weiter erhöhten Einsatzes von Flachglasscherben in der Behälterglasindustrie. Die FGS-Mengen sollten sich in den nächsten Jahren, durch den vermehrten Einsatz von 3-fach Glas (und Ausbau von 2-fach statt 1-fach Glas) sowie der Erneuerung der ersten Generationen von Photovoltaikanlagen erhöhen. Die Anpassung an

ein erhöhtes Aufkommen von FGS wird nicht als Problem gesehen, da ausreichende Recyclingkapazitäten für FGS in Deutschland bestehen.

### **Closed-loop Recycling von post-consumer FGS aus der Gebäudehülle (Modernisierung, Abriss)**

Closed-loop Recycling von post-consumer FGS aus der Gebäudehülle bedeutet, dass das Flachglas, das bei der Modernisierung, dem Abriss eines Gebäudes oder dem Austausch einzelner Scheiben anfällt, so aufbereitet wird, dass eine Floatglashütte es wieder als Ausgangsmaterial für die Herstellung von neuem Flachglas einsetzen kann. Ein solches Recycling gibt es gegenwärtig nur in sehr begrenztem Umfang. I. d. R. besteht das an Floatglashütten gelieferte Rezyklat aus Scherben aus dem pre-consumer Bereich, z. B. aus Scherben, die als Verschnitt bei der Glasveredlung oder bei der Isolierglasherstellung angefallen sind und die sehr wenige Verunreinigungen enthalten. Zu einem geringen Teil wird aber auch gemischtes Eingangsmaterial zu Rezyklat für Floatglashütten aufbereitet, sofern sehr gute Erfahrungen mit dem Lieferanten hinsichtlich der Reinheit der angelieferten Flachglasabfälle vorliegen. Ein solcher Lieferant könnte z. B. eine Glaserei sein, in der anfallende Flachglasabfälle mit entsprechender Sorgfalt in einer vom Recycler aufgestellten Mulde gesammelt werden.

Wollte man die closed-loop Recyclingquote erhöhen, also mehr FGS aus der Gebäudehülle wieder der Verwendung in einer Floatglashütte zuführen, so müsste man nach Ansicht der Flachglasrecycler sicherstellen, dass bereits auf der Baustelle Flachglas separat gesammelt und vor Kontamination geschützt würde. Bei Großprojekten wird das heute bereits häufig gemacht. Bei kleinen Objekten dagegen (z. B. Einfamilienhäuser oder Austausch einzelner Scheiben), werden die anfallenden FGS bzw. die Fenster durch den installierenden Betrieb gesammelt. Die Scherben werden dann entsprechend den in 5.2.6 gezeigten Wegen einer Verwertung zugeführt. Bei Kleinstprojekten kann eine Entsorgung über den Weg des Baumischabfalls oder Bauschutts nicht ausgeschlossen werden.

Die Absenkung der Anforderungen an Fremdscherben durch die Floatglashütten, etwa die Angleichung ihrer Spezifikationen an die der Behälterglashütten [33], würde es ebenfalls ermöglichen, mehr Scherben aus der Gebäudehülle wieder der Herstellung von neuem Floatglas zuzuführen. Jedoch erscheint es unwahrscheinlich, dass die Floatglashütten in absehbarer Zeit von den im Vergleich zur Behälterglasindustrie höheren Qualitätsanforderungen abrücken werden bzw. können.

Eine weitere Möglichkeit, die closed-loop Recyclingquote zu erhöhen, ergäbe sich durch eine verbesserte Detektion und Aussortierung von Kontaminationen. Dafür wäre aber ein erheblicher zusätzlicher technologischer und finanzieller Aufwand notwendig. Wirtschaftlich betrachtet macht das bei der gegenwärtigen Marktsituation für die Flachglasrecycler keinen Sinn. Denn zurzeit kann der Bedarf der Behälterglas- und Dämmstoffindustrie an Scherben nicht gedeckt werden, FGS für diese Industrien können mit heutiger Technologie aufbereitet werden und erzielen ähnliche Preise wie die Floatglasindustrie bereit ist zu zahlen.



### 5.2.3 Floatglashütten

Von den im Rahmen der Umfrage angeschriebenen Floatglashütten war nur eine bereit, quantitative Produktionsdaten zur Verfügung zu stellen. Die anderen betrachteten die erbetenen Informationen als vertrauliche Geschäftsdaten. Um auch die Vertraulichkeit der Angaben der einen Floathütte, die Daten bereitgestellt hat, zu gewährleisten, muss an dieser Stelle auf die Präsentation von quantitativen Zahlen verzichtet werden. Stattdessen werden im Folgenden generelle Aussagen zur Verwendung von Scherben im Floatprozess gemacht, die auf Gesprächen mit Vertretern mehrerer Floathütten basieren.

Im Floatprozess fallen je nach Anlage und Produktpalette zwischen 15 und 25 % der erschmolzenen Glasmenge als Eigenscherven an. Dabei handelt es sich um Bortenverluste, fehlerhaftes Floatglas sowie Glas aus den Übergangszonen beim Dicken- oder Farbwechsel. Das Material wird entweder in der Floathütte selbst oder bei einem Recycler, i. d. R. in unmittelbarer Nachbarschaft der Floathütte, durch Brechen auf die geeignete Scherbengröße für den Wiedereinsatz in der Schmelzwanne aufbereitet. Sind der Floatlinie noch weitere Glasveredlungsanlagen (z. B. Beschichtung, VSG Herstellung) nachgeschaltet, so werden üblicherweise auch die dort anfallenden Scherben wieder dem Floatprozess zugeführt, da es sich hierbei im Regelfall um sortenreine Scherben handelt.

Neben den Eigenscherven können auch noch Fremdscherben eingesetzt werden. Diese sind aktuell fast ausschließlich pre-consumer Scherben, häufig Verschnitt und fehlerhaftes Material aus Beschichtungs- und Vorspannungsbetrieben. Die Scherben werden direkt vom Veredler oder über einen Flachglasrecyclingbetrieb bezogen. Post-consumer Fremdscherben kommen selten zum Einsatz, da ihre Qualität häufig ungenügend ist und man das Risiko einer Kontamination der Schmelze oder der Floatwanne ausschließen möchte. Der Fremdscherbenanteil liegt meist nur bei etwa 5 % der erschmolzenen Glasmenge. Bei entsprechend hoher Qualität der Scherben erhöhen einige Floathütten den Fremdscherbenanteil aber auch bis auf 15 %. Sind die Reinheitsanforderungen besonders hoch, wie z. B. bei Weißglas, so wird i. d. R. auf den Einsatz von Fremdscherben verzichtet.

Nach Informationen der Floatglashersteller werden nur Scherben mit anorganischen Beschichtungen verwendet. Diese dürfen maximal ca. 5 % betragen. Da Wärmeschutzschichten sehr dünn sind, stellen diese i. d. R. kein Problem dar. Sonnenschutzbeschichtungen sind aufgrund der Dicke u.U. hinsichtlich der Zuschlagsmenge stärker begrenzt.

Häufig wird ein Gesamtscherbenanteil von 25-30 % angestrebt, obwohl es keinen klar definierten oberen Grenzwert gibt, solange die Reinheit/Qualität der Scherben den Anforderungen entspricht. Floatglaswannen sind so ausgelegt, dass sie zur Not bei Rohstoffknappheit auch mit 100 % Scherben gefahren werden könnten. Ein Minimum von 7-8 % Scherben ist notwendig, um die Förderstrecken zur Beschickung des Schmelzofens sauber zu halten.

Die angesprochenen Floatglashütten würden gerne mehr Fremdscherben einsetzen. Jedoch sind diese nicht in ausreichender Menge und Qualität auf dem Markt für FGS erhältlich.

lich. Hier wäre auch eine verbesserte Rückverfolgbarkeit (traceability) der Scherben wichtig. Behälterglashütten stellen eine starke Konkurrenz um hochwertige Scherben dar und sie zahlen einen ähnlichen Preis für das Rezyklat wie Floatglashütten. Minderwertigere Scherben, die nicht alle Anforderungen der Floatglasindustrie erfüllen, wären auf dem Markt verfügbar, aber Floatglashütten setzen diese nicht ein, da ihnen das Risiko einer Kontamination ihrer Produkte oder der Schmelzwanne zu hoch erscheint. Zurzeit sehen die Floatglashütten keine Möglichkeit von ihren „hohen Qualitätsanforderungen“ an Scherben abzurücken.

#### 5.2.4 Flachglasveredler

Nur fünf Flachglasveredlungsbetriebe haben sich an der Datenerhebung beteiligt und Zahlenmaterial zur Verfügung gestellt. Dadurch wurde nur ein kleiner Teil des Marktes erfasst, weshalb die übermittelten quantitativen Angaben daher nicht repräsentativ sind. Aus diesem Grund wird auf ihre Darstellung in diesem Bericht verzichtet. Im Folgenden werden einige Aussagen zum Anfall von und Umgang mit Scherben aus der Glasveredlung gemacht, die auf Gesprächen mit Vertretern mehrerer Glasveredlungsbetriebe basieren.

Nach Aussage von Branchenvertretern werden praktisch alle anfallenden Flachglasabfälle (Verschnitt, Bruch, fehlerhafte Scheiben) einem Recycling zugeführt. Bei einigen Unternehmensgruppen geht unbehandeltes und beschichtetes Floatglas direkt zurück an eine der Gruppe angeschlossene Floathütte. Bei anderen Unternehmensgruppen werden die angefallenen Flachglasabfälle über einen Flachglasrecycler wiederverwertet. Verbundmaterial wird immer an Flachglasrecycler zur Aufbereitung gesandt. In einigen Betrieben, in denen Glasveredlung und Isolierglasfertigung parallel ablaufen, wird auch ein sogenannter „Isomix“ gesammelt. Das ist eine Mischung aus Flachglasabfällen, die nicht direkt an eine Floathütte zurückgegeben werden können. Isomix enthält - je nach betriebsinterner Definition - durch Etiketten und andere Anhaftungen verunreinigtes Floatglas, Isolierglas (mit Randverbund), farbiges Glas, Bruch aus vorgespanntem Material sowie Verbundglas.

Die durch Verschnitt und Produktionsfehler in den jeweiligen Veredlungsprozessen entstandenen „Verluste“ werden nachfolgend beschrieben:

##### **Produktion beschichtetes Basisglas**

Während der Produktion von beschichtetem Basisglas als Bandmaß entstehen Abfälle bei der Umstellung bzw. dem Einfahren der Schicht sowie durch sonstigen entstehenden Bruch. Werden ESG-Festmaße beschichtet, entstehen i. d. R. keine Glasscherben.

Der Anteil der Scherben an der Gesamtmenge des produzierten beschichteten Basisglases ist entsprechend den Aussagen der befragten Branchenvertreter sehr gering und wird mit 1 % angenommen.



### **Produktion Einscheibensicherheitsglas (ESG)**

Die Scherben, die bei der ESG Herstellung anfallen, sind zum größten Teil durch Zuschnittverluste bedingt. Für die Betrachtung werden Zuschnittverluste in der gleichen Größenordnung angenommen, wie sie auch beim Zuschnitt in der MIG Herstellung entstehen. 10 - 15 % können hier als repräsentativ angesehen werden. Weitere Verluste, die durch Bruch (z. B. beim heat soak test) sowie durch sonstige Schäden entstehen, werden mit 3 % angenommen. Somit ergibt sich ein Gesamtanteil von ca. 13 - 18 % bezogen auf die gesamte ESG Produktion.

### **Produktion Verbundsicherheitsglas (VSG)**

Bei der Produktion von VSG fallen Glasscherben in nennenswertem Umfang nur dann an, wenn das VSG nicht als Bandmaß, sondern als Festmaß hergestellt wird. Nach Rückmeldung von VSG Produzenten, kann davon ausgegangen werden, dass ca. 90 % des in Deutschland produzierten VSG als Bandmaß und ca. 10 % als Stückmaß hergestellt werden. Die Zuschnittverluste bei der Festmaßherstellung können mit ca. 20 % angenommen werden, sodass sich hieraus ca. 2 % Zuschnittverluste, bezogen auf die Gesamtmenge von VSG, ergeben. Unter Berücksichtigung von weiteren Verlusten von ca. 2 % durch Bruch sowie sonstige Schäden bei der VSG Herstellung (sowohl Festmaß als auch Bandmaß) entsteht ein Scherbenanteil von ca. 4 % bei der Herstellung von VSG.

## **5.2.5 Isolierglashersteller**

Ähnlich wie bei den Glasveredlern konnte auch bei den Isolierglasherstellern durch die Datenerhebung nur ein kleiner Teil des Marktes erfasst werden. Nur sechs Isolierglashersteller haben Zahlenmaterial bereitgestellt. Auf die Darstellung dieser Zahlen wird verzichtet, da sie als nicht repräsentativ angenommen werden können. Im Folgenden werden einige Aussagen zum Anfall von und Umgang mit Scherben aus der Isolierglasherstellung gemacht, die auf Gesprächen mit mehreren Vertretern der Branche basieren.

Nach Aussage von Branchenvertretern werden praktisch alle anfallenden Flachglasabfälle (Verschnitt, Bruch, fehlerhafte Scheiben) einem Recycling zugeführt.

Scherben fallen in der Isolierglasproduktion i. d. R. durch die Zuschnitte der Bandmaße (Float, beschichtetes Basisglas, VSG) an. Der Anteil an Scherben, der durch Bruch bzw. sonstige Schäden anfällt, kann als gering eingestuft werden. Insgesamt wird von einem massenbezogenen Anteil von 10-15 % ausgegangen.

Prinzipiell stehen für die „Entsorgung“ der FGS aus der Veredlung bzw. der Isolierglasproduktion zwei Wege zur Verfügung:

1. Die FGS werden an einen Glasrecycler weitergeleitet.
2. Die FGS werden direkt zurück an das Floatwerk bzw. den Lieferanten der Basisgläser geleitet. Für die „Rücknahme“ werden die Transportmöglichkeiten genutzt, die durch die Anlieferung der Basisgläser vorhanden sind.

In der Praxis sind beide Wege vorhanden. Es kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere Abfälle aus dem Zuschnitt von VSG im Regelfall an einen Glasrecycler gesendet werden. Zuschnittabfälle des beschichteten Basisglases sowie des Floats werden sowohl wieder zur Floathütte als auch an einen Glasrecycler geliefert.

### 5.2.6 Fenster-/Fassadenbranche

Aus der Fenster-/Fassadenbranche haben sich 24 Unternehmen an der Umfrage beteiligt und Daten für das Jahr 2016 zur Verfügung gestellt. Dabei reicht das Spektrum von der Schreinerei mit 5 t Glasabfällen bis zum Fenster- und Türenhersteller mit fast 500 t Glasabfällen. Bei den meisten Betrieben lag die Menge zwischen 5 und 100 t. Nur bei fünf Betrieben sind mehr als 100 t angefallen.

Insgesamt sind bei den Betrieben, die sich an der Umfrage beteiligt haben, knapp 2000 t Flachglasabfälle angefallen. Verglichen mit den Angaben der Flachglasrecycler (5.2.2) sowie den Schätzungen basierend auf DESTATIS-Daten (5.3.1), BF-Daten (5.3.2) und VFF-Daten (5.3.3) ist das nur ein sehr kleiner Anteil der im Jahr 2016 angefallenen post-consumer FGS aus der Gebäudehülle (s. a. Tabelle 21).

Zwar war in 22 der 24 ausgefüllten Fragebögen angegeben, dass das Glas bzw. der Glasabfall einem Recycling zugeführt wird, aber in Anbetracht der insgesamt wenigen Daten aus der Branche lässt sich daraus nicht abschätzen, welcher Anteil des aus Gebäudehüllen ausgebauten Flachglases einem Recycling zugeführt wird und welcher Anteil auf einer Deponie landet.

Eine detaillierte Darstellung der Daten aus der Fenster-/Fassadenbranche erscheint daher wenig sinnvoll. Im Folgenden wird stattdessen versucht, die gegenwärtige Situation des Flachglasrecyclings in der Fenster-/Fassadenbranche basierend auf den eingegangenen Daten und - mehr noch - Gesprächen mit Vertretern der Branche qualitativ zu beschreiben. Es wird versucht, einen Überblick über die gehörten Meinungen zu geben. Daher wird eventuell nicht jeder Vertreter der Branche allen Aussagen zustimmen können.

Die Situation hinsichtlich des Recyclings von Flachglas ist sehr unterschiedlich innerhalb der Branche. Einige Betriebe sind eingebunden in eine Recyclingkette. Sie geben das Altglas zurück an ihren Glaslieferanten oder ein Entsorger/Containerdienst holt das Glas bei ihnen ab. Bei PVC-, Aluminium- und Stahlfenster ist meist das Rahmenmaterial der wertvollere Bestandteil. Recyclingunternehmen oder Containerdienste/Entsorger stellen spezielle Sammelbehälter bei den Betrieben der Fenster-/Fassadenbranche auf, um die entglasten



und demontierten Rahmen zu sammeln (Abbildung 11). Von einigen Entsorgern werden auch ganze Fenster angenommen. Wird das Glas nicht von einem lokalen Entsorger, Containerdienst oder Recycler übernommen, so muss es u.U. als Baumischabfall bzw. im Bauschutt entsorgt werden (Abbildung 12).

Holzfenster nehmen bei der Entsorgung eine Sonderstellung ein, da Holz aus dem Außenbereich von Entsorgern i. d. R. als Altholz der Klasse IV, also als stark schadstoffbelastet, betrachtet wird. Die Entsorgung ist entsprechend teuer. Das Ausglasen von Holzfenstern wäre sehr zeitaufwendig, weshalb die Scheiben meist manuell ausgeschlagen werden. Neben den gesundheitlichen Risiken für die Mitarbeiter durch Scherben ist auch eine Kontamination der Scherben wahrscheinlicher, als wenn ganze Fenster oder Scheiben (egal, ob ESG, VSG oder MIG) in Sammelmulden gestellt werden.

Das Ausglasen und Zerlegen der Rahmen stellt nach Aussagen von Vertretern der Fenster-/Fassadenbranche einen Kostenfaktor dar, der eher selten in der Kalkulation für Modernisierungen berücksichtigt wird. Es gibt noch zwei weitere Probleme, die einem Recycling von Flachglas aus der Gebäudehülle entgegenstehen. Auf Baustellen ist häufig nicht genügend Platz für das Aufstellen eines speziellen Sammelcontainers für Altglas, und bei kleineren Projekten fällt vielleicht auch nicht genügend Altglas an, um einen eigenen Container zu rechtfertigen. Daher wird ausgebautes Flachglas im Baumischabfall oder Bauschutt entsorgt. Zu lange Transportwege zum nächsten Flachglasrecycler können es ebenfalls unwirtschaftlich machen, Flachglas aus der Gebäudehülle separat zu sammeln und einem Recycling zuzuführen.

Nach Aussagen mehrerer Vertreter der Branche würden viele Betriebe es begrüßen, wenn Entsorger flächendeckend ganze Fenster annehmen bzw. einsammeln würden, und wenn der mit dem Recycling verbundene administrative Aufwand reduziert würde. Die Kosten des Recyclings können bisher häufig nicht in ausreichendem Maße in Aufträge/Projekte eingepreist werden.



**Abbildung 11** PVC Rahmen in Sammelbehälter



**Abbildung 12** Isolierglas in Baumischabfallcontainer

## 5.3 Weitere Datenquellen

### 5.3.1 Destatis

#### Daten zur Abfallentsorgung

In der Fachserie 19 Reihe 1 [52] veröffentlicht das Statistische Bundesamt Destatis Daten zur Abfallentsorgung. Für das Jahr 2016 wurden aus dem zugehörigen Bericht die in Deutschland anfallenden Abfallmengen von Flachglas entnommen.

Glasabfällen sind gemäß dem europäischen Abfallschlüssel die in Tabelle 11 aufgeführten Abfallschlüsselnummern zugeordnet [52].

**Tabelle 11** Schlüsselnummern für Glasabfälle

10	Abfälle aus thermischen Prozessen
1011	Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen
101112	Glasabfall mit Ausnahme desjenigen, das unter 10 11 11 fällt
15	Verpackungsabfälle
1501	Verpackungen (einschließlich getrennt gesammelter kommunaler Verpackungsabfälle)
150107	Verpackungen aus Glas
16	Abfälle die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind
1601	Altfahrzeuge
160120	Glas
17	Bau und Abbruchabfälle
1702	Holz, Glas und Kunststoff
170202	Glas
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke
1912	Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.
191205	Glas
20	Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen
2001	Getrennt gesammelte Fraktionen (außer 15 01)
200102	Glas

Für Abfälle aus Flachglas aus dem Bauwesen sind im Wesentlichen die beiden Abfallschlüssel 101112 sowie 170202 maßgeblich.

Dem Schlüssel 101112 sind hierbei die Abfallmengen zugeordnet, die bei der Erzeugung und Weiterverarbeitung von Flachglas entstehen und an die Recycler geliefert werden; also pre-consumer Abfälle. In den Zahlen sind hierbei keine Abfälle berücksichtigt, die bei der Produktion von Flachglas anfallen und direkt im Betrieb wieder verwendet werden. Ebenso sind die Mengen an Flachglasabfällen nicht erfasst, die in der Weiterverarbeitung von Flachglas entstehen, jedoch in einem internen „Kreislauf“ wieder direkt, d. h. ohne den Zwischenschritt Recycler, der Flachglasproduktion zugeführt werden.

Neben den Massen aus der Flachglasproduktion sind unter dem Schlüssel 101112 auch Abfallströme aus der Behälterglasproduktion bzw. -verarbeitung erfasst.



Neben den beiden Hauptmengen aus der FG sowie Behälterglasherstellung/Verarbeitung können unter der Nummer 101112 noch folgende weitere Glasabfälle erfasst sein:

- Unbeschichtete Glasabfälle aus der Leuchtmittelproduktion
- Fritten aus der Wanne, Material aus dem Wannrücklauf
- Lampen und Dekorglas

Nach Rücksprache mit Vertretern der Flachglasrecyclingbetriebe ist davon auszugehen, dass der Großteil der unter der Abfallschlüsselnummer 101112 statistisch erfassten Mengen der Flachglasproduktion zuzuordnen ist. Eine quantitative Aussage, welcher Anteil der in 101112 erfassten Mengen aus der Flachglasherstellung kommen, ist aber nicht möglich. Somit kann die unter AVV 101112 erfasste Menge als obere Grenze der statistisch erfassten Menge an Flachglasscherben angesehen werden.

Bei der Interpretation und Wertung der unter AVV 101112 erfassten Mengen an Glasabfällen ist des Weiteren noch zu beachten, dass auch Abfälle aus der Floatglasproduktion hierunter erfasst sind, falls diese vom Floatwerk zu einer Behandlung, wie z. B. Brechen der Scherben, an einen Flachglasrecycler weitergeleitet werden. Wie hoch die Menge solcher Scherben in der Gesamtmenge des AVV 101112 ist, konnte jedoch nicht ermittelt werden, da die AVV 101112 keine schärfere Unterteilung ermöglicht.

Der Abfallschlüssel 170202 beschreibt die Mengen an Flachglas, die im post-consumer Bereich entstehen, d. h. Flachglasabfälle, die bei der Modernisierung von Gebäuden sowie dem Rückbau von Gebäuden entstehen.

Neben den beiden Abfallschlüsselnummern 101112 sowie 170202 könnten auch unter der AVV 200102 weitere post-consumer Scherben erfasst sein. Dies sind Flachglasabfälle aus dem post-consumer Bereich, die bei kommunalen Sammelstellen/Wertstoffhöfen anfallen. Die Qualität dieser Flachglasscherben ist vergleichbar mit den Scherben, die unter der AVV 170202 erfasst werden. Da unter der AVV 200102 jedoch im Wesentlichen Abfälle von Behälterglas statistisch erfasst sind, werden die unter AVV 200102 erfassten Mengen im Rahmen der Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

Für das Jahr 2016 werden für die AVV 101112 sowie 170202 die in Tabelle 12 genannten Mengen im Bericht des statistischen Bundesamtes aufgeführt.

**Tabelle 12** Abfallmengen Flachglas in Deutschland für das Jahr 2016 für die AVV 101112 sowie 170202 [52].

EAV	Abfallart	Entsorgungsanlagen insgesamt	Input insgesamt	Davon		
				im eigenen Betrieb erzeugte Abfälle	angeliefert aus	
					dem Inland	dem Ausland
1.000 t						
101112	Glasabfall mit Ausnahme desjenigen, der unter 101111 fällt	59	291,5	118,1	156,4	17,0
170202	Glas	255	285,4	0,5	259,3	25,5

Die in Deutschland statistisch erfassten Abfallmengen Flachglas ergeben sich unter Berücksichtigung der aus dem Ausland angelieferten Mengen zu:

Pre-consumer EAV 101112: 275.000 t  
 Post-consumer EAV 170202: 260.000 t

Eine detailliertere Aufschlüsselung der Abfallmengen nach den Entsorgungsanlagen, die einen nennenswerten Eingang verzeichnen, ist in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13** Aufschlüsselung des Inputs der Abfallschlüsselnummern 101112 sowie 170202 auf die unterschiedlichen Entsorgungsanlagen in Deutschland für das Jahr 2016 [52].

Jahr Anlagenart Abfallarten		Abfallent- sorgungs- anlagen	Input von Abfallent- sorgungs- anlagen	Im eigenen Betrieb erzeugte Abfälle	Aus dem Inland ange- lieferter Abfall	Aus dem Ausland an- gelieferter Abfall
<b>2016</b>						
<b>Deponien</b>						
EAV- 101112-U	Glasabfall (ohne 101111)	26	6	-	6	-
EAV- 170202-U	Glas	89	12,3	0,2	12,1	-
<b>Schredderanlagen und Schrottscheren</b>						
EAV- 101112-U	Glasabfall (ohne 101111)	4	123,1	114,8	7,7	0,6
EAV- 170202-U	Glas	-	-	-	-	-
<b>Sortieranlagen</b>						
EAV- 101112-U	Glasabfall (ohne 101111)	9	48,5	-	39,6	9
EAV- 170202-U	Glas	121	169,4	0,3	152,6	16,5
<b>Sonstige Behandlungsanlagen</b>						
EAV- 101112-U	Glasabfall (ohne 101111)	10	108	3,3	97,2	7,4
EAV- 170202-U	Glas	21	91,3	-	82,6	8,7



<b>Abfälle in übertägigen Abbaustätten</b>						
EAV-101112-U	Glasabfall (ohne 101111)	3	0,6	-	0,6	-
EAV-170202-U	Glas	3	0	-	0	-
Deponien: Einschließlich Langzeitlager.						
<i>(C)opyright Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019   Stand: 25.02.2019 / 12:41:08</i>						

Die Anlagen, die einen nennenswerten Input haben, untergliedern sich hierbei in:

- Deponien
- Schredderanlagen und Schrottscheren
- Sortieranlagen
- Zerlegeeinrichtungen
- Abfälle in übertägigen Abbaustätten

Interessant ist hierbei die Analyse, welche Abfallmengen entsorgt werden und keiner weiteren Verwertung mehr zugeführt werden können. Hierfür sind die entsprechenden Massen der Deponien sowie Abfälle in übertägigen Abbaustätten zu addieren: Hierdurch ergeben sich folgende entsorgte Massen:

Pre-consumer EAV 101112: 6.600 t  
Post-consumer EAV 170202: 12.300 t

Bezogen auf die Gesamtmengen in EAV 101112 sowie 170202 entspricht dies einem „deponierten“ Anteil von 2,4 % für den pre-consumer bzw. 4,7 % für den post-consumer Bereich.

### **Daten zum Rückbau von Gebäuden**

Zur Abschätzung des Abfalls von Flachglas durch den Rückbau von Gebäuden wurden die von Destatis unter [www.Destatis.de](http://www.Destatis.de) veröffentlichten Daten für das Jahr 2016 verwendet.

Tabelle 14 stellt die zugehörigen publizierten Daten dar.

**Tabelle 14** Auflistung der statistischen Daten für den Rückbau (Abgang) von Gebäuden in Deutschland für das Jahr 2016

<b>Abgang von Gebäuden/Gebäudeteilen im Hochbau: Deutschland, Jahre, Gebäudeart</b>				
<b>Statistik des Bauabgangs</b>				
<b>Deutschland / 2016</b>				
Gebäudeart	Gebäude/ Gebäudetei- le	Nutzflä- che	Wohnflä- che	Wohnun- gen
	Anzahl	1000 qm	1000 qm	Anzahl
Wohngebäude	7725	422	1739	23076
Wohngebäude mit 1 Wohnung	x	x	x	x
Wohngebäude mit 2 Wohnungen	x	x	x	x
Wohngebäude mit 3 oder mehr Wohnun- gen	x	x	x	x
Wohnheime	80	14	79	2461
Wohngebäude mit Eigentumswohnungen	-	-	-	-
Nichtwohngebäude	11482	8001	252	2734
Anstaltsgebäude	262	454	2	46
Büro- und Verwaltungsgebäude	1170	1392	31	351
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	3256	970	63	550
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	5488	4374	134	1510
Fabrik- und Werkstattgebäude	1617	1785	28	301
Handelsgebäude	927	767	46	501
Warenlagergebäude	1512	1157	19	231
Hotels und Gaststätten	674	411	33	392
Sonstige Nichtwohngebäude	1306	811	22	277
Insgesamt	19207	8423	1991	25810

(C)opyright Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019 | Stand: 06.02.2019/ 18:26:49

Zur Abschätzung des Flachglasabfallaufkommens durch Abriss wurden zwei Hauptkategorien der Flächennutzung analysiert:

1. Wohnflächen
2. Nutzflächen

### 1. Wohnflächen

Hierzu sind die Wohnflächen in Wohngebäude sowie ähnlich genutzte Bereiche von Nichtwohngebäuden zu betrachten. Hierzu werden die in Tabelle 14 angegebenen Wohnflächen verwendet. Für reine Wohngebäude beträgt die in 2016 rückgebaute Wohnfläche 1.739.000 m<sup>2</sup>. Entsprechend Tabelle 14 ging auch beim Rückbau von Nichtwohngebäuden Wohnfläche verloren und zwar 252.000 m<sup>2</sup>. Dies ergibt eine rückgebaute Gesamtwohnfläche von 1.991.000 m<sup>2</sup>.



## 2. Nutzflächen

Für das Flachglasabfallaufkommen aus dem Abriss von Nichtwohngebäude werden „nur“ die Büro- und Verwaltungsgebäude sowie die Anstaltsgebäude betrachtet. Bei den Nutzflächen von Wohngebäuden sowie den anderen Nichtwohngebäuden wird angenommen, dass kein signifikanter Anteil mit transparenten Bauelementen ausgestattet ist und die Flächen daher vernachlässigt werden können. Als Summe der beiden Gebäudetypen (Büro- und Verwaltungsgebäude sowie die Anstaltsgebäude) ergibt sich eine abgegangene Nutzfläche von 1.846 000 m<sup>2</sup>.

### 5.3.2 Bundesverband Flachglas

Entsprechend den Angaben [53] des Bundesverbands Flachglas e. V. (BF) wurden im Jahr 2016 folgende in Tabelle 15 angegebenen Mengen an Floatglas sowie weiteren Halbzeugen in Deutschland produziert und abgesetzt.

**Tabelle 15** Produktion und Absatz von Flachglas in Deutschland für das Jahr 2016 [53]

	<b>Produktion In 1.000 m<sup>2</sup></b>	<b>Absatz In 1.000 m<sup>2</sup></b>
Floatglas	Keine Angabe	133.762
Beschichtetes Glas	47.380	42.684
Einscheibensicherheitsglas (ESG)	15.619	17.600
Verbundsicherheitsglas (VSG)	17.356	15.799
Isolierglas (MIG)	29.652	26.536

Von dem in Deutschland abgesetzten MIG waren entsprechend [53] 59,2 % als Dreifachglas und demzufolge 40,8 % als Zweifachglas ausgebildet. Im Rahmen des Vorhabens wird davon ausgegangen, dass sich dieses Verhältnis auch auf die in Deutschland produzierten Isoliergläser übertragen lässt.

Das in Deutschland in 2016 abgesetzte Isolierglas (MIG) verteilte sich entsprechend [53] auf folgende in Tabelle 16 angegebenen Anwendungsbereiche:

**Tabelle 16** Anteile des in Deutschland im Jahr 2016 abgesetzten MIGs in Abhängigkeit der Anwendung

<b>Fensterproduktion</b>	<b>16.462.000 m<sup>2</sup></b>
Glasaustausch Fenster	768.000 m <sup>2</sup>
(Vorhang-) Fassaden	5.749.000 m <sup>2</sup>
Bewegliche Fassadenelemente	1.631.000 m <sup>2</sup>
Außentüren	1.164.000 m <sup>2</sup>
Andere (z. B. Dachverglasung, Wintergärten etc.)	762.000 m <sup>2</sup>

### 5.3.3 Verband Fenster und Fassade

Laut Daten des Verbands Fenster und Fassade e. V. (VFF) [54] wurden im Jahr 2016 13,8 Mio. Fenstereinheiten (FE) in Deutschland auf den Markt gebracht. 1 FE hat hierbei eine Fensterfläche von 1,69 m<sup>2</sup>. Von den auf den Markt gebrachten Fenstern gingen hierbei ca. 40 % in den Neubau. Die restlichen ca. 60 % gingen in die Modernisierung [54]. Geht man davon aus, dass die für die Modernisierung verwendeten Fenster im gleichen Maß Fenster ersetzen, und der Anteil bzgl. eines erstmaligen Einbaus vernachlässigt werden kann, so wurden im Jahr 2016 ca. 13,8 Mio. FE x 1,69 m<sup>2</sup>/FE x 60%= ca. 14 Mio. m<sup>2</sup> Fenster im Rahmen einer Gebäudemodernisierung ersetzt.

Für Vorhangfassaden liegen leider für Deutschland keine Marktzahlen, weder vom Verband Fenster und Fassade noch von anderen Quellen, vor.

## 5.4 Quantitatives Stoffstrommodell

### 5.4.1 Flachglasabfall im pre-consumer Bereich

Flachglasscherben können im pre-consumer Bereich, d. h. vor dem Einbau in das Gebäude, in nachfolgend genannten Bereichen anfallen. Die Annahmen über den Anteil des Scherbenabfalls an der jeweiligen Gesamtproduktionsmenge basieren auf Gesprächen mit Vertretern des Bundesverbands Flachglas e. V.

Zur Abschätzung der post-consumer Abfälle bei der Floatglasveredlung als auch Isolierglasherstellung ist es notwendig, die repräsentative Dicke des in Deutschland (im Jahr 2016) produzierten Floatglases zu kennen. Dies begründet sich dadurch, dass die im Weiteren verwendeten publizierten Marktdaten des Bundesverbands Flachglas e. V. die Mengen im post-consumer Bereich (Veredlung, MIG Herstellung) in Flächeneinheiten angeben (siehe hierzu Tabelle 15). Nach Abstimmung mit Branchenvertretern wurde eine repräsentative bzw. durchschnittliche Glasdicke von 5 mm für das in 2016 in Deutschland abgesetzte Floatglas angenommen.

### Produktion Floatglas

Scherben fallen sowohl durch die sogenannten Bortenverluste als auch bei der Umstellung der Glasdicke an. Ebenso fallen Scherben bei der Umstellung der Glasfarbe (z. B. von eisenhaltigem Floatglas auf eisenarmes Floatglas) an. Die Scherben, die während der Floatglasproduktion entstehen, werden i. d. R. direkt wieder als sog. Eigenschерben der Floatglasproduktion zugeführt. Diese internen Eigenschерben können bis zu 25 % des produzierten Floatglases betragen. Da diese Scherben direkt bei der Produktion des Flachglases entstehen und dort auch gleich wiederverwendet werden, wurden sie im Rahmen des Vorhabens nicht näher betrachtet.



### **Produktion beschichtetes Basisglas**

Während der Produktion von beschichtetem Basisglas als Bandmaß entstehen Abfälle bei der Umstellung bzw. dem Einfahren der Schicht sowie durch sonstigen entstehenden Bruch. Werden ESG-Festmaße beschichtet, entstehen i. d. R. keine Glasscherben.

Der Anteil der Scherben an der Gesamtmenge des produzierten beschichteten Basisglases ist sehr gering und wird mit 1 % angenommen.

Mit der in Deutschland produzierten Menge an beschichtetem Basisglas von 47.380.000 m<sup>2</sup> (siehe Tabelle 15) ergibt sich somit eine Abfallmenge von 473.800 m<sup>2</sup>. Bei einer angenommenen repräsentativen Glasdicke von 5 mm (siehe hierzu 5.2.3) ergibt dies eine Masse von ca. 6.000 Tonnen Flachglasscherben aus der Beschichtungsherstellung.

### **Produktion Einscheibensicherheitsglas (ESG)**

Die Scherben, die bei der ESG Herstellung anfallen, sind zum größten Teil durch Zuschnittverluste bedingt. Für die Betrachtung werden Zuschnittverluste in der gleichen Größenordnung angenommen, wie sie auch beim Zuschnitt in der MIG Herstellung entstehen. 10-15 % können hier als repräsentativ angesehen werden. Weitere Verluste, die durch Bruch (z. B. beim heat soak test) sowie durch sonstige Schäden entstehen, werden mit 3 % angenommen. Somit ergibt sich ein Gesamtanteil von ca. 13-18 % bezogen auf die gesamte ESG Produktion. Als repräsentativ wird auch hier eine Glasdicke von 5 mm angesehen.

Somit ergeben sich bei der Herstellung von ESG Abfälle von ca. 25.400 – 35.100 t Flachglasscherben. Aus dieser Bandbreite wird die Scherbenmenge bei der ESG Produktion mit ca. 30.000 t abgeschätzt.

### **Produktion Verbundsicherheitsglas (VSG)**

Bei der Produktion von VSG fallen Glasscherben nur dann an, wenn das VSG nicht als Bandmaß, sondern als Festmaß hergestellt wird. Nach Rückmeldung von VSG Produzenten kann davon ausgegangen werden, dass ca. 90 % des VSG als Bandmaß hergestellt werden; 10 % als Stückmaß. Die Zuschnittverluste bei der Festmaßherstellung können mit ca. 20 % angenommen werden, sodass sich ca. 2 % Zuschnittverluste bezogen auf die gesamte VSG Herstellung ergeben. Unter Berücksichtigung von weiteren Verlusten von ca. 2 % durch Bruch sowie sonstige Schäden entsteht ein Scherbenanteil von ca. 4 % bei der Herstellung von VSG. Somit ergibt sich unter Annahme eines repräsentativen Aufbaus aus 2 x 4 mm (VSG8) bzw. 2 x 5 mm (VSG 10) eine Scherbenmasse von

$$17.356.000 \text{ m}^2 \times 8 \text{ mm} \times 4\% \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 13.885 \text{ t}$$

bzw.

$$17.356.000 \text{ m}^2 \times 10 \text{ mm} \times 4\% \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 17.356 \text{ t.}$$

Für die weiteren Betrachtungen wird ein mittlerer Wert von ca. 15.000 t herangezogen.

### Produktion Mehrscheiben-Isolierglas (MIG)

Scherben fallen i. d. R. durch die Zuschnitte der Bandmaße (Float, beschichtetes Basisglas, VSG) an. Der Anteil an Scherben, der durch Bruch bzw. sonstige Schäden anfällt, kann als gering eingestuft werden. Insgesamt kann nach Rückmeldung von Isolierglasherstellern von einem massenbezogenen Anteil von 10-15 % ausgegangen werden.

Da MIG sowohl als 2-fach (40,8 %) als auch als 3-fach-Glas (59,2 %) hergestellt wird, ist dies bei der Abschätzung der in der MIG Produktion entstehenden Glasscherben zu berücksichtigen.

2-fach:  $29.652.000 \text{ m}^2 \times 40,8\% \times 2 \times 10\% (15 \%) = 2.419.603 \text{ m}^2 (3.629.404 \text{ m}^2)$

3-fach:  $29.652.000 \text{ m}^2 \times 59,2\% \times 3 \times 10\% (15 \%) = 5.266.195 \text{ m}^2 (7.899.292 \text{ m}^2)$

Unter Annahme einer repräsentativen Glasdicke von 5 mm ergibt sich der Mittelwert der während der Produktion von MIG entstehenden Flachglasabfälle zu 120.000 t  $\pm$  20%

Tabelle 17 gibt eine Zusammenfassung der aus den einzelnen pre-consumer Bereichen zu erwartenden Abfallmengen. Die gesamte Abfallmenge im pre-consumer Bereich wird auf ca. 170.000 t abgeschätzt.

**Tabelle 17** Abschätzung Abfallaufkommen Flachglas im pre-consumer Bereich

	Abfallmenge
Floatproduktion	Nur Eigenscherben
Beschichtung	6.000 t
ESG Herstellung	30.000 t
VSG Herstellung	15.000 t
MIG Herstellung	120.000 t
Gesamt	$\approx$ 170.000 t

### Produktion/Einbau Fenster und Fassaden

Bei Fenster- und Fassadenbauern fallen Altglasscherben an, die durch Beschädigungen von Isoliergläsern, beim Einbau in den Rahmen, beim Transport auf die Baustelle, bei der Montage der Fenster und Fassaden sowie durch Drittgewerke auf der Baustelle, entstehen. Des Weiteren ergeben sich Altglasabfälle durch Reklamationen bei der Abnahme beispielsweise aufgrund von z. B. Kratzern. Es liegen keine veröffentlichten Zahlen vor, wie hoch der Anteil an solchen Beschädigungen an der Gesamtmenge ist. Daher wurde in mehreren persönlichen Gesprächen mit Vertretern aus der Fenster und Fassadenbranche die Thematik erörtert. Aus den Gesprächen konnte geschlossen werden, dass ca. 1 % der Menge an Isolierglas durch die genannten Effekte als Altglas anfällt. Entsprechend Angaben [53] des Bundesverbands Flachglas e. V. (BF) wurden in 2016 26.536.000 m<sup>2</sup> Isolierglas abgesetzt. Berücksichtigt man die relativen Anteile von 60 % 3-fach und 40 % 2-fach-Glas und einer repräsentativen Einzelglasdicke von 5 mm, ergibt dies eine Menge von ca. 8.500 t.



## 5.4.2 Flachglasabfall im post-consumer Bereich

Das Aufkommen von Flachglasabfall aus dem post-consumer Bereich ergibt sich zum einen durch den Austausch von alten Fenstern, Türen und Vorhangfassaden durch entsprechende neue Produkte im Rahmen der Gebäudemodernisierung. Ebenso entsteht Glasabfall beim alleinigen Austausch des Glases durch ein modernes Funktionsglas. Des Weiteren entstehen Flachglasabfälle durch den Rückbau von Gebäuden und der hierin eingebauten Fenster, Türen und Vorhangfassaden.

### 5.4.2.1 Modernisierung von Gebäuden

#### Fenster

Basierend auf den Marktdaten des VFF (siehe 5.3.3) kann abgeschätzt werden, dass im Jahre 2016 ca. 14 Mio. m<sup>2</sup> Fenster im Rahmen einer Gebäudemodernisierung ersetzt wurden. Unter Annahme eines mittleren Glasflächenanteils eines Fensters von 70 %, bedeutet dies, dass ca. 9,8 Mio. m<sup>2</sup> Glasfläche ausgetauscht wurden. Geht man davon aus, dass 10 % der Fenstermenge Einfachglas mit einer Glasdicke von 3 mm sowie 90 % Fenster mit 2-fach-Glas (2-fach ISO, Verbundfenster, Kastenfenster) und einer Gesamtglasdicke von 8 mm (2 x 4 mm) ersetzt haben, so wurde eine Gesamtmenge von ca. 184.000 Tonnen Glas aus dem Gebäudebestand „ausgebaut“. Die detaillierte Berechnung für diesen Fall kann Tabelle 18 entnommen werden. Bei Annahme einer etwas höheren mittleren Gesamtglasdicke bei Isolierglasaufbauten von 10 mm (z. B. 6/SZR/4), die aus Anforderungen aus dem Schallschutz sowie der Einbruchhemmung resultieren könnten, würde sich eine Gesamtmenge von ca. 228.000 Tonnen ergeben. Die Menge an Altglas aus der Modernisierung von Fenstern wird daher mit ca. 200.000 t ± 10 % abgeschätzt.

**Tabelle 18** Abschätzung Abfallaufkommen Flachglas aus der Modernisierung von Fenstern bei Annahmen wie dargestellt.

Fenstereinheiten (FE)	1,38E+07		
Fläche FE	1,69 m <sup>2</sup>		
Fensterfläche Gesamt	23.322.000 m <sup>2</sup>		
Rahmenanteil	30 %		
Glasanteil	70 %		
Glasfläche Gesamt	16.325.400 m <sup>2</sup>		
Anteil Neubau	40 %		
Anteil Modernisierung	60 %		
Glasfläche Modernisierung	9.795.240 m <sup>2</sup>		
		Dicke	Flachglasabfall
Anteil Einfach	10 %	3 mm	7.346 t
Anteil 2-fach	90 %	8 mm	176.314 t
Anteil 3-fach	0 %	12 mm	0 t
		Gesamt	183.661 t

### Außentüren

Zur Abschätzung des Flachglasabfalls aus dem Ersatz von Außentüren wird in [54] dargestellt, dass ca. 66 % der in Deutschland abgesetzten Außentüren für die Modernisierung verwendet werden. Entsprechend Tabelle 16 werden ca. 1,16 Mio. m<sup>2</sup> an Isolierglas für die Anwendung in Außentüren verwendet; d. h. ca. 750.000 m<sup>2</sup> Isolierglas werden in Türen eingebaut, die alte Türen ersetzen. Nimmt man an, dass der Glasanteil dieser alten Türen nahezu identisch zum Glasanteil der neuen Türen ist, so werden entsprechend 750.000 m<sup>2</sup> Glas bei der Modernisierung von Türen ausgebaut. Dies entspricht einer Menge von ca. 14.000 t, wenn man annimmt, dass 10 % der ausgetauschten Außentüren mit Einfachglas der Glasstärke von 3 mm sowie 90 % mit 2-fach-Glas der Gesamtglasstärke von 8 mm (2 x 4 mm) ausgestattet sind.

### Vorhangfassaden

Leider liegen keine öffentlichen Zahlen vor, welche Flächen an Vorhangfassaden im Jahre 2016 durch neue Vorhangfassaden ersetzt wurden. Um das Flachglasabfallaufkommen aus dem Ersatz von Vorhangfassaden abzuschätzen, wird angenommen, dass die Anteile bzgl. der Verwendung in Neubau und Modernisierung, wie auch bei Fenstern, 40 % zu 60 % betragen. Entsprechend Tabelle 16 werden in Deutschland ca. 5,7 Mio. m<sup>2</sup> an Isolierglas für die Anwendung in Vorhangfassaden verwendet; d. h. ca. 3,4 Mio. m<sup>2</sup> Isolierglas werden in Vorhangfassaden eingebaut, die im Rahmen der Gebäudemodernisierung entsprechende



Vorhangfassaden ersetzen. Dies bedeutet, dass unter der Annahme eines identischen Glasanteils bei den alten Vorhangfassaden auch 3,4 Mio. m<sup>2</sup> Isolierglas ausgebaut werden. Es wird angenommen, dass alle zurückgebauten Vorhangfassaden mit 2-fach-Isolierglas ausgestattet sind. Die repräsentative Gesamtglasdicke dürfte zwischen 10 mm (Aufbau 6/SZR/4) sowie 14 mm (8/SZR/6) liegen. Zur Abschätzung wird der Mittelwert von 12 mm Gesamtglasstärke verwendet. Hiermit ergibt sich ein entsprechendes Abfallaufkommen von Flachglas aus der Modernisierung von Vorhangfassaden von ca. 103.000 t. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass diese Menge mit einer deutlichen Unsicherheit behaftet ist, da keine verlässlichen Zahlen für den Modernisierungsanteil vorliegen.

### **Glasaustausch Fenster**

In 2016 wurde entsprechend Daten des BF (Tabelle 16) Isolierglas mit der Fläche von 768.000 m<sup>2</sup> aus Fenstern ausgebaut und ersetzt. Es wird davon ausgegangen, dass im Wesentlichen 2-fach-Isolierglas ersetzt wurde, d. h. der Anteil von ausgebautem Einfach- sowie 3-fach-Glas wurde mit Null angenommen. Ausgehend von einer repräsentativen Gesamtglasdicke des ausgebauten 2-fach-MIGs von 9 mm (siehe hierzu auch oben bei Modernisierung von Gebäuden - Fenster) ergibt sich das Abfallaufkommen durch den Glasaustausch zu ca. 17.000 t.

#### **5.4.2.2 Rückbau von Gebäuden**

Entsprechend Tabelle 14 gingen in 2016 durch den Rückbau von Gebäuden 1.991.000 m<sup>2</sup> an Wohnfläche sowie 1.846.000 m<sup>2</sup> an Nutzfläche verloren. Der hierdurch erzeugte Abfall an Flachglas aus Fenstern und Vorhangfassaden wird wie folgt abgeschätzt.

Bei Wohnflächen wird ein für Deutschland repräsentativer Fensterflächenanteil von 20 % der Wohnfläche angenommen. Die Glasfläche selbst wird mit 70 % der Fensterfläche angenommen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der Anteil von Einfachglas 10 % bei einer Glasdicke von 3 mm, der Anteil von 2-fach-Glas 90 % bei einer Gesamtglasdicke von 8 mm beträgt. Hiermit ergibt sein Flachglasabfallaufkommen aus dem Rückbau von Wohnfläche von ca. 5.200 Tonnen. Die Details der Berechnung können Tabelle 19 entnommen werden.

**Tabelle 19** Abschätzung Abfallaufkommen Flachglas aus dem Rückbau von Wohnfläche

Rückbau Wohnfläche (WF)	1.991.000 m <sup>2</sup>		
Fensterflächenanteil pro m <sup>2</sup> WF	20 %		
Glasanteil an Fensterfläche	70 %		
Glasfläche	278.740 m <sup>2</sup>		
		Dicke	Flachglasabfall
Anteil Einfach	10 %	3 mm	209 t
Anteil 2-fach	90 %	8 mm	5.017 t
Anteil 3-fach	0 %	12 mm	0 t
		Gesamt	5.226 t

Bei Nutzflächen ist die Abschätzung mit einer deutlich größeren Unsicherheit verbunden, aufgrund des Anteils von transparenten Bauteilen an der Nutzfläche. Dieser Anteil unterliegt deutlich größeren Schwankungen als der Fensterflächenanteil bei Wohngebäuden. So kann davon ausgegangen werden, dass bei Büro und Verwaltungsgebäuden der Anteil an Fenstern und Fassaden an der Außenfläche größer ist als bei Wohngebäuden. Dies ist durch die Beleuchtungsaufgabe am Arbeitsplatz durch Tageslicht bedingt sowie durch die architektonische Nutzung von Glasflächen. Es ist aber auch zu beachten, dass größere Raumtiefen als bei wohnähnlicher Nutzung vorhanden sein können. Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass ein signifikanter Anteil der Nutzfläche nur künstlich beleuchtet ist und keine direkte Verbindung zur Außenfassade hat. Für die Abschätzung wird ein Anteil von transparenten Elementen von 30 % der Nutzfläche unterstellt. Die Glasfläche selbst wird mit 70 % der Fensterfläche bzw. der Fläche der Vorhangfassade angenommen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der Anteil von Einfachglas 5 % bei einer Glasdicke von 3 mm, der Anteil von 2-fach-Glas 95 % bei einer Gesamtglasdicke von 12 mm beträgt. Die größere Gesamtglasdicke von 2-fach-Glas bei Nutzflächen im Vergleich zu Wohnflächen ergibt sich durch den Einsatz von dickeren Gläsern bzgl. Dimensionierung von Windlasten sowie durch den verstärkten Einsatz von Schallschutzaufbauten. Es ergibt sich ein Flachglasabfallaufkommen aus dem Rückbau von Nutzfläche von ca. 11.200 Tonnen. Die Details der Berechnung können Tabelle 20 entnommen werden.



**Tabelle 20** Abschätzung Abfallaufkommen Flachglas aus Fenstern und Fassaden aus dem Rückbau von Nutzfläche

Rückbau Nutzfläche (NF)	1.846.000 m <sup>2</sup>		
Fensterflächenanteil pro m <sup>2</sup> NF	30 %		
Glasanteil an Fenster-/ Fassadenfläche	70 %		
Glasfläche	387.660 m <sup>2</sup>		
		Dicke	Flachglasabfall
Anteil Einfach	5 %	3 mm	145 t
Anteil 2-fach	95 %	12 mm	11.048 t
Anteil 3-fach	0 %	18 mm	0 t
		Gesamt	11.194 t

Für das gesamte Abfallaufkommen Flachglas aus dem Rückbau von Gebäuden wird daher eine Menge von ca. 16.000 Tonnen abgeschätzt.

### 5.4.3 Vergleich der Daten der Recyclingbetriebe mit DESTATIS/BF/VFF

In nachfolgender Tabelle 21 sind die auf unterschiedlicher Basis abgeschätzten bzw. ermittelten Daten zum Flachglasabfallaufkommen in Deutschland im Jahr 2016 dargestellt.

**Tabelle 21** Gegenüberstellung der auf unterschiedlicher Basis abgeschätzten bzw. ermittelten Daten zum Flachglasabfallaufkommen in Deutschland im Jahr 2016

			Datenquelle		
			BF/VFF	BVSE	DESTATIS
Pre-consumer	Float Herstellung		-	-	Keine Differenzierung möglich
	Veredlung	Beschichtung	6.000 t	207.000 t	
		ESG	30.000 t		
		VSG	15.000 t		
	MIG Produktion		120.000 t	84.000 t	
	Fenster – und Fassadenbauer		8.500 t	17.000 t	
	Glasverarbeiter, Glasereien		-	72.000 t	
	Containerdienste		-	23.000 t	
Summe pre-consumer			179.500 t	403.000 t	275.000 t EAV 101112
Post-consumer	Modernisierung	Fenster	200.000 t	Keine Differenzierung möglich	Keine Differenzierung möglich
		Außentüren	14.000 t		
		Vorhangfassade	103.000 t		
		Glastausch	17.000 t		
	Rückbau	Wohnfläche	5.000 t		
		Nutzfläche	11.000 t		
Summe post-consumer			350.000 t	95.000 t	260.000 t EAV 170102
Gesamtsumme			520.000 t	498.000 t	535.000 t



### Spalte BF/VFF

Aufgrund der sehr geringen Rückmeldung an quantitativen Zahlen durch die befragten Stakeholder im Bereich der Glaserzeugung sowie Fensterherstellung stellen diese Daten Abschätzungen dar, für die folgende Eingangsdaten verwendet wurden (siehe auch vorherige Kapitel).

- Daten des Bundesverbands Flachglas e. V. zur Produktion und zum Absatz von Halbzeugen (Float, ESG, VSG, beschichtetes Flachglas) sowie MIG.
- Abschätzungen der „Glasverluste“ in der Herstellung von Glashalbzeugen, MIG sowie Fenster und Fassaden. Die für die Abschätzung verwendeten Verluste wurden mit Vertretern der einzelnen Bereiche auf Plausibilität abgestimmt.
- Daten des Verbands Fenster und Fassade zur Abschätzung des Altglasaufkommens aufgrund des Austauschs von Fenstern.
- Daten des Bundesverbands Flachglas zur Abschätzung des Altglasaufkommens aufgrund des Austauschs von Gläsern.
- Daten von Destatis zum Rückbau von Wohn- sowie Nutzflächen.

### Spalte BVSE

Aufgrund der guten Rückmeldung der in die Umfrage eingebundenen Recyclingbetriebe (Abdeckung von 90 – 95 % des Marktes) konnten die quantitativ übermittelten Daten verwendet werden. Die in Tabelle 21 dargestellten Daten entsprechen den Daten aus Tabelle 5 und Tabelle 7, multipliziert mit dem Faktor 1,08.

### Spalte Destatis

In dieser Spalte sind die Abfallmengen für die beiden Abfallschlüssel EAV 10 11 12 (pre-consumer) sowie EAV 17 01 02 (post-consumer) dargestellt.

Beim Vergleich der auf unterschiedlichen Wegen ermittelten Daten, fällt folgendes auf bzw. ist folgendes zu beachten:

- Die Gesamtmenge an Scherben stimmt bei allen drei Wegen gut überein und beträgt zwischen 500.000 t und 535.000 t.
- Die Daten für den pre-consumer als auch für den post-consumer Bereich weichen für die drei Spalten erheblich voneinander ab.
- Die pre-consumer Gesamtmenge der Spalte BVSE ist um 125.000 t höher, die post-consumer Daten um ca. 165.000 t geringer als die DESTATIS Mengen. Dies verwundert, da davon ausgegangen werden sollte, dass die an DESTATIS gemeldeten Daten auf den Mengen der Flachglasrecycler beruhen. Dies gilt insbesondere für den post-consumer Bereich, da die EAV 170102 der einzige Abfallschlüssel sein sollte, unter dem post-consumer Scherben statistisch erfasst werden. Für den pre-consumer Bereich ist zu beachten, dass die EAV 101112 nicht nur Flachglasscherben enthält, sondern noch weitere mögliche Quellen wie z. B. Scherben aus der Hohlglasherstellung enthalten sein könnten. Ebenso Mengen aus der Float Herstel-

lung, die explizit nicht in der Spalte BVSE enthalten sind. Daher ist die Menge unter EAV 101112 eine obere Abschätzung.

- Ebenso können Scherben auch teilweise unter der EAV 200102 gemeldet worden sein. Der Anteil der Menge der Flachglasscherben in EAV 200102 kann jedoch, wie bereits ausgeführt, nicht ermittelt werden.
- Beim Vergleich der pre-consumer Mengen der Spalte BF/VFF mit den Daten der Spalte BVSE sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Daten der Spalte BF/VFF nicht auf absolut übermittelten Mengen beruhen, sondern entsprechend Kapitel 5.4.1 auf Grundlage der Produktionsmengen und des relativen Verschnitts/Ausschusses berechnet wurden. Auffallend ist die starke Abweichung der Abfallmengen aus dem Bereich Veredlung. Während in der Spalte BF/VFF ca. 50.000 t an Scherben „ermittelt“ wurden, liegen die durch die Umfrage über den BVSE ermittelten Mengen um den Faktor 4 höher. Des Weiteren wurden durch die Mitglieder des BVSE auch Abfallmengen in Höhe von 95.000 t von Glasverarbeitern, Glasereien sowie Containerdiensten dem pre-consumer Bereich zugeordnet. Es kann davon ausgegangen werden, dass hierin auch ein Anteil enthalten ist, der dem post-consumer Bereich zugeordnet werden müsste. Vergleichbare Herkunftsquellen wurden in der Spalte BF/VFF nicht ermittelt bzw. konnten nicht ermittelt werden.

#### 5.4.4 Quantitatives Stoffstrommodell

Im Folgenden (Abbildung 13) ist das komplette quantitative Stoffstrommodell dargestellt. Das Modell enthält sowohl die Mengenströme der Produktion bzw. des Absatzes in Deutschland als auch die Abfallmengen des pre- und post-consumer Bereichs.

Die im Stoffstrommodell angegebenen absoluten Mengen der Produktion bzw. des Absatzes von Flachglas bzw. aus Flachglas hergestellten Halbzeugen/Produkten beruhen hierbei auf den in [53] angegebenen Flächen. Für die Umrechnung in Masse wurde eine repräsentative bzw. durchschnittliche Glasdicke von 5 mm zu Grunde gelegt.

**Tabelle 22** Ermittelte/verwendete Mengen für die Erstellung des quantitativen Stoffstrommodells

	<b>Produkt</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Menge in t</b>	<b>Quelle</b>
Pre-consumer	Float	Absatz	1.672.025	[53]
	Beschichtetes Glas	Produktion	592.250	[53]
		Scherben	6.000	Tabelle 21
		Absatz gesamt	533.550	[53]
		Absatz Außenanwendung	533.550 <sup>1)</sup>	[53]
	Verbundglas	Produktion	433.900	[53]
		Scherben bei Produktion	15.000	Tabelle 21
		Absatz gesamt	394.975	[53]
		Absatz Außenanwendung	296.900	[53]
	Vorgespanntes Glas	Produktion	195.238	[53]
		Scherben bei Produktion	30.000	Tabelle 21
		Absatz gesamt	220.000	[53]
		Absatz Außenanwendung	78.513	[53]
	Mehrscheiben-Isolierglas	Produktion	963.960	[53]
		Scherben bei Produktion	120.000	Tabelle 21
		Absatz gesamt	862.420	[53]
		Absatz in Fenster	535.015	[53]
		Absatz Fassaden inkl. bewegl. Fassadenelementen	239.850	[53]
		Absatz in Außentüren	37.830	[53]
		Absatz in Glasaustausch	24.960	[53]
Absatz in Sonstiges		24.765	[53]	
Pre-consumer	Modernisierung gesamt	Scherben	334.000	Tabelle 21
	aus Fenstern	Scherben	200.000	Tabelle 21
	aus Außentüren	Scherben	14.000	Tabelle 21
	aus Vorhangfassaden	Scherben	103.000	Tabelle 21
	Glasaustausch	Scherben	17.000	Tabelle 21
	Rückbau/Abriss	Scherben	16.000	Tabelle 21

Bei den in Tabelle 22 angegebenen Mengen an Halbzeugen, beschichtetes Glas, Verbundglas und Sicherheitsglas ist zu beachten, dass hier „Doppelzählungen“ vorhanden sind. So ist z. B. beschichtetes Sicherheitsglas sowohl bei der Menge des beschichteten Glases als auch bei der Menge des Sicherheitsglases genannt. Das gleiche gilt für Verbundglas.



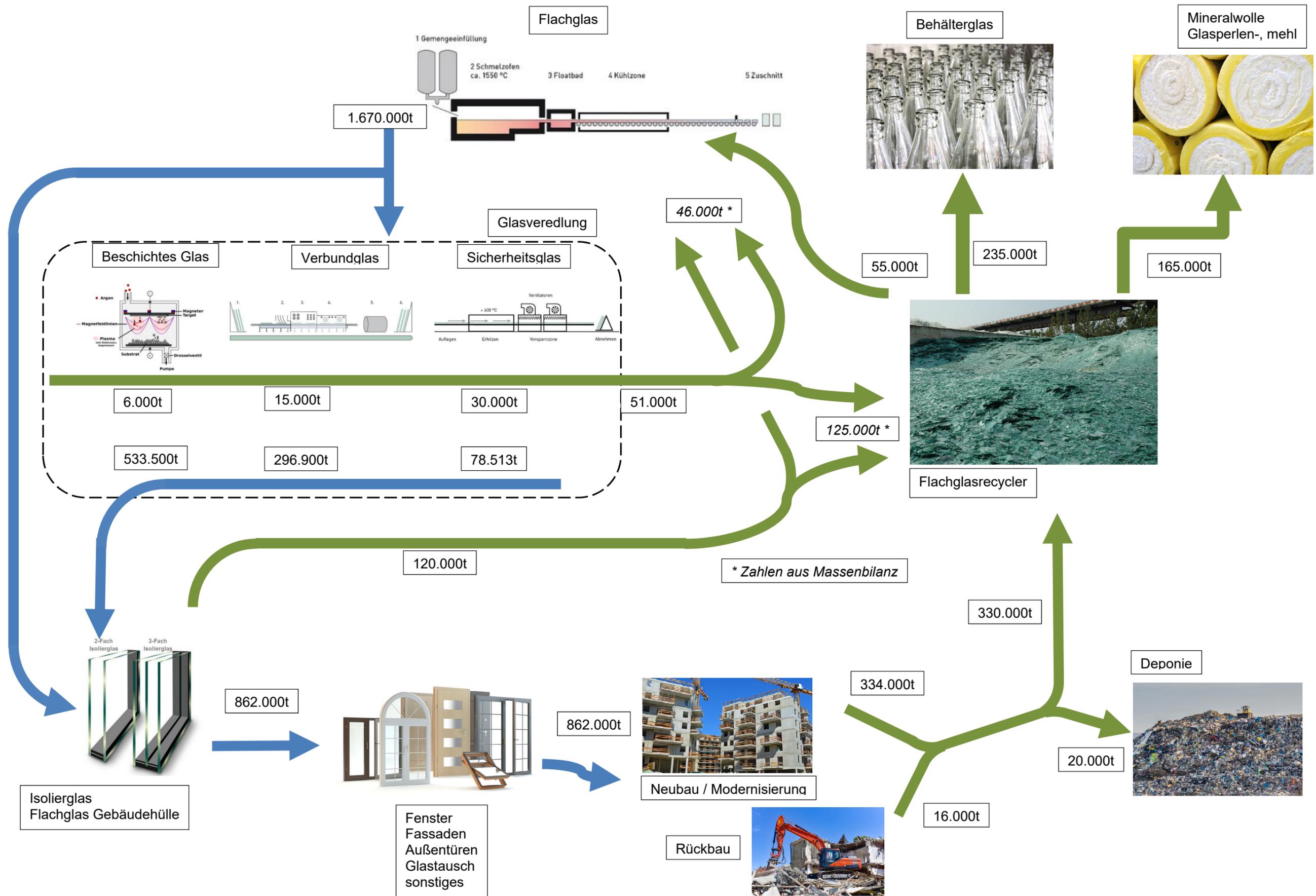


Abbildung 13 Quantitatives Stoffstrommodell





## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Projekt sollte ein quantitatives Stoffstrommodell für Flachglas in der Außenanwendung von Gebäuden erarbeitet werden. Hauptschwerpunkt hierbei lag auf der Ermittlung der Mengenströme an Glasabfällen, sowohl im post-consumer als auch im pre-consumer Bereich.

Zunächst wurde ein qualitatives Stoffstrommodell für Floatglas erarbeitet. Es stellt die Stoffströme von der Erzeugung in der Floatglashütte über die Veredelung zu Halbzeugen, die Fertigung von Mehrscheiben-Isoliergläsern und die Anwendung in Fenstern und Fassaden bis zum Recycling zu neuem Floatglas oder anderen Verwendungen wie z. B. bei der Behälterglasherstellung dar. Dieses Modell zeigt die an dem Stoffstrom beteiligten Stakeholder, z. B. Floatglashütten, Fenster-/Fassadenbauer und Recyclingbetriebe.

Über Umfragen bei den Stakeholdern, die in Form von Fragebögen sowie Gesprächen mit Experten aus der Industrie durchgeführt wurden, wurden Daten zu den Stoffumsätzen in Deutschland im Jahr 2016 und Informationen zur jeweiligen Situation hinsichtlich des Recyclings von Flachglas gesammelt.

Parallel dazu wurde versucht, die in Deutschland im Jahr 2016 in pre- und post-consumer Bereichen anfallenden Flachglasabfallmengen rechnerisch abzuschätzen. Eingangsgrößen für die Berechnungen waren:

- Statistische Daten des Bundesverband Flachglas e. V. (BF) zu Produktion und Absatz von Flachglas sowie zu den Anwendungen von Mehrscheiben-Isoliergläsern in Fenstern, Fassaden, Außentüren etc.
- Angaben des Verbandes Fenster+Fassade (VFF) zur Anzahl der in Deutschland auf den Markt gebrachten Fenstereinheiten sowie deren Verteilung auf Neubau und Modernisierung.
- Daten des Statistischen Bundesamtes (Destatis) zum Rückbau von Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Während von der Gruppe der Flachglasrecycler umfangreiche quantitative und auch qualitative Informationen zur Verfügung gestellt wurden, waren nur wenige Unternehmen aus den weiteren Stakeholdergruppen Floatglashütten, Glasveredler, Isolierglashersteller und der Fenster-/Fassadenbranche bereit und in der Lage, Zahlen zur Verfügung zu stellen.

Die wesentlichen Punkte sowie Schlussfolgerungen dieses Projektes werden insbesondere in Bezug auf die im post-consumer und pre-consumer Bereich entstehenden Glasabfälle wie folgt zusammengefasst.

- Im Jahr 2016 wurden insgesamt ca. 900.000 Tonnen an Flachglas in der Gebäudehülle installiert. Es ist davon auszugehen, dass die Menge in den kommenden Jahren noch steigen könnte. Dies begründet sich aus dem generell ungebrochenen

Trend zum transparenten Bauen sowie durch den weiteren Anstieg in der Verwendung von 3-fach-Glas. Entgegenwirken könnte diesem Anstieg eine generelle Reduzierung der Bauaktivitäten, sowohl im Neubau als auch im Bereich der Gebäudemodernisierung. Aufgrund der aktuellen Lage (Mangel an Wohnraum, notwendige energetische Gebäudemodernisierung zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Ziele) ist dies jedoch nicht sehr wahrscheinlich.

- Insgesamt fielen in 2016 ca. 500.000 Tonnen Abfälle von Flachglas an. Dem pre-consumer Bereich sind hierbei etwas mehr als 1/3, dem post-consumer nahezu 2/3 zuzuordnen.
- Von den von den Flachglasrecyclern erzeugten Rezyklaten wurden nur ca. 11 % wieder der Flachglasherstellung zugeführt. Fast die Hälfte der Scherben wurde in der Behälterglasherstellung eingesetzt. Der Rest von ca. 30 % ging in andere Bereiche, wie die Herstellung von Mineralwolle, Glasperlen und Glasmehl.
- Ursachen für den geringen Anteil an Fremdscherben in der Floatherstellung sind im Wesentlichen wirtschaftlicher Natur sowie die im Vergleich zu anderen Verwendungszwecken höheren qualitativen Anforderungen der Floatanlagen an die Fremdscherben.
- Die Transportkosten der Scherben zum Recycler und vom Recycler zur Floathütte betragen bis zu einem Drittel der Gesamtkosten des Rezyklates.
- Die im pre-consumer Bereich anfallenden Scherben bei der Flachglasveredlung sowie der Isolierglasherstellung werden aktuell zum größten Teil an Flachglasrecycler geliefert. Prinzipiell würde hier die Möglichkeit bestehen, den Großteil dieser pre-consumer Scherben wieder direkt in der Floatherstellung einzusetzen, da hier eine sortenreine Sammlung am einfachsten umzusetzen wäre. Ebenso könnte der Transport der Scherben mit den Transportmöglichkeiten erfolgen, mit denen das Floatglas bzw. die Halbzeuge zu den Verarbeitern geliefert werden. Einige Flachglasveredler und Isolierglashersteller haben bestätigt, dass dieser Weg beschritten wird. In der Mehrzahl der Fälle gehen die Scherben jedoch zunächst an einen Flachglasrecycler, um dort eine den hohen Qualitätsanforderungen der Floathütten entsprechende Aufbereitung vorzunehmen.
- Die Trennung von Glas und Rahmen stellt bei den befragten Fensterbauern bzw. Austauschbetrieben einen großen Aufwand dar und erfolgt i. d. R. manuell durch Ausglasen oder Ausschlagen des Flachglases aus dem Rahmen. Dies ist auch dadurch bedingt, dass Recyclingbetriebe für Fensterrahmen aus PVC oder Aluminium mehrheitlich nur Fenster ohne nennenswerten Glasanteil annehmen. Die Annahme von kompletten Fenstern inkl. Glas wäre hier erstrebenswert. Hierbei ist aber zu beachten, dass das Glas einen hohen Anteil des Gesamtgewichts des Fensters annehmen kann. Bei einer angenommenen längenbezogenen Masse des Rahmenprofils von 3 kg liegt der Anteil des Glases für ein 2-fach-Glas mit insgesamt 10 mm Glasdicke (z. B. 2 x 5 mm) bei ca. 2/3 der Gesamtmasse des Fensters (Abmessung 1,23 m x 1,48 m). Lange Transportwege wären deswegen nicht förderlich.
- Von den in Deutschland anfallenden Flachglasscherben werden nach den im Rahmen des Vorhabens ermittelten Daten bereits fast 90 % einem Recycling zugeführt. Dies gilt insbesondere für Scherben aus dem pre-consumer Bereich. Der größte Teil



der aufbereiteten Scherben geht in die Behälterglasindustrie und die Dämmstoffindustrie. Nur etwas mehr als ein Zehntel der aufbereiteten Scherben wird wieder für die Herstellung von Flachglas verwendet, bildet also einen „closed-loop“. Die Verteilung der aufbereiteten Scherben auf die drei Hauptabnehmer, und damit auch die closed-loop Recyclingquote, scheint das Resultat eines komplexen Zusammenwirkens von hohen Qualitätsanforderungen seitens der Floatglashütten, den Marktpreisen, die die Hauptabnehmer der aufbereiteten Scherben zu zahlen bereit sind, sowie den anfallenden Transportkosten zu sein.

- Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens war es nicht möglich aus den ermittelten Daten sowie Gesprächen mit verschiedenen Stakeholdern Stellgrößen bzw. Mechanismen zu identifizieren, durch welche die closed-loop Recyclingquote auf einfache Weise erhöht werden könnte. Floatglashütten werden ihre Qualitätsanforderungen an Fremdscherben aller Wahrscheinlichkeit nach nicht reduzieren können, da die Auswirkungen von Verunreinigungen in der Schmelze für sie sehr kostspielig sind. Solange Behälterglashütten einen hohen Bedarf an Scherbenmaterial haben, werden sie auch Flachglasscherben einkaufen wollen. Und solange die Behälterglashütten einen Scherbenpreis zahlen, der nur unwesentlich unter dem Preis liegt, den die Floatglashütten bereit sind zu zahlen, werden Flachglasrecycler Scherben an die Behälterglasindustrie liefern, zumal die Qualitätsanforderungen der Behälterglasindustrie an Scherben niedriger sind als die der Flachglasindustrie, die Aufbereitung der Scherben also vereinfacht ist.





## 7 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert. (Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-16.07). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Besonderer Dank gebührt dem Bundesverband Flachglas e. V. sowie seinen Mitgliedern, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützten.



Bundesverband Flachglas e. V.

Außerdem möchten wir uns bei dem Bundesverband für Sekundärrohstoffe und Entsorgung (bvse) und der Fa. Reiling GmbH & Co. KG für deren ideelle Unterstützung dieses Forschungsvorhabens und die Bereitstellung vieler Informationen zu dem Thema bedanken. Besonders erwähnt werden sollen hierbei die Herren Heitmann und Hohage der Fa. Reiling.

Unser Dank gilt auch allen Teilnehmern an den Umfragen, die uns durch Ausfüllen der Fragebögen sowie nachfolgende Telefongespräche weiter geholfen haben.





## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014  
Kreislaufwirtschaft Bau, Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V.  
Berlin 2017
- [2] Recycling of end-of-life building glass  
Glass for Europe, June 2013
- [3] Glas - Ein Werkstoff mit vielen Talenten  
Bundesverband Glasindustrie e. V., August 2016
- [4] [www.bvglas.de](http://www.bvglas.de) / Umwelt&Energie / Glasrecycling  
Bundesverband Glasindustrie e. V., August 2016
- [5] Ecodesign Preparatory Study on Window Products  
VHK, Niederlande; ift Rosenheim; VITO, Belgien  
Juni 2015
- [6] Flachglasmarkt Deutschland: Produktion/Import/Export/Absatz 2013-2016, Prognose 2017  
B+L Marktdaten GmbH für den Bundesverband Flachglas, April 2017
- [7] Economic study on recycling of building glass in Europe  
Deloitte Sustainability für "Glass for Europe", April 2016
- [8] <https://www.agc-flattoflat.eu/partners/vlakglas-recycling-nederland-vm/>
- [9] DeBrincat, G.; Babic, E.  
Re-thinking the Life-cycle of Architectural Glass  
Glass Performance Days 2019, Tampere, Finland
- [10] Hartwell, Rebeca; Overend, Mauro  
Unlocking the Re-use Potential of Glass Facade Systems  
Glass Performance Days 2019, Tampere, Finland
- [11] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates  
vom 19. November 2008  
über Abfälle
- [12] Richtlinie 1999/31/EG des Rates  
vom 26. April 1999  
über Abfalldeponien
- [13] Verordnung (EU) Nr. 1179/2012 der Kommission  
vom 10. Dezember 2012  
mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Bruchglas gemäß der Richtlinie  
2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen  
sind
- [14] End-of-Waste Criteria for Glass Cullet: Technical Proposals  
JRC Scientific and Technical Reports  
European Union 2011
- [15] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung  
der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen  
(Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), Stand: 04. April 2016
- [16] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV)  
vom 27.04.2009
- [17] Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimm-  
ten Bau- und Abbruchabfällen  
(Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV) vom 18. April 2017  
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil 1 Nr. 22, ausgegeben zu Bonn am 21. April 2017
- [18] Martens, Hans; Goldmann, Daniel (2016): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis.  
2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Vieweg.
- [19] BV Glas Jahresbericht 2017  
Bundesverband Glasindustrie e. V., Düsseldorf, 2018

- [20] BV Glas (2018b): Produktion von Glas und Glaswaren nach Branchensektoren: 2016 und 2017.  
Online verfügbar unter [https://www.bvglas.de/media/Facts\\_and\\_figures\\_Jahresberichte/Produktion\\_von\\_Glas.pdf](https://www.bvglas.de/media/Facts_and_figures_Jahresberichte/Produktion_von_Glas.pdf), zuletzt geprüft am 22.10.2018.
- [21] Bundesverband Flachglas e. V. (2018): Flachglas.  
Online verfügbar unter <https://www.bundesverband-flachglas.de/flachglas/>, zuletzt geprüft am 23.10.2018.
- [22] Krauß, Oliver Dr.; Werner, Thomas (2014): VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 8. Potenziale eines hochwertigen Recyclings im Baubereich, Juni 2014.  
Online verfügbar unter [http://www.ressourcendeutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/Kurzanalyse\\_Nr\\_8\\_Hochwertiges\\_Recycling\\_im\\_Baubereich.pdf](http://www.ressourcendeutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/Kurzanalyse_Nr_8_Hochwertiges_Recycling_im_Baubereich.pdf), zuletzt geprüft am 26.04.2017.
- [23] Glaswelt (2018): Das Floatverfahren revolutioniert die Flachglasherstellung. Glaswelt-Newsletter: 2C-2018: Gentner Verlag. Online verfügbar unter <https://www.glaswelt.de/Archiv/Newsletter-Archiv/article-796240-112170/das-floatverfahren-revolutioniert-die-flachglasherstellung-.html>, zuletzt geprüft am 13.12.2018.
- [24] glaströsch (2018): Herstellung von Floatglas.  
Online verfügbar unter <https://www.glastroesch.ch/services/glaswissen/herstellung-und-physikalische-begriffe/herstellung-von-floatglas.html>, zuletzt geprüft am 13.12.2018.
- [25] BV Glas (2016): Glas. Ein Werkstoff mit vielen Talenten: Bundesverband Glasindustrie e. V., August 2016.
- [26] BauNetz Media GmbH (2018): Floatglas | Glas | Basisgläser | Baunetz\_Wissen.  
Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/basisglaeser/floatglas-159089>, zuletzt geprüft am 04.12.2018.
- [27] CMV Systems 2018 (S. 11, Mitte)
- [28] <http://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/448057>
- [29] FLACHGLAS Wernberg (2018): Allgemeine Verkaufs- und Lieferbedingungen.  
Online verfügbar unter <https://www.flachglas.de/agb/>, zuletzt geprüft am 05.12.2018.
- [30] BauNetz (2018): Spontanbruch von ESG durch Nickelsulfid-Einschluss | Glas | Schäden | Baunetz\_Wissen: BauNetz Media GmbH. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/schaeden/spontanbruch-von-esg-durch-nickelsulfid-einschluss-159350>, zuletzt geprüft am 14.12.2018.
- [31] GFF (2011): Nickelsulfid-Einschluss: Verunreinigung mit Folgen. Glas Fenster Fassade: GFF - Das Praxismagazin für Produktion und Montage, 25.11.2011.  
Online verfügbar unter <https://www.gff-magazin.de/nickelsulfid-einschluss-verunreinigung-mit-folgen/150/4617/110652>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.
- [32] glaströsch (2011): Spontanbruch bei ESG. Merkblatt 12, März 2011.
- [33] BV Glas, BDE, bvse (2014): Leitlinie "Qualitätsanforderungen an Glasscherben zum Einsatz in der Behälterglasindustrie". Standardblatt T 120; Version: 14. August 2014: Bundesverband Glasindustrie e. V.; BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V.; bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.
- [34] Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin; Reichenbach, Jan (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden; INTECUS GmbH – Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management, Dresden, 2014. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/279788200\\_Sensitivitätsstudie\\_zum\\_Kreislaufwirtschaftspotenzial\\_im\\_Hochbau](https://www.researchgate.net/publication/279788200_Sensitivitätsstudie_zum_Kreislaufwirtschaftspotenzial_im_Hochbau), zuletzt geprüft am 29.05.2017.

- [35] Dornack und Wunsch, 2016, S. 15 oben
- [36] AltfahrzeugV (1997): Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV). Zuletzt geändert durch Art. 3 V v. 2.12.2016 I 2770: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz.
- [37] Umweltbundesamt (2018): Glas und Altglas.  
Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/glas-altglas#textpart-6>, zuletzt geprüft am 05.12.2018.
- [38] ForCycle (2017): Projektverbund ForCycle - Rohstoffwende Bayern.  
Online verfügbar unter [https://www.stmuv.bayern.de/themen/ressourcenschutz/forschung\\_entwicklung/doc/abschlussberichte/forcycle\\_projektbroschuere\\_2017.pdf](https://www.stmuv.bayern.de/themen/ressourcenschutz/forschung_entwicklung/doc/abschlussberichte/forcycle_projektbroschuere_2017.pdf)[https://www.stmuv.bayern.de/themen/ressourcenschutz/forschung\\_entwicklung/doc/abschlussberichte/forcycle\\_projektbroschuere\\_2017.pdf](https://www.stmuv.bayern.de/themen/ressourcenschutz/forschung_entwicklung/doc/abschlussberichte/forcycle_projektbroschuere_2017.pdf), zuletzt geprüft am 11.10.2018.
- [39] Gerdes, Thorsten; Kyrgyzbaev, Kanat; Willert-Porada, Monika (2016): In-Situ Reinigung von Recycling-Glas im Schmelzprozess, zuletzt geprüft am 26.04.2017.
- [40] Swain, Basudev; Ryang Park, Jae; Yoon Shin, Dong; Park, Kyung-Soo; Hwan Hong, Myung; Gi Lee, Chan (2015): Recycling of waste automotive laminated glass and valorization of polyvinyl butyral through mechanochemical separation (142).  
In: Environmental research, S. 615–623, zuletzt geprüft am 03.05.2017.
- [41] Pramer, Jürgen; Huber, Reinhold (2014): Neue Methoden zur Effizienzsteigerung von optischen Sortiergeräten am Beispiel der Glas-sortierung. Effizienzsteigerung von optischen Sortiergeräten: TK Verlag - Fachverlag für Kreislaufwirtschaft (Recycling und Rohstoffe, 7), Juni 2014, zuletzt geprüft am 06.06.2017.
- [42] Taguchi, Shuji; Ootaki, Shiro; Kudo, Toru (2004): Patent US6835680B2 - Ceramic color composition and ceramic color paste, 08.03.2004, zuletzt geprüft am 27.06.2017.
- [43] Kernbaum; Sebastian; Hübner, Tammo (2013): Recycling von Photovoltaikmodulen, zuletzt geprüft am 26.04.2017.
- [44] <https://www.bvse.de/recycling/recycling-nachrichten/3551-innovative-anlage-zum-photovoltaik-recycling-geht-in-betrieb.html>
- [45] Marwede, Max; Berger, Wolfgang; Schlummer, Martin; Mäurer, Andreas; Reller, Armin (2013): Recycling paths for thin-film chalcogenide photovoltaic waste – Current feasible processes (55).  
In: Renewable Energy, S. 220–229, zuletzt geprüft am 03.05.2017.
- [46] <https://www.suez-deutschland.de/leistungen/verwertungstechnologien/photovoltaikrecycling/>
- [47] Layman's Report (2017): Demonstration of an innovative fine crushing method for glass and alternative cullet in flat glass production.  
LIFE PROJECT: FLAT TO FLAT (LIFE12ENV/BE/000214), zuletzt geprüft am 18.12.2018.
- [48] BauNetz Media GmbH (2017): Recycling von Glas | Fenster und Türen | Bauschäden/Sanierung |  
Baunetz\_Wissen, 26.04.2017. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fenster-und-tueren/fachwissen/bauschaeden-sanierung/recycling-von-glas-155383>, zuletzt geprüft am 26.04.2017.
- [49] Saint-Gobin Glass (2018): Our Environmental Commitments. Step 2: Improve our environmental impacts, waste and cullet, 31.07.2018.  
Online verfügbar unter <http://exprover.saint-gobain-glass.com/environment/waste-cullet.htm>, zuletzt geprüft am 04.12.2018.

- [50] Hestin, Mathieu; Veron, Sarah de; Burgos, Stephanie (2016):  
Economic study on recycling of building glass in Europe, April 2016.
- [51] Bedrohlicher Preisdruck für Scherbenaufbereiter  
Pressemitteilung des Bundesverbandes für Sekundärrohstoffe und Entsorgung bvse  
vom 10. April 2017
- [52] Umwelt – Abfallentsorgung  
Fachserie 19 Reihe 1, Erschienen am 27.6.2018, Artikelnummer 2190100167004  
Statistischen Bundesamt (DESTATIS)
- [53] Flachglasmarkt Deutschland  
Produktion/Import/Export/Absatz 2013-2016 – Prognose 2017  
für den Bundesverband Flachglas; B+L Markdaten GmbH, April 2017  
zu beziehen über den Bundesverband Flachglas e. V., Troisdorf
- [54] Studie für den Fenstermarkt 2019  
für Verband Fenster + Fassade, Pro-K Industrieverband Halbzeuge und Konsumprodukte  
aus Kunststoff e. V., Fachverband Schloss- u. Beschlagindustrie e. V., Bundesverband  
Flachglas e. V.  
April 2019, Heinze GmbH, Celle



## Anhang A: Umfrage an Flachglasrecycler

### Umfrage an Flachglasrecyclingbetriebe zum Thema „Recycling von Flachglas im Bauwesen“

Für etwaige Rückfragen unsererseits bitten wir Sie um die Angabe einer Kontaktperson:

Firma	<input type="text"/>
Kontaktperson	<input type="text"/>
Email	<input type="text"/>
Telefon	<input type="text"/>

In der Umfrage verwendete Begriffe:

<b>FGS</b>	Flachglasscherben
<b>Pre-consumer</b>	bezieht sich auf FGS, die in einem der Verarbeitungs-/Herstellungsprozesse zum Endprodukt anfallen, z. B. während der Flachglasveredelung (Beschichtung, Vorspannung, Verbund)
<b>Post-consumer</b>	bezieht sich auf FGS, die nach normaler Nutzung durch den Endverbraucher anfallen, z. B. bei der Modernisierung oder dem Abriss eines Gebäudes
<b>Sammelinfrastruktur, -stellen, -betriebe</b>	jegliche Organisation (privatwirtschaftlich oder öffentlich), deren Ziel es ist FGS getrennt von anderen Abfällen zu sammeln und einem Recycling zu zuführen

Die Angaben sollten aus einem möglichst aktuellen Geschäftsjahr stammen, idealerweise 2016. Mengenangaben sollten in t/a erfolgen.

1. Für welche/s Geschäftsjahr/e gelten Ihre Daten?

2016	<input type="checkbox"/>
2015	<input type="checkbox"/>
2014	<input type="checkbox"/>
Anderer Zeitraum	<input type="text"/>

2. Worauf beruhen Ihre Angaben überwiegend?

Konkreten Unternehmensdaten	<input type="checkbox"/>
Hochrechnungen	<input type="checkbox"/>
Schätzungen/Erfahrungswerten	<input type="checkbox"/>
Kommentar	<input type="text"/>

### Sammlung von Flachglasscherben: Woher? Wieviel?

3. Wie viele t FGS sind bei Ihnen in dem genannten Jahr insgesamt zur Aufbereitung eingegangen? (Glass inkl. Verunreinigungen wie Abstandhalter, Folie, etc.)

[ \_\_\_\_\_ ] t/a

4. Woher haben Sie die FGS bezogen, nach Branche? Welche Mengen?

Pre-consumer Bereich

- Flachglasveredler (Beschichtung, Vorspannung, Verbund) [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Isolierglashersteller [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Fenster-/Fassadenbauer [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Automobil [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Sonstige (bitte nennen) [ \_\_\_\_\_ ] t/a

Post-consumer - Bereich Gebäudehülle

- Fachhandel/Installation, Fenster-/Fassadenbauer (Modernisierung von Gebäuden) [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Abrissunternehmen [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Sammelstellen/-betriebe (bitte nennen) [ \_\_\_\_\_ ] t/a

Post-consumer – andere Bereiche (nicht Gebäudehülle)

- Automobil [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Sonstige wie Spiegel, Möbel etc. (bitte nennen) [ \_\_\_\_\_ ] t/a

5. In welcher Form erhalten Sie die FGS aus Modernisierung und Abriss von Gebäuden? Welche Mengen?

- ganze Fenster inkl. Glas [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- aus dem Rahmen ausgelöste Isoliergläser [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- Scherben [ \_\_\_\_\_ ] t/a

6. Woher haben Sie die FGS aus Gebäudehüllen bezogen, geographisch?

- Umkreis von bis zu 100 km [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- 100 km bis 300 km [ \_\_\_\_\_ ] t/a
- > 300 km [ \_\_\_\_\_ ] t/a

7. Gibt es Sammelinfrastrukturen für FGS?

Pre-consumer Bereich

- Glasveredler (Beschichtung, Vorspannung, Verbund) [Ja / Nein]
- Isolierglashersteller [Ja / Nein]
- Fenster-/Fassadenbauer [Ja / Nein]



- Automobil [Ja / Nein]
- Sonstige (bitte nennen) [\_\_\_\_\_]

Post-consumer - Bereich **Gebäudehülle**

- Fachhandel/Installation, Fenster-/Fassadenbauer [Ja / Nein]  
(Modernisierung von Gebäuden)
- Abrissunternehmen [Ja / Nein]
- Sammelstellen/-betriebe (bitte nennen) [\_\_\_\_\_]

Post-consumer - andere Bereiche (nicht Gebäudehülle)

- Automobil [Ja / Nein]
- Sonstige wie Spiegel, Möbel etc. (bitte nennen) [\_\_\_\_\_]

### Aufbereitung und Verwendung

8. Welche **Qualitäten von Rezyklat** werden erzeugt? Welche Mengen?

- Qualität für Flachglas [\_\_\_\_\_ t/a]
- Qualität für Behälterglas [\_\_\_\_\_ t/a]
- Sonstige Qualitäten wie z. B. für Glasfasern (bitte nennen) [\_\_\_\_\_ t/a]

9. Welchen **Verwendungen** wird das Rezyklat (die verschiedenen Rezyklat-qualitäten)

zugeführt? Welche Mengen?

- Flachglas [\_\_\_\_\_ t/a]
- Behälterglas [\_\_\_\_\_ t/a]
- Sonstige wie Glasfasern, etc. (bitte nennen) [\_\_\_\_\_ t/a]

10. Wohin wird das **Rezyklat für die Flachglasherstellung** geographisch geliefert?

- Umkreis von bis zu 100 km [\_\_\_\_\_ t/a]
- 100 km bis 300 km [\_\_\_\_\_ t/a]
- > 300 km [\_\_\_\_\_ t/a]

11. Wie hoch ist der Anteil der Transportkosten an den Gesamtkosten des Rezyklats für die erneute Flachglasherstellung?

- Transport der FGS zum Recycler [\_\_\_\_\_]
- Transport des Rezyklats vom Recycler zur Flachglashütte [\_\_\_\_\_]

## Zukunftsprognosen

12. Erwarten Sie wesentliche Veränderungen/Entwicklungen auf den folgenden Gebieten?

- Sammlung von FGS – Verbesserung der Sammelinfrastruktur [Ja / Nein]  
[wenn Ja, bitte nennen: \_\_\_\_\_]
- Recyclingtechnologien [Ja / Nein]  
[wenn Ja, bitte nennen: \_\_\_\_\_]
- Verwendung der Rezyklate [Ja / Nein]  
[wenn Ja, bitte nennen: \_\_\_\_\_]
- Mengenumsätze (z. B. durch Trend zum 3-fach-Isolierglas) [Ja / Nein]  
[wenn Ja, bitte nennen: \_\_\_\_\_]
  - Falls eine Änderung der FGS-Mengen eintritt, wie schnell könnten Recyclingkapazitäten angepasst (erhöht/erniedrigt) werden?  
..[\_\_\_\_\_]

13. Halten Sie eine Erhöhung der closed-loop (Flachglas zu Flachglas) Recyclingquote für **post-consumer FGS aus der Gebäudehülle** (Modernisierung und Abriss) für

- möglich? [Ja / Nein]  
[Begründung/Kommentar \_\_\_\_\_]
- sinnvoll? [Ja / Nein]  
[Begründung/Kommentar \_\_\_\_\_]

14. Durch welche Maßnahmen/Entwicklungen (technisch, wirtschaftlich, politisch) könnte die closed-loop Recyclingquote für **post-consumer FGS aus der Gebäudehülle** ansteigen?

[\_\_\_\_\_]

15. Sonstige Anmerkungen / Hinweise

[\_\_\_\_\_]



## Anhang B: Umfrage an Floatglashütten

### Umfrage an Floatglashütten zum Thema „Recycling von Flachglas im Bauwesen“

Für etwaige Rückfragen unsererseits bitten wir Sie um die Angabe einer Kontaktperson:

Firma

Kontaktperson

Email

Telefon

In der Umfrage verwendete Begriffe:

**Eigenscherben** Bortenverluste der Floatglasanlage und Scherben, die aus einer der Floatglasanlage unmittelbar angeschlossenen Zuschnittanlage oder Glasveredelung stammen, und die geeignet sind, sie wieder im Floatglasprozess einzusetzen

**Fremdscherben** Scherben, die von außen bezogen werden und die eine ausreichende Qualität/Reinheit besitzen, um sie im Floatglasprozess einzusetzen

**Pre-consumer Fremdscherben** Fremdscherben, die aus dem pre-consumer Bereich stammen: Glasveredelung (Beschichtung, Vorspannung, Verbund), Isolierglashersteller

**Post-consumer Fremdscherben** Fremdscherben, die aus dem post-consumer Bereich stammen, z. B. Scherben, aus Gebäudehüllen (Fenster/Fassaden) oder dem Automobilbereich. Werden wahrscheinlich i. d. R. über Recyclingunternehmen bezogen.

**Sammelinfrastruktur, -stelle, -betrieb** Organisation/Unternehmen (privatwirtschaftlich oder öffentlich), deren Ziel es ist, zu entsorgendes Flachglas getrennt von anderen Abfällen zu sammeln und einem Recycling zu zuführen

**closed-loop Recycling** Recycling von Flachglasscherben zu neuem Flachglas

1. Für welche/s Geschäftsjahr/e gelten Ihre Daten? (Wenn möglich, bitte 2016)

2017

2016

2015

Anderer Zeitraum

2. Worauf beruhen Ihre Angaben überwiegend?

Konkreten Unternehmensdaten	<input type="checkbox"/>
Hochrechnungen	<input type="checkbox"/>
Schätzungen/Erfahrungswerten	<input type="checkbox"/>
Kommentar:	
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	

3 Wie viele Tonnen Flachglas haben Sie in dem genannten Jahr produziert?  t/a

4 Wie viele Tonnen Scherben haben Sie dabei eingesetzt?

Eigenscherben	<input type="text"/> t/a
Fremdscherben	<input type="text"/> t/a
Davon:	
Pre-consumer Fremdscherben	<input type="text"/> t/a
Post-consumer Fremdscherben	<input type="text"/> t/a

5 Woher stammten die Fremdscherben?

pre-consumer Fremdscherben

Glasveredler	<input type="text"/> t/a
Isolierglashersteller	<input type="text"/> t/a
Recyclingbetrieb	<input type="text"/> t/a
Sonstige (bitte nennen)	
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a

post-consumer Fremdscherben

Recyclingbetrieb	<input type="text"/> t/a
Sonstige (bitte nennen)	
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a
<input type="text"/>	<input type="text"/> t/a

6 Hätten Sie gerne mehr Fremdscherben eingesetzt?  [Ja / Nein]

Wenn Ja,

    Wieviel mehr Fremdscherben?  t/a

Warum haben Sie diese Fremdscherben nicht eingesetzt?

Nicht verfügbar auf dem Markt	<input type="checkbox"/>
Preis zu hoch	<input type="checkbox"/>
Sonstiges (bitte nennen)	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	



7 Aus welcher Entfernung sind die von Ihnen bezogenen Fremdscherben angeliefert worden?

Umkreis von bis zu 100 km

[ \_\_\_\_\_ ] t/a

100 km bis 300 km

[ \_\_\_\_\_ ] t/a

> 300 km

[ \_\_\_\_\_ ] t/a

8 Welche Umstände (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) stehen aus Ihrer Sicht gegenwärtig einem vermehrten closed-loop Recycling von Flachglas entgegen?

[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]

9 Durch welche Maßnahmen (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) könnte aus Ihrer Sicht das closed-loop Recycling von Flachglas gefördert werden?

[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]

10 Sonstige Anmerkungen / Hinweise

[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]  
[ \_\_\_\_\_ ]





## Anhang C: Umfrage an Flachglasveredler

### Umfrage an Betriebe der Flachglasveredelung (Beschichtung, Vorspannung, Verbund) zum Thema „Recycling von Flachglas im Bauwesen“

Für etwaige Rückfragen unsererseits bitten wir Sie um die Angabe einer Kontaktperson:

Firma	<input type="text"/>
Kontaktperson	<input type="text"/>
Email	<input type="text"/>
Telefon	<input type="text"/>

**Bitte beachten Sie:  
Alle Fragen beziehen sich auf**

### **Flachglas für Bauanwendungen – Gebäudehülle** (keine Innenanwendungen, keine Automobilanwendungen)

In der Umfrage verwendete Begriffe:

<b>FGS</b>	Flachglasscherben
<b>Sammelinfrastruktur, -stelle, -betrieb</b>	Organisation/Unternehmen (privatwirtschaftlich oder öffentlich), deren Ziel es ist, zu entsorgendes Flachglas getrennt von anderen Abfällen zu sammeln und einem Recycling zu zuführen
<b>closed-loop Recycling</b>	Recycling von Flachglasscherben zu neuem Flachglas

1. Die folgenden Angaben gelten für:

Beschichtung	<input type="checkbox"/>
Vorspannung	<input type="checkbox"/>
Verbund	<input type="checkbox"/>

Wenn Sie in mehr als einem dieser Bereiche produzieren, füllen Sie bitte ggf. weitere Fragebögen aus.

2. Für welche/s Geschäftsjahr/e gelten Ihre Daten? (Wenn möglich, bitte 2016)

2017	<input type="checkbox"/>
2016	<input type="checkbox"/>
2015	<input type="checkbox"/>
Anderer Zeitraum	<input type="text"/>

3. Worauf beruhen Ihre Angaben überwiegend?

Konkreten Unternehmensdaten   
 Hochrechnungen   
 Schätzungen/Erfahrungswerten

Kommentar:

[  
 ]

11 Wie viele t FGS (Zuschnittreste, Glasbruch) sind bei Ihnen in dem genannten Jahr angefallen?  t/a

Das entspricht einem Anteil an der Produktion von  %.

12 Haben Sie die FGS nach der Veredelungsstufe/-art getrennt? [Ja / Nein]  
 (Float, beschichtet, vorgespannt, Verbund)

Wenn Ja, bitte angeben:

• Float  t/a  
 [

• Beschichtet  t/a  
 [

• Vorgespannt  t/a  
 [

• Verbund  t/a  
 [

• Sonstige (bitte nennen)   t/a  
 [

13 Was geschah mit den FGS? Lieferung an:

• Floatglashütte  t/a  
 • Behälterglashütte  t/a  
 • Sammelstelle für FGS / Recyclingbetrieb  t/a  
 • Sonstige (bitte nennen)   t/a  
 [  t/a  
 [  t/a  
 [  t/a

14 Wie weit wurden die FGS zu den in Frage 6 genannten Betrieben transportiert?

• Umkreis von bis zu 100 km  t/a  
 • 100 km bis 300 km  t/a  
 • > 300 km  t/a



15 Welche Umstände (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) stehen aus Ihrer Sicht gegenwärtig einem vermehrten closed-loop Recycling von Flachglas entgegen?


16 Durch welche Maßnahmen (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) könnte aus Ihrer Sicht das closed-loop Recycling von Flachglas gefördert werden?


17 Sonstige Anmerkungen / Hinweise






## Anhang D: Umfrage an Isolierglashersteller

### Umfrage an Isolierglashersteller zum Thema „Recycling von Flachglas im Bauwesen“

Für etwaige Rückfragen unsererseits bitten wir Sie um die Angabe einer Kontaktperson:

Firma	<input type="text"/>
Kontaktperson	<input type="text"/>
Email	<input type="text"/>
Telefon	<input type="text"/>

**Bitte beachten Sie:**  
**Alle Fragen beziehen sich auf**  
**Flachglas für Bauanwendungen – Gebäudehülle**  
**(keine Innenanwendungen, keine Automobilanwendungen)**

In der Umfrage verwendete Begriffe:

<b>FGS</b>	Flachglasscherben
<b>Sammelinfrastruktur, -stelle, -betrieb</b>	Organisation/Unternehmen (privatwirtschaftlich oder öffentlich), deren Ziel es ist, zu entsorgendes Flachglas getrennt von anderen Abfällen zu sammeln und einem Recycling zu zuführen
<b>closed-loop Recycling</b>	Recycling von Flachglasscherben zu neuem Flachglas

3. Für welche/s Geschäftsjahr/e gelten Ihre Daten? (Wenn möglich, bitte 2016)

2017	<input type="checkbox"/>
2016	<input type="checkbox"/>
2015	<input type="checkbox"/>
Anderer Zeitraum	<input type="text"/>

4. Worauf beruhen Ihre Angaben überwiegend?

Konkreten Unternehmensdaten	<input type="checkbox"/>
Hochrechnungen	<input type="checkbox"/>
Schätzungen/Erfahrungswerten	<input type="checkbox"/>
Kommentar	<input type="text"/>

3. Wie viele t FGS (Zuschnittreste, Glasbruch) sind bei Ihnen in dem genannten Jahr insgesamt angefallen?  t/a]

Das entspricht einem Anteil an der Produktion von  %].

4 Haben Sie die FGS nach Veredelungsstufe/-art getrennt? [Ja / Nein]  
 (Float, beschichtet, vorgespannt, Verbund)

Wenn Ja, bitte angeben:

• Float [ \_\_\_\_\_ t/a ]  
 [ \_\_\_\_\_ ]

• Beschichtet [ \_\_\_\_\_ t/a ]  
 [ \_\_\_\_\_ ]

• Vorspannt [ \_\_\_\_\_ t/a ]  
 [ \_\_\_\_\_ ]

• Verbund [ \_\_\_\_\_ t/a ]  
 [ \_\_\_\_\_ ]

• Sonstige (bitte nennen)  
 [ \_\_\_\_\_ ] [ \_\_\_\_\_ t/a ]  
 [ \_\_\_\_\_ ] [ \_\_\_\_\_ t/a ]

5 Was geschah mit den FGS? Lieferung an:

• Floatglashütte [ \_\_\_\_\_ t/a ]

• Behälterglashütte [ \_\_\_\_\_ t/a ]

• Sammelstelle für FGS / Recyclingbetrieb [ \_\_\_\_\_ t/a ]

• Sonstige (bitte nennen) [ \_\_\_\_\_ t/a ]

[ \_\_\_\_\_ ] [ \_\_\_\_\_ t/a ]

[ \_\_\_\_\_ ] [ \_\_\_\_\_ t/a ]

6 Wie weit wurden die FGS zu den in Frage 6 genannten Betrieben transportiert?

• Umkreis von bis zu 100 km [ \_\_\_\_\_ t/a ]

• 100 km bis 300 km [ \_\_\_\_\_ t/a ]

• > 300 km [ \_\_\_\_\_ t/a ]

7 Welche Umstände (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) stehen aus Ihrer Sicht gegenwärtig einem vermehrten closed-loop Recycling von Flachglas entgegen?

[ \_\_\_\_\_ ]

[ \_\_\_\_\_ ]

[ \_\_\_\_\_ ]

[ \_\_\_\_\_ ]



8 Durch welche Maßnahmen (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) könnte aus Ihrer Sicht das closed-loop Recycling von Flachglas gefördert werden?


9 Sonstige Anmerkungen / Hinweise






## Anhang E: Umfrage an Fenster- und Fassadenhersteller

### Umfrage an Unternehmen der Fenster-/Fassadenbranche zum Thema „Recycling von Flachglas im Bauwesen“

Für etwaige Rückfragen unsererseits bitten wir Sie um die Angabe von Kontaktdaten. (Die Angabe ist aber selbstverständlich freiwillig.)

Firma

Kontaktperson

Email

Telefon

**Bitte beachten Sie:**  
**Alle Fragen beziehen sich auf**  
**Flachglas für Bauanwendungen – Gebäudehülle**  
**(keine Innenanwendungen, keine Automobilanwendungen)**

1. Bitte geben Sie die Art Ihres Unternehmens an.

Hersteller + Montage   
Händler + Montage   
Anderes

2. Für welche/s Geschäftsjahr/e gelten Ihre Daten? (Wenn möglich, bitte 2016)

2017   
2016   
2015   
Anderer Zeitraum

3. Worauf beruhen Ihre Angaben überwiegend?

Konkreten Unternehmensdaten   
Hochrechnungen   
Schätzungen/Erfahrungswerten   
Kommentar

4 Wieviel Flachglas haben Sie in dem genannten Jahr aus Gebäudehüllen ausgebaut?

Flächenangaben sollen sich auf die sichtbare Glasfläche beziehen!!

Menge an Glas in Tonnen	[ _____ ] t/a
oder	
Fläche in m <sup>2</sup> : Einfachglas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
Fläche in m <sup>2</sup> : 2-fach-Glas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
Fläche in m <sup>2</sup> : 3-fach-Glas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
[ _____ ]	
[ _____ ]	

5 Wieviel von dem ausgebautem Flachglas wurde einem Recycling zugeführt?

Flächenangaben sollen sich auf die sichtbare Glasfläche beziehen!!

Menge an Glas in Tonnen	[ _____ ] t/a
oder	
Fläche in m <sup>2</sup> : Einfachglas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
Fläche in m <sup>2</sup> : 2-fach-Glas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
Fläche in m <sup>2</sup> : 3-fach-Glas	[ _____ ] m <sup>2</sup> /a
[ _____ ]	
[ _____ ]	

6 Wie haben Sie das Flachglas aus Fenstern/Fassadenelementen entsorgt?

Flächenangaben sollen sich auf die sichtbare Glasfläche beziehen!!

Fenster/Fassadenelemente komplett	[ _____ ] m <sup>2</sup> Glas/a	oder	[ _____ ] t Glas/a
Ausgeglaste Scheiben und Rahmen getrennt	[ _____ ] m <sup>2</sup> Glas/a	oder	[ _____ ] t Glas/a
Ausgeschlagene Scheiben	[ _____ ] m <sup>2</sup> Glas/a	oder	[ _____ ] t Glas/a
[ _____ ]			
[ _____ ]			

7 Wie erfolgte das Ausschlagen von Glas aus dem Rahmen?

Manuell	[ _____ ] % der Fenster/Fassadenelemente
Maschinell	[ _____ ] % der Fenster/Fassadenelemente
[ _____ ]	
[ _____ ]	

8 Wie weit wurde das zu entsorgende Flachglas zum Recyclingpartner transportiert?

• Umkreis von bis zu 100 km	[ _____ ] t/a
• 100 km bis 300 km	[ _____ ] t/a
• > 300 km	[ _____ ] t/a
[ _____ ]	
[ _____ ]	



9 Wer war Ihr Recycling-/Entsorgungspartner? Falls möglich bitte Namensangabe.

Glaslieferant	<input type="checkbox"/>
Lokaler Partner	<input type="checkbox"/>
Überregionaler Recycler (wie z. B. Reiling, Remondis, Schirmbek)	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	

10 Welche Umstände (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) stehen aus Ihrer Sicht gegenwärtig einem vermehrten Recycling von Flachglas entgegen?

<input type="text"/>
<input type="text"/>
<input type="text"/>
<input type="text"/>

11 Durch welche Maßnahmen (technisch, wirtschaftlich, infrastrukturell, politisch) könnte aus Ihrer Sicht das Recycling von Flachglas gefördert werden?

<input type="text"/>
<input type="text"/>
<input type="text"/>
<input type="text"/>

12 Sonstige Anmerkungen / Hinweise

<input type="text"/>







ift Rosenheim  
Theodor-Gietl-Straße 7-9  
83026 Rosenheim

Tel.: +49 (0) 80 31 / 261-0  
Fax: +49 (0) 80 31 / 261-290  
E-Mail: [info@ift-rosenheim.de](mailto:info@ift-rosenheim.de)  
[www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de)

© ift Rosenheim 2019