

# Ökobilanz der Altglasverwertung der Stadt Bern

Vergleichende Ökobilanz der heutigen farbengetrenten Altglasverwertung mit der farbengemischten Altglasverwertung im geplanten Farbsacktrennsystem FSTS der Stadt Bern



**Verfasser**

Thomas Pohl

Umtec Technologie AG  
Eichtalstrasse 54, 8634 Hombrechtikon  
Tel: 055 211 02 82

Datum: 26. Februar 2021

---

Im Auftrag der Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün, Entsorgung + Recycling Stadt Bern (ERB), Projektleitung: Cornelia Kissling



Entsorgung + Recycling  
**Stadt Bern**

## Inhalt

1	Zusammenfassung.....	3
2	Hintergrund .....	5
3	Ausgangslage und Zielsetzung .....	7
4	Rahmenbedingungen der Ökobilanzierung .....	9
5	Resultate und Diskussion .....	11
5.1	Materialflussanalyse .....	13
5.2	Ökobilanz .....	17
6	Begriffe und Abkürzungen .....	19
7	Literatur.....	20
8	Abbildungen .....	22
9	Tabellen .....	24
10	Anhang: .....	25
10.1	Materialflussanalyse .....	25
10.2	Ökobilanzdaten .....	26

## 1 Zusammenfassung

In der Stadt Bern wird Altglas bis anhin farbengetrennt separat gesammelt und der Verwertung zugeführt. Im neu angedachten «Farbsacktrennsystem» FSTS wird das Glas in einem verstärkten, violetten Kunststoff sack farbengemischt gesammelt. Die verschiedenen farbigen Säcke und das lose gesammelte Papier&Karton werden zuerst bei der Alpabern AG in die jeweiligen Separatabfallfraktionen sortiert. Danach gelangen die einzelnen Separatabfälle in die entsprechenden Verwertungskanäle. Die violetten Säcke mit dem Altglas werden dabei durch eine mehrstufige optische Sortierung nach Glas-Farben getrennt. Dies geschieht bei einem Drittanbieter mit entsprechender Infrastruktur und verfahrenstechnischem Know-How, voraussichtlich in Süddeutschland. Die Sortierung nach der Glasfarbe dient der Rückführung in den Verpackungsglas-Herstellungskreislauf.

Nun stellt sich allerdings die Frage, wie die neue farbengemischte Altglassammlung im FSTS gegenüber dem aktuellen farbengetrennten Altglas-Separatsammelsystem ökologisch abschneidet. Mit einer Ökobilanz wurden daher folgende Altglasverwertungs-Szenarien für die Stadt Bern miteinander verglichen:

1. «Status Quo»: Altglas-Separatsammlung und -verwertung der Stadt Bern mit Stand heute (Daten Altglassammelmenge 2020). Bei den Verwertungswegen wird der Schweizer Durchschnitt angenommen, da es hierfür von der Stadt Bern keine Daten gibt. Es wird auf die offiziellen Daten von VetroSwiss [1] und aus einer wissenschaftlichen Veröffentlichung der ETH zurückgegriffen [2] (siehe dazu auch Abb. 10-1 im Anhang dieses Berichts). Dabei werden ca. 26% des farbengetrennt gesammelten Altglases in der Schweiz in St. Prex zur Herstellung von neuem Verpackungsglas verwendet. Das restliche farbengetrennt gesammelte Altglas wird grösstenteils ins nahe Ausland exportiert. Dort wird es gemäss [1] und [2] ebenfalls hauptsächlich zur Herstellung von neuem Verpackungsglas sowie auch zur Herstellung von hochwertigen Bauersatzprodukten (vor allem Schaumglas) verwendet. Eine detaillierte Materialflussanalyse ist in Kap. 5.1 dargestellt. In dieser Materialflussanalyse ist auf einen Blick ersichtlich, welche Materialströme wohin gehen und welche Produkte / Abfälle entstehen.
2. «FSTS»: Altglas-Separatsammlung und -verwertung im Rahmen des Farbsacktrennsystems FSTS der Stadt Bern. Hier wird das Altglas farbengemischt im violetten Farbsack und lose in Containern bei den Farbsacksammelstellen gesammelt und danach in einer mehrstufigen Sortierung in die einzelnen Glasfarben getrennt, um wieder der Verpackungsglas-Herstellung zugeführt werden zu können. Ein kleiner Anteil an Altglas wird nach wie vor bei Sammelstellen in oberirdischen Containern farbengetrennt gesammelt und den bisherigen Verwertungsweg zur Glashütte St. Prex in der Schweiz respektive ins nahe Ausland nehmen. Eine detaillierte Materialflussanalyse ist in Kap. 5.1 dargestellt. In dieser Materialflussanalyse ist auf einen Blick ersichtlich welche Materialströme wohin verlaufen und welche Produkte / Abfälle entstehen.

Abb. 1-1 zeigt das Ergebnis der vergleichenden Ökobilanz zur Altglasverwertung der Stadt Bern für das Jahr 2020 und für die Einführung des Farbsacktrennsystems FSTS. Die Ökobilanz wurde auf Basis einer detaillierten Materialflussanalyse je Szenario erstellt (siehe dazu Hauptteil des Berichts in Abb. 5-1 und Abb. 5-2). Dabei wird ersichtlich, dass hinsichtlich der Ökologie beide Verwertungswege vergleichbar abschneiden. Da das Altglas im FSTS gezielt zu einem Verwerter

in Süddeutschland transportiert, dort mit innovativer Sortiertechnik in die einzelnen Farben getrennt und anschliessend direkt zu neuem Verpackungsglas verarbeitet wird, schneidet dieses Szenario tendenziell ökologisch leicht besser ab. In Anbetracht der Unsicherheit (Fehlerindikatoren, rote Balken in Abb. 1-1) sind die beiden Verwertungswege allerdings als ökologisch gleich zu betrachten.

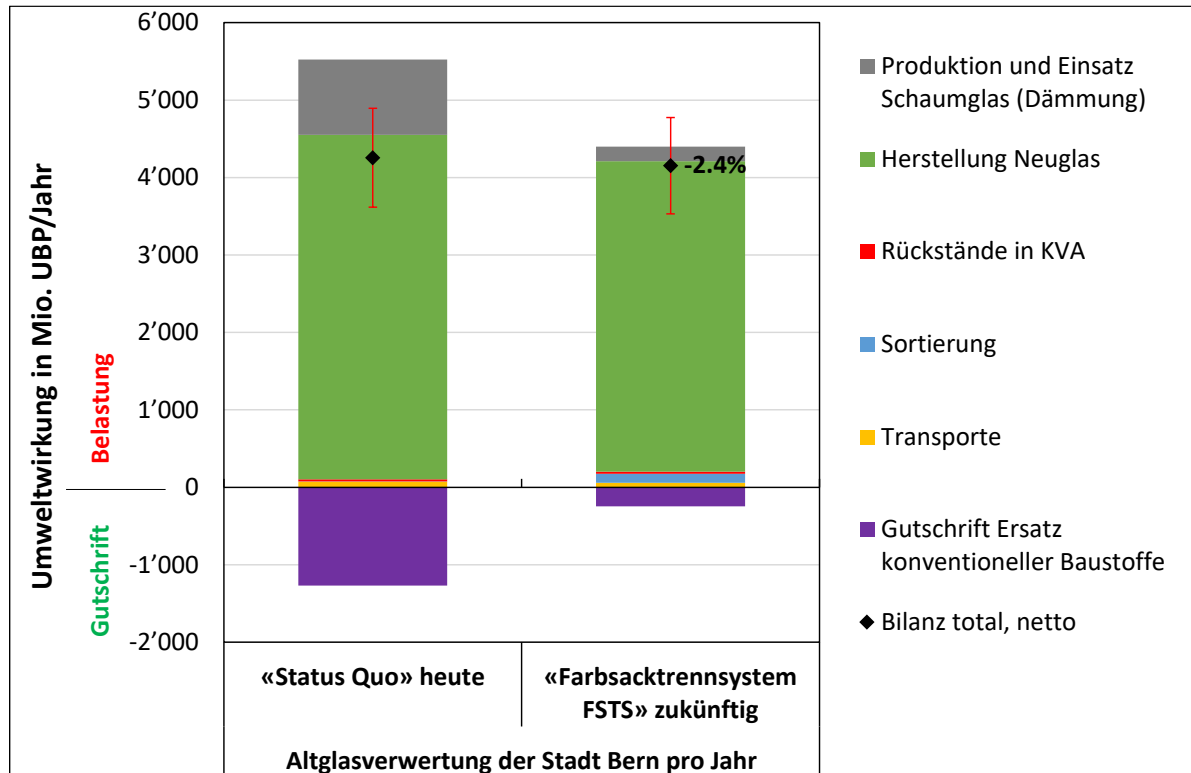


Abb. 1-1: Ökobilanzergebnis der Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-1 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-2 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet.

**Fazit:** Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die beiden verglichenen Altglasverwertungs-Szenarien hinsichtlich ihrer Umweltbilanz vergleichbar sind. Keines der Szenarien ist signifikant besser als das andere, sondern ökologisch gleichwertig.

## 2 Hintergrund

Im Rahmen des Farbsacktrennsystems (FSTS) wurde in der Stadt Bern eine neuartige Recyclinglösung erprobt, eine „kollektive Separatsammlung“. Hierbei wurden die zu entsorgenden Separatabfälle, getrennt nach Recyclingkategorien, in verschiedenfarbige Säcke verpackt und in Containern eingeworfen, die den Liegenschaften durch ERB (Entsorgung und Recycling Stadt Bern) bereitgestellt wurden. Folgende 17 Liter und 20 Liter – Farbsäcke standen der Bevölkerung während des Pilotversuchs zur Verfügung:

- **Violett**    **Gemischtes Glas (17 Liter)**
- **Blau-Gelb** **PET-Getränkeflaschen (17 Liter)**
- **Gelb**      **Kunststoffe gemischt (17 Liter)**
- **Grau**      **Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle (17 Liter)**
- **Braun**     **Papier und kleine Kartons (20 Liter) (lose im Container mitgesammelt)**

Die FSTS-Container wurden von ERB in Sammelfahrzeuge entleert und deren Inhalt in einer zentralen Sortieranlage abgekippt. Hier wurden die Säcke nach Farbe separiert und dann den entsprechenden Verwertungskanälen zwecks Recycling zugeführt (z.B. Papier, Glas, Metall...). Dieser Prozess ist im Schema in der unterstehenden Abbildung (Abb. 2-1) dargestellt.

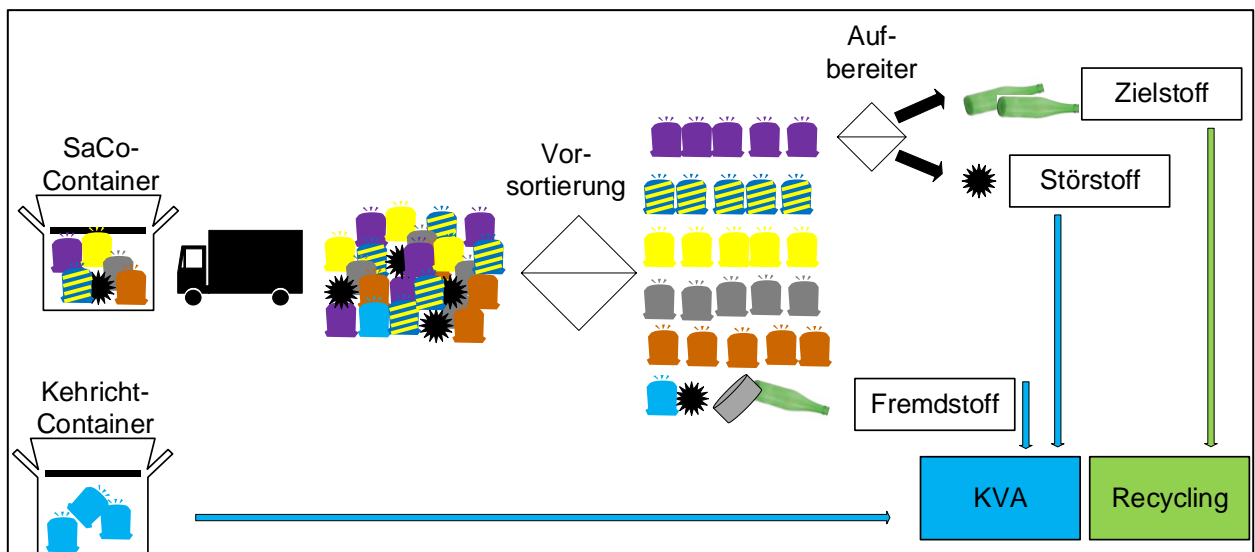


Abb. 2-1: Prozessschema der Aufbereitung der FSTS-Säcke.

Das UMTEC, ein Institut der Hochschule für Technik in Rapperswil (neu OST, Ostschweizer Fachhochschule), wurde mit der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotversuchs beauftragt [3].

Im Jahr 2016 verfasste das Umweltberatungsbüro "Sustainable System Solutions GmbH" im Auftrag von Entsorgung + Recycling Stadt Bern ERB eine umfassende Ökobilanz zum Variantenstudium des Farbsacktrennsystems FSTS (damals als "Sack im Behälter SaB" oder «Sack im Container SaCo» bekannt) [4]. Diese Ökobilanz sollte aufzeigen, ob und in welchem Ausmass die Veränderungen am Abfallsammelsystem einen Einfluss auf die Umweltbelastung der Abfallsammlung haben. Im Vordergrund stand die Implementierung der Containerpflicht für die Einführung des

Farbsacktrennsystems FSTS. Die Studie zeigte auf, dass durch die Einführung einer Containerpflicht mit dem FSTS und der damit verbundenen Reduktion der Fahrten von Privatpersonen es zu einer Reduktion der ökologischen Gesamtbelastung kommt. Die Einführung des FSTS lohnt sich ökologisch. Das Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC der Hochschule für Technik Rapperswil HSR (neu OST, Ostschweizer Fachhochschule) führte im Sommer 2019 eine erste und im Herbst 2020 eine zweite Aktualisierung dