

CustomLCA

Ökobilanz - ökologischer Nutzen der Sammlung und der verschiedenen Verwertungsarten von Verpackungs- glas

**Aktualisierung und Ergänzung des Grundlagenberichtes für Empfehlun-
gen zum Verteilschlüssel der vorgezogenen Entsorgungsgebühr (VEG)**

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Cornelia Rotzetter, Sektion Siedlungsabfall, vertreten durch die VetroSwiss,
Philipp Suter, Bern

Verfasserinnen

Cornelia Stettler, Carbotech AG
Stefanie Conrad, Carbotech AG

Basel, 5. August 2025

—

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertungsmethode, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Der Bericht ist als Ganzes für die Veröffentlichung durch VetroSwiss/BAFU vorgesehen. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Dieser Bericht ist ausschliesslich für den Auftraggeber erstellt worden und wir übernehmen keine Verantwortung gegenüber Dritten, welche Kenntnis erlangen über diesen Bericht oder Teile davon. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Carbotech AG als Verfasserin dieser Studie in keiner Weise an den hier erwähnten Unternehmen beteiligt oder von ihnen abhängig ist und umgekehrt. Damit ist die Voraussetzung für die Durchführung einer neutralen Ökobilanz gegeben. Bei der Ökobilanz wurden alle Inputdaten von der Carbotech entweder selber erhoben oder eingehend auf Plausibilität überprüft. Damit kann die Carbotech gewährleisten, dass die Erstellung dieser Ökobilanz nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt worden ist. Aus Vertraulichkeitsgründen ist der Detaillierungsgrad der verwendeten Betriebsdaten im Anhang A1 eingeschränkt.

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangslage und Auftrag	8
2 Sammel- und Verwertungsarten von Schweizer Altglas	9
3 Methodik	11
3.1 Ziel und Rahmenbedingungen	12
3.1.1 Funktionelle Einheit	12
3.1.2 Systemgrenzen	12
3.1.3 Sensitivitätsanalysen	14
3.2 Sachbilanz	14
3.2.1 Beschreibung Verwertungsarten, Szenarien der Substitution	15
3.2.2 Input Daten	17
3.2.3 Annahmen und Allokationen	20
3.3 Wirkbilanz	20
3.4 Bewertung	21
3.4.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021	21
3.4.2 Environmental Footprint EF 3.1	21
4 Resultate der Ökobilanz	22
4.1 Nutzen der Verwertung Altglas im Glaskreislauf	22
4.1.1 Umweltbilanz der Glasproduktion, Konsummix Schweiz	23
4.1.2 Ökologischer Nutzen Glasrecycling – Scherben für Glasproduktion	24
4.1.3 Ökologischer Nutzen Wiederverwendung – Sammlung Ganzglas	25
4.2 Nutzen der Verwertung Altglas für Baustoffe und Filtermaterialien – Substitutionseffekte	26
4.2.1 Ökologischer Nutzen Scherben für Schaumglasschotter	26
4.2.2 Ökologischer Nutzen Scherben für Filtermaterial AFM	28
4.2.3 Ökologischer Nutzen Scherben für Glaswolle	33
4.2.4 Ökologischer Nutzen Scherben für Sandproduktion	35
4.3 Vergleich der Bilanz der Verwertungsarten	36
4.4 Sensitivitätsanalysen	37
5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	39
6 Grenzen der vorliegenden Studie	40
7 Literatur	41

Anhang

A1 Sachbilanzdaten

A2 Ergebnisse Environmental Footprint EF und Treibhauspotential

A3 Sensitivitätsanalysen Umweltbelastung

Glossar

Altglas	Verpackungsglas (Glasverpackungen für Getränke, Lebensmittel und Kosmetik), das in Gemeindesammlungen, Recyclinghöfen und weiteren Sammlungen (z.B. Einkaufszentren) für eine stoffliche Verwertung gesammelt wird.
Altglasentsorgung	Umfasst ihre Verwertung oder Ablagerung sowie die Vorstufen Sammlung, Beförderung, Zwischenlagerung und Behandlung / Vorbereitung zur Wiederverwendung.
Basisszenario	Glasproduktion aus Primärrohstoffen und Entsorgung über den Kehrichtsack, also ohne separate Sammlung von Altglas. Der ökologische Nutzen der verschiedenen Arten der Altglassammlung (farbgetrennt oder farbgemischt) und -verwertungen wird im Vergleich zum Basisszenario aufgezeigt.
Ganzglassammlung G/R	Sammlung ganzer Weinflaschen aus Glas in Gemeinden und Restaurants für eine Wiederverwendung.
Ganzglassammlung W/B	Sammlung ganzer Weinflaschen aus Glas bei Weinbauern und abfüllenden Betrieben für eine Wiederverwendung.
Glasrecycling/Recycling	Der Begriff Glasrecycling wird in dieser Studie im engeren Sinn für den geschlossenen Kreislauf verwendet, also für die Produktion von Neuglas aus Glasscherben. Die weiteren Verwertungsarten von Scherben, also die Herstellung von ökologischen Produkten, werden als Recycling bezeichnet.
UBP	Umweltbelastungspunkte sind die Einheit, mit welcher die Umweltbelastung mit der Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit angegeben wird. Unterschiedliche Umweltauswirkungen werden bewertet und zu einer Kennzahl zusammengefasst.
VEG	Vorgezogene Entsorgungsgebühr, die auf Getränkeverpackungen aus Glas erhoben wird. Mit dieser werden u. a. die Entsorgungskosten von Altglas finanziert.
Verteilschlüssel	Die VEG-Einnahmen werden nach einem bestimmten Schlüssel ausbezahlt. Die Entschädigungshöhe hängt von der Sammelart (Ganzglas, farbgetrennte oder farbgemischte Altglassammlung) und der Verwertungsart ab. Dabei werden ökologische Kriterien berücksichtigt.
Verwertungsarten	Verfahren, auch Recycling genannt, bei dem die stofflichen Eigenschaften von Abfällen wiederverwendet oder stofflich oder energetisch verwertet werden. Dabei werden bestimmte Abfälle getrennt gesammelt oder nachträglich sortiert, aufbereitet und als Sekundärrohstoffe oder -produkte wieder in den Wirtschaftskreislauf geführt. Die in dieser Studie betrachteten Verwertungsarten sind die Ganzglassammlung von Getränkeflaschen aus Glas und deren Vorbereitung zur Wiederverwendung, die Scherbensammlung und deren Einsatz zur Produktion von Neuglas, Schaumglasschotter, Glaswolle, Filtermaterialien und Sand.
VGv	Verordnung über Getränkeverpackungen vom 5. Juli 2000, SR 814.621).

Zusammenfassung

Seit 2002 bezahlen Hersteller und Importeure auf Getränkeverpackungen aus Glas eine vorgezogene Entsorgungsgebühr (VEG). Diese zielt darauf ab, die Kosten der Altglasentsorgung (Sammlung, Transport etc.) zu entschädigen. Die Entschädigungshöhe pro Tonne gesammeltes Altglas ist abhängig von ökologischen Kriterien. Dabei wird zwischen unterschiedlichen Sammel- (Ganzglas, Scherben farbgetrennt oder farbgemischt) und Verwertungsarten (Wiederverwendung, Produktion Neuglas, Schaumglasschotter, AFM Filtermaterial, Glaswolle und Sandersatz) unterschieden. Um die ökologische Beurteilung der verschiedenen Sammel- und Verwertungsarten vorzunehmen, wird die vorliegende Ökobilanzierung durchgeführt.

Beschreibung der Sammel- und Verwertungsarten und der dabei erzielten Einsparungen

Die nachfolgende Zusammenstellung in Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die mit der Methode der Ökobilanz analysierten, heute relevanten Verwertungsarten von Altglas und die erzielten Veränderungen bzw. Einsparungen im jeweiligen Einsatzgebiet:

Tabelle 1: Beschreibung Verwertungsarten und erzielte Einsparungen gegenüber dem Basisszenario ohne eine separate Sammlung und Verwertung von Altglas

Veränderungen mit dem Einsatz von Scherben oder der Wiederverwendung von Ganzglas

Sammlung	Verwertungsarten	Beschreibung der Veränderungen gegenüber dem Basisszenario
Ganzglas	Wiederverwendung geeigneter Getränkeflaschen	Das Waschen von geeigneten Flaschen für die Wiederverwendung ersetzt deren Neuproduktion. Der anfallende Ausschuss nicht geeigneter Flaschen wird als Scherben für die Produktion von Neuglas weiterverwendet (siehe Beschreibung Produktion Neuglas). Unterschieden wird zwischen der Sammlung von Ganzglas aus Betrieben/Weinbauern (B/W) und aus Gemeinden/Restaurant (G/R).
Sammlung Scherben (farbgetrennt oder gemischt)	Produktion Neuglas, Glasrecycling	Die Produktion von Glas erfolgt mit Scherben statt Primärrohstoffen und reduziert damit den Energie- und Rohstoffbedarf.
	Produktion Schaumglasschotter	Die Produktion von Isolationsmaterial/Baumaterial aus Scherben ermöglicht einen Ersatz von anderen standardmässig eingesetzten Baumaterialien im Bereich der Perimeterdämmung, Leichtschüttungen und Leichtbau.
	Produktion AFM Filtermaterial	Die Herstellung von aktiviertem Filtermaterial (AFM) aus grünen und braunen Scherben verbessert den Filterprozess von Wasser in Schwimmbädern und im Bereich der Wasseraufbereitung, indem Quarzsand als Filtermaterial ersetzt wird. Der Ausschuss an Scherben, der während der Filterproduktion anfällt, wird für andere Verwertungsarten genutzt (Glasrecycling, Schaumglasschotter, etc.).
	Produktion Glaswolle	Die Produktion von Glaswolle aus Scherben ersetzt andere standardmässig eingesetzte Dämmstoffe (Steildächer und Fassaden).
	Produktion Sandersatz	Die Herstellung von Sandersatz aus Scherben mindert den Abbau von Bausand.

Aufgrund der unterschiedlichen Wirkweisen ergibt sich in der weiteren Betrachtung die folgende Unterteilung der Verwertungsarten, abhängig vom Einsatzgebiet:

- Verwertung im geschlossenen Glaskreislauf: Optimierung der Produktion von Verpackungsglas
- Verwertungsarten ausserhalb des Glaskreislaufes: Substitutionseffekte durch den Ersatz standardmässig eingesetzter Baustoffe und Filtermaterialien. Es wird ein gleichwertiger Ersatz im Fall der Baustoffe angenommen. Beim Filtermaterial wird eine verbesserte Filterleistung durch den Ersatz von Quarzsand erzielt.

Ergebnis der Ökobilanz, Nutzen der Verwertungsarten im Vergleich zum Basisszenario

Abbildung 1 zeigt die Bewertung des ökologischen Nutzens der analysierten Verwertungsarten im Vergleich zum Basisszenario. Der hellgrüne Balken zeigt die erzielte Reduktion der Umweltbelastung in der Produktion Verpackungsglas durch die Wiederverwendung von Ganzglas und den Einsatz von Scherben in der Produktion von Neuglas. Effekte ausserhalb des Glaskreislaufes, die durch eine Substitution von Baustoffen oder einer Verbesserung von Filterprozessen erzielt werden, sind in der Bilanz als vermiedene Umweltauswirkung und somit als negative Beiträge ausgewiesen (braune und dunkelrote Balken). Die Summe der Umweltbelastung jeder Verwertungsart ist mit einer Markierung (schwarzes Viereck) dargestellt. Der ökologische Nutzen bzw. die erzielte Reduktion der Umweltbelastung im Vergleich zum Basisszenario ist mit einem Pfeil illustriert. Die Ergebnisse sind angegeben in Umweltbelastungspunkten (UBP) und illustrieren die erzielten Effekte von 1 kg Altglas im und ausserhalb des Glaskreislaufes.

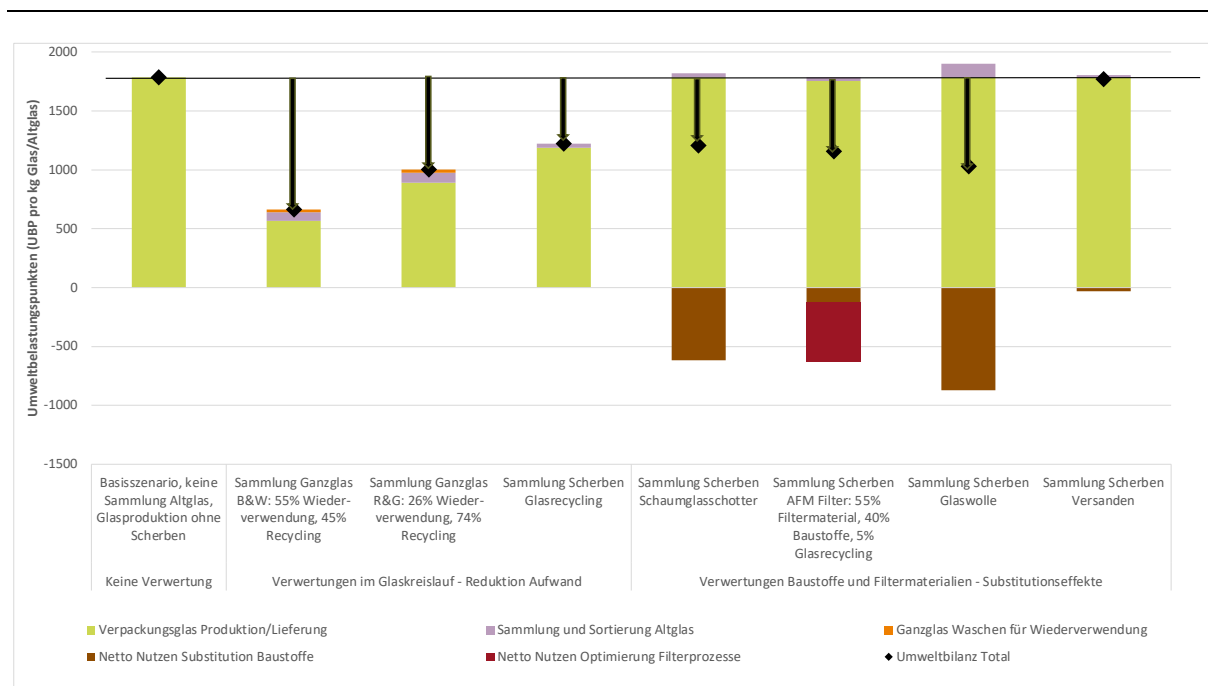


Abbildung 1: Ökologischer Nutzen der analysierten Altglasverwertungsarten im Vergleich zum Basisszenario. Effekte von 1 Tonne Altglas im Glaskreislauf (Veränderung der Produktion von 1 Tonne Glas) sowie Effekte ausserhalb des Glaskreislaufes (Substitution Baustoffe und Filtermaterialien).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Unsicherheit der berechneten Umweltbelastung liegt in der Grössenordnung von 20–60%, einzelne Beiträge weisen grössere Unsicherheiten auf. Die Spannweite des erzielten ökologischen Nutzens wurde im Rahmen von Sensitivitätsbetrachtungen analysiert und ist nachfolgend illustriert.

Die dargestellte Reduktion der Umweltbelastung in Abbildung 1 entspricht dem erwarteten durchschnittlichen ökologischen Nutzen der Verwertungsarten. Für eine Angabe zur Unsicherheit und Spannweite des ökologischen Nutzens wurden Sensitivitätsanalysen mit Best- und Worst-Case-Szenarien für die wichtigsten Annahmen und Einflussgrössen erstellt. In der Abbildung 2 ist das Fazit dieser Analysen mit den eruierten Spannweiten des erwarteten ökologischen Nutzens dargestellt. Grössere Unsicherheiten ergeben sich bei den Effekten der Substitution aufgrund der unterschiedlichen Einsatzgebiete der hergestellten Baustoffe und Filtermaterialien. Der Nutzen der Sammlung Ganzglas hängt von der Effizienz der Sammlung und der Qualität des ansonsten importierten Neumaterials ab.

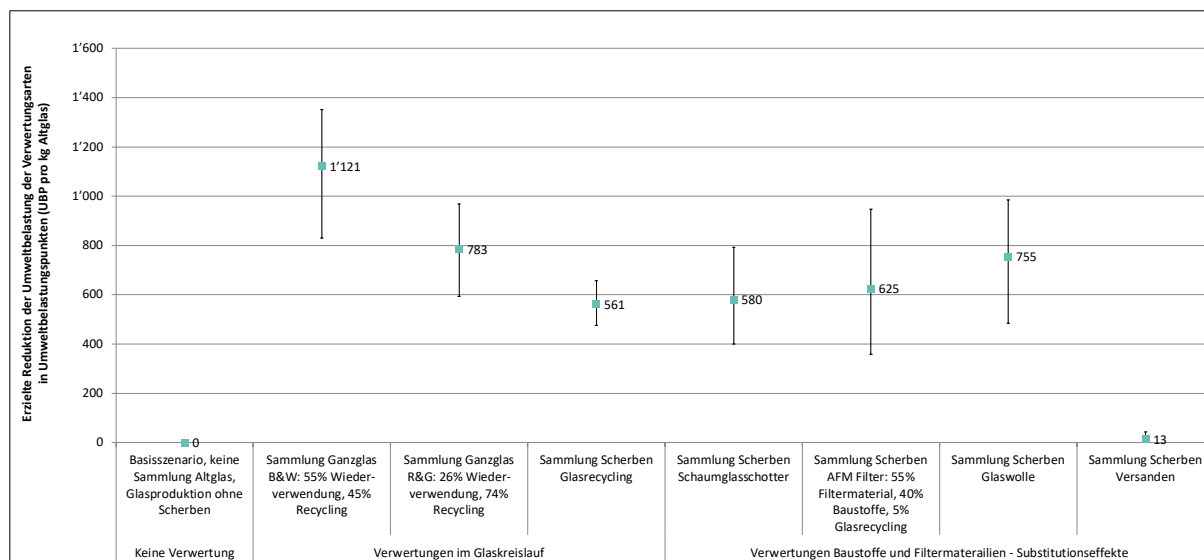


Abbildung 2: Spannbreite des ökologischen Nutzens der verschiedenen analysierten Verwertungsarten

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen den Resultaten des ökologischen Nutzens der Sammlung von Ganzglas und des Glasrecyclings. Die Differenz zwischen diesen beiden Verwertungsarten ist trotz der Überschneidung der angegebenen Unsicherheitsbereiche signifikant¹.

Schlussfolgerungen zum ökologischen Nutzen der Verwertungsarten

Die Sammlung von Altglas lohnt sich aus ökologischer Sicht. Bei allen Verwertungsarten wird eine Reduktion der Umweltbelastung im Vergleich zum Basisszenario erzielt. Aufgrund der ausgeführten Analysen kann eine Einordnung der unterschiedlichen Verwertungsarten aus ökologischer Sicht erfolgen:

- Insgesamt zeigt der Vergleich der verschiedenen Sammel- und Verwertungsarten in Abbildung 2, dass der höchste ökologische Nutzen pro kg Altglas bei der Sammlung von Ganzglas besteht.
- Nur ein Teil der Sammlung Ganzglas eignet sich für die Wiederverwendung, der Ausschuss geht typischerweise als Scherben ins Glasrecycling. Der ökologische Nutzen ist deshalb abhängig von der Ausbeute und liegt bei der Sammlung in Restaurants und Gemeinden (R/G) im Vergleich zu Betrieben und Weinbauern (B/W) tiefer und damit näher am Nutzen eines reinen Glasrecyclings (Produktion Neuglas aus Scherben).
- Beim Glasrecycling im geschlossenen Kreislauf und bei der Verwendung von Scherben für die Produktion von Schaumglasschotter, Filtermaterialien und Glaswolle wird eine vergleichbare Grössenordnung beim ökologischen Nutzen erzielt. Je nach Einsatzgebiet und Produkt, welches es ersetzen kann, variiert der Nutzen. Eine Feinabstufung ist aufgrund der Unsicherheiten der Bewertung nicht möglich.
- Ein verhältnismässig geringer Nutzen ergibt sich beim Versanden. Aufgrund des tieferen ökologischen Nutzens wird Sandersatz nicht als ökologisch wertvolles Produkt eingestuft.

Die Resultate der vorliegenden Studie werden, neben weiteren Kriterien, als Beurteilungsgrundlage beim Festlegen des Verteilschlüssels VEG verwendet.

¹ Der ökologische Nutzen beider Varianten wird ausgehend von identischen Inventaren zur Glasproduktion und den Einsparungen in diesem Bereich berechnet. Die Unsicherheiten der verwendeten Datengrundlagen zur Glasproduktion wirken sich auf die beiden Verwertungsarten Ganzglas Wiederverwendung und Glasrecycling gleichermassen aus. Höhere Umweltauswirkungen in der Glasproduktion führen in beiden Fällen zu einem höheren Nutzen und umgekehrt tiefere Umweltauswirkungen in beiden Fällen zu einem geringeren Nutzen.

1 Ausgangslage und Auftrag

Seit 2002 bezahlen Hersteller und Importeure von Getränkeverpackungen aus Glas eine vorgezogene Entsorgungsgebühr (VEG). Die Erhebung Verwaltung und Verwendung der VEG erfolgt durch die VetroSwiss im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Die VEG zielt darauf ab, die Kosten der Altglasentsorgung (Sammlung, Transport etc.) zu entschädigen. Die Entschädigungshöhe pro Tonne gesammeltes Altglas ist abhängig von ökologischen Kriterien. Dabei wird zwischen unterschiedlichen Sammel- (farbgetrennte oder farbgemischte) und Verwertungsarten unterschieden.

Um die ökologische Beurteilung der verschiedenen Sammel- und Verwertungsarten vorzunehmen, wird die vorliegende Ökobilanzierung durchgeführt². Sie wird vom BAFU und VetroSwiss als Grundlage für die Festlegung der Entschädigungshöhe (Verteilschlüssel) der verschiedenen Sammel- und Verwertungsarten von Altglas verwendet. Die Methode der Ökobilanzierung wird verwendet, um den gesamten „Lebensweg“ der Sammlung und Verwertung sowie die Vielzahl von Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen zu berücksichtigen. Der Untersuchungsrahmen beschränkt sich auf die lokalen Verhältnisse der Sammlung von Altglas in der Schweiz und damit verbundene Verwertungsarten. Die erarbeiteten Ergebnisse der ökologischen Bewertung aus dem Jahr 2016 sowie das dazugehörige Addendum von 2021 sollen aktualisiert und ergänzt werden.

Die Auftraggeber erteilten der Carbotech AG den Auftrag,

- den Einsatz von Scherben für die Produktion von Glaswolle neu in die Studie aufzunehmen;
- die bisher als Addendum geführte Analysen zu Filtermaterialien in den Bericht aufzunehmen;
- für sämtliche analysierten Verwertungen eine Aktualisierung der Resultate vorzunehmen.

Anlass für die Aktualisierung der Resultate ist die zwischenzeitlich veröffentlichte neue Version der Methode der ökologischen Knappheit (MöK 2021/UBP-Methode) und der neuen Datenbank BAFU:2024 (Stand August 2024). Mit der Aktualisierung und Ergänzung der Studie wird die Grundlage für die Beurteilung des ökologischen Nutzens und die damit verbundene Empfehlung zum Verteilschlüssel auf einen aktuellen Stand gebracht.

² Art. 13 abs. 3 VGV verlangt Berücksichtigung der Umweltbelastung.

2 Sammel- und Verwertungsarten von Schweizer Altglas

In der Schweiz wird Altglas seit Jahrzehnten separat gesammelt und erzielte in den vergangenen Jahren eine Verwertungsquote von über 90%.

Die Gemeinden stellen flächendeckend Container für die Sammlung von Altglas zur Verfügung. Teilweise erfolgt eine Sammlung auch über private Sammelhöfe und Sammelstellen in Einkaufszentren. Altglas wird in erster Linie als Scherben gesammelt, teilweise auch als Ganzglas z.B. für eine Wiederverwendung von Weinflaschen mit Sammlungen bei Gemeinden, Restaurants, Betrieben und Weinbauern.

Die Ganzglassammlung macht weniger als 1% des Altglases aus. Rund 70% der Scherben wurden farbgetrennt gesammelt und der Rest gemischt. Gemäss Angaben eines Glashändlers aus dem Jahr 2008 sind üblicherweise 60% der gesammelten Scherben grün, 28% weiss und 12% braun. Diese Grössenordnung ist gemäss einer Einschätzung von VetroSwiss weiterhin gültig.

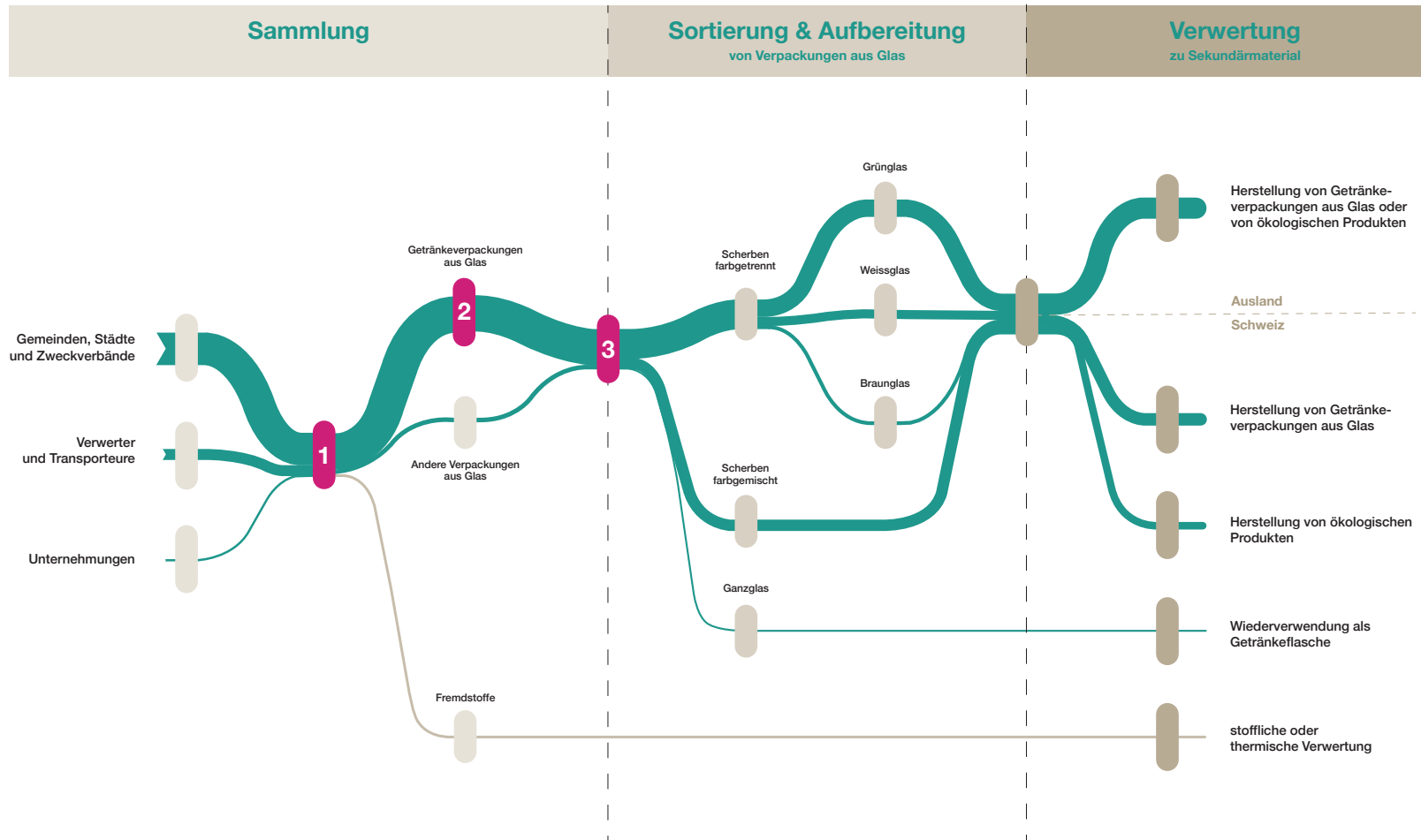
Die nachfolgenden Stoffflüsse und Entschädigungen wurden für das Jahr 2022 und 2023 von VetroSwiss publiziert (VetroSwiss 2023). Im Jahr 2023 wurden über 357'043 t Altglas gesammelt. Die folgenden Mengen wurden entschädigt:

Tabelle 2: Menge gesammeltes Altglas im Jahr 2023 (Quelle: VetroSwiss 2024)

Sammelart	Verwertungsart	Entschädigungsquote	2022		2023	
			(Tonnen)	(%)	(Tonnen)	(%)
Ganzglas	Wiederverwendung als Getränkeflasche	100%	1'836	0.5%	1'605	0.4%
Scherben farbgetrennt	Produktion von Neuglas (alle Fraktionen)	100%	230'245	62.5%	221'458	62.0%
	Produktion von ökologischen Produkten ³ (grüne Scherben)	100%	26'893	7.3%	27'183	7.6%
Scherben farbgemischt	Produktion von Neuglas (nur grüne Flaschen) oder von ökologischen Produkten	60%	109'446	29.7%	106'637	29.9%
	Andere Verwendung (z. B. Sandersatz)	20%	135	0.0%	160	0.0%
Total			368'604	100%	357'043	100%

³ Die Kategorie ökologische Produkte umfasst hergestellte Baustoffe und Filtermaterialien mit einem ausgewiesenen höheren ökologischen Nutzen (Einstufung auf Basis der Ökobilanz)

Die nachfolgende Abbildung zeigt in vereinfachter Form das Stoffflussdiagramm und die Verwertungswege der Altglassammlung für das Jahr 2021 auf. Mit der Schliessung der Glashütte in der Schweiz im Jahr 2024 verlagert sich die Nutzung von Scherben für ein Glasrecycling (geschlossener Kreislauf) ins Ausland.



1 Sammelmenge (brutto): 379'144 t
 2 stofflich verwertete oder wiederverwendete Menge an Getränkeverpackungen aus Glas: 314'060 t
 3 stofflich verwertete oder wiederverwendete Menge an Verpackungen aus Glas: 353'415 t

Quellen: Bundesamt für Umwelt 2021, VetroSwiss 2021
 Darstellung: Swiss Recycling

Abbildung 3: Stoffflussdiagramm für Verpackungen aus Glas (BAFU/Vetroswiss 2021)

3 Methodik

Mit der Ökobilanz werden die Auswirkungen der relevanten Stoff- und Energieflüsse auf die Umwelt über den gesamten Lebensweg oder Teilen davon erfasst.

Eine ökologische Bewertung umfasst abgeleitet aus der ISO Norm 14'040 (ISO 2006) die folgenden Schritte:

- Festlegung der Zielsetzung und Rahmenbedingungen
 - Zielsetzung und Zielpublikum
 - Systemgrenzen
 - Funktionelle Einheit
 - Sensitivitätsanalysen
- Sachbilanz
 - Beschreibung der Verwertungsarten und der Szenarien der Substitution
 - Erfassen Inputdaten, relevante Stoff-/Energieflüsse sowie des Ressourcenbedarfes
 - Allokationen und weitere Annahmen
- Wirkungsbilanz: Bestimmen der Auswirkungen auf die Umwelt
- Interpretation und Bewertung der Ergebnisse aufgrund der Zielsetzung
- Erarbeiten von Massnahmen (Optimierungen)

Wie Abbildung 4 zeigt, ist dies kein linearer, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.

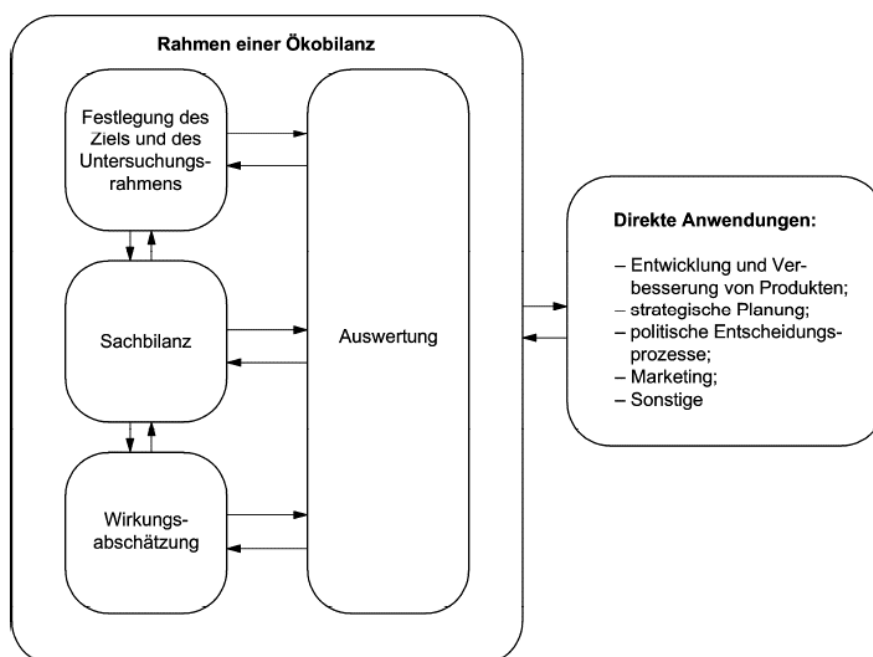


Abbildung 4: Phasen einer Ökobilanz, nach ISO 14'040 ff (ISO 2006)

Die vorliegende Studie richtet sich in den wesentlichen Aspekten nach der Norm ISO 14'040. In gewissen Punkten, wie der Verwendung von gesamt aggregierenden Methoden, geht die vorliegende Studie über die Norm hinaus. Die Einhaltung der Norm würde verlangen, dass für vergleichende Ökobilanzen, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind, keine gesamt aggregierenden Methoden, welche die verschiedenen

Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl zusammenfassen, verwendet werden dürfen. Auf die einzelnen Schritte bei der Erstellung der vorliegenden Ökobilanz wird im Folgenden eingegangen.

3.1 Ziel und Rahmenbedingungen

Die Definition der zu untersuchenden und zu vergleichenden Systeme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Wie in Kapitel 1.2 erwähnt, ist das Ziel dieser Ökobilanz, den ökologischen Nutzen von verschiedenen Verwertungsarten von Altglas zu bestimmen und zu vergleichen.

Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

- Welcher ökologische Nutzen wird mit den gängigen Verwertungsarten von Altglas erzielt?
- Vergleich der verschiedenen Sammel- und Verwertungsarten im Hinblick auf die Frage: Welcher Verteilungsschlüssel ist für die Entschädigung der Sammlung von Altglas aus ökologischer Sicht sinnvoll? Welcher ökologische Nutzen haben die verschiedenen Verwertungsarten?

3.1.1 Funktionelle Einheit

Um ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung mit entsprechenden Alternativen zu vergleichen, müssen diese denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet.

Als funktionelle Einheit wurde in dieser Studie jeweils die Sammlung und Verwertung von **1 Kilogramm Altglas** (Ganzglas oder Glasscherben) betrachtet.

Teilweise erfolgt eine Auftrennung des Sammelguts erst im Rahmen des weiteren Verarbeitungsprozesses und beinhaltet damit auch mehrere Verwertungsarten. Dies ist der Fall bei der Sammlung von Ganzglas für eine Wiederverwendung mit der Weitergabe des Ausschusses in die Altglassammlung. Das gleiche gilt für die Sammlung von Scherben für die Produktion von Filtermaterialien AFM. In diesem Bereich fallen nach der Sortierung mehrere Fraktionen an. Das anfallende Weissglas wird typischerweise für die Glasproduktion und die Fraktion Feinglas für die Baustoffproduktion eingesetzt.

3.1.2 Systemgrenzen

Inhaltliche Systemgrenze

Für die Beurteilung des ökologischen Nutzens der Sammlung und Verwertung wird die konkrete Verwertungsart mit den damit verbundenen Einsparungen in der Glasproduktion und/oder Substitutionseffekten der produzierten Baustoffe und Filtermaterialien betrachtet. Abbildung 5 gibt einen vereinfachten Überblick über die verschiedenen Verwertungsarten von Altglas und die Systemgrenzen der Bilanzierung. Sowohl beim Einsatz im Glaskreislauf als auch beim Einsatz als Baustoff oder Filtermaterial sind weitere Zyklen Recycling und Wiederverwendungen im Anschluss möglich. Für die Beurteilung des ökologischen Nutzens der Sammlung und Verwertungsarten wird jeweils nur der mit der Entschädigung verbundene Zyklus der Verwertung innerhalb der Markierung betrachtet.

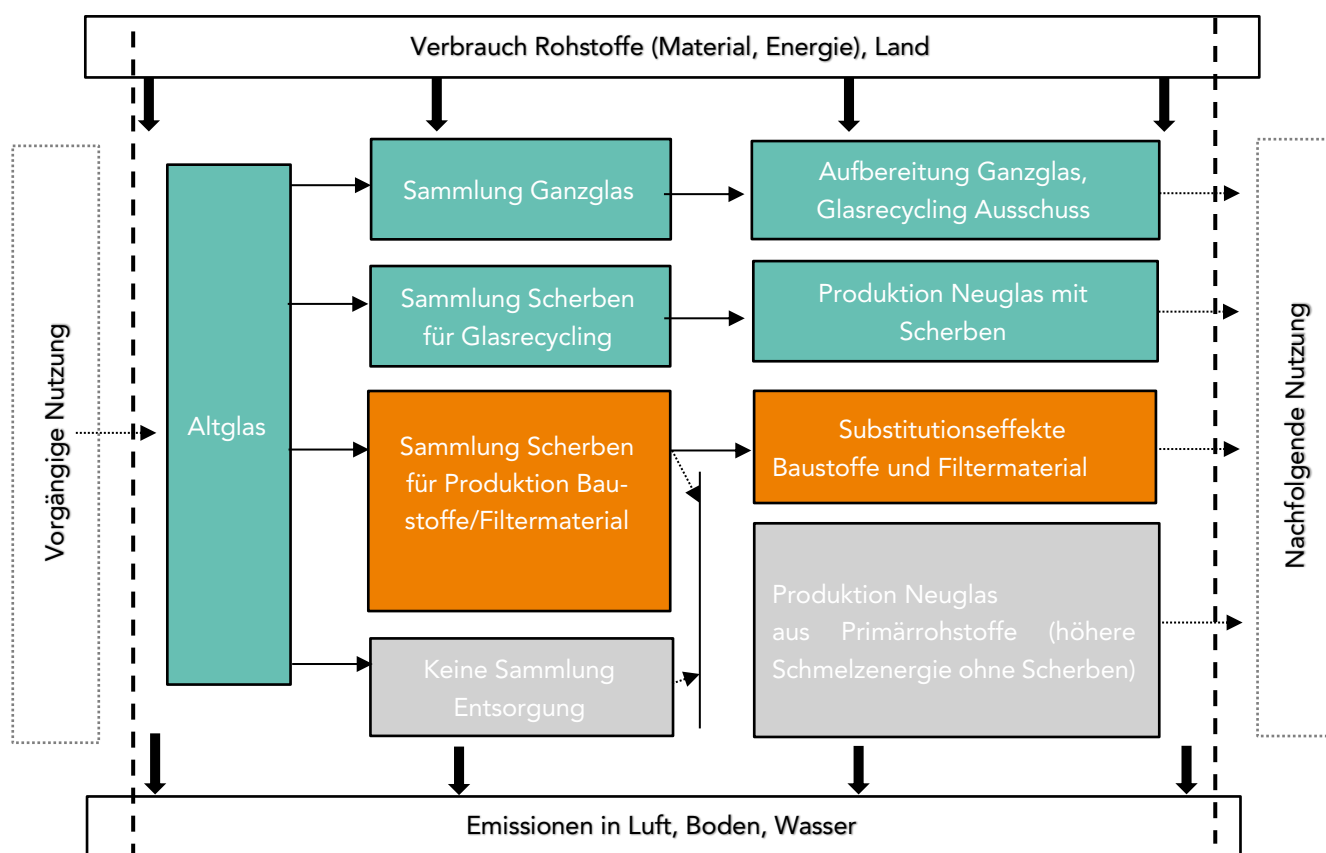


Abbildung 5: Systemgrenze der Ökobilanzierung der Verwertungsarten von Altglas

Für die Beurteilung des ökologischen Nutzens der Sammlung und Verwertung wird der entschädigte Verwertungsweg mit den damit verbundenen Folgen auf die Glasproduktion und Substitutionseffekte in der Anwendung betrachtet (ohne vorgängige und nachfolgende Nutzung, Folgezyklen einer weiteren Nutzung der Ressourcen).

Alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse der verschiedenen Verwertungsarten von Altglas und deren Auswirkungen im Rahmen der oben gesetzten Systemgrenzen sind in der Ökobilanz mitberücksichtigt. Dies sind vor allem die nachfolgend genannten Stoff- und Energieflüsse der Altglassammlung und Verwertung verbunden mit der Produktion von Glas, Filtermaterial und Baustoffen sowie Substitutionseffekten:

- Abbau von Rohstoffen
- Eingesetzte Hilfsstoffe
- Energieverbrauch
- Transporte
- Entsorgung Abfälle, Behandlung Abwasser
- Emissionen in Luft, Wasser und Boden.

Alle Prozesse wurden von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave) analysiert für die verschiedenen Verwertungsarten und deren Effekte. Siehe dazu auch die Aufstellung der Verwertungsarten in Tabelle 3.

In der Ökobilanz nicht berücksichtigt wurde das Abfüllen und Aufbewahren von Getränken und Lebensmitteln sowie die Entsorgung der Fremdstoffe in der Glassammlung. Dies unter der Annahme, dass sich keine relevanten Veränderungen ergeben (gleiche Funktion Glasverpackungen unabhängig vom Anteil eingesetzter Scherben und identische Handhabung Fehlwürfe Papier, Metalle, Keramik in der Altglassammlung). Nicht

berücksichtigt wurden zudem mögliche Schadstoffe in eingesetzten Baustoffen sowie Partikelemissionen bei der Altglassammlung und Verarbeitung von Altglas (Grobstaub Scherben).

Geografische Systemgrenze

Die Auswertung umfasst die Aufwände für die Altglassammlung in der Schweiz sowie die entsprechende Verwertung im In- und Ausland. Zudem werden Alternativen zur Produktion von Glas, Baustoffen und Filtermaterial ohne Sammlung gemäss Tabelle 3 betrachtet. Bei einer Verwertung des Sammelguts im Ausland wird mit dem Export eine Verwertung z.B. ein Glasrecycling im geschlossenen Kreislauf im nahen Ausland angenommen.

Zeitliche Systemgrenze

Für die Aktualisierung und Erweiterung der Studie von 2016 wurden die analysierten Betriebe angefragt, ob es relevante Veränderungen auf Seiten der Produktion und Verwendung der hergestellten Produkte gibt. Diese wurden soweit möglich erfasst. Veränderungen ergeben sich zudem mit der Schliessung der lokalen Glasproduktion im Jahr 2024. Die Auswertung entspricht somit dem Stand der Erhebungen der Betriebe zwischen 2016–2023. Die Hintergrunddaten stammen aus der aktuellen Version der Datenbank BAFU:2024 (Stand August 2024). Die daraus verwendeten Grundlagen für Baustoffe wurden teilweise auf Basis verfügbarer Daten aktualisiert (z.B. Elektrifizierung des Ofens für die Schweizer Produktion von Steinwolle).

3.1.3 Sensitivitätsanalysen

Um die Belastbarkeit der Resultate zu prüfen und eine Aussage zur Spannbreite des ökologischen Nutzens machen zu können, werden im Rahmen der Sensitivitätsanalysen ergänzende Auswertungen für Best- und Worst-Case-Szenarien der verschiedenen Verwertungen erstellt. Damit werden verwendete Inputdaten, Annahmen und Szenarien Ersatz und deren Effekte auf das Endresultat evaluiert. Die Ergebnisse der Best- und Worst-Case-Analysen wurden als Ausgangsbasis für die Angabe der Unsicherheiten mit einer Angabe der möglichen Spannbreite des ökologischen Nutzens verwendet.

3.2 Sachbilanz

Für die Erstellung der Sachbilanz werden projektspezifische Inputdaten zu den Verwertungsarten erhoben und mit bestehenden Grundlagendaten aus der Datenbank BAFU:2024 verknüpft und ausgewertet. Dabei wird ein Modell für die Verwertungsarten und deren Nutzen entworfen und die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z.B. die Menge an benötigten Rohstoffen, Hilfsstoffen, der Energiebedarf oder die Transporte;
- die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z.B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen wie z.B. CO₂, CO, Methan u.a.

Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro 9.6.0.1 (PRé Consultants 2024) berechnet und für die weitere Berechnung der Wirkbilanz verwendet. Bei den Daten aus der BAFU:2024 Datenbank handelt es sich um Daten, welche einen sehr hohen Qualitätsstandard haben und auch international anerkannt sind. Im nachfolgenden Kapitel 3.2.1 sind die Verwertungsarten beschrieben und in Kapitel 3.2.2 die dazu erhobenen Inputdaten sowie Informationen zu verwendeten Ökobilanzdaten aus BAFU:2024 zusammengestellt.

3.2.1 Beschreibung Verwertungsarten, Szenarien der Substitution

Der ökologische Nutzen der Sammlung und Verwertung von Altglas wird hergeleitet über einen Vergleich der Umweltbelastung im Vergleich zum Basisszenario ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas. In Tabelle 3 ist der Aufbau der Auswertung mit dem Umfang der Betrachtung auf der Ebene der Glasproduktion und der Ebene der Produktion von Baustoffen und Filtermaterialien mit den dort erzielten Substitutionseffekten beschrieben.

Mit den unterschiedlichen Sammel- und Verwertungsarten von Altglas werden im Vergleich zum Basisszenario

- im Glaskreislauf die Aufwände der Bereitstellung von Verpackungsglas durch einen geringeren Bedarf an Primärrohstoffen und Schmelzenergie reduziert;
- bei der Produktion von Baustoffen standardmässig eingesetzte Baustoffe substituiert;
- in der Produktion von Filtermaterialien durch den Ersatz von Quarzsand als Filtermaterial die Filterprozesse in Bädern und in der Wasseraufbereitung optimiert und damit im Betrieb der Anlagen Ressourcen und Energie eingespart.

Tabelle 3: Beschreibung des Basisszenarios und der unterschiedlichen analysierten Varianten der Verwertungsarten für Altglas

Der Nutzen der Verwertungsarten von Altglas ergibt sich aus der Differenz zum Basisszenario ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas

Verwertungsarten	Basisszenario:	Variante 1/2: Wiederverwendung	Variante 3: Glasrecycling Neuglas	Variante 4: Schaumglasschotter	Variante 5: Filtermaterial AFM	Variante 6: Glaswolle	Variante 7: Versanden
Aufwände der Glasversorgung und Entsorgung (pro kg Altglas)							
Sammlung und Aufbereitung Altglas	Keine Sammlung	Sammlung Ganzglas	Sammlung Scherben	Sammlung Scherben	Sammlung Scherben	Sammlung Scherben	Sammlung Scherben
Glasproduktion	Glasproduktion mit 100% Rohstoffen	26-55% Wiederverwendung Ganzglas (V1: 26%, V2: 55%), 45-74% Glasproduktion mit Ausschuss Scherben	Glasproduktion mit 100% Scherben	Glasproduktion mit 100% Rohstoffen	Glasproduktion mit 95% Primärrohstoffe, 5% aussortierte weisse Scherben	Glasproduktion mit 100% Rohstoffen	Glasproduktion mit 100% Rohstoffen
Entsorgung Altglas	Haushaltkehricht*	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
Produktion Baustoffe und Filtermaterialien aus Altglas, Effekte der Substitution (pro kg Altglas)							
Produktion Baustoff	Keine Produktion	Keine Produktion	Keine Produktion	Produktion Schaumglasschotter aus Scherben	30% Produktion Baustoffe aus Fraktion Feinglas (Variante 4/7)	Produktion Glaswolle aus Scherben	Versanden der Scherben
Substitution Baustoffe (identische Leistung)	-	-	-	Dämmungen XPS und Schaumglasplatten, Leichtbau EPS, Blähton	30% Ersatz Baustoffe (Variante 4/7)	Ersatz Dämmstoffe Steinwolle/ Holzfaserplatten	Ersatz Bausand
Produktion Filtermaterial	Keine Produktion	Keine Produktion	Keine Produktion	Keine Produktion	65% Produktion Filtermaterial aus grünen und braunen Scherben	Keine Produktion	Keine Produktion
Substitution Filtermaterial (verbesserte Leistung Filter)	-	-	-		Ersatz Quarzsand und Reduktion Verluste Spülwasser/Energie		

* Eine Entsorgung fällt in allen Verwertungsarten gleichermassen weg und wird beim Vergleich des ökologischen Nutzens der Verwertungsarten nicht berücksichtigt.

3.2.2 Input Daten

Projektspezifische Input Daten wurden in Rücksprache mit VetroSwiss für die verschiedenen Verwertungsarten bei den nachfolgend aufgeführten Firmen, stellvertretend für die jeweilige Branche, für die Sammlung und Verwertungsart eingeholt. Ergänzend wurden Datengrundlagen der Datenbank BAFU:2024 (Stand August 2024) zur Sammlung und Sortierung von Altglas sowie zur Glasproduktion und Produktion von Baustoffen und Filtermaterialien in der Schweiz und in Nachbarländern verwendet und punktuell angepasst.

Die nachfolgenden Kapitel geben eine Übersicht über eingeholte Angaben. Diese sind mehrheitlich geheim und im Bericht nicht im vollen Umfang aufgeführt (siehe Anhang A1).

3.2.2.1 Sammlung und Wiederverwendung von Ganzglas (Weinflaschen)

Bei der Vetrum AG in Wettswil werden für die Wiederverwendung Weinflaschen gewaschen. Dabei handelt es sich nicht um genormte Flaschen für ein Mehrwegsystem. Die gesammelten Behälter stammen von unterschiedlichen Herstellern, nicht alle gesammelten Behälter eignen sich für eine Wiederverwendung. Daten zur Sammlung und Aufbereitung wurden für das Jahr 2016 erhoben:

- Transporte der Glassammeltouren in den Gemeinden der Kantone Zürich, Zug und Schaffhausen;
- Energieverbrauch für das Aussortieren und Waschen von geeigneten Getränkeflaschen;
- Einsatz Reinigungsmittel und Wasser für das Waschen der Getränkeflaschen;
- Angaben zum Ausschuss der Sammlung Ganzglas G/R - Gemeinden und Restaurants - sowie B/W - Betriebe und Weinbauern. Anteil nicht geeigneter Getränkeflaschen;
- Angabe zum Verwertungsweg des Ausschusses ungeeigneter Getränkeflaschen.

Miteingeschlossen wurde eine ergänzende Betrachtung der Auslieferungslogistik für einen Vergleich mit Neuglas (basierend auf Schätzungen).

3.2.2.2 Sammlung und Sortierung von Scherben (Schweiz und im nahen Ausland)

Angaben zur Sammellogistik wurden im Rahmen der ersten Studie erhoben (Carbotech 2016). Dabei wurden von untenstehenden Akteuren Daten aufgenommen:

- Vetropack AG, Bülach: Vetrorecycling, Lieferung Scherben zur Produktion St-Prex
- Glasverbund Zentralschweiz GVZ, Dagmersellen: Transporte der Glassammeltouren von den Gemeinden zum zentralen Zwischenlager, mechanisches Aussortieren von Abfällen
- KWB Planreal AG, Widnau (SG): Glassammeltouren, regionale Zwischenlager
- Johan Schirmbeck GmbH, D-Schierling bei Regensburg: Transporte von regionalen Zwischenlagern der KWB Planreal AG zur Aufbereitung von Glas in Singen oder Regensburg, mechanisches Aussortieren von Abfällen (Metalle, Papier, Kunststoffe), Farbtrennung von gemischtem Sammelgut mit optischem Verfahren.

Für die Aktualisierung der Studie wurden keine neuen Daten zur Sammlung und Sortierung in der Schweiz erhoben. Es wurde mit einem vergleichbaren Aufwand und Transportdistanzen wie bisher gerechnet.

3.2.2.3 Produktion Neuglas (Glasrecycling, geschlossener Glaskreislauf)

Im Zuge der Schliessung des Produktionsstandortes St-Prex der Vetropack AG im Jahr 2024 wird die Produktion von Verpackungsglas in der Schweiz in der vorliegenden Studie nicht mehr berücksichtigt. Für importiertes Glas werden Datengrundlagen aus der BAFU:2024 Datenbank zur durchschnittlichen Produktion von Verpackungsglas für Deutschland und Europa unterschiedlicher Farbkategorien verwendet. Darauf basierend werden Hochrechnungen für Varianten mit 0% und 100% Scherben für eine Bewertung des ökologischen Nutzens von Scherben in der Glasproduktion erstellt. Folgende Inputs sind in diesen Datengrundlagen enthalten:

- Einsatz Energie, Hilfsmittel und Rohstoffe (Anteile für verschiedene Prozesse);
- Emissionen Luft (Herleitung der Anteile der geogenen CO₂ Emissionen aus der prozessbedingten Karbonatzersetzung eingesetzter Primärrohstoffe während des Schmelzprozesses (Karlheinz Gitzhofer, Ruslan Goppe 2021);
- Transporte;
- Beseitigung Abfälle, Abwasser.

Gegenüber der Studie von 2016 ergeben sich aufgrund der Schliessung der Schweizer Glashütte Abweichungen in den Lieferdistanzen von Neuglas und in der Qualität der Produktion Neuglas. Für die Berechnung der Anteile geogener CO₂ Emissionen aus dem Einsatz von Karbonaten wurden neuere Angaben verwendet (Karlheinz Gitzhofer, Ruslan Goppe 2021). Im Anhang A1.1 sind Grundlagen der Berechnungen geogener Emissionen aufgeführt.

Die verwendeten Grundlagendaten für Importe aus der BAFU-Datenbank beruhen auf Angaben deutscher Glaswerke sowie Abschätzungen für Europa. Im Vergleich zu Literaturwerten für die europäische Glasproduktion (Scalet u. a. 2013) liegt der Energiebedarf des BAFU:2024 Datensatzes für die Glasproduktion in Deutschland nahe beim Minimalwert und der BAFU:2024 Datensatz für die Produktion in Europa im Bereich des Mittelwertes der europäischen Glasproduktion (siehe dazu auch Anhang A3.1).

3.2.2.4 Produktion und Verwendung Schaumglasschotter

Aktualisierte Daten zur Produktion und Verwendung von Schaumglasschotter wurden von der Misapor AG, Zizers, für das Jahr 2023 zur Verfügung gestellt. Die erhaltenen Daten umfassen folgende Angaben:

- Einsatz Energieträger und Hilfsmittel in der Produktion;
- Emissionen aus dem Einsatz der Energieträger wurden abgeschätzt, ausgehend von der Angabe zum Energieverbrauch mit bestehenden BAFU:2024 Dateninventaren zum Einsatz der entsprechenden Brennstoffe und Stromprodukte (Partikelemissionen aus dem Mahlprozess von Glas sind nicht eingeschlossen, Staubablagerung im Umfeld der Anlage);
- Beseitigung von Abfällen/Abwasser.
- Angaben zum Einsatzgebiet und zur erzielten Substitution konventioneller Baustoffe (Perimeterdämmung, Leichtschüttungen, Leichtbau)

Das Einsatzgebiet von Schaumglasschotter hat sich seit der letzten Studie verändert. Als Referenz für den ökologischen Nutzen wird wie bisher die Perimeterdämmung verwendet. Für die weiteren Anwendungsgebiete wird ausgehend von Fallbeispielen einer Schüttung eine Abschätzung der Minimal- und Maximalwerte für den ökologischen Nutzen eruiert. Details zum Aufbau der Perimeterdämmungen, Dämmleistung und Umrechnungen in Flächen sind in Anhang A1 enthalten. Die Plausibilität des Aufbaus und der Daten zur Wärmedämmung wurden in der Studie 2016 über das Web-basierte Tool „Bauteilkatalog“ geprüft⁴.

Die vorgehend aufgeführten Daten zur Sammellogistik und die Sortierung von Scherben wurden als Ergänzung zu den Angaben von Misapor verwendet.

3.2.2.5 Produktion und Verwendung Filtermaterial AFM und Nebenprodukte

Für die Herstellung von AFM wurden 2021 beim Hersteller Dryden Aqua, Büsserach, folgende Daten zur Produktion und Nutzung der hergestellten Produkte erhoben:

- Outputmenge Filtermaterial und weitere nutzbare Fraktionen in der Verwertung: AFM Filtermaterial, andere Filtermaterialien, Fraktion Feinglas für die potentielle Verwendung für Baustoffe, Fraktion Weissglas für Glasrecycling;

⁴ „Bauteilkatalog.ch“. Zugriffen 11. November 2014. <http://www.bauteilkatalog.ch/ch/de/Bauteilkatalog.asp>.

- Aufwände Transporte der Glassammeltouren (Scherben aus der Region aus Sammlungen im Mittelland, überwiegend in den Kantonen Basel-Stadt, Basel-Land und Bern, sowie Ausschuss an Scherben der Sortierung von Glas, zurzeit Vetropack in St-Prex⁵);
- Energieverbrauch Strom und Wärme in der Produktion AFM, Anteil Eigenproduktion PV Strom. Als Summe für die Sortierung, Reinigung und Verarbeitung der Scherben;
- Chemikalien für die Verarbeitung und Behandlung von AFM Filtermaterial;
- Treibstoffe für eigene Transportmittel im Betrieb;
- Einsatz Wasser für die Reinigung und Sortierung der Scherben;
- Einsatz von Verpackungsmaterial;
- Abfälle aus der Sortierung und Reinigung (Brennbares für KVA, Metalle für Recycling, Inertstoffe wie Keramik zur Deponierung, Abwasser, Filterkuchen aus der Produktion von Biogas);
- Angaben zur Nutzung der hergestellten Filtermaterialien und zu erzielten Einsparungen beim Einsatz der Filtermaterialien (Reduktion Spülverluste, Einsparungen Hilfsmittel Filtrierung und Ersatz konventionelle Filtermaterialien Quarzsand). Ergänzende Erhebungen bei Bädern wurden 2021 zur Plausibilisierung der Optimierung der Filterprozesse eingeholt (siehe auch Anhang A1.6).

Gemäss Angaben des Herstellers ergeben sich für die aktuelle Situation gegenüber den Analysen 2020 keine relevanten Veränderungen. Der Anteil der Eigenproduktion von Strom mit der PV Anlage wird mit neuen Möglichkeiten der Speicherung weiter erhöht.

3.2.2.6 Produktion und Verwendung Glaswolle

Daten zur Produktion von Glaswolle wurden von der Fima Saint-Gobain ISOVER SA in Lucens für das Jahr 2019 zur Verfügung gestellt, welche gemäss den Angaben des Unternehmens auch für das Jahr 2023 vergleichbar sind. Die erhaltenen Daten umfassen folgende Angaben zur Herstellung von Glaswolle:

- Einsatz Energieträger und Rohstoffe und Hilfsmittel in der Produktion (Hinweise auf eingekaufte Stromprodukte mit Herkunftsnachweisen);
- Emissionen aus dem Einsatz der Energieträger wurden abgeschätzt ausgehend von der Angabe zum Energieverbrauch mit bestehenden BAFU:2024 Dateninventaren zum Einsatz der entsprechenden Brennstoffe und Stromprodukte;
- Angaben zum Isolationswert von Glaswolle und Einsatz im Bau für Steildächer und Fassaden;
- Beseitigung von Abfällen/Abwasser.

Um den Einsatz von Glaswolle mit alternativen Wärmedämmungen zu vergleichen, wurden vom Architektur Büro Nova Energie jeweils ein praktisches Beispiel vom Aufbau einer Ständerwand und eines Steildaches mit einem vergleichbaren Standard-Isolationswert erstellt (siehe Anhang A1.9):

- Aufbau für eine Ständerwand mit Glaswolle, Steinwolle und Holzfaserplatte;
- Aufbau eines Steildaches mit Glaswolle, Steinwolle und Holzfaserplatte.

Als Dichte für die Dämmstoffe wurde gemäss Angaben des Herstellers ein Wert von 20 kg/m³ für die Glaswolle und ein leichtes Produkt mit 32 kg/m³ für die Steinwolle angenommen (Produktangaben vergleichbarer leichter Dämmstoffe im Bereich von 30 und 38 kg/m³ für Steinwolle). Für die Holzfaserplatte wurde eine Dichte von 50 kg/m³ angenommen.

Die vorgehend aufgeführten Daten zur Sammellogistik und die Sortierung von Scherben wurden als Ergänzung zu den Angaben von Isover verwendet.

⁵ Ein Teil Input Altglas aus Sortierprozessen der Glasproduktion wurde als Approximation auch für die Phase nach der Schliessung der Sortierung in St-Prex miteinbezogen unter der Annahme, dass ähnliche Aufwände für Transporte und Lieferung auch in Zukunft anfallen für andere Alternativen. Dies als Approximation, da soweit keine neuen Daten vorliegen.

3.2.2.7 Produktion Sandersatz

Für die Produktion von Sandersatz sind keine spezifischen Betriebsdaten erhältlich. Daher wurde als Richtwert der Mahlprozess von Kalk verwendet. Die vorgängig aufgeführte Sammellogistik und die Sortierung von Scherben wurden als Ergänzung verwendet. Die Ergebnisse zum Nutzen der Sandproduktion sind vergleichbar mit den bisher verwendeten Abschätzungen aus früheren Studien (Doka Ökobilanz Zürich, 2006).

3.2.3 Annahmen und Allokationen

Annahmen Stromprodukte

Die eingekauften Stromprodukte der einzelnen Betriebe und deren Zusammensetzung können sich verändern. Für die Analysen wird in der Herstellung unterschiedlicher Produkte der Länder Versorgungsmix als Standard verwendet. Der Effekt dieser Annahmen wird im Rahmen von Sensitivitätsanalysen mit weiteren Varianten Einkauf Ökostrom als Best-Case und Strommix Europa als Worst-Case illustriert.

Allokationen

Nachfolgende Allokationen werden in dieser Studie verwendet:

- Wiederverwendung und Recycling: Es wird eine Cut-off Ansatz für die Verwertung von Altglas verwendet. Nur der Zusatzaufwand ab der Sammlung Altglas wird der Wiederverwendung und dem Glasrecycling angerechnet. Der Aufwand der Produktion von Neuglas aus Primärrohstoffen wird zu 100% dem ersten Zyklus der Glasproduktion angerechnet.
- Für Nebenprodukte der Produktion Grundstoffe Chemie: Es wird eine ökonomische Allokation für das genutzte Neben-/Abfallprodukt der Silicon Industrie SiC SIC verwendet.
- Sammlung und Sortierung Haupt-/Nebenprodukte: Eine Massenallokation wird für die Aufteilung der Aufwände der Sammlung und Sortierung mit mehreren genutzten Fraktionen verwendet.
- Produktion Filtermaterialien Haupt-/Nebenprodukte: Bei der Produktion Filtermaterial AFM und den weiteren Varianten produzierter Filtermaterialien wird eine Massenallokation verwendet.

3.3 Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Im Rahmen dieses Projektes wurden u. a. die folgenden Wirkungen berechnet: Treibhauspotential, nicht erneuerbare energetische Ressourcen, Ozonbildungspotential, Säurebildungspotential, Eutrophierung, Ökosystembelastung. Die einzelnen Wirkungen werden im Bericht nicht explizit dargestellt, weil sie jeweils nur einen Teil der Umweltauswirkungen abbilden und damit keine direkte Unterstützung für eine Gesamtbetrachtung bei der Entscheidungsfindung bieten. Die einzelnen Wirkkategorien bilden zusammen mit der Bewertungsmethode (siehe Kapitel 3.4) die Basis für die Beurteilung der Resultate und Erarbeitung der Empfehlungen.

Aufgrund der Relevanz für die Beurteilung der Ziele im Klimaschutz sind im Anhang als Ergänzung zur verwendeten Bewertungsmethode die Ergebnisse des Treibhauspotentials mit Angaben zu den Treibhausgasemissionen nach IPCC 2021 ausgewiesen (IPCC, 2021). Dabei wird für jede klimarelevante Substanz das Treibhauspotential über 100 Jahre bestimmt. Aus dem Verhältnis zum Treibhauspotential von CO₂ kann damit für jede Emission deren Auswirkungen auf das Klima als entsprechende Menge CO₂ angegeben werden. Daraus resultieren Angaben in sogenannten CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq). Die pflanzliche Aufnahme und Freisetzung von biogenem CO₂ wird als CO₂-neutral betrachtet und ist damit nicht in der Bilanzierung enthalten.

3.4 Bewertung

Es wird die vom BAFU weiterentwickelte und in der Schweiz etablierte Methode der ökologischen Knappheit mit der Einheit Umweltbelastungspunkte UBP 2021 (Bundesamt für Umwelt, 2021) als Bewertungsmethode für die verschiedenen Umweltauswirkungen verwendet (Update der bisher in Vorgängerstudien verwendeten Methoden UBP 2006 und 2013). Ergänzende Auswertungen mit der europäischen Bewertungsmethode EF wurden zur Prüfung der Aussagekraft ausgeführt.

3.4.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021

Die gewählte Bewertungsmethode der Umweltbelastungspunkte widerspiegelt die Umweltpolitik der Schweiz und bewertet die verschiedenen Umweltauswirkungen nach einem ‚distance-to-target‘-Ansatz. Für die Bewertung von Prozessen, deren Umweltbelastung ausserhalb der Schweiz verursacht wird, gilt die Annahme, dass die Werthaltung (relative politische Wichtigkeit der Belastungsfaktoren) gleich gelagert ist wie hierzulande.

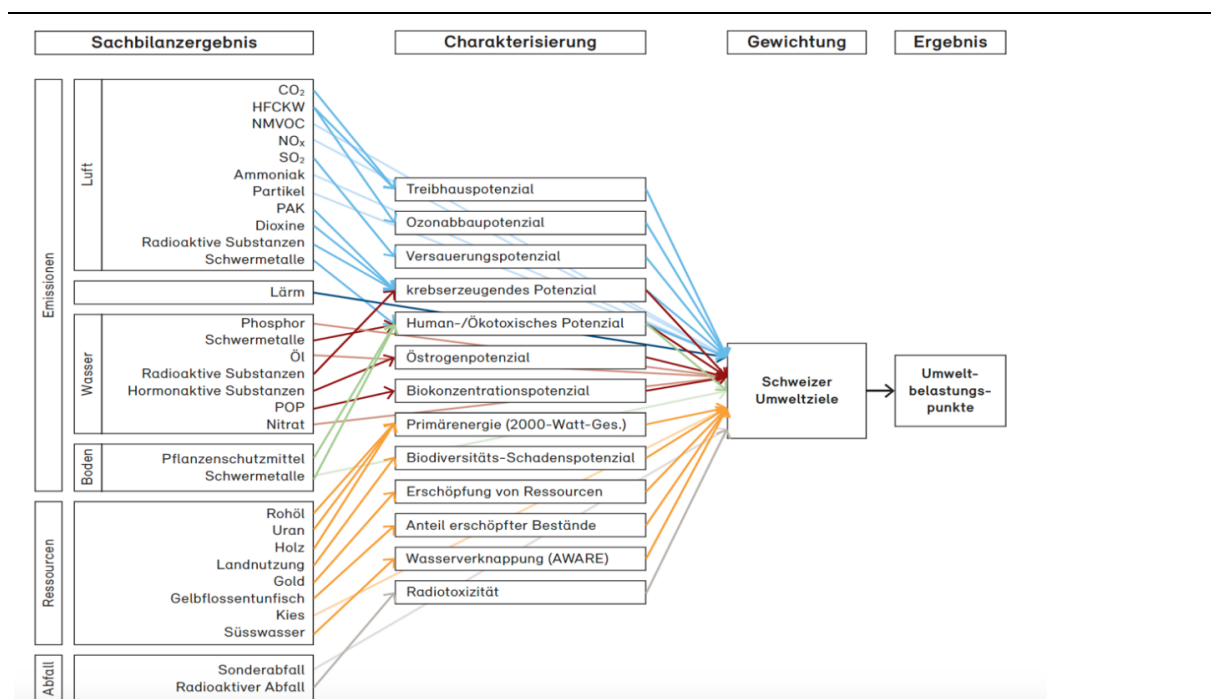


Abbildung 6: Grundschema der Methode der ökologischen Knappheit (Grafik aus Frischknecht u. a., 2021)

3.4.2 Environmental Footprint EF 3.1

Für einen Vergleich mit anderen Bewertungen, wurde die europäische Methode EF verwendet. Wie in Abbildung 7 dargestellt, aggregiert die EF Methode die Inputs und Outputs der Sachbilanz in 16 Midpoint Kategorien. Diese Wirkungskategorien werden dann normalisiert und gewichtet. Die gewichteten Wirkungskategorien können anschliessend summiert werden, um den EF Gesamtwert, ausgedrückt in Punkten, zu erhalten (Andreasi Bassi, S u. a., 2023).



Abbildung 7: Schema der EF Methode (Grafik aus Andreasi Bassi, S u. a., 2023)

4 Resultate der Ökobilanz

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und den methodischen Argumenten unter Kapitel 3.4 werden die Resultate nur mit der gesamt aggregierenden Methode der Umweltbelastungspunkte UBP 2021 dargestellt. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Ergebnisse unterteilt zwischen Verwertung im Glaskreislauf (Kapitel 4.1) und Verwertung ausserhalb mit einem Substitutionseffekt im jeweiligen Anwendungsgebiet (Kapitel 4.2). In Kapitel 4.3 sind die Ergebnisse aller Verwertungsarten und deren erwarteter Nutzen im Vergleich zum Basisszenario ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas dargestellt. Kapitel 4.4 zeigt die dazu ermittelten Bandbreiten des ökologischen Nutzens ausgehend von Sensitivitätsanalysen und Best- und Worst-Case-Szenarien.

Ergänzende Analysen und Ergebnisse der Wirkungskategorien (z.B. Treibhauspotential) sowie der europäischen Bewertungsmethoden (EF v3.1) sind im Anhang A2 als Übersicht dargestellt.

4.1 Nutzen der Verwertung Altglas im Glaskreislauf

Die Sammlung Ganzglas und die Sammlung Scherben für das Glasrecycling (geschlossener Kreislauf) reduzieren die Aufwände der Glasproduktion. Es werden Ressourcen und Energie für die Bereitstellung Glas eingespart. Zur Einordnung der Effekte wird ein Vergleich mit dem Basisszenario, bei dem die Glasproduktion ohne Sammlung und Nutzung von Altglas erfolgt, angestellt. Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Situation der Glasproduktion für den Konsummix der Schweiz und die weiteren Kapitel die mit der Sammlung und Verwertung erzielten Einsparungen.

4.1.1 Umweltbilanz der Glasproduktion, Konsummix Schweiz

Aufgrund der Schliessung des Schweizer Produktionsstandortes in St-Prex wird kein Verpackungsglas mehr in der Schweiz produziert, dieses wird vollständig aus dem Ausland importiert. Zur Beurteilung der Umweltbilanz von Importglas wurden bestehende Dateninventare zur Glasproduktion in Deutschland «DE» und Europa «RER» aus der Datenbank BAFU:2024 verwendet. Gemäss der Zollstatistik werden nur geringe Mengen Glas aus weiter entfernten Ländern importiert, weshalb diese vernachlässigt werden. Folgender Konsummix Schweiz wurde angenommen:

- 60% Grünglas aus benachbarten Ländern (Annäherung mit Daten BAFU:2024 1/3 DE und 2/3 EU)
- 28% Weissglas aus benachbarten Ländern (Annäherung mit Daten BAFU:2024 1/3 DE und 2/3 EU)
- 12% Braunglas aus benachbarten Ländern (Annäherung mit Daten BAFU:2024 1/3 DE und 2/3 EU)

In Abbildung 8 ist die so ermittelte Umweltbelastung pro kg Glas mit den aktuellen Quoten für den Scherbenneinsatz dargestellt⁶. Als mittlere Distanz für die Lieferung von Neuglas in die Schweiz wurden 500 km angenommen.

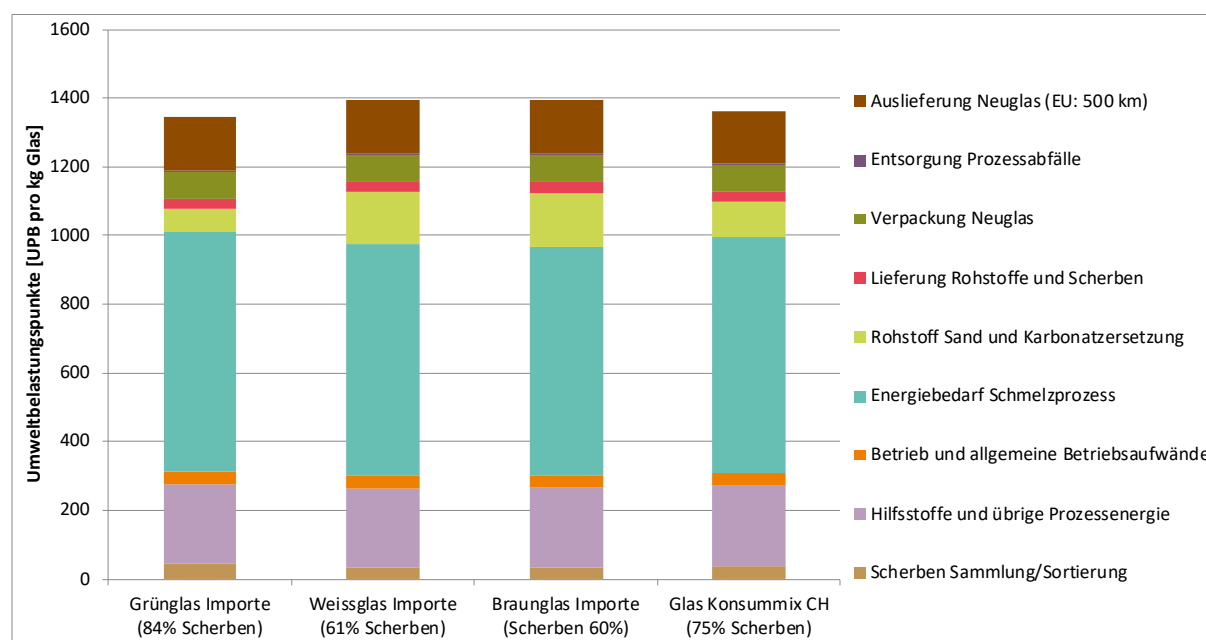


Abbildung 8: Umweltbelastung der Glasproduktion Konsummix CH pro kg Glas (Annahme 1/3 Importe DE und 2/3 Importe EU, siehe auch weitere Details Bilanzen Glasproduktion in Anhang A3.1).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die mit der Sensitivitätsanalyse abgeschätzte Unsicherheit der Umweltbelastung Glas Konsummix CH liegt im Bereich von 20–30% (siehe Kapitel 4.2.4).

Die Umweltbelastung der Glasproduktion hängt zu einem wesentlichen Teil vom Energieverbrauch beim Schmelzen und vom Einsatz der Rohstoffe ab. Der Rohstoffbeitrag umfasst in der Darstellung den Abbau der Mineralien sowie die Transportaufwände und CO₂-Emissionen aus der Zersetzung der eingesetzten Karbonate. Der Aufwand für das Sammeln und Sortieren von Scherben sowie die übrigen Aufwände der Produktion und der Verpackung sind mit vergleichsweise geringen Umweltauswirkungen verbunden⁷.

⁶ Die Variation des Energieverbrauches aufgrund des Scherbenanteils ist in den verwendeten Datengrundlagen zu wenig ausgeprägt. Auf eine Korrektur wurde verzichtet, der Einfluss ist gering. Abweichung – 2% für Grünglas, +4–5% Weiss-/Braunglas.

⁷ Allgemeine Betriebsaufwände sowie Verpackung Holz-Palette/PE Folie/Karton wurden mit Daten aus BAFU:2024 abgeschätzt.

4.1.2 Ökologischer Nutzen Glasrecycling – Scherben für Glasproduktion

Mit dem Einsatz von Scherben in der Glasproduktion sinkt der Bedarf an Rohstoffen und es werden gleichzeitig CO₂-Emissionen aus der Zersetzung eingesetzter Karbonate vermindert (Karlheinz Gitzhofer, Ruslan Goppe 2021). Zudem reduziert sich der Energiebedarf für den Schmelzprozess. Als Faustregel gilt pro 10% eingesetzter Scherben werden 2–3% Energie im Schmelzprozess eingespart (Glass Packaging Institute 2015). Es wurde mit einem Mittelwert von 2.5% gerechnet und im Rahmen der Sensitivitätsanalysen die Extremwerte verwendet.

Abbildung 9 zeigt die Reduktion der Umweltbelastung in der Glasproduktion durch den Einsatz von Scherben im Vergleich zum Referenzwert ohne Scherben im Basisszenario. Die Hochrechnung der Einsparungen für den Einsatz von 100% Scherben steht als Extrapolation für den Nutzen von 1 kg Altglas in der Glasproduktion. Ein Einsatz von 100% Scherben wäre möglich, wird aber wegen den Ansprüchen an die Farbe und Qualität sowie teilweise aufgrund mangelnder Scherben nicht praktiziert. In der Praxis werden aus Qualitätsgründen maximal 97% Scherben eingesetzt.

Die Hochrechnung des Nutzens von 1 kg Altglas in der Glasproduktion mit der Hochrechnung auf den Effekt von 100% Scherben ergibt eine Einsparung gegenüber dem Basisszenario von etwa 561 UBP bzw. eine Reduktion der Umweltbelastung um etwa 30%. In der Glasversorgung der Schweiz wird aktuell beim Konsummix Glas mit einem mittleren Anteil von 75% Scherben im Vergleich zum Basisszenario eine Reduktion der Umweltwirkung in der Grössenordnung von 421 UBP oder etwa 25% der Umweltbelastung erzielt.

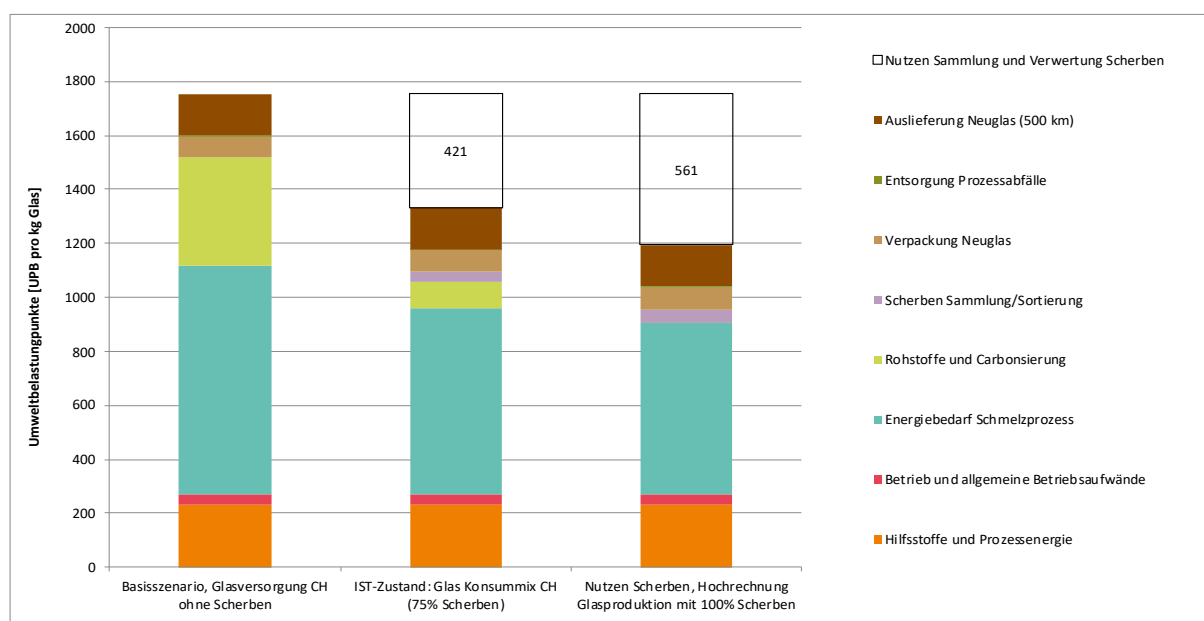


Abbildung 9: Umweltbelastung der Glasproduktion mit Scherben im Vergleich zum Basisszenario ohne Sammlung und Nutzung von Scherben.

Für die Beurteilung des ökologischen Nutzens von 1 kg Altglas wird die Einsparung der Hochrechnung Einsatz 100% Scherben im Vergleich zum Basisszenario betrachtet. Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die mit der Sensitivitätsanalyse abgeschätzte Unsicherheit der Einsparung liegt im Bereich von 20–30% (siehe Kapitel 4.2.4 und Detailanalysen im Anhang A3.2).

Der Einfluss des Standards der Glasproduktion, der Transportdistanzen und verwendeten Annahmen zur Energiereduktion im Schmelzprozess und die damit verbundene Spannweite beim Nutzen wurden gemäss Kapitel 4.2.4 analysiert und sind mit Detailanalysen im Anhang A3.2 illustriert.

4.1.3 Ökologischer Nutzen Wiederverwendung – Sammlung Ganzglas

Als Mehrwegsystem vermarktete Getränke mit einer direkten Rücknahme und Wiederverwendung der Flaschen sind nicht Teil dieser Studie (z.B. Mineralwasser). In der vorliegenden Studie wird die Wiederverwendung von Weinflaschen, die im Rahmen der Altglasentsorgung mit der Ganzglassammlung einer Wiederverwendung zugeführt werden, betrachtet. Gesammelt werden Flaschen in unterschiedlicher Form und Farbe von unterschiedlichen Herstellern. In der Sammlung Ganzglas werden in einem ersten Schritt nicht geeignete Weinflaschen aussortiert und als Scherben dem Glasrecycling zugeführt. Damit setzt sich der ökologische Nutzen der Sammlung aus einem Teil Wiederverwendung von Weinflaschen und einem Teil Glasrecycling der aussortierten Weinflaschen zusammen. Eine etwas höhere Ausbeute geeigneter Flaschen ergibt sich in den Sammlungen bei Betrieben/Weinbauern mit etwa 55% gegenüber Sammlungen in Gemeinden/Restaurants mit 26%.

In Abbildung 10 sind die Einsparungen beider Fraktionen, Wiederverwendung und Glasrecycling, im Vergleich zum Referenzwert des Basisszenarios, ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas, dargestellt. Das Resultat der Ganzglassammlung bei Betrieben/Weinbauern (B/W) und der Ganzglassammlung bei Gemeinden/Restaurants (G/R) setzt sich zusammen aus den Anteilen der effektiven Wiederverwendung und dem Recycling von aussortierten Glasflaschen. Mit abnehmender Effizienz der Ganzglassammlung fällt zudem der Aufwand der Sammlung für den Output Ganzglas höher aus.

Für die erzielte Ausbeute von 55% Ganzglas Wiederverwendung und 45% Recycling der Sammlung bei Betrieben und Weinbauern (B/W 55% Ausbeute) ergibt sich ein Nutzen von 1'121 UBP und in der Sammlung bei Gemeinden und Restaurants mit einer Ausbeute von 26% Wiederverwendung Ganzglas und 74% Recycling bei Gemeinden und Restaurants (G/R 26% Ausbeute) ein Wert von 783 UBP.

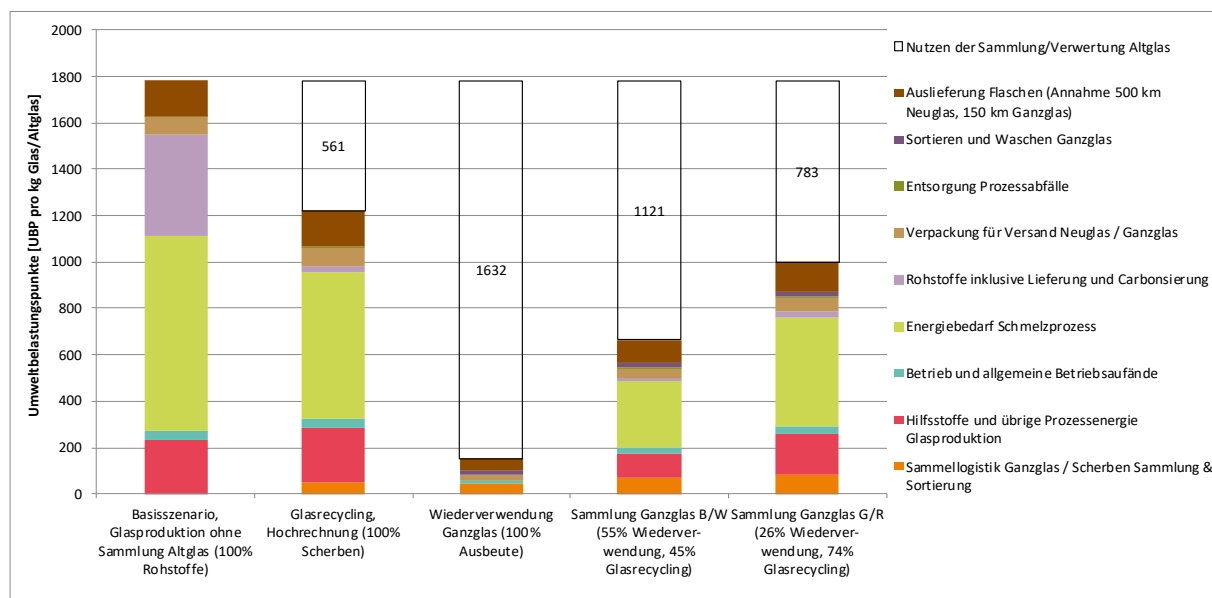


Abbildung 10: Umweltbelastung der Produktion Glas mit unterschiedlichen Anteilen Wiederverwendung und Glasrecycling. Einsparungen gegenüber dem Basisszenario ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas.

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die mit der Sensitivitätsanalyse in Kapitel 4.2.4 abgeschätzte Unsicherheit zum Nutzen liegt zwischen 20–30%.

Die Sammlung von Ganzglas im analysierten Betrieb ist auf relativ dicht besiedelte Gebiete konzentriert, um eine effiziente Logistik für die Sammlung zu gewährleisten. Der Ausschuss wird gemäss Angaben des analysierten Betriebes farbgetrennt gesammelt und anderen Verwertungsarten zugeführt. Für eine Analyse der

Spannbreite des ökologischen Nutzens wurden im Rahmen der Sensitivitätsanalysen weniger effiziente Sammel Touren und für den Vergleich mit Neuglas veränderte Produktionsbedingungen und Lieferdistanzen angenommen (siehe Kapitel 4.4 sowie Detailanalysen im Anhang A3.3).

4.2 Nutzen der Verwertung Altglas für Baustoffe und Filtermaterialien – Substitutionseffekte

Für die Bewertung des ökologischen Nutzens der Verwertung von Scherben für die Produktion von Baustoffen und Filtermaterialien wird der Effekt der vermiedenen Emissionen mit dem Ersatz standardmässig eingesetzter Produkte analysiert (siehe dazu die Beschreibungen der Verwertungsarten und Substitution in Tabelle 3). Dies ist in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt und wird im Endergebnis als Netto-Nutzen ausgewiesen. Die Glasproduktion erfolgt bei einer Nutzung der Scherben ausserhalb des Glaskreislaufes gleich wie im Basisszenario ohne Scherben.

4.2.1 Ökologischer Nutzen Scherben für Schaumglasschotter

Für eine Berechnung des Nutzens der Substitution wird in einem ersten Schritt der Aufwand für die Herstellung von Schaumglasschotter bilanziert und anschliessend für das Einsatzgebiet der Effekt einer Substitution standardmässig eingesetzter Produkte berechnet. Gemäss Angaben des Produzenten Misapor AG wird der aktuell aus grünen oder gemischten Scherben hergestellte Schaumglasschotter hauptsächlich für die folgenden Produktgruppen verwendet und damit im jeweiligen Anwendungsgebiet ein Effekt einer Substitution erzielt:

- 41% Perimeterdämmung (Ersatz Dämmplatten wie z.B. XPS oder Schaumglasplatten);
- 30% Leichtschüttungen (Ersatz Leichtbaustoffe wie z.B. Blähton im Strassen-/Gartenbau);
- 27% Leichtbaustoff (Ersatz EPS Platten z.B. im Strassenbau).

Der ausgewiesene ökologische Nutzen von Schaumglasschotter in dieser Studie basiert auf der Analyse der Substitutionseffekte im Bereich der Perimeterdämmung. Der Nutzen im Bereich Leichtschüttungen und Leichtbaustoffe ist stark objektabhängig und ein Durchschnittswert für den erzielten Ersatz schwierig zu erfassen. Häufig gehen die Vorteile mit Effekten auf die gesamte Bauweise über den direkten Materialersatz hinaus. Ergänzende Vergleiche auf der Ebene Ersatz Baustoffe für den Leichtbau und Leichtschüttungen sowie Fallbeispiele möglicher Effekte einer übergeordneten Optimierung der Konstruktionsweise mit Schaumglasschotter wurden für eine Sensitivitätsanalyse, im Umfang wie in Kapitel 4.4 beschrieben, erstellt und für eine Angabe zur Spannbreite des Nutzens berücksichtigt.

4.2.1.1 Analyse Umweltbelastung der Produktion Schaumglasschotter

Die Umweltbelastung der Herstellung von Schaumglasschotter in der Schweiz ist in Abbildung 11 dargestellt. Von Bedeutung ist in erster Linie der Strombedarf für den Schmelzprozess und eingesetzte Hilfsstoffe. Das eingesetzte Stromprodukt hat einen relevanten Einfluss auf die Bilanz, wie die dargestellten Varianten für die weiteren Sensitivitätsanalysen zeigen. Wärme wird ergänzend zum Strom zur Trocknung von nassem Material verwendet. Als Aktivator wird ein Abfallprodukt der Silicon Industrie SiC eingesetzt (ökonomische Allokation 25% für das Nebenprodukt).

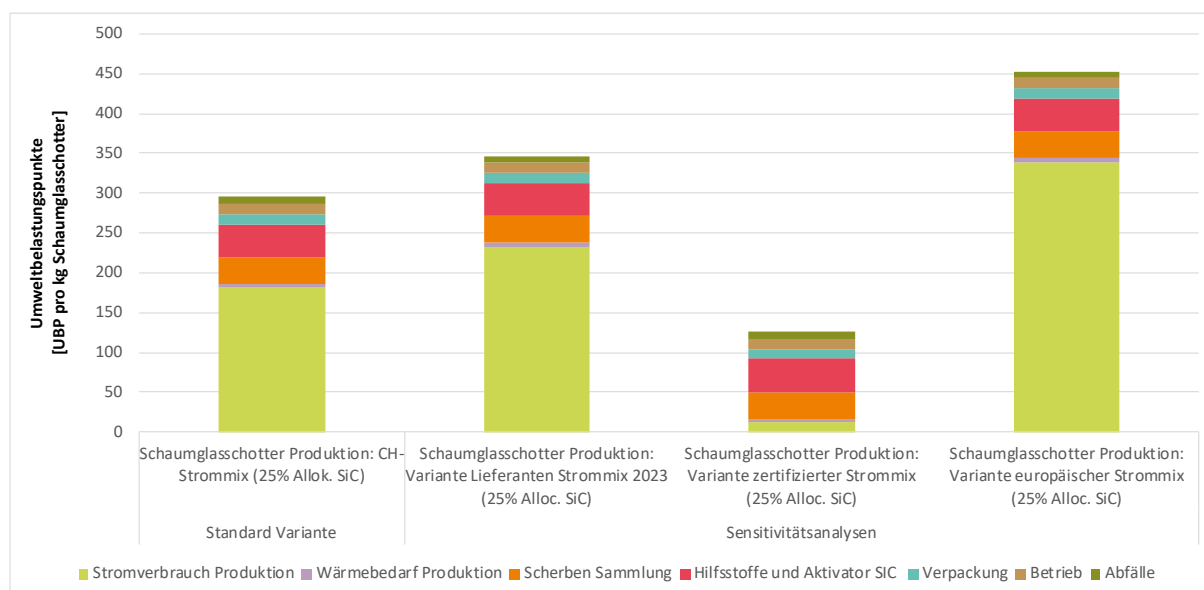


Abbildung 11: Umweltbelastung der Herstellung 1 kg Schaumglasschotter (=Verwertung von 1 kg Altglas)

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Unsicherheit der Angabe liegt bei etwa 20–30% für das analysierte Produkt und die Varianten der Herstellung mit unterschiedlichen Stromprodukten (der Einfluss des Stromproduktes wird berücksichtigt im Rahmen der Sensitivitätsanalysen in Kapitel 4.2.4).

Für die weiteren Betrachtungen und Bewertungen des ökologischen Nutzens von Schaumglasschotter wird als Standard die Variante «Schaumglasschotter Produktion: Variante CH Strommix, 25% SiC» verwendet. Effekte der Stromprodukte auf den ökologischen Nutzen werden im Rahmen der Sensitivitätsanalysen analysiert (siehe Anhang A3.4).

4.2.1.2 Substitutionseffekt Schaumglasschotter im Bereich der Perimeterdämmungen

Für eine Einordnung der Effekte einer Substitution ist die Umweltbelastung der Perimeterdämmung mit Schaumglasschotter im Vergleich zu anderen standardmässig eingesetzten Varianten mit Polystyrol XPS und Schaumglasplatten in Abbildung 12 dargestellt. Die Einheit der Darstellung bezieht sich auf die 1 kg Altglas in der Anwendung der Perimeterdämmung und entspricht bei einem typischen Aufbau und Dämmwert etwa einer Fläche von 0.018 m² Perimeterdämmung. Die Dämmsysteme im Vergleich sind im Aufbau auf eine gleiche Funktion und gleichen Isolationswert ausgelegt, sie unterscheiden sich jedoch in ihrem Aufbau. Die Perimeterdämmungen mit einer Isolation aus XPS oder Schaumglasplatten werden mit einer Sauberkeitsschicht aus Kies/Magerbeton aufgebaut. Hingegen wird beim Einsatz von Schaumglasschotter keine Sauberkeitsschicht benötigt, stattdessen werden zwei Vliese verlegt (Details zum Aufbau sind im Anhang A1.4 aufgeführt).

Im Vergleich zu einer Perimeterdämmung mit XPS und Schaumglasplatten ergibt die Perimeterdämmung mit Schaumglasschotter eine Reduktion der Umweltbelastung um etwa 60%. Insgesamt ergibt sich mit der Verwertung von Scherben zu Schaumglasschotter und der Substitution konventioneller Perimeterdämmung unter den getroffenen Annahmen beim Produktionsstandard der einzelnen Baustoffe ein ökologischer Nutzen von etwa 580 UPB (bei einem Anteil von 25% Schaumglasplatten mit 609 UPB und 75% XPS mit 571 UPB Differenz).

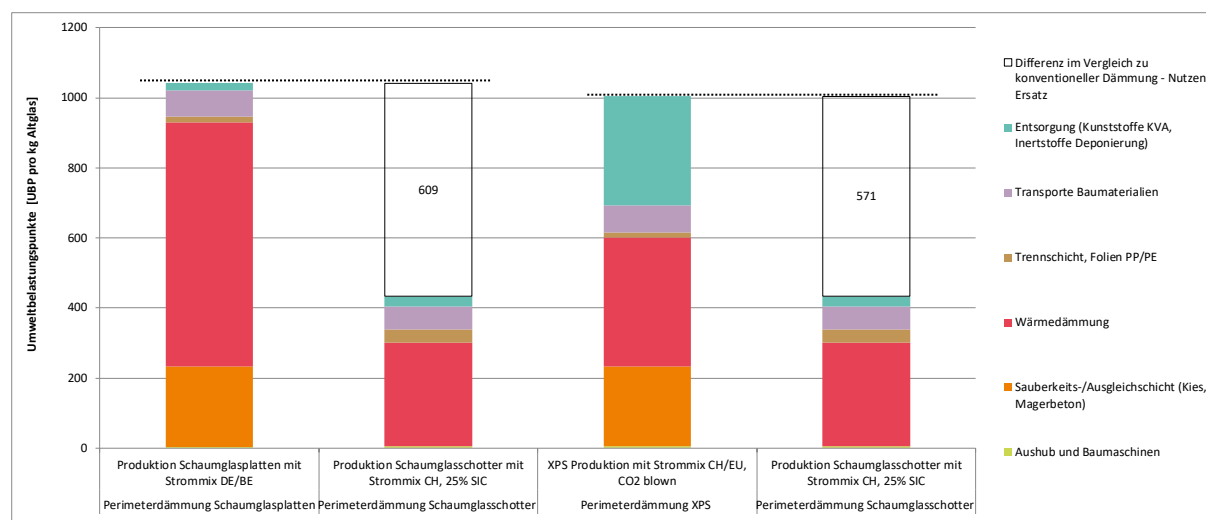


Abbildung 12: Analyse der Umweltbelastung Perimeterdämmung mit Schaumglasschotter im Vergleich zu gleichwertigen Dämmsystemen mit Schaumglasplatten und mit Polystyrol XPS (1 kg Altglas für 1 kg Schaumglasschotter entspricht 0.18 m² Perimeterdämmung).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Abschätzung ergibt aufgrund der getroffenen Annahmen zum Produktionsstandard eine Unsicherheit von 40-50% (siehe Sensitivitätsanalysen in Kapitel 4.2.4).

Die Höhe der Reduktion der Umweltbelastung ist unter anderem vom Produktionsstandard der Baustoffe abhängig. Für diesen Vergleich wurde für die Produktion Datengrundlagen der Produktion Schaumglasplatten (Importe) und XPS (CH/Importe) aus der BAFU:2024 Datenbank verwendet und in Abhängigkeit des Produktionsstandortes die Stromprodukte angepasst⁸. Der Einfluss der Annahmen zum Produktionsstandard und zum Stromprodukt wurde im Rahmen der Sensitivitätsanalysen analysiert (siehe Kapitel 4.4 und Detailanalysen Sensitivitäten im Anhang A3.4).

4.2.1.3 Extrapolation Leichtschüttungen und als Leichtbaustoff im Strassenbau

Der ökologische Nutzen von Schaumglasschotter in Leichtschüttungen und als Leichtbaustoff ist objektabhängig und im Rahmen dieser Studie nicht quantifizierbar. Als Schätzung für die Größenordnung des ökologischen Nutzens von Leichtschüttungen wurde das Ergebnis der Perimeterdämmung verwendet (Abbildung 12). Für ein Bild zur Bandbreite des Nutzens wurden ergänzend Schüttmaterialien und Leichtbaumaterialien mit Schaumglas verglichen und Effekte über den direkten Ersatz von Baustoffen hinaus mit einer Analyse der veränderten Bauweise am Beispiel des Stahlbeton-Frostschutzriegels analysiert. Diese werden für die Beurteilung der Spanbreite berücksichtigt (siehe Sensitivitätsanalysen Kapitel 4.4 und Detailanalysen und Illustrationen im Anhang A3.4).

4.2.2 Ökologischer Nutzen Scherben für Filtermaterial AFM

Bei der Verarbeitung von Altglas zu aktiviertem Filtermaterial (AFM) entstehen nebst AFM weitere Nebenprodukte. Einerseits sind dies weitere Filtermaterialien und andererseits Feinglas und Weissglas, die in anderen Verwertungsarten zum Einsatz kommen. Das nachfolgende Schema zeigt die Stoffflüsse für die

⁸ Der Datensatz aus dem Jahr 2007 für Schaumglasplatten in der BAFU:2024 Datenbank basiert auf der Produktion von Schaumglasplatten in Belgien. Mittlerweile gibt es Deutsche und Tschechische Produktionsstandorte für Schaumglasplatten. Es wurde mangels Daten mit einem Marktanteil aus 50% Belgien und 50% Deutschland gerechnet. Als Stromprodukt wurde der Länderstrommix eingesetzt. Für die lokale Produktion von XPS wurde der Schweizer Strommix und für Importe der EU Strommix. Es wurde für XPS 25% Importanteil eingesetzt.

Produktion von AFM mit einem Materialinput von 70% Grünglas, 27% Ausschuss aus Sortieranlagen und rund 3% Scherben aus Sammlung von farbgemischtem Altglas (Stand 2020).

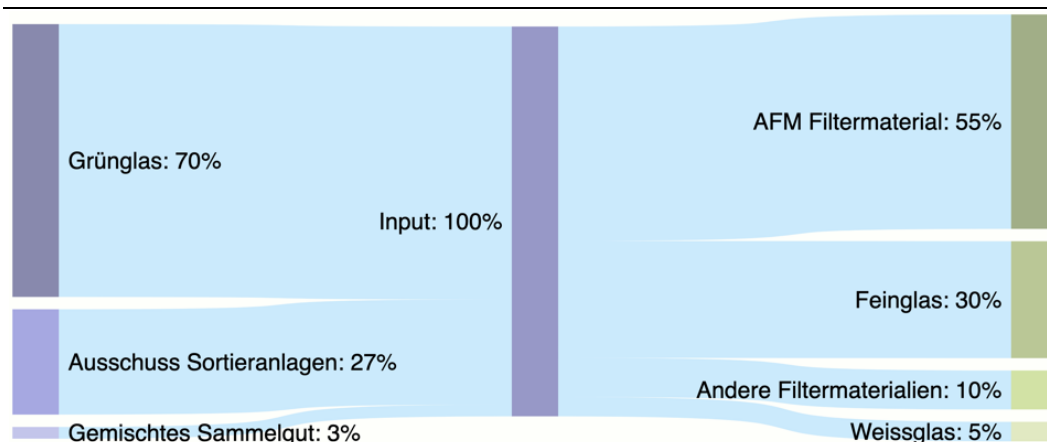


Abbildung 13: Stoffflüsse der Produktion von aktiviertem Filtermaterial (AFM) in der Schweiz illustriert für das Jahr 2020

Der Nutzen der Fraktion Filtermaterialien AFM wird nachfolgend analysiert, der Nutzen der weiteren Fraktionen Feinglas und Weissglas wird hergeleitet aus den Analysen der weiteren Verwertungsarten in dieser Studie.

Laut Angaben des Herstellers Dryden Aqua aus dem Jahr 2020 werden 95% des produzierten AFM auf dem europäischen und 5% auf den Schweizer Markt verkauft. Das hergestellte AFM Filtermaterial wird für die folgenden Produktgruppen verwendet:

- 30% Filtersysteme öffentliche Bäder (anstelle von Quarzsand);
- 30% Filtersysteme private Swimmingpools (anstelle von Quarzsand);
- 40% Filtersysteme für die Behandlung von Abwasser und Prozesswasser aus der Industrie.

Mit dem Einsatz von AFM Filtermaterial kann einerseits Quarzsand ersetzt und andererseits die Spülung von Filtern optimiert und damit der Rückspülwasserverbrauch und Chloreinsatz reduziert werden (siehe dazu auch Anhang A1.7). Mit einem geringeren Wasserverlust beim Einsatz von AFM in beheizten Bädern wird auch eine Einsparung der Heizenergie erzielt.

4.2.2.1 Umweltbelastung der Produktion AFM Filtermaterial

Die Umweltbelastung der Herstellung von AFM Filtermaterial ist in Abbildung 14 dargestellt. Von Bedeutung ist in der Produktion AFM in erster Linie der Energiebedarf für die Sortierung und Reinigung der Glasscherben sowie der Aufwand für die Sammlung der Glasscherben bis zur Lieferung zur Produktionsstätte. Für das Vorsortieren und Reinigen sowie für die Produktion von AFM Filtermaterial wird ein Teil des benötigten Stroms eingekauft und ein Teil wird durch die Eigenproduktion von Solarstrom gedeckt. Zur Produktion von Wärme wird Erdgas eingesetzt.

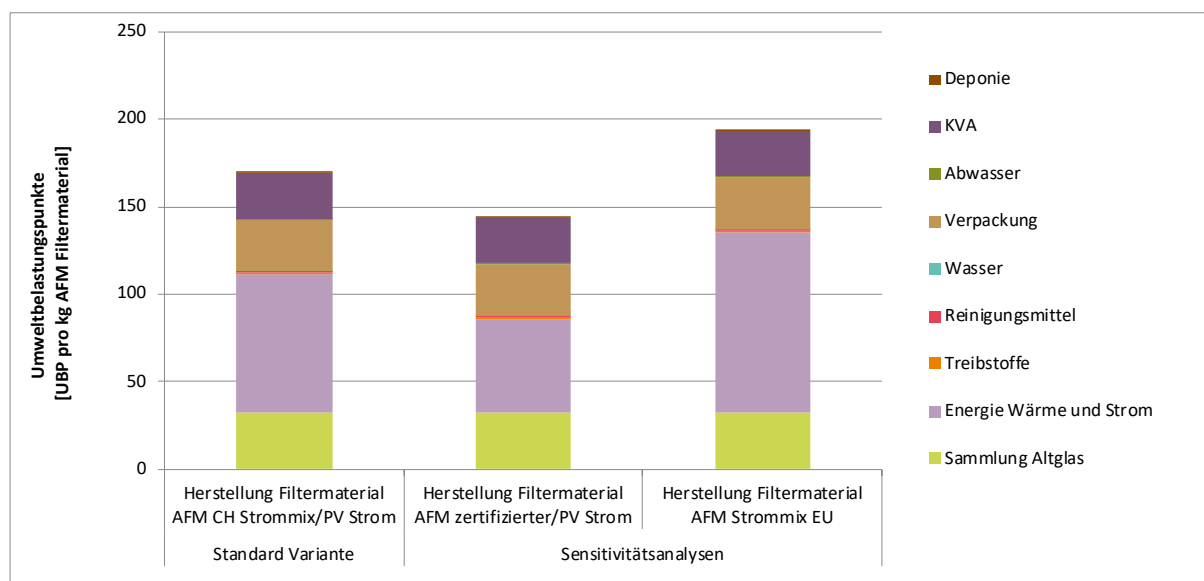


Abbildung 14: Umweltbelastung der Herstellung von 1 kg AFM Filtermaterial (= 1 kg Altglas sortiert grün/braun)
Die Umweltbelastung wurde mit der UBP-Methode 2021 berechnet. Die Unsicherheit der Angabe liegt bei etwa 20% für das analysierte Produkt und die Herstellung unterschiedlichen Stromprodukten.

In Abbildung 14 ist der Einfluss unterschiedlicher Varianten der eingekauften Stromprodukte auf die Umweltbilanz der Herstellung von AFM Filtermaterial dargestellt. Als Standard wird für einen Vergleich der länderspezifische Stromversorgungsmix verwendet (siehe Kapitel 3.2.3), Effekte der Stromprodukte werden sofern relevant für den ökologischen Nutzen im Rahmen der Sensitivitätsanalysen berücksichtigt (nicht relevant für AFM).

4.2.2.2 Nutzen des Einsatzes AFM in öffentlichen Bädern und privaten Swimmingpools

Mit dem Einsatz von AFM Filtermaterial kann gegenüber dem Einsatz Quarzsand die Spülung von Filtern optimiert und damit der Rückspülwasserverbrauch und Chloreinsatz reduziert werden. Die mit der Rückspülung verbundene Umweltbelastung in Bädern ist für Filtersysteme von Hallenbädern, Freibädern und Swimmingpools in Abbildung 15 mit der Variante AFM und der Variante Quarzfilter dargestellt. Die Graphik zeigt mit dem Vergleich 25 m Becken den erzielten Nutzen AFM mit den Einsparungen von Spülwasser und Chlor sowie für die beheizten Bäder zusätzlich die Einsparung Energie für den Ersatz von Spülwasser. Für eine Einordnung des Effektes in Swimmingpools wurden 10 Privatpools zusammen für ein vergleichbares Volumen an Wasser illustriert.

Die Umweltbelastung der Herstellung von AFM Filtermaterial und Quarzsand ist im Vergleich zu den Umweltauswirkungen der Spülung im Betrieb der Filtersysteme gering. Die Umweltbelastung des Filtermaterials AFM ist pro kg etwa 20% höher als die Umweltbelastung des Sandabbaus. Dies ist jedoch für den Gesamtumweltfußabdruck der Systeme nicht ausschlaggebend. Der Mehraufwand der AFM Herstellung wird durch eine längere Einsatzzeit und Einsparungen im Betrieb der Filter ausgeglichen. Für die Bilanz insgesamt ausschlaggebend ist vor allem der Wasserverlust Spülwasser, welcher bei der Rückspülung der Filter entsteht, sowie der damit verbundene Energieaufwand, um das frische Wasser wieder zu erwärmen.

Die Umweltbelastung von einem öffentlichen Hallenbad mit AFM Filtersystem ist mit dem geringeren Wasserverlust und den Einsparungen von Chlor und Energie um etwa 30% kleiner als bei einem konventionellen Sandfilter. Im Freibad und in privaten Swimmingpools ist die Umweltbelastung um etwa 25% kleiner, wenn AFM statt Sand als Filtermaterial eingesetzt wird. Die Differenz der jährlichen Umweltbelastung mit

AFM gegenüber Quarzsand als Filter, ist mit der gestrichelten Linie dargestellt. Diese entspricht der erzielten Reduktion mit dem Einsatz von AFM Filtermaterial pro Bad und Jahr.

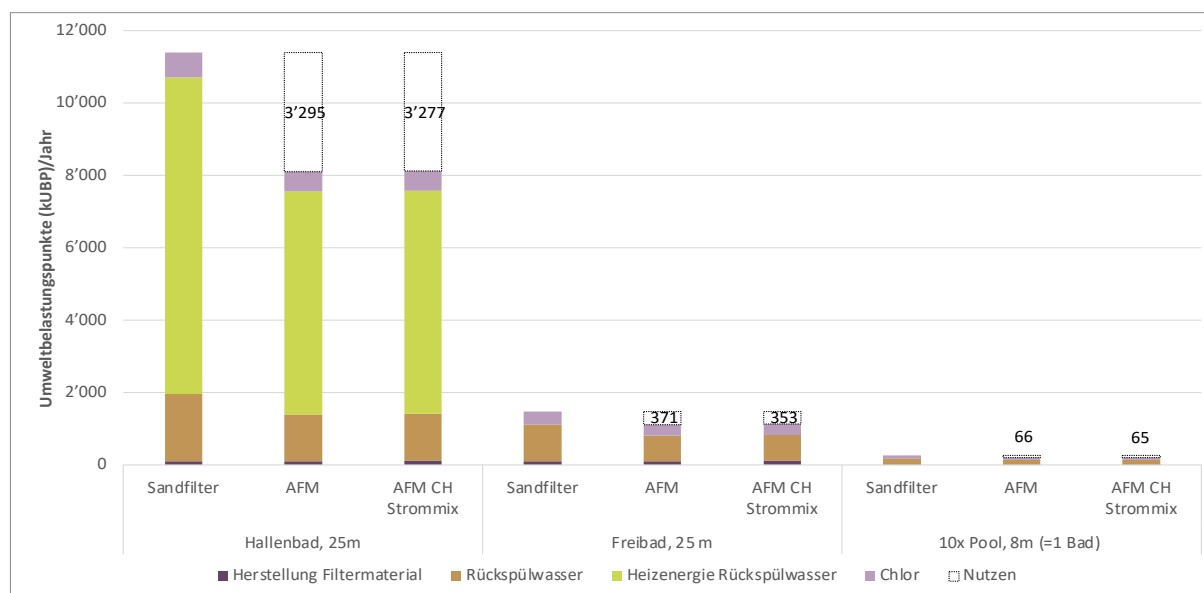


Abbildung 15: Analyse der Umweltbelastung von Filtermaterial, Chloreinsatz und Rückspülung in 1000 UBP pro Bad und Jahr für ein Standardbecken Hallenbad, Freibad sowie ein vergleichbares Wasservolumen von Pool-Anlagen (siehe weitere Details zu Mengen Filtermaterial du Lebensdauer der Filter in Anhang A1.7)

Variantenvergleich für den Einsatz von AFM Filtermaterial im Vergleich zu einem konventionellen Sandfilter (Hallenbad beheizt, 11 Monate Betrieb; Freibad unbeheizt, Halbjahr Betrieb; Pool-Anlagen mit vergleichbarem Wasservolumen, unbeheizt, 20 Wochen Betrieb). Die Umweltbelastung wurde mit der UBP-Methode 2021 berechnet.

Für ein Fazit des Nutzens pro kg Altglas bzw. AFM wird das Ergebnis der Bäder auf die eingesetzte Menge Filtermaterial AFM umgerechnet und über die verschiedenen Varianten Bäder und Poolanlagen gemittelt. Dazu wird die im Schnitt eingesetzte Menge Filtermaterial AFM pro Jahr ausgehend von der Füllmenge des Filters und Angaben der Lebensdauer der Filter in den einzelnen Systemen berechnet (siehe Anhang A1.7). Für einen Durchschnittswert wurden die folgenden Angaben zum Markt für AFM verwendet:

- 30% in öffentlichen Bädern (Annahme 6% beheizte Hallenbäder und 24% unbeheizte Freibäder);
- 30% in Swimmingpools (Annahme Pool mehrheitlich unbeheizt);
- 40% Anwendungen in der Trink- und Abwasserbehandlung (Annahme Effekt wie Freibäder).

Abbildung 16 zeigt den so ermittelten Durchschnittswert der Umweltbelastung der Filter und Rückspülung und die dabei erzielte Einsparung pro kg Altglas mit dem Einsatz als Filtermaterial AFM. Das AFM Filtermaterial bewirkt gegenüber der Alternative mit Sand geringere Umweltauswirkungen im Bereich des Wasserverbrauchs, des Chloreinsatzes und Heizenergie für den Ersatz von Spülwasser in beheizten Bädern.

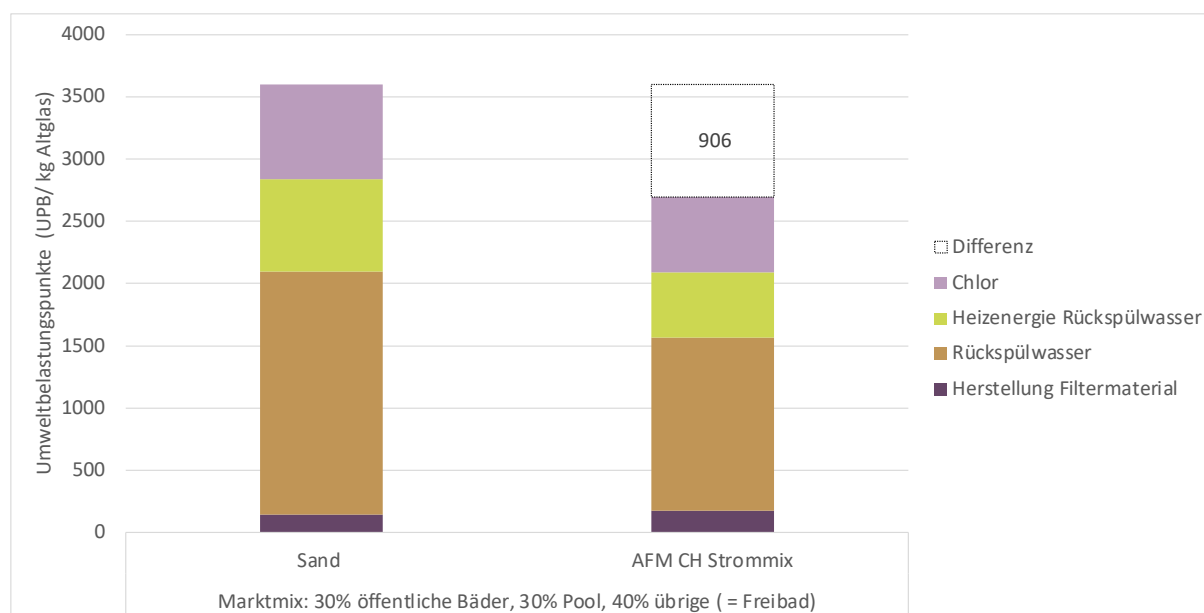


Abbildung 16: Veränderung Spülprozess, erzielte mittlere Reduktion der Umweltbelastung im Vergleich zu Filtersystemen mit Quarzsand, Aufwände pro kg eingesetztem Altglas in der Verwendung als Filtermaterial AFM. Als Marktmix hinterlegt sind 30% öffentliche Bäder (Annahme 6% beheizt Hallenbäder und 24% unbeheizt Freibäder), 30% Pools sowie 40% Trinkwasser-/Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Extrapolation über Freibäder. Die Umweltbelastung wurde mit der UBP-Methode 2021 berechnet. Die Unsicherheit liegt im Bereich von 50-60%.

Entscheidend für den Nutzen ist das Einsatzgebiet und insbesondere der Anteil beheizter Bäder sowie die dort erzielte Grössenordnung der Rückspülverluste. Die Unsicherheit der Einsparung wurde im Rahmen der Sensitivitätsanalysen mit verschiedenen Szenarien zur Marktverteilung und Anteil beheizten Bädern und Effizienz der AFM Filter analysiert (siehe Kapitel 4.2.4 und Anhang A3.5).

Mit einem AFM Marktanteil von 40% ist der Einsatz von AFM als Filtermaterial in der Abwasser- und Prozesswasserbehandlung relevant. Aktuell fehlen Erfahrungswerte für die hier erzielten Einsparungen mit der Anwendung von AFM. Die vorhandenen Prüfungsergebnisse der Filtriereigenschaften lassen auf eine ähnliche Einsparung an Spülwasser wie im Bereich der unbeheizten Bäder schliessen. Der Effekt in diesem Bereich wurden anhand der Daten für ein öffentliches Freibad extrapoliert und miteingerechnet.

4.2.2.3 Mischwert Nutzen Sammlung Scherben für AFM & weitere Verwertungen

Die aussortierten Fraktionen aus der Vorsortierung der Scherben für die Produktion von AFM Filtermaterialien werden für unterschiedliche Verwertungsarten genutzt. Der Nutzen pro kg Altglas der Sammlung für AFM wird entsprechend der Anteile der dabei anfallenden Fraktionen und Verwertungen berechnet. Der mit der Sammlung von Altglas für AFM erzielte Nutzen setzt sich zusammen aus den Anteilen der Output Produkte, aus der Produktion AFM und den damit erzielten Einsparungen in unterschiedlichen Verwertungsarten. Für das anfallende Feinglas wurde ein Szenario von 50% Schaumglasschotter und 50% Sandersatz hinterlegt. Die Weitergabe verändert sich laufend und zeigt als Trend einen abnehmenden Anteil Versanden und einen Einsatz Feinglas im Bereich der Glas- und Glaswolleproduktion.

Tabelle 4: Mischwert Nutzen der Sammlung Scherben für AFM, Haupt- und Nebenprodukte Verwertung

Erzielte Reduktion der Umweltbelastung in der Summe der Verwertungen der Sammlung

Verwertung Scherben, Sammlung für AFM	% Anteil an Gesamtoutput	Ökologischer Nutzen Out- put in [UBP pro Gewichts- anteil der Fraktion, in Klammern UBP pro kg]	Spannbreite Nutzen [UBP pro kg Sammelgut]
AFM Filtermaterial	55%	498 (906)	906 (541-1127)
Andere Filtermaterialien	10%	1 (13) (*)	13 (11-16)
Feinglas für Verwertung Baustoffe	30%	97 (297) (**)	297 (160-458)
Weissglas für Recycling	5%	28 (561)	561(433-705)
Mischwert Nutzen AFM & Nebenprodukte	100%	625	225-1109

* Annäherung Ersatz Sandfilter mit Versanden

** Annäherung mit Verwertung 50% Schaumglasschotter/50% Sand

4.2.3 Ökologischer Nutzen Scherben für Glaswolle

Der ausgewiesene ökologische Nutzen für den Einsatz von Scherben in der Produktion von Glaswolle basiert auf dem Wert der Hauptanwendung der Glaswolle als Wärmedämmung. Der Nutzen wurde mit dem erzielten Ersatz der alternativ eingesetzten Wärmedämmungen mit Steinwolle und Holzfaserplatten erstellt. Dazu wurden die Anwendungen dieser Dämmstoffe im Steildach und in der Ständerwand verglichen. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Aufbauten Dämmstoffe abschätzen zu können, wurden in dieser Studie ein typischerer Aufbau einer Ständerwand mit einer durchschnittlichen Dämmwirkung (U-Wert von 0.17 W/(m² K)) und ein entsprechendes Aufbaubeispiel für ein Steildach untersucht (siehe dazu Anhang A1.9). Bis auf die Dämmstoffe und deren Gewicht bleibt der Aufbau mit Holzlattungen, Folien und weiteren Elementen der Wände und Dächer gleich.

4.2.3.1 Analyse Umweltbelastung der Produktion Glaswolle

Die Umweltbelastung der Herstellung von Glaswolle ist in Abbildung 17 dargestellt. Von Bedeutung sind in erster Linie die Energieaufwände, d.h. der Energiebedarf für den Schmelzprozess im Ofen und die weitere Verarbeitung sowie die eingesetzten Rohstoffe und Hilfsstoffe im Prozess. Der Einfluss des Stromproduktes wird mit unterschiedlichen Stromprodukt-Varianten dargestellt. In der Analyse des ökologischen Nutzens wird für die Verwertungen der länderspezifische Strommix als Standard verwendet (siehe Kapitel 3.2.3), daneben für eine Sensitivitätsanalyse der Einfluss von verschiedenen Stromprodukten in der Produktion der Dämmstoffe auf den erzielten Nutzen analysiert (siehe Detailanalysen Anhang A3.6).

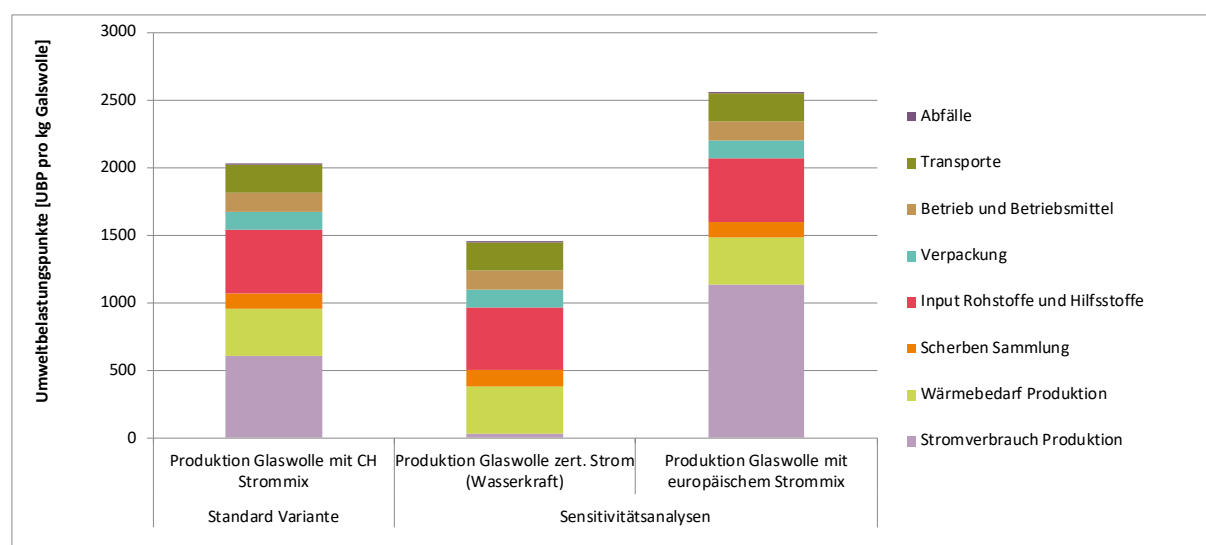


Abbildung 17: Umweltbelastung der Herstellung von 1 kg Glaswolle (Verwertung von 0.76 kg Altglas)

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Unsicherheit der Angabe liegt bei etwa 20–30% für die dargestellten Varianten der Produktion mit unterschiedlichen Stromprodukten.

Bei den Inhalts- und Hilfsstoffen handelt es sich um Stoffe, die den Glasscherben beigemischt und im Schmelzofen mit aufgeschmolzen werden. Der Schmelzofen wird elektrisch betrieben und Erdgas wird im Anschluss für die Zerfaserung und das Aushärten des Bindemittels im Tummelofen verwendet. Abhängig von der Sammlung kommen für die Farbsortierung weitere Aufwände und Transporte hinzu. Die Entsorgung der Produktionsabfälle und der Nebenprodukte aus der Glaswollproduktion sind nicht relevant.

4.2.3.2 Nutzen Scherben für Glaswolle im Bereich der Wärmedämmungen

Die Umweltbelastung der Wärmedämmung mit Glaswolle einer typischen Anwendung im Steildach und in der Ständerwand mit vergleichbaren Dämmungen (mit demselben Isolationswert) ist in Abbildung 18 gegenübergestellt. Es wird beim Ersatz ein Marktmix mit 95% Steinwolle und 5% Holzfaserplatten gerechnet und dabei ein Import von Steinwolle von 25% angenommen. Die Produktion der Steinwolle in der Schweiz wurde auf einen Elektroschmelzofen umgestellt, für die Importe wird weiterhin eine Produktion mit fossilen Brennstoffen angenommen⁹.

Die analysierten Systeme mit einer Wärmedämmung aus Glaswolle, Holzfaserdämmung und Steinwolle sind für die verglichenen Beispiele im Steildach und in der Ständerwand bis auf die Wahl der Wärmedämmung identisch aufgebaut (siehe Aufbau der Steildächer und Ständerwände in Anhang A1.9). Das benötigte Volumen an Dämmstoffen pro Fläche m² Dach und Wand variiert leicht.

Die Umweltbelastung der Dämmung mit Glaswolle ist im Vergleich zur eingesetzten Steinwolle und Holzfaserplatte geringer. Erwartet wird bei einem Ersatz des sonst eingesetzten Marktmixes, eine mittlere Einsparung von 755 UPB. Diese wurde berechnet mit einem Verhältnis von 1:2 im Einsatz Dach und Fassaden und einer Reduktion von 1'100 UPB beim Dach und 594 UPB bei Fassaden.

⁹ Der Datensatz der Produktion von Steinwolle aus der Datenbank BAFU:2024 wurde für die Produktion von Steinwolle in der Schweiz und den dort neu eingesetzten Elektroschmelzofen angepasst und die Bilanz UPB liegt damit im Bereich der neuen KBOB Einträge.

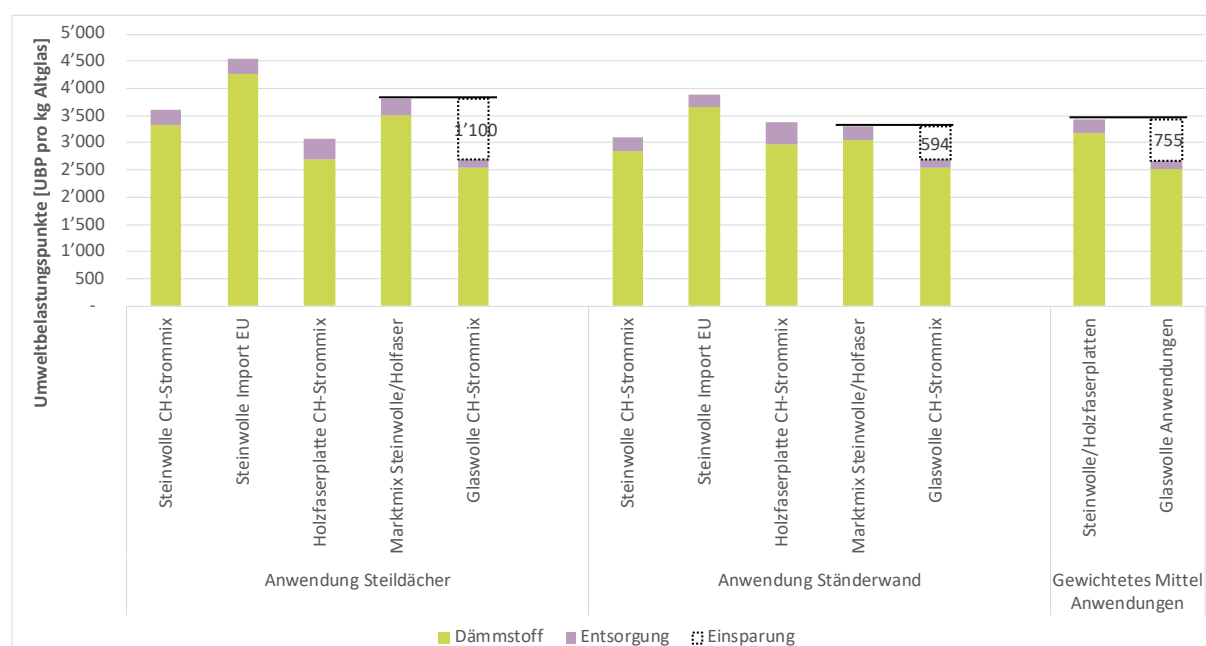


Abbildung 18: Analyse der Umweltbelastung Wärmedämmung mit Glaswolle im Vergleich zu gleichwertigen konventionellen Dämmsystemen Steildach und Ständerwand (1 kg Altglas entspricht etwa 0.313 m² Dämmung mit Glaswolle).
Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Abschätzung Unsicherheit liegt im Bereich von 40-50% (siehe Sensitivitätsanalysen in Kapitel 4.2.4).

Die Annahmen des Marktmixes sowie Effekte der eingesetzten Stromprodukte, wie zum Beispiel der Einkauf Grünstrom in der Produktion Glas- und Steinwolle wurde im Rahmen der Sensitivitätsanalysen für die Angabe der Spannbreite Nutzen analysiert (siehe Kapitel 4.2.4 und Detailanalysen Anhang A3.6).

4.2.4 Ökologischer Nutzen Scherben für Sandproduktion

Daten für den Aufwand der Sandproduktion aus Scherben liegen nicht vor. Als Abschätzung für Maschinen und Energieeinsatz wurde der Mahlprozess Kalkstein aus der Datenbank BAFU:2024 verwendet (Limestone, crushed, for mill). In Abbildung 19 ist der Aufwand für das Sammeln und Versenden von Scherben gegenüber dem Aufwand Abbau Rohstoff Sand dargestellt. Aufwände der Versendung und damit erzielte Effekte einer Substitution sind verhältnismässig klein im Vergleich zu den anderen Verwertungsarten.

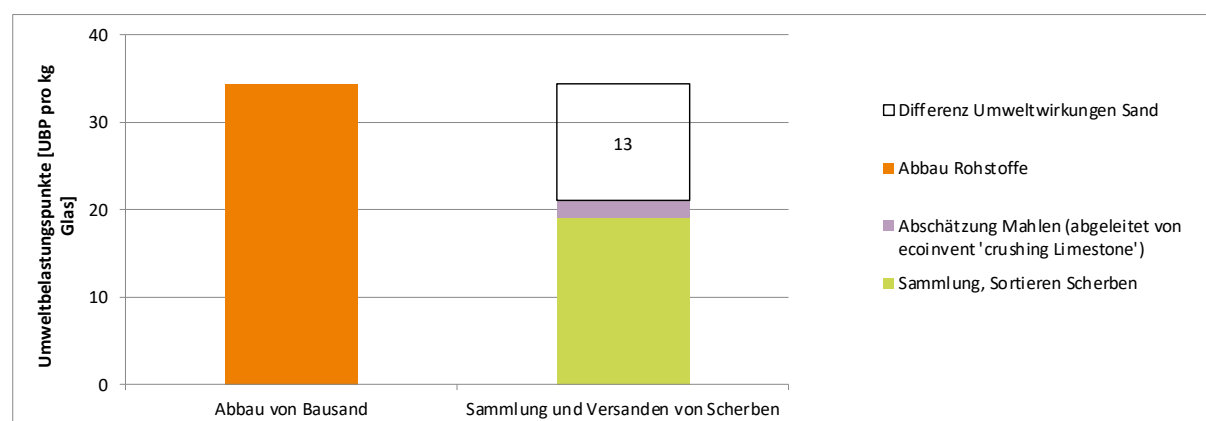


Abbildung 19: Herstellung von Sand aus Scherben im Vergleich zum Abbau von Sand

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Schätzung Unsicherheit 20-30%

4.3 Vergleich der Bilanz der Verwertungsarten

Die nachfolgenden Abbildungen und Tabellen zeigen das Ergebnis der Umweltbilanz der verschiedenen Verwertungsarten im Vergleich zum Basisszenario ohne eine Sammlung und Nutzung von Altglas. Dargestellt ist die Umweltbelastung der Glasbereitstellung mit einer Reduktion bei einer Verwertung von Altglas im Glaskreislauf. Bei den Verwertungsarten von Altglas ausserhalb des Glaskreislaufs wird der Effekt der Substitution als negative Emissionen ausgewiesen. Daraus abgeleitet ergibt sich das nachfolgende Ergebnis der Ökobilanz mit dem durchschnittlich erwarteten ökologischen Nutzen der Verwertungsarten. Analysen zur Bandbreite des Nutzens sind im nachfolgenden Kapitel 4.4 und dabei erstellten Sensitivitätsanalysen im Anhang A3 illustriert.

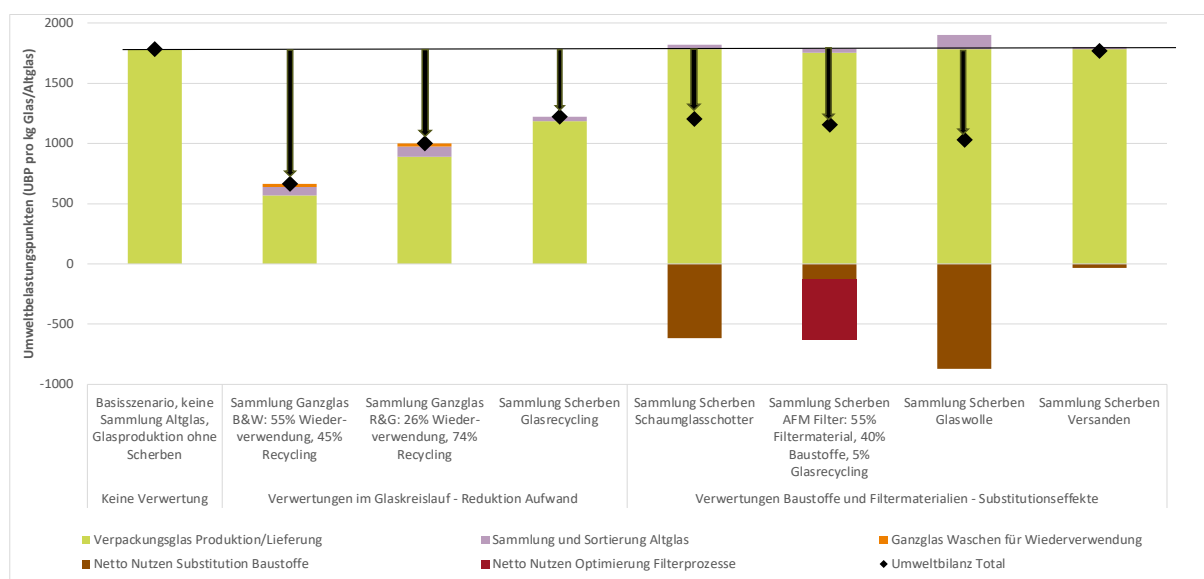


Abbildung 20: Ökobilanz Produktion und Verwertung von 1 kg Glas/Altglas, Variantenvergleich Verwertungsarten

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Unsicherheit des berechneten Nutzens variiert abhängig von der Verwertungsart. Die Abschätzungen der Spannbreite ergeben eine Unsicherheit von 20–50%.

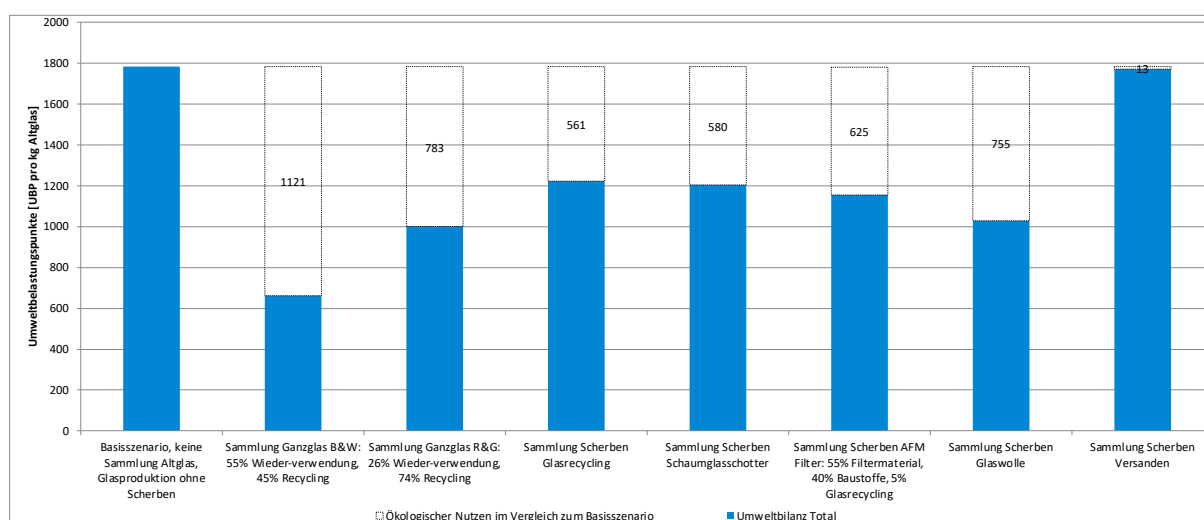


Abbildung 21: Endergebnis Nutzen der Sammlung und Verwertung im Vergleich zum Basisszenario [1 kg Glas/Altglas]

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Unsicherheit des berechneten Nutzens variiert abhängig von der Verwertungsart. Die Abschätzungen der Spannbreite ergeben eine Unsicherheit von 20–50%.

4.4 Sensitivitätsanalysen

Um die Belastbarkeit der Resultate zu prüfen, wurden Best- und Worst-Case Analysen ausgehend von den getroffenen Annahmen erstellt. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die dabei getroffenen Annahmen.

Tabelle 5: Szenarien für Sensitivitätsanalysen und Abschätzungen der Spannweite des ökologischen Nutzens

Veränderungen mit dem Einsatz von Scherben oder der Wiederverwendung von Ganzglas

Verwertung	Grundannahmen/Ausgangswert	Minimalwert Nutzen	Maximalwert Nutzen
Ganzglas	Import Glas Konsummix Standard Produktion 1/3 DE und 2/3 RER (DE = Deutschland, RER = Europa)	Glasproduktion DE (min)	Glasproduktion RER (max)
	Auslieferung Neuglas 500 km	Auslieferung Neuglas 150 km	Auslieferung Neuglas 600 km
	Ausschuss Scherben bewertet mit Standard Glasrecycling	Ausschuss Scherben bewertet mit Minimalwert Glasrecycling	Ausschuss Scherben bewertet mit Maximalwert Glasrecycling
	Ganzglas Ausbeute 26% Gemeinden/Restaurant 55% Betriebe/Weinbauern	Geringere Ausbeute 25% Gemeinden/Restaurant 50% Betriebe/Weinbauern	Höhere Ausbeute 30% Gemeinden/Restaurant 60% Betriebe/Weinbauern
Glasproduktion/Glasrecycling	Glasproduktion Standard Annahme Produktion 1/3 DE und 2/3 RER Einsparung Energie Schmelzprozess 2.5% pro 10% Scherben	Glasproduktion DE (min) Einsparung 2%	Glasproduktion RER (max) Einsparung 3%
Schaumglasproduktion	Produktion mit Länder Strommix (CH-Strom für Schotter und XPS, BE/DE Strommix für Platten Schaumglas) Annäherung Nutzen Leichtschüttungen/ Leichtbaustoffe mit Ergebnissen der Perimeterdämmung	Substitution Baustoffe XPS und Schaumglasplatten mit geringem Umweltfußabdruck (zertifizierter Strom) Annäherung mit Minimalwert Perimeterdämmung (Ersatz EPS Leichtbau und Blähton als Schüttmaterial)	Substitution Baustoffe XPS und Schaumglasplatten mit höherem Umweltfußabdruck (EU-Strom) Annäherung mit Maximalwert Perimeterdämmung (baulichen Vorteilen wie z.B. Frostschutzriegel Stahl-Beton)
AFM Filtermaterial sowie dabei anfallende weitere Fraktionen	AFM Lebensdauer 10 Jahre AFM Markt, 30% Einsatz Bäder 30% Reduktion Spülwasserverlust Bäder gegenüber Sandfilter Anteil öffentliche Bäder beheizt 20% (0% Privatpool beheizt) Extrapolation Einsatz AFM Trinkwasser/Abwasser, Annäherung Effekte mit Beispiel AFM Freibad Annäherung mit 50% Schaumglas-schotter 50% Sand	7 Jahre 25% Bäder 20% Reduktion 10% beheizt geringere Einsparung als Freibad -50% Einsparung Annäherung mit Nutzen der Verwertung Sand	15 Jahre 35% Bäder 40% Reduktion 30% beheizt geringere Einsparung als Freibad +50% Einsparung Annäherung mit dem vollen Nutzen der Verwertung von Schaumglas
Glaswolle	Lokale Produktion mit Länder-Strommix, Steinwolle 25% Importe Steinwolle (Strommix EU)	Ständerwand, Ersatz weitgehend optimierter Produkte (Einsatz Ökostrom, Steinwolle Marktmix mit 15% Anteil konventionelle Schmelzöfen mit fossilen Energieträgern.	Steildach, Ersatz weniger weit optimierter Produkte, Steinwolle (kein Ökostrom, Marktmix mit 25% Anteil konventionelle Schmelzöfen mit fossilen Energieträgern
Versanden	Abschätzung mit BAFU:2024 Datensatz für Mahlen Kalkstein	20% weniger Aufwand Mahlen	20% mehr Aufwand Mahlen

Auf Basis dieser Annahmen wurde die nachfolgend illustrierte Spannbreite in Abbildung 22 abgeschätzt, diese entspricht dem 95%-Konfidenzintervall (Detailergebnisse der Analysen sind in Anhang A3 dargestellt).

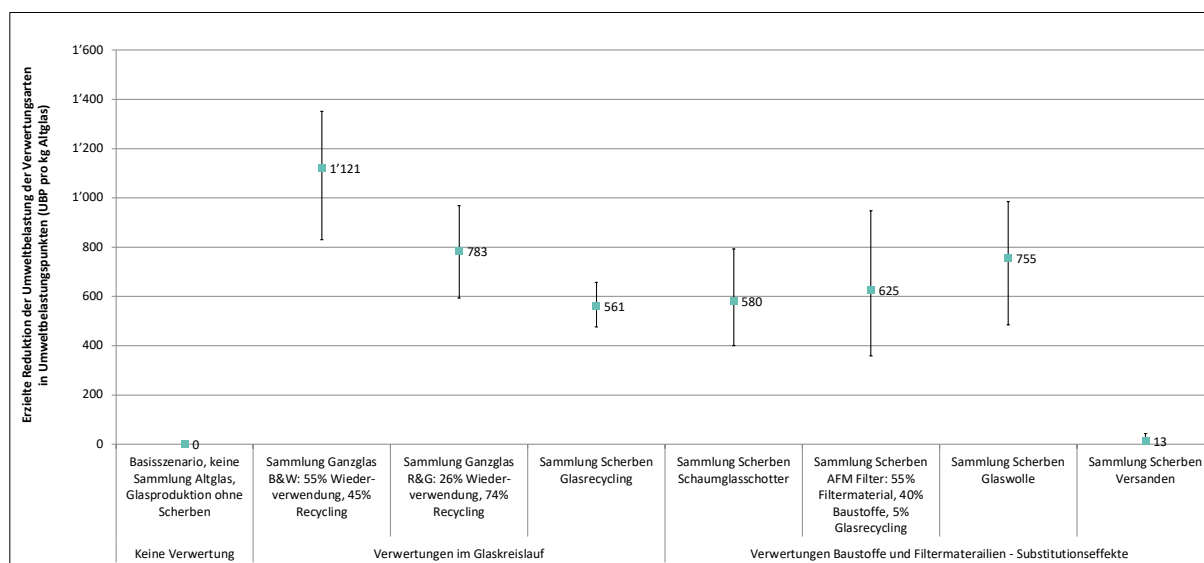


Abbildung 22: Spannbreite des ökologischen Nutzens der verschiedenen analysierten Verwertungsalternativen

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Spannbreite wurde ausgehend von den aufgeführten Szenarien in Kapitel 4.4 bestimmt (Abschätzung 95%-Konfidenzintervall). Nicht berücksichtigt sind in der Darstellung der Spannbreite die Abhängigkeiten der Resultate innerhalb der Verwertungen im Glaskreislauf.

Es besteht eine Abhängigkeit beim Resultat der Sammlung von Ganzglas von den Resultaten der Glasproduktion und damit zwischen den Verwertungen im Glaskreislauf. Dies ist bei der Darstellung der Spannbreite nicht berücksichtigt (Maximalwerte der Umweltbelastung in der Glasproduktion haben einen Einfluss auf alle Ergebnisse der Verwertungen im Glaskreislauf). Trotz der Überschneidung der Bereiche ist die Differenz beim ausgewiesenen ökologischen Nutzen signifikant.

Es wurde angenommen, dass für die positive und negative Abweichung die Grundsätze einer Normalverteilung anwendbar sind und damit die Minimal- und Maximalwerte (Extremwerte) in etwa den Eckpunkten des Konfidenzintervalls von 99.75% entsprechen ($3 \cdot \sigma$: 3 Mal Standardabweichung). Somit kann das 95%-Konfidenzintervall, welches $2 \cdot \sigma$ (2 Mal Standardabweichung) entspricht, hergeleitet werden für die Abschätzung der Spannbreite des ökologischen Nutzens.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse des ökologischen Nutzens der unterschiedlichen Sammel- und Verwertungsarten aus den Kapiteln 4.3 und 4.4 zusammen. Bei unterschiedlichen Fraktionen und Verwertungsarten einer Sammlung setzt sich der Nutzen aus den Beiträgen der einzelnen Fraktionen zusammen. Angegeben ist jeweils der erwartete Mittelwert des ökologischen Nutzens und die ermittelte Spannbreite aus den Sensitivitätsanalysen (siehe Details der Auswertung in Kapitel 4.4 und Illustrationen in Anhang A3).

Tabelle 6: Nutzen der unterschiedlichen Verwertungsarten von Altglas

Reduktion der Umweltbelastung im Vergleich zum Basisszenario ohne Sammlung Altglas. Analyse Spannbreite Kapitel 4.2.4.

Sammlung /Verwertung	Mittelwert Ökologischer Nutzen [UBP pro kg Sammelgut]	Spannbreite Ökologischer Nutzen [UBP pro kg Sammelgut]
Ganzglas für Wiederverwendung		
B/W: 55% Ausbeute (Ausschuss Glasrecycling)	1121	831 – 1351
G/R: 26% Ausbeute (Ausschuss Glasrecycling)	783	593 – 968
Scherben für ein Glasrecycling, Produktion Neuglas mit Scherben	561	476- 657
Scherben für Schaumglasschotter	580	400 - 793
Scherben für AFM Fil- termaterial & weitere nutzbare Fraktionen	625	358 - 948
55% Output AFM 10% Filtermaterial 30% Feinglas für Baustoffe 5% Glasrecycling		
Scherben für Glaswolle	755	350 - 1100
Scherben für Sandersatz	13	6 - 118

Die Sammlung von Altglas lohnt sich aus ökologischer Sicht. In allen Verwertungsarten wird ein Nutzen erzielt. Aufgrund der ausgeführten Analysen kann eine Einordnung der unterschiedlichen Verwertungsarten aus ökologischer Sicht erfolgen:

- Der höchste ökologische Nutzen pro kg Altglas wird bei der Sammlung von Ganzglas erzielt. Der Nutzen ist abhängig von der Ausbeute und liegt bei der Sammlung in Restaurants und Gemeinden (R/G) im Vergleich zu Betrieben und Weinbauern (B/W) tiefer und damit näher am Nutzen eines reinen Glasrecyclings.
- Beim Glasrecycling und bei der Verwendung von Scherben für die Produktion von Schaumglasschotter, Filtermaterialien AFM und Glaswolle wird eine vergleichbare Grössenordnung beim ökologischen Nutzen erzielt. Je nach Einsatzgebiet und Szenario Ersatz variiert der Nutzen. Eine Feinabstufung ist aufgrund der Unsicherheiten der Bewertung nicht möglich.
- Ein verhältnismässig geringer Nutzen ergibt sich beim Versanden.
- Aufgrund des höheren ökologischen Nutzens von Schaumglasschotter, Glaswolle und Filtermaterialien AFM im Vergleich zu Sand werden diese als ökologisch wertvolle Produkte eingestuft.

Neben den hier erarbeiteten ökologischen Kriterien sind für den Verteilschlüssel der VEG weitere Argumente zu berücksichtigen, welche mit der vorliegenden Studie nicht beurteilt werden können.

6 Grenzen der vorliegenden Studie

Inhaltlich

Die Studienresultate gelten nur für die in dieser Studie getroffenen Rahmenbedingungen. Die Studie orientiert sich, soweit Daten zur Verfügung stehen, am Zustand der Produktionssysteme und Verwertungsalternativen zum Zeitpunkt der Datenerhebungen (Angaben der Betriebe 2016–2023). Veränderungen der Produktionsprozesse oder der erzielten Ausbeute, haben einen direkten Einfluss auf die Bilanz des ökologischen Nutzens der Verwertungsalternativen.

Der Standard der Produktion, wie z.B. die Wahl des eingesetzten Energieträgers oder Stromproduktes, hat einen Einfluss auf die Bilanz der einzelnen Verwertungsalternativen. Effekte der entsprechenden Annahmen und Datengrundlagen wurden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen überprüft und für die Abschätzung der Spannbreite der Resultate verwendet (siehe Kapitel 4.2.4). Die Wiederverwendung von Ganzglas wurde spezifisch für das Beispiel Weinflaschen analysiert und ist nur beschränkt übertragbar auf eine allfällige Sammlung anderer Glasbehälter.

Da sich die verwendeten Daten auf die Schweiz beziehen, müssen die verwendeten Datengrundlagen und Szenarien, z.B. bei einer Übertragung auf das Ausland, überprüft werden.

Methodisch

Die in dieser Studie angewandten Methoden der gesamtaggregierten Bewertung sind international anerkannt. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass die Bewertungen der verschiedenen Auswirkungen nicht nur auf wissenschaftliche Grundlagen beruhen, sondern auch auf gesellschaftliche Relevanz und Umweltschutzziele. Aus diesem Grund empfiehlt ISO 14'040 diese Methode nicht für vergleichende Ökobilanzen zu verwenden, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Trotz der Empfehlung der ISO-Norm entschieden wir uns aus folgenden Gründen dazu, die gesamtaggregierende Methode zu verwenden:

- Die Ergebnisse von gesamtaggregierenden Methoden erlauben eine Gewichtung der verschiedenen Auswirkungen und geben dadurch eine gute Entscheidungsbasis;
- Auch wenn die Gewichtungen nicht "absolut" sind, so sind deren Ergebnisse mit Sicherheit aussagekräftiger als die Beschränkung auf einige wenige Auswirkungen;
- Die separate Darstellung der verschiedenen Umweltauswirkungen (Treibhauspotential, Versauerungspotential, Toxizität etc.) ist geeignet für die Schwachstellenanalyse und das Finden von Optimierungen. Jedoch lassen sich oft keine Entscheide daraus ableiten, da die verschiedenen Auswirkungen oft unterschiedliche Resultate zeigen;
- Die Resultate lassen sich gut kommunizieren.

Durch die Verwendung von mehr als einer Methode kann die Aussagekraft überprüft werden, da sich daraus eine Sensitivität bezüglich der unterschiedlichen Gewichtungen ergibt. Zudem wurden die Ergebnisse dieser gesamtaggregierenden Methoden mit den Ergebnissen der Wirkungen hinterfragt.

7 Literatur

Andreasi Bassi, S, Biganzoli, F., Ferrara, N., Amadei, A., Valente, A., Sala, S., u. a. (2023). Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. JRC Technical Report, Publications Office of the European Union. <http://doi.org/doi:10.2760/798894>

Carbotech AG. 2008. „Ökobilanz Nutzen der Glasverwertungen“.

Glass Packaging Institute. 2015. „Glass Recycling Facts“. 21. August 2015. <http://www.gpi.org/recycling/glass-recycling-facts>.

Goedkoop, Mark, Reinout Heijungs, Mark Huijbregts, An De Schryver, Jaap Struijs, und Rosalie Van Zelm. 2009. „ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level“. *VROM–Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer*, www.lcia-recipe.net, Nr. First Edition (Januar). http://www.pre-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/9781009157896>

ISO. 2006. *ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Geneva: International Standard Organisation.

Karlheinz Gitzhofer, Ruslan Goppe. 2021. „Überarbeitung der Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe in den Branchen Zementklinkerproduktion und Glasherstellung“. Umweltbundesamt.

„Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz.“ 2021. Umwelt-Wissen Nr. 2121. Bern: Bundesamt für Umwelt. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/oekofaktoren-schweiz.html>.

Scalet, Bianca Maria, Serge Roudier, Marcos Garcia Muñoz, Luis Delgado Sancho, Aivi Querol Sissa, und Institute for Prospective Technological Studies. 2013. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass Industrial Emissions Directive 2010/75/EU: Integrated Pollution Prevention and Control*. Luxembourg: Publications Office.

Stettler, Cornelia, und Fredy Dinkel. 2016. „Ökologischer Nutzen der Verwertungen von Altglas“. Bern: Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt.

Stettler, Cornelia, und Stefanie Conrad. 2021. „Addendum - Ökologischer Nutzen der Verwertungen von Altglas“. Bern: Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt.

VetroSwiss. 2024. „Jahresbericht 2023“.

Anhang

A1 Sachbilanzdaten

A1.1 Glasproduktion

Aufgrund der Schliessung des Schweizer Produktionsstandortes St-Prex im Jahr 2024 wurde die Glasproduktion basierend auf bestehenden Datensätzen für Deutschland und Europa aus der Datenbank BAFU:2024 modelliert. Glasimporte wurden ebenfalls mit diesen Datengrundlagen aus BAFU:2024 mit 1/3 Deutschland und 2/3 Europa angenähert (keine Datengrundlagen für Nachbarländer Italien, Frankreich und Österreich in BAFU:2024 vorhanden). Ausgehend von Datengrundlagen für weisses, braunes und grünes Glas mit einem durchschnittlichen Einsatz Scherben und Energieverbrauch wurden als Basis für die Herleitung der Produktion mit 0% und 100% Scherben verwendet.

Energiebedarf der Glasproduktion (Plausibilitätsprüfung Daten/Annahmen)

Für eine Plausibilitätsprüfung und Einordnung der verwendeten Daten zum Energieverbrauch der Glasproduktion wurden die nachfolgenden Angaben BREF Zusammenstellung/FEVE survey verwendet.

http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf

Table 3.21: Total direct energy consumption (plant) per net tonne of product from the FEVE survey for bottle/jars and flaconnage production

Product type	Reported data	N° values	Specific total energy usage (GJ NCV ⁽¹⁾ /net tonne products)		
			Mean	Min.	Max.
All product types	100 %	65	8.7	3.7	31.5
	5 – 95 %	57	7.7	5.3	16.8
Bottle and jar production	100 %	52	6.9	3.7	13.4
	5 – 95 %	46	6.9	4.7	8.5
Flaconnage production	100 %	13	16.1	7.2	31.5
	5 – 95 %	11	15.5	8.3	30.9

⁽¹⁾ NCV = net calorific value for fossil fuels and electricity as consumed (without taking into account the equivalent primary energy usage).
Source: [126, FEVE 2009]

Berechnung der CO₂-Emissionen aus Karbonaten

Die Berechnung der CO₂-Emissionen aus der Karbonatzersetzung bzw. geogenes CO₂, basiert auf eine Publikation im Auftrag des Umweltamtes (Karlheinz Gitzhofer, Ruslan Goppe 2021).

Die Aufteilung der CO₂-Emissionen wurde anhand folgender Werte wie in folgender Tabelle durchgeführt. Dafür wurden die Werte aus dem Jahr 2020 verwendet und der Anteil Prozessbedingter CO₂-Emissionen von 0.066kg CO₂/kg Glas für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 14: Emissionsfaktoren gasförmiger Schadstoffe in Kilogramm pro Tonne Glas

Komponente	2005	2010	2015	2020
CO ₂ (Summe)	334,65	323,17	286,47	286,66
CO ₂ (Prozess)	69,03	69,43	67,11	66,53
NO _x	1,4933	1,3800	1,0996	1,0766
SO ₂	1,2493	1,1362	0,7393	0,7590
HCl	0,0254	0,0238	0,0162	0,0133
HF	0,0025	0,0028	0,0019	0,0016
CO	0,3452	0,2052	0,1482	0,0732
NH ₃	0,0027	0,0004	0,0010	0,0000

A1.2 Ganzglas Waschen (geheim)

Für die Bilanzierung des Ganzglas Waschens wurde die Jahresbilanz Vetrum 2013 und ergänzende Angaben zu Sammellogistik/Auslastung aus dem Jahr 2016 verwendet (vertrauliche Daten). Die Angaben zur Ausbeute entsprechen dem Mittelwert der Firma Vetrum und sind gemäss Hersteller auch im Jahr 2023 weiterhin in der gleichen Grössenordnung.

A1.3 Produktion Schaumglasschotter (geheim)

Die Umweltbelastung von Schaumglasschotter wurde mit der Jahresbilanz Misapor AG 2023 analysiert (vertrauliche Daten). Angaben der Misapor AG zum Aufbau der verschiedenen Varianten der Perimeterdämmungen mit Dämmstoffen Schaumglasschotter, Schaumglasplatten und XPS Platten wurden zudem für eine Prüfung des Dämmwertes mit dem nachfolgenden Excel-Tool analysiert (vergleichbare Dämmwirkungen vorausgesetzt für die ökologischen Vergleiche in der vorliegenden Studie).

A1.4 Dämmsysteme Perimeterdämmung

Aufbau der Misapor Schaumglasschotter Perimeterdämmung und der Varianten XPS und Schaumglasplatten.

Aufbau der Misapor Schaumglasschotter Perimeterdämmung

Nr.	Material	Anteil in %	Breite Holz in mm	Breite Dämmung in mm	Dicke in mm	Lambda in W/(m K)	R-Wert	Temp.
	Wärmeübergang innen				---	7.7	0.130	20.00
18	Schaumglasschotter				270	0.089	3.034	-8.37
130	Filz 5mm				5	0.120	0.042	-8.74
32	Polythylen (PE)				5	0.050	0.100	-9.64
	☐ Belüftung Ja / Nein (aktiv = Ja)				Nein			
	Wärmeübergang aussen				---	25	0.040	-10.00
							3.345	-10.00
	Bauteildicke in mm				280	U-Wert	0.299	W/(m ² K)

Excel-Berechnungsprogramm von Gemperle AG, Hünenberg

Aufbau Vergleichsbasis Perimeterdämmung mit Schaumglasplatten

Nr.	Material	Anteil in %	Breite Holz in mm	Breite Dämmung in mm	Dicke in mm	Lambda in W/(m K)	R-Wert	Temp.
	Wärmeübergang innen				---	7.7	0.130	18.80
16	Schaumglas				125	0.044	2.841	-7.36
88	Sand Kies				50	0.700	0.071	-8.02
32	Polythylen (PE)				5	0.050	0.100	-8.94
130	Filz 5mm				5	0.120	0.042	-9.32
132	Betonwerksteinplatten 40mm				50	1.500	0.033	-9.63
	☐ Belüftung Ja / Nein (aktiv = Ja)				Nein			
	Wärmeübergang aussen				---	25	0.040	-10.00
							3.257	-10.00
	Bauteildicke in mm				235	U-Wert	0.307	W/(m² K)

Excel-Berechnungsprogramm von Gemperle AG, Hünenberg

Aufbau Vergleichsbasis Perimeterdämmung mit XPS

Nr.	Material	Anteil in %	Breite Holz in mm	Breite Dämmung in mm	Dicke in mm	Lambda in W/(m K)	R-Wert	Temp.
	Wärmeübergang innen				---	7.7	0.130	18.84
26	Polystyrol PS extrudiert, Jackodur				110	0.037	2.973	-7.70
136	Zementunterlagsboden				50	1.500	0.033	-8.00
32	Polythylen (PE)				5	0.050	0.100	-8.89
88	Sand Kies				30	0.700	0.043	-9.27
130	Filz 5mm				5	0.120	0.042	-9.64
	☐ Belüftung Ja / Nein (aktiv = Ja)				Nein			
	Wärmeübergang aussen				---	25	0.040	-10.00
							3.361	-10.00
	Bauteildicke in mm				200	U-Wert	0.298	W/(m² K)

Excel-Berechnungsprogramm von Gemperle AG, Hünenberg

A1.5 Sandproduktion

Der Aufwand für das Versenden wurde mit einer Abschätzung ausgehend vom bestehenden Datensatz BAFU:2024 zum Mahlprozess Kalkstein abgeschätzt. Es liegen keine Angaben von Betrieben vor.

A1.6 Produktion AFM (geheim)

Die Umweltbelastung von AFM Filtermaterial wurde mit der Jahresbilanz Dryden Aqua 2020 analysiert (vertraulich). Die Angaben zur Ausbeute entsprechen dem Mittelwert im Jahr 2020. Gemäss Hersteller liegen die Aufwände und hergestellten Produkte 2023 weiterhin in der gleichen Grössenordnung.

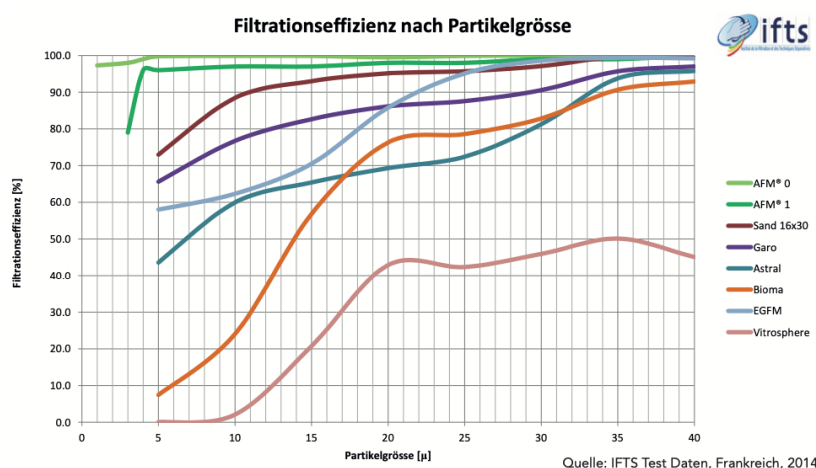
Bei der Produktion von AFM fallen Nebenprodukte an. Das anfallende Weissglas wird typischerweise zu neuen Glasverpackungen, Feinglas wird zu Sandersatz und Schaumglasschotter, weitere Filtermaterialien ersetzen Filtersand. Der Nutzen dieser Nebenprodukte wird anhand bestehender Resultaten und Analysen der genannten Verwertungsarten hergeleitet.

A1.7 AFM Filter in der Verwendung

Der Hersteller hat verschiedene Informationen von verschiedenen Bädern über die Verbesserungen im Betrieb durch den Austausch des Quarzsands mit AFM sowie die nachfolgenden Laboranalysen zur besseren Filtrationsqualität bereitgestellt. Laut Herstellerangaben sowie abgegebenen Referenzen kann mit einem AFM Filtersystem 20% Chlor und bis zu 50% Spülwasser gegenüber einem konventionellem Sandfiltersystem eingespart werden. Um diese Angaben mit konkreten Daten zur Einsparung von Spülwasser und Chlor aus der Praxis abzusichern, wurde in öffentlichen Schwimmbäder eine Umfrage gemacht, um Daten zur Verwendung von AFM zu erlangen. Nachfolgend sind Laboranalysen, Umfrageergebnisse sowie darauf basierende Extrapolationen für anderen Anwendungen aufgeführt.

Laboranalysen

Die nachfolgend im Labor bestätigte höhere Filtrationseffizienz und die spezifischen Materialeigenschaften sind für die Beurteilung des ökologischen Nutzen von AFM Filtermaterial relevant. Gemessen wird die Filterleistung bei einer Fliessgeschwindigkeit von 20 Metern pro Stunde (20 m/h). Verschiedene Bäder bestätigen eine mit dem Einsatz von AFM verbundene Reduktion bei Spülwasserverlusten und beim Chemikalieneinsatz (Grössenordnung 30-50% genannt ohne Messung/Überwachung). Gemäss Labor reicht eine kürzere Dauer zur Erreichung der gleichen Leistung (IFTS Bericht 2014).



Graph 1: Filtrationsleistung bei 20 m/h Filtrationsgeschwindigkeit und ohne Flockung

AFM Filtermaterial besitzt eine grössere Oberfläche gegenüber Quarzsand. Dies ermöglicht eine kürzere Spüldauer bei gleichzeitig tieferen Spülggeschwindigkeiten. Grünglas-Scherben haben die Eigenschaft, dass sie resistent gegen die Besiedelung von Bakterien sind. Dies ermöglicht eine bessere Filterleistung und weniger Chloreinsatz.

Die Daten und Annahmen zu Einsparungen mit AFM Filtermaterial basieren auf folgenden Datengrundlagen und Laboranalysen:

- Angaben zur Produktion von AFM durch den Hersteller für das Betriebsjahr 2020
- Messungen Bad Hesslingen Umstellung Sand auf AFM, Referenzen von weiteren Bädern
- Unabhängige Testvergleiche zu Filtrierung, Dossiers zu AFM
- Umfrage Bäder, erhobene Daten von Badbetreiber in der Schweiz (erhaltene Angaben zum Spülprozess und Einsatz Sand und AFM Filtermaterial von 3 Hallenbädern, 2 Freibädern)

AFM und Sand als Filtermaterial in Bäder und Pool-Anlagen, Spülwasserverluste/Chloreinsatz

Die mit AFM erzielte Einsparung Rückspülwasser und Chlor im Vergleich zu Sandfilter wurden mit einer Umfrage bei Bädern verifiziert. Da die Daten der Badbetreiber auf verschiedenen Beckengrößen basieren, wurden die Daten auf ein DIN-basiertes Standard-Becken normiert. Von den angefragten Bädern konnten nur von insgesamt 3 Hallenbädern und 2 Freibädern Daten zur Verfügung gestellt werden. Die durchschnittliche Einsparung mit AFM in dieser kleinen Stichprobe liegt bei 30% Reduktion Rückspülwasserverlust im Vergleich zur erwarteten Einsparung von 50% (Angaben Referenzen und Rückschlüsse zu Materialeigenschaften). Es wird konservativ mit dem tieferen Wert von 30% Einsparung für die Analysen gerechnet. Eine Reduktion Chlor ist erkennbar mit AFM aber schwer zu beziffern, der Chlorverbrauch hängt von vielen weiteren Faktoren des Badbetriebes ab. Hier wurde als konservative Schätzung eine Reduktion von 20% für die Analyse angenommen. Eine höhere Lebensdauer wird bei AFM genannt, aber kann nur grob beurteilt werden.

Tabelle 7 zeigt die mit der Datenerhebung der Bäder hergeleiteten Werte für den durchschnittlichen Einsatz in öffentlichen Bädern und dazu abgeleitete Annahmen für den Swimmingpool-Betrieb.

Tabelle 7: Ermittelte Durchschnittswerte aus der Datenerhebung der Bäder und ergänzenden Abschätzungen Pool

Angaben bezogen auf ein Standardbecken mit Werten Spülwasserverluste und Einsatz Chlor pro Jahr

Filtermaterial	Freibad, 26 Wochen		Hallenbad, 47 Wochen		Swimmingpool, 20 Wochen	
	AFM	Sand	AFM	Sand	AFM	Sand
Lebensdauer	10	5	10	5	10	5
Bedarf Filtermaterial pro Jahr Betriebszeit [kg]*	706	1492	706	1492	6.3	15
Wasserverbrauch Rückspülung pro Jahr [m³]	849	1212	1556	2221	16	22
Heizungsenergie für Ersatz Rückspülwasser [kWh]	nicht beheizt	nicht beheizt	30690	43804	nicht beheizt	nicht beheizt
Chlorbedarf pro Jahr [kg]	179	224	324	405	3.7	4.6

* Total Menge Filtermaterial geteilt durch Einsatzzeit

Für die Analyse von Hallen- und Freibädern wurden ausgehend von den ausgeführten Erhebungen und Grundlagen folgende Werte für ein Standard Becken verwendet.

- Standard 25 m Becken Schwimmbad, 405 m³ Beckenvolumen
- Rückspülintervall 2-mal pro Woche
- Mittelwert Rückspülgeschwindigkeit und Dauer AFM Filter: 46 m/h, 5 Minuten Spüldauer
- Mittelwert Rückspülgeschwindigkeit und Dauer Sandfilter: 64 m/h, 5 Minuten Spüldauer
- Höhe Filterbett 1.2 m (SIA normiert)
- Schüttdichte AFM/Volumen: 1250 kg/m³
- Schüttdichte Sand/Volumen: 1450 kg/m³
- Ersatz Filtermaterial Filter-Systemen. Ersatz AFM nach 10 Jahren, Ersatz Sand 5 Jahre (Schätzwerte Badbetreiber AFM 10-20 Jahre und Sand 5-8 Jahre)
- Betriebszeit Hallenbad 47 Wochen im Jahr, Freibad 26 Wochen im Jahr
- Chloreinsatz mit Sand-Filterssystem: 1kg Chlor pro m³ Beckenvolumen und Jahr; Chloreinsatz in AFM-Filterssystem 20% weniger als in Sand-Filterssystem

Ergänzende Annahmen, Extrapolation Privatpool

Die gewählten Systeme mit einer Filterschicht aus AFM oder Quarzsand werden regelmässig gespült. Aufgrund der bestehenden Vorgaben und im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit wurde für öffentliche

Schwimmbäder jeweils mit einer Rückspülung von 2-mal pro Woche gerechnet, für Privatpools mit einer Rückspülung von 1-mal pro Woche. Es wurden keine Daten zur Verwendung von AFM als Filtermaterial in Privatpools erhoben und die Ergebnisse der Bäder über Becken und Filtergrösse extrapoliert.

Für die Analyse von Swimmingpools wurden abgeleitet von Bädern und Empfehlungen für Pool Betreiber die folgenden Annahmen für einen durchschnittlichen Pool getroffen:

- 8 m Becken, 43 m³ Beckenvolumen
- Rückspülintervall 1mal pro Woche
- Mittelwert Rückspülgeschwindigkeit und Dauer AFM Filter: 45 m/h, 6 Minuten Spüldauer
- Mittelwert Rückspülgeschwindigkeit und Dauer Sandfilter: 60 m/h, 6 Minuten Spüldauer
- Höhe Filterbett: 0.3 m
- Schüttdichte AFM: 1250 kg/m³
- Schüttdichte Sand: 1450 kg/m³
- Ersatz Filtermaterial Filter-Systemen. Ersatz AFM nach 10 Jahren, Ersatz Sand 5 Jahre
- 20 Wochen Pool Betrieb pro Jahr
- Chloreinsatz mit Sand-Filterssystem: 20 – 30% weniger Chlor als in Bäder.

Einsatz AFM im Bereich der Vorfiltration Trink- und Abwasser

AFM Filtermaterialien werden zunehmend auch im Bereich Trinkwasser und Abwasser als Alternative zu Sand für die Vorfiltration eingesetzt. Ausschlaggebend sind auch hier, die im Labor bestätigten Vorteile und Eigenschaften der Filtrierung. Es wird bei der Spülung mit ähnlichen Optimierungen, konkret durch die geringere Geschwindigkeit und Dauer der Spülung, auch mit geringeren Spülwasserverlusten als bei Bädern gerechnet.

A1.8 Produktion Glaswolle (geheim)

Die Umweltbelastung von Glaswolle wurde mit der Jahresbilanz von Isover AG von 2019 analysiert (vertrauliche Daten). Angaben von Architekturbüro Nova Energie zum Aufbau der verschiedenen Steildächer und Ständerwände aus Glaswolle, Holzfaserplatten und Steinwolle mit gleichen Dämmwerten für den Vergleich wurden durch Isover geprüft.

A1.9 Dämmsysteme Steildach/Ständerwand (Glaswolle und Alternativen)

Aufbau Steildach

ISOVER UNIROLL 034 / UNIROLL 034 PR (15-300mm)																			
#	Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
	[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]
					Innen					Innen									
1	0.013 x		G04		30 Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz	0.011	485.000	0.54	0.09	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz (= Abschnitt	0.002	485.000	0.54	0.09	0.11	0.02	0.13	5.57	
2	0.000 x		G04		30 Polyethylenfolie (PE)	0.000	920.000	24.60	0.21	Polyethylenfolie (PE) (= Abschnitt 1)	0.000	920.000	24.60	0.21	0.08	0.00	0.08	3.19	
3	0.220 x		C04.04		60 ISOVER UNIROLL 034 / UNIROLL 034 PR (15-300mm)	0.187	20.000	3.53	0.13	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.033	485.000	0.39	0.09	0.32	0.03	0.36	14.90	
4	0.022 x		C04.08		40 GUTEX Multiplex-top (22-35mm)	0.019	200.000	3.27	0.15	GUTEX Multiplex-top (22-35mm) (= Abschnitt 1)	0.003	200.000	3.27	0.15	0.36	0.02	0.38	15.76	
5	0.050 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.043	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.007	485.000	0.39	0.09	0.04	0.01	0.04	1.82	
6	0.015 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.013	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.55	
7	0.025 x		F01.03		40 Dachziegel Ton	0.021	2000.000	1.06	0.05	Dachziegel Ton (= Abschnitt 1)	0.004	2000.000	1.06	0.05	1.32	0.07	1.39	58.22	
T:	0.345				Aussen					Aussen					2.24	0.14	2.39	100.00	
Flumroc-Dämmplatte SOLO (100-480mm)																			
#	Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
	[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]
					Innen					Innen									
1	0.013 x		G04		30 Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz	0.011	485.000	0.54	0.09	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz (= Abschnitt	0.002	485.000	0.54	0.09	0.11	0.02	0.13	4.96	
2	0.000 x		G04		30 Polyethylenfolie (PE)	0.000	920.000	24.60	0.21	Polyethylenfolie (PE) (= Abschnitt 1)	0.000	920.000	24.60	0.21	0.08	0.00	0.08	2.84	
3	0.240 x		C04.04		60 Flumroc-Dämmplatte SOLO (100-480mm)	0.204	32.000	3.82	0.13	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.036	485.000	0.39	0.09	0.61	0.04	0.65	24.23	
4	0.022 x		C04.08		40 GUTEX Multiplex-top (22-35mm)	0.019	200.000	3.27	0.15	GUTEX Multiplex-top (22-35mm) (= Abschnitt 1)	0.003	200.000	3.27	0.15	0.36	0.02	0.38	14.03	
5	0.050 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.043	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.007	485.000	0.39	0.09	0.04	0.01	0.04	1.62	
6	0.015 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.013	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.49	
7	0.025 x		F01.03		40 Dachziegel Ton	0.021	2000.000	1.06	0.05	Dachziegel Ton (= Abschnitt 1)	0.004	2000.000	1.06	0.05	1.32	0.07	1.39	51.83	
T:	0.365				Aussen					Aussen					2.53	0.15	2.68	100.00	
GUTEX Thermoflex (30-240mm)																			
#	Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
	[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]
					Innen					Innen									
1	0.013 x		G04		30 Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz	0.011	485.000	0.54	0.09	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt, Produktion Schweiz (= Abschnitt	0.002	485.000	0.54	0.09	0.11	0.02	0.13	4.83	
2	0.000 x		G04		30 Polyethylenfolie (PE)	0.000	920.000	24.60	0.21	Polyethylenfolie (PE) (= Abschnitt 1)	0.000	920.000	24.60	0.21	0.08	0.00	0.08	2.76	
3	0.240 x		C04.04		60 GUTEX Thermoflex (30-240mm)	0.204	50.000	3.27	0.15	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.036	485.000	0.39	0.09	0.67	0.05	0.72	26.18	
4	0.022 x		C04.08		40 GUTEX Multiplex-top (22-35mm)	0.019	200.000	3.27	0.15	GUTEX Multiplex-top (22-35mm) (= Abschnitt 1)	0.003	200.000	3.27	0.15	0.36	0.02	0.38	13.67	
5	0.050 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.043	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.007	485.000	0.39	0.09	0.04	0.01	0.04	1.58	
6	0.015 x		C04.08		40 Wärmestrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.013	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.47	
7	0.025 x		F01.03		40 Dachziegel Ton	0.021	2000.000	1.06	0.05	Dachziegel Ton (= Abschnitt 1)	0.004	2000.000	1.06	0.05	1.32	0.07	1.39	50.50	
T:	0.365				Aussen					Aussen					2.59	0.16	2.75	100.00	

Aufbau Ständerwand

UNIROLL 034 / UNIROLL 034 PR (15-300mm)																		
Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]	
				Innen					Innen									
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	23.35	
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	23.35	
0.025 x	G03			30 Wärmetrom aufwärts, Dicke 25 mm	0.023	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.02	0.86	
0.015 x	C02.01 (B)			60 OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich	0.014	605.000	2.61	0.10	OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich (= Abschnitt 1)	0.001	605.000	2.61	0.10	0.39	0.01	0.41	20.33	
0.220 x	C02.01 (B)			60 ISOVER UNIROLL 034 / UNIROLL 034 PR (15-300mm)	0.200	20.000	3.53	0.13	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.020	485.000	0.39	0.09	0.30	0.02	0.32	15.93	
0.000 x	E02.03			40 Kraftpapier	0.003	650.000	7.55	0.17	Kraftpapier (= Abschnitt 1)	0.000	650.000	7.55	0.17	0.01	0.00	0.01	0.62	
0.050 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.045	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.004	485.000	0.39	0.09	0.02	0.00	0.03	1.29	
0.015 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.014	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.001	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.39	
0.004 x	E02.03			40 Faserzement-Wellplatte	0.003	1800.000	1.72	0.05	Faserzement-Wellplatte (= Abschnitt 1)	0.000	1800.000	1.72	0.05	0.27	0.01	0.28	13.86	
0.354				Aussen					Aussen						1.90	0.11	2.01	100.00
Flumroc-Dämmplatte SOLO (100-480mm)																		
Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]	
				Innen					Innen									
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	20.71	
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	20.71	
0.025 x	G03			30 Wärmetrom aufwärts, Dicke 25 mm	0.023	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.02	0.77	
0.015 x	C02.01 (B)			60 OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich	0.014	605.000	2.61	0.10	OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich (= Abschnitt 1)	0.001	605.000	2.61	0.10	0.39	0.01	0.41	18.03	
0.220 x	C02.01 (B)			60 Flumroc-Dämmplatte SOLO (100-480mm)	0.200	32.000	3.82	0.13	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.020	485.000	0.39	0.09	0.55	0.03	0.58	25.44	
0.000 x	E02.03			40 Kraftpapier	0.003	650.000	7.55	0.17	Kraftpapier (= Abschnitt 1)	0.000	650.000	7.55	0.17	0.01	0.00	0.01	0.55	
0.050 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.045	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.004	485.000	0.39	0.09	0.02	0.00	0.03	1.15	
0.015 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.014	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.001	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.34	
0.004 x	E02.03			40 Faserzement-Wellplatte	0.003	1800.000	1.72	0.05	Faserzement-Wellplatte (= Abschnitt 1)	0.000	1800.000	1.72	0.05	0.27	0.01	0.28	12.30	
0.354				Aussen					Aussen						2.15	0.12	2.27	100.00
GUTEX Thermoflex (30-240mm)																		
Dicke	Berechnet	eBKPH Gruppe	Amortisation	Schichtfolge/Material 1	Volumen Eco 1	Dichte 1	Herstellung 1	Entsorgung 1	Schichtfolge/Material 2	Volumen Eco 2	Dichte 2	Herstellung 2	Entsorgung 2	Herstellung	Entsorgung	Total	Total %	
[m]		[-]	[a]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[-]	[m3]	[kg/m3]	[kWh/kg]	[kWh/kg]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[kWh/m2a]	[%]	
				Innen					Innen									
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	19.60	
0.013 x	G03			30 Gipskartonplatte	0.011	850.000	1.25	0.08	Gipskartonplatte (= Abschnitt 1)	0.001	850.000	1.25	0.08	0.44	0.03	0.47	19.60	
0.025 x	G03			30 Wärmetrom aufwärts, Dicke 25 mm	0.023	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.002	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.02	0.72	
0.015 x	C02.01 (B)			60 OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich	0.014	605.000	2.61	0.10	OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich (= Abschnitt 1)	0.001	605.000	2.61	0.10	0.39	0.01	0.41	17.07	
0.240 x	C02.01 (B)			60 GUTEX Thermoflex (30-240mm)	0.218	50.000	3.27	0.15	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.022	485.000	0.39	0.09	0.66	0.04	0.71	29.43	
0.000 x	E02.03			40 Kraftpapier	0.003	650.000	7.55	0.17	Kraftpapier (= Abschnitt 1)	0.000	650.000	7.55	0.17	0.01	0.00	0.01	0.52	
0.050 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.045	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.004	485.000	0.39	0.09	0.02	0.00	0.03	1.09	
0.015 x	E02.03			40 Wärmetrom aufwärts, Dicke 50 mm	0.014	1.230	0.00	0.00	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau, Produktion Schweiz	0.001	485.000	0.39	0.09	0.01	0.00	0.01	0.33	
0.004 x	E02.03			40 Faserzement-Wellplatte	0.003	1800.000	1.72	0.05	Faserzement-Wellplatte (= Abschnitt 1)	0.000	1800.000	1.72	0.05	0.27	0.01	0.28	11.64	
0.374				Aussen					Aussen						2.27	0.13	2.40	100.00

A2 Ergebnisse Environmental Footprint EF und Treibhauspotential

Darstellung der erzielten Einsparungen der unterschiedlichen Verwertungsalternativen von Altglas am Beispiel der Bewertungsmethode EF 3.1 und den Indikator Treibhauspotential „CO₂-Äquivalente“. Die Bewertung EF 3.1 hat gegenüber den verwendeten UPB ein stärkeres Gewicht auf dem Thema Wasser und etwas weniger Gewicht auf Abfallfraktionen (radioaktive Abfälle der Stromproduktion). Das Profil der Einsparungen fällt ähnlich aus, mit etwas Verschiebungen beim Resultat der Substitution mit ökologischen Produkten.

Insgesamt ergibt sich bei der Bewertung des ökologischen Nutzens eine relativ gute Übereinstimmung mit der verwendeten Methode der Umweltbelastungspunkte. Am besten schneidet auch hier die Ganzglassammlung ab und am schlechtesten das Versanden.

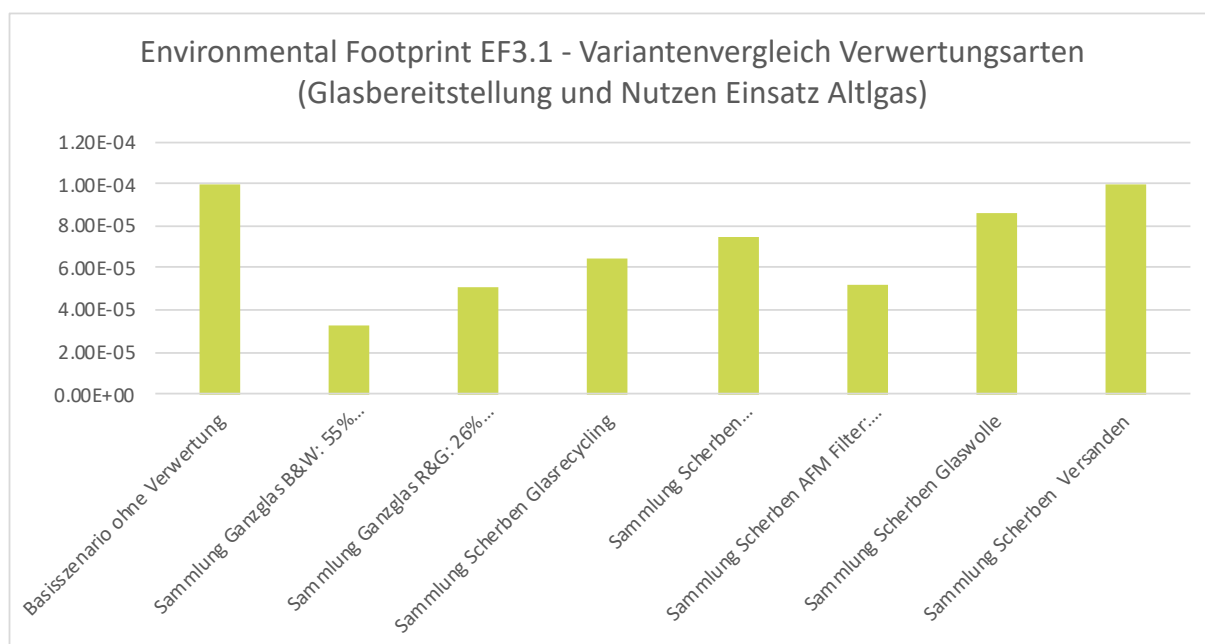


Abbildung 23: Nutzen der Sammlung und Verwertung im Vergleich zum Basisszenario [1 kg Glas/Altglas]

Angabe der Umweltbelastung mit der Bewertungsmethode EF 3.1.

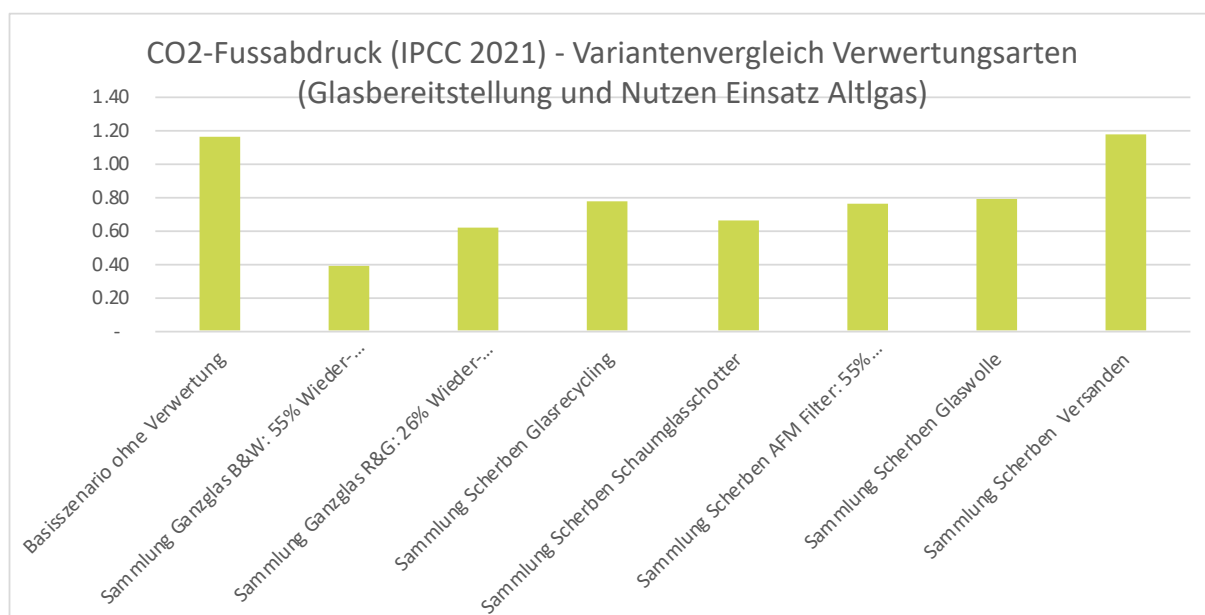


Abbildung 24: Nutzen der Sammlung und Verwertung im Vergleich zum Basisszenario [1 kg Glas/Altglas]

Angabe der Umweltbelastung für den Indikator Treibhauspotential (IPCC 2013)

A3 Sensitivitätsanalysen Umweltbelastung

A3.1 Detailanalysen zur Glasproduktion (Ausgangsbasis)

Verwendete Datengrundlagen für Importe bzw. BAFU:2024 Datensätze für die Glasproduktion Deutschland und Europa im Vergleich. Die Annahmen zum Standard der Produktion haben einen relevanten Einfluss auf das Resultat. Die Mittelwerte für die Glasimporte in die Schweiz wurden in der vorliegenden Studie berechnet mit 1/3 Glasproduktion DE und 2/3 Glasproduktion RER für die übrigen Länder. Sensitivitätsanalysen für den Standard der Glasproduktion in Nachbarländern wurden mit den BAFU:2024 Datengrundlagen zur Produktion DE als Minimalwert und zur Produktion Europa als Maximalwert erstellt.

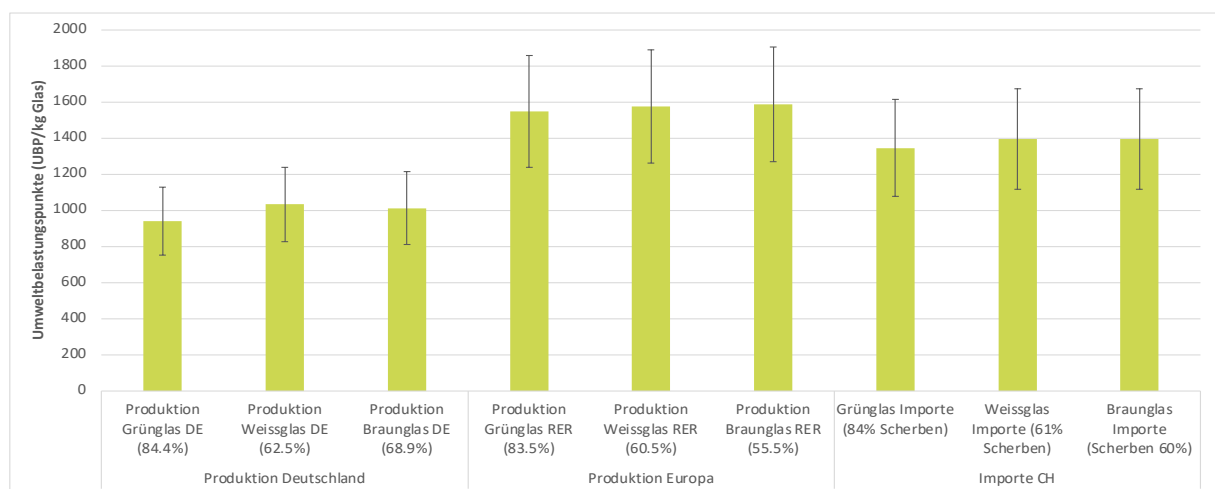


Abbildung 25: Umweltbelastung Glasproduktion pro kg Glas BAFU:2024 Datengrundlagen Deutschland und Europa), Basis für Hochrechnung Rohstoffe, Energie und Transporte beim Einsatz von 0% und 100% Scherben).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.

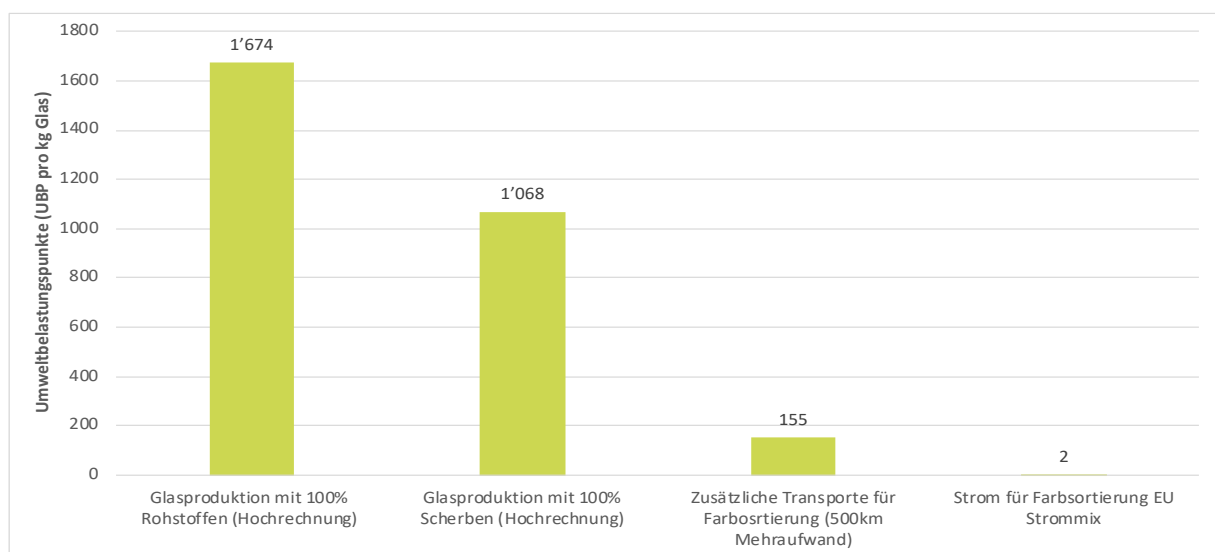


Abbildung 26: Farbtrennung Aufwände im Vergleich zur Glasproduktion (Transporte und Strom für Farbtrennung)

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Grobe Abschätzung Transportaufwände sowie Abschätzung Strom für Farbtrennung mit Angaben Kosten (2.6 kWh pro Tonne)

A3.2 Sensitivitätsanalysen Nutzen Glasrecycling

Das Resultat hängt ab vom Standard der Glasproduktion und der erzielten Reduktion der Schmelzenergie mit Scherben. Für die Sensitivitätsanalysen wurde Variationen beim Standard der Glasproduktion mit unterschiedlichen Anteilen Produktion Deutschland «DE» und Europa «RER» sowie die Reduktion der Schmelzenergie durch den Einsatz Scherben variiert (Minimalvariante DE und Maximalvariante RER).

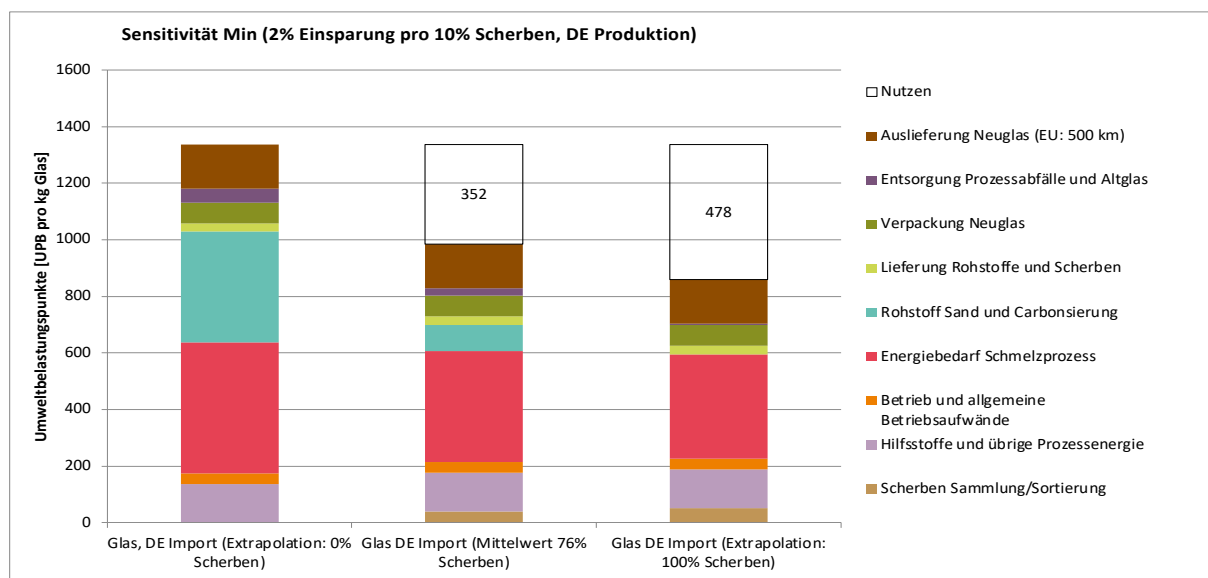


Abbildung 27: Minimalwert Nutzen Scherben in der Glasproduktion, Sensitivitätsanalyse Spannweite ökologischer Nutzen mit Ausgangsbasis Glasproduktion Deutschland „DE“ und Einsparung 2% pro 10% Scherben

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Es wurden Datengrundlagen zur Deutschen Glasproduktion aus der Datenbank BAFU:2024 verwendet und ausgehend vom mittleren Scherbeneinsatz die Extremwerte mit 0% und 100% Scherben extrapoliert.

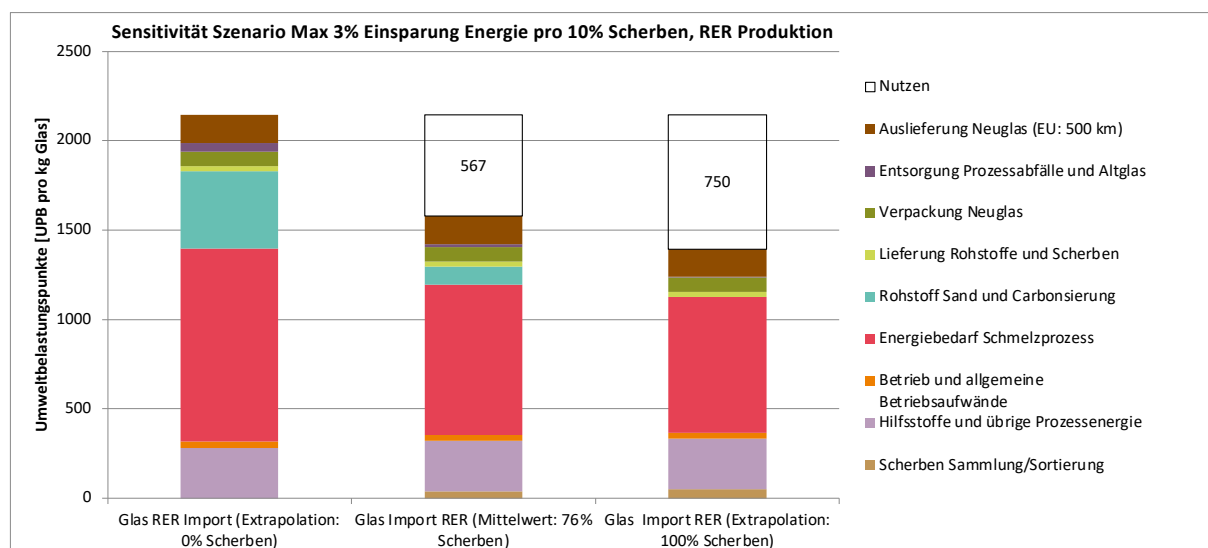


Abbildung 28: Maximalwert Nutzen Scherben in der Glasproduktion, Sensitivitätsanalyse Spannweite ökologischer Nutzen mit Ausgangsbasis Glasproduktion Europa „RER“ und Einsparung 3% pro 10% Scherben

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Es wurden Datengrundlagen zur Europäischen Glasproduktion aus der Datenbank BAFU:2024 verwendet und ausgehend vom mittleren Scherbeneinsatz die Extremwerte mit 0% und 100% Scherben extrapoliert.

A3.3 Sensitivitätsanalysen Nutzen Ganzglassammlung

Das Resultat hängt ab vom Ausgangswert Standard der Neuglasproduktion und der erzielten Effizienz Sammlung und Ausbeute Ganzglas für eine Wiederverwendung. Für die Sensitivitätsanalysen wurde Variationen beim Standard der Glasproduktion angenommen und die Effizienz der Ganzglassammlung variiert (Minimalvariante Standard Neuglasproduktion DE und Maximalvariante Europa RER). Dargestellt ist nachfolgend der so hergeleitete Minimalwert und Maximalwert für den Nutzen von 1 kg Sammelgut der Sammlung B/W und G/R.

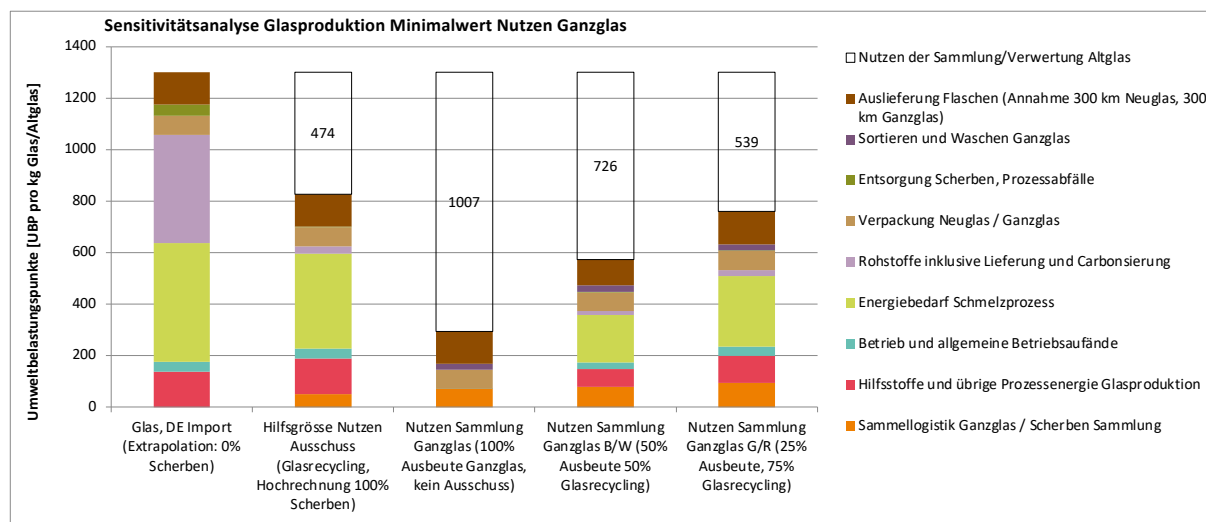


Abbildung 29: Minimalwert Nutzen Ganzglassammlung, Sensitivitätsanalyse zur Spannweite des ökologischen Nutzens (Minimalwert mit Vergleichsbasis Glasproduktion „DE“, längere Wegen der Sammellogistik Ganzglas, keinen Vorteilen bei der Auslieferung und Verpackung und mit einer geringeren Ausbeute Ganzglas von 25% G/R und 50% B/W)
Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.

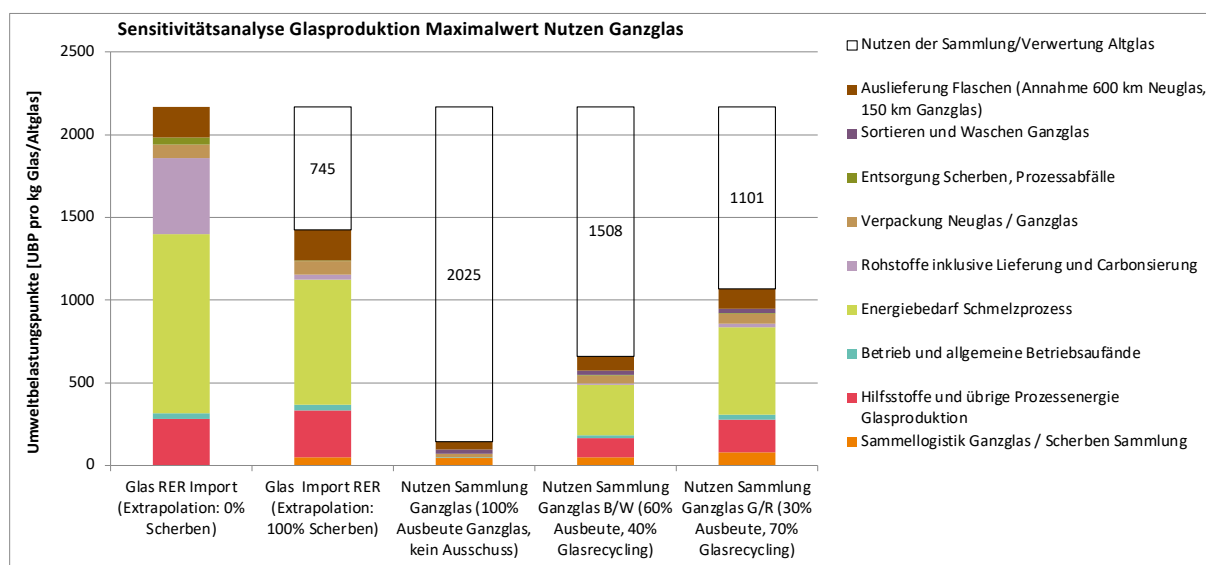


Abbildung 30: Maximalwert Nutzen Ganzglassammlung, Sensitivitätsanalyse zur Spannweite des ökologischen Nutzens (Maximalwert mit Vergleichsbasis Glasproduktion „RER“, optimaler Sammellogistik Ganzglas, Vorteilen bei der Auslieferung und Verpackung und mit einer höheren Ausbeute Ganzglas von 30% G/R und 60% B/W)
Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet

A3.4 Sensitivitätsanalysen Nutzen Schaumglasschotter

Die nachfolgenden Illustrationen zeigen die Sensitivitätsanalyse für den ökologischen Nutzen von Schaumglasschotter für die Anwendung als Perimeterdämmung. Hierfür wurde der ökologische Nutzen von Schaumglasschotter als Ersatz von XPS- und Schaumglasplatten analysiert. Die Produkte unterscheiden sich jeweils in der Verwendung des Stromproduktes für die Produktion des jeweiligen Produktes. Der Minimalwert ergibt sich beim Ersatz von Produkten mit geringer Umweltwirkung (rechts) und der Maximalwert ergibt sich beim Ersatz von weniger ökologischer Produkte (links).

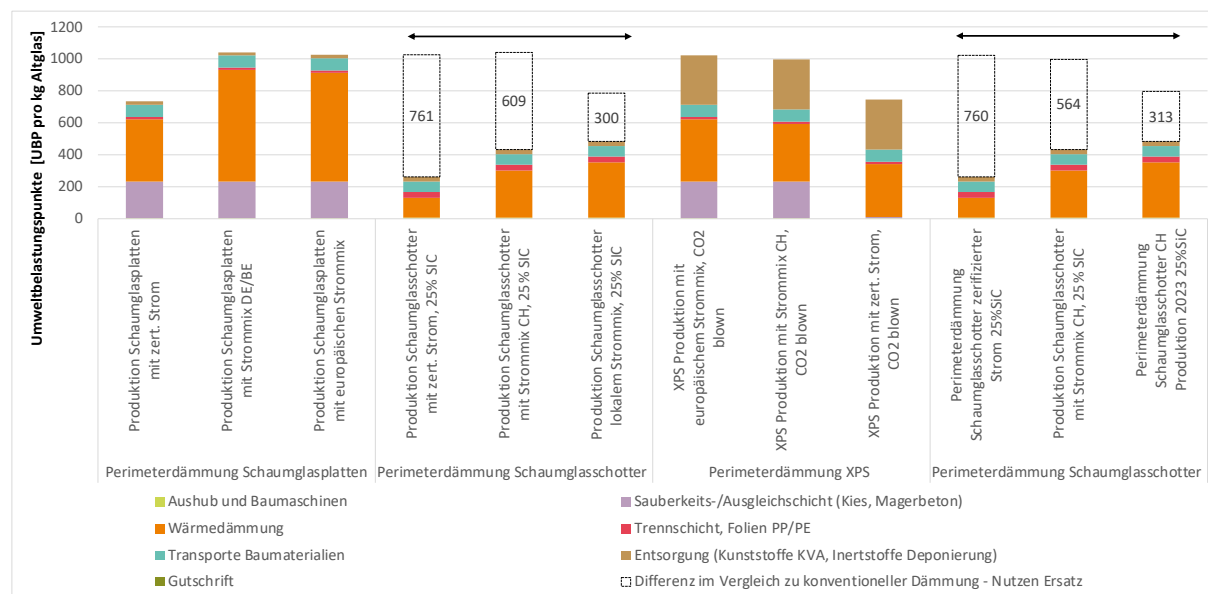


Abbildung 31: Minimal- und Maximalwerte des ökologischen Nutzens von Schaumglasschotter als Ersatz für XPS- und Schaumglasplatten abhängig vom Stromprodukt für die Produktion. Minimalwert beim Ersatz von Produkten mit geringer Umweltwirkung (rechts) und Maximalwert beim Ersatz weniger ökologischer Produkte (links).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.

Neben der Anwendung in der Perimeterdämmung wird Schaumglasschotter für Leichtschüttungen und als Leichtbaustoff im Strassenbau eingesetzt.

Der ökologische Nutzen von Schaumglasschotter in Leichtschüttungen und als Leichtbaustoff ist stark vom Objekt abhängig und deshalb im Rahmen dieser Studie nicht quantifizierbar. Als Schätzung für die Grössenordnung des ökologischen Nutzens von Leichtschüttungen wurde das Ergebnis der Perimeterdämmung verwendet für den Mittelwert und auch für die Extremwerte (siehe Kapitel 4.2, Abbildung 12). Die nachfolgenden Analysen bestätigen diese Grössenordnung, es wird ein Nutzen mit dem Ersatz anderer Schüttmaterialien und Leichtbaustoffe erzielt, maximale Effekte sind zu erwarten, wenn darüber hinaus bauliche Vorteile mit dem Einsatz Schaumglasschotter möglich sind. Dies illustriert das nachfolgende Beispiel des Frostschutzriegels.

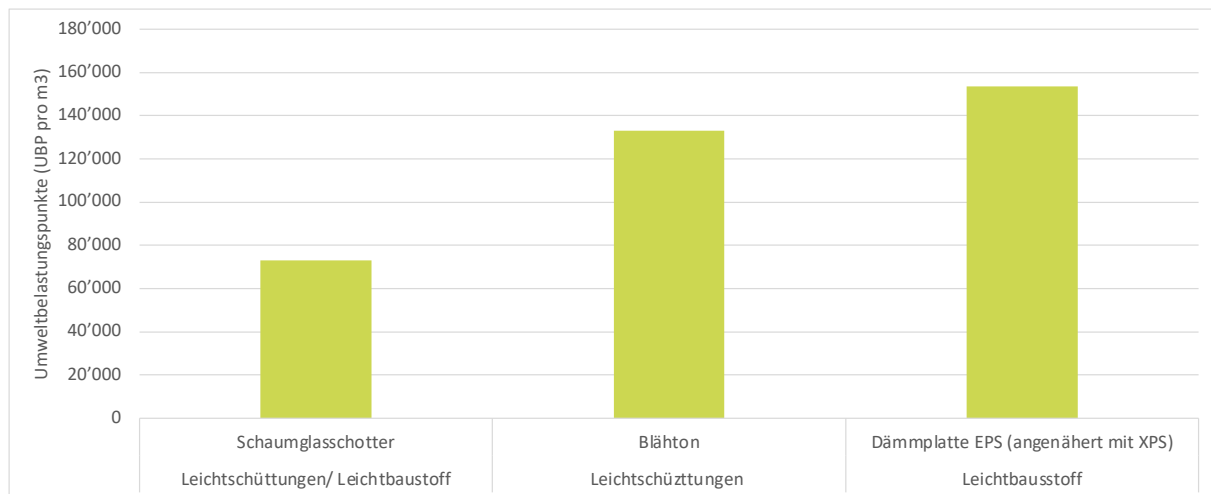


Abbildung 32: Umweltbelastung von Baumaterialien in Leichtschüttungen z.B. Blähton und Leichtbaustoffe z.B. EPS Dämmplatten für den Einsatz pro 1 m³.

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.

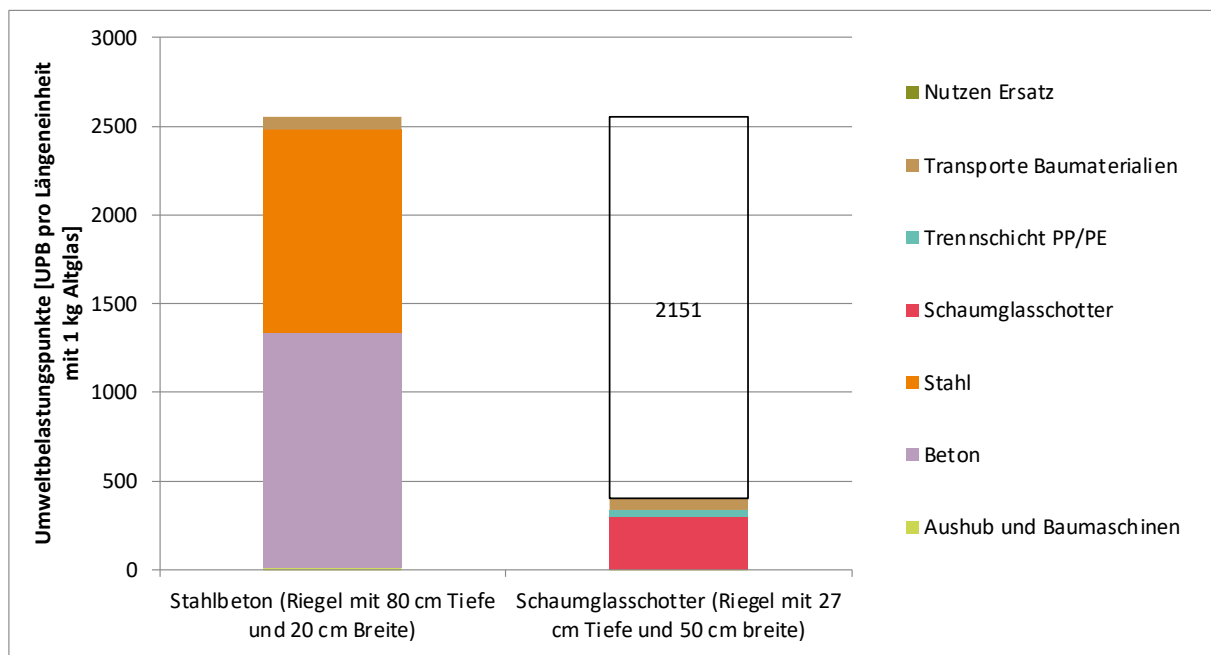


Abbildung 33: Umweltbelastung Frostschutzriegel Varianten, Bezug Längeneinheit Riegel mit 1 kg Altglas

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Frostschutzriegel Stahlbeton 80 x 30 cm gegenüber bei Perimeterdämmungen verwendeten Varianten Schaumglasschotter 30 x 50 cm

A3.5 Sensitivitätsanalyse Nutzen AFM Filtermaterial

Die nachfolgenden Illustrationen zeigen die Sensitivitätsanalyse der Verwendung AFM mit veränderten Marktanteilen beheizter Bäder, Effizienz der Reduktion Spülwasser und Lebensdauer Einsatz AFM gerechnet. Zudem wird bei der verwendeten Approximation für Trinkwasser- und Abwasseranlagen die verwendete Grössenordnung der Freibäder mit einer Abweichung -50% / +50% eingerechnet.

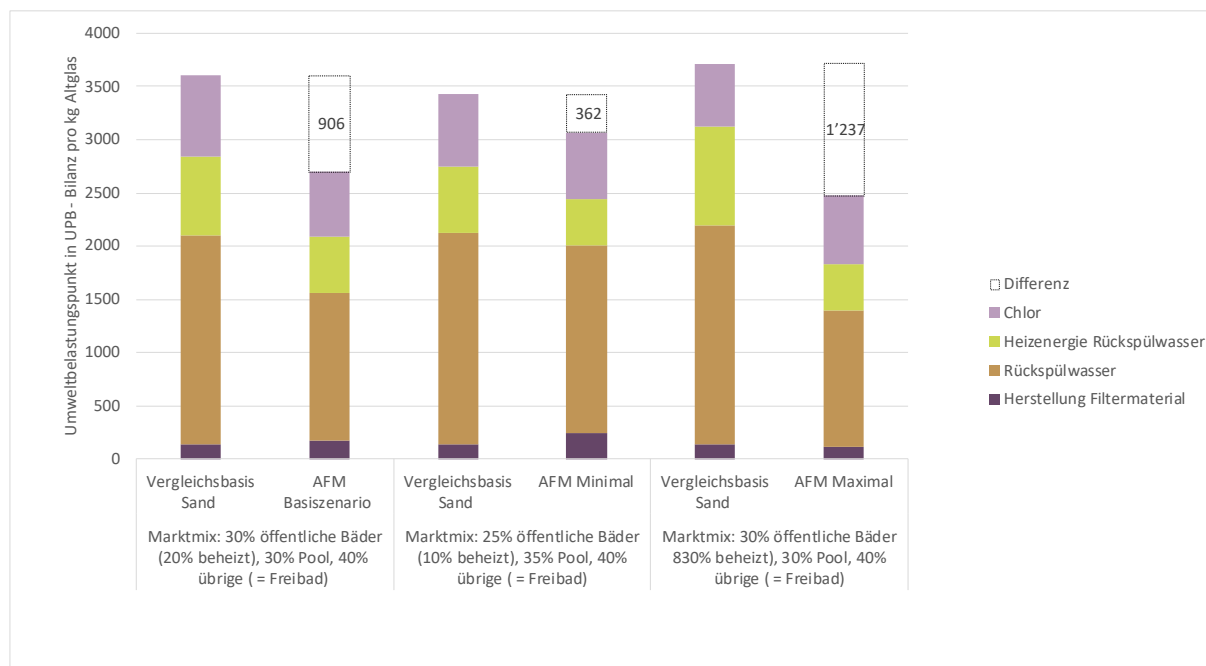


Abbildung 34: Minimalwert und Maximalwerte Nutzen AFM Filtermaterialien und Optimierung Filterprozess. Abhängig vom Markt und den dort erzielten Einsparungen variiert der Nutzen Reduktion Spülwasser, Heizenergie und Chlor.

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet. Die Ausgangsbasis für den Vergleich variiert abhängig vom Marktanteil (Basiszenario 30% Bäder, Minimalwert 25% Bäder und Maximalwert 35% Bäder) sowie dem Anteil beheizter Bäder (Basiszenario 20% beheizt, Minimalwert 10% und Maximalwert 30%)

A3.6 Sensitivitätsanalysen Nutzen Glaswolle

Die nachfolgenden Illustrationen zeigen für den analysierten Aufbau Steildach und Ständerwand Effekte der eingesetzten Energieträger und deren Einfluss auf den Nutzen der Verwertung Glaswolle. Die Bilanz der Stein- und Glaswolle hängt von der Technologie des Schmelzprozesses und den dabei eingesetzten Energieträgern ab. Effekte aus dem Einkauf erneuerbarer Stromprodukte sowie Effekte einer Optimierung der Produktion sind für die betrachteten Varianten Steildach und Ständerwand nachfolgenden dargestellt. Für den Minimalwert und Maximalwert des ökologischen Nutzen der Glaswolle werden Effekte des Ökostrom Einsatz sowie Effekte der laufenden Optimierung Produktionsprozesse mit unterschiedlichen Anteilen konventionell produzierter Steinwolle auf dem Markt betrachtet (Importprodukte). Der Minimalwerte ökologischen Nutzen wird hergeleitet mit der Anwendung der Ständerwand und dem Szenario einer hohen Verfügbarkeit Ökostrom und weitgehenden Optimierung der Produktion Steinwolle. Der Maximalwert wird hergeleitet mit der Anwendung im Steildach und dem Szenario einer geringeren Verfügbarkeit Ökostrom und höheren Anteilen konventionell produzierter Steinwolle auf dem Markt.

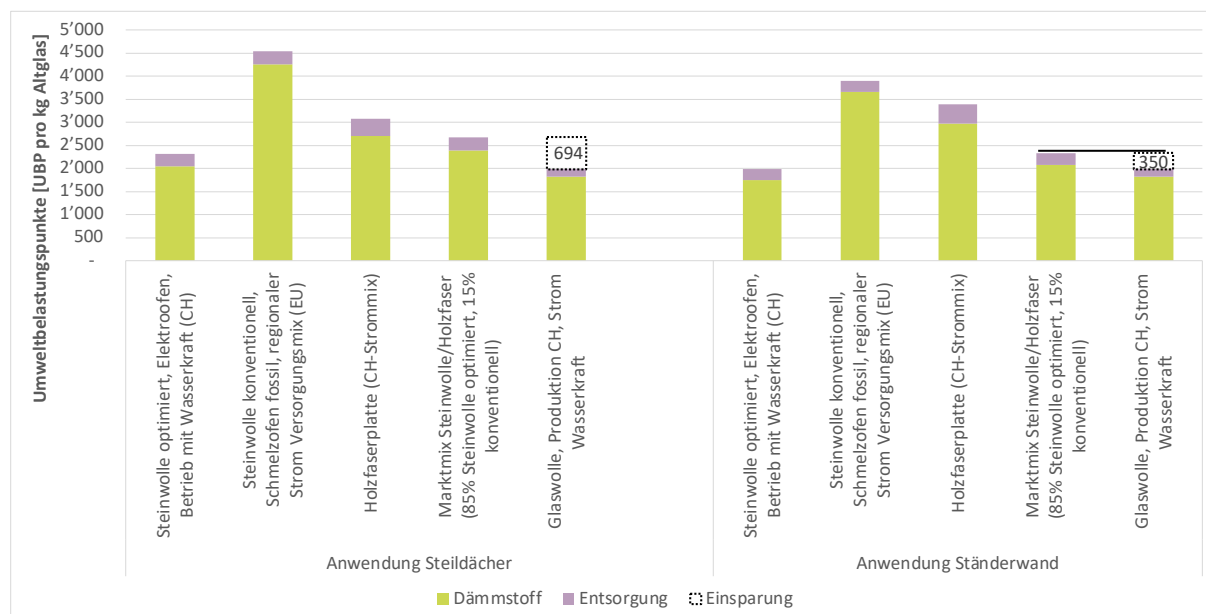


Abbildung 35: Minimalwert Nutzen Glaswolle, Annahme Substitution von weitgehend optimierten Produkten der Steinwolle (hoher Einsatz Ökostrom und Steinwolle Marktmix mit 15 % Anteil konventionelle Schmelzöfen)

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.

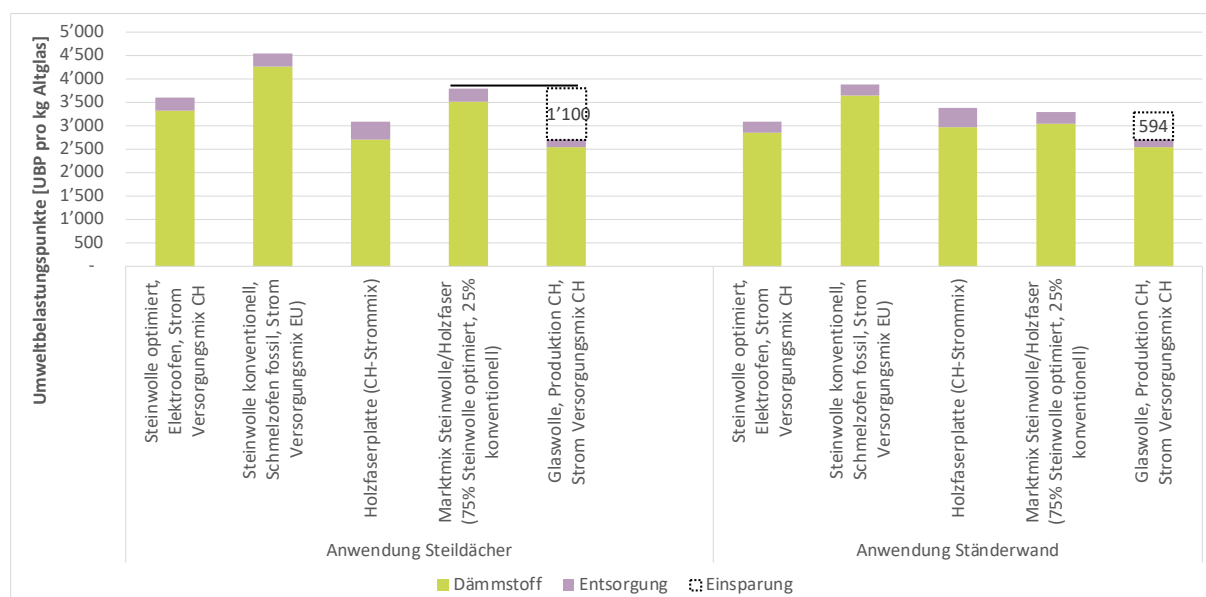


Abbildung 36: Maximalwert Nutzen Glaswolle, Annahme Substitution von teilweise optimierten Produkten der Steinwolle (geringer Einsatz Ökostrom und Steinwolle Marktmix mit 25% Anteil konventionelle Schmelzöfen).

Die Umweltbelastung wurde mit Umweltbelastungspunkten (UBP 2021) berechnet.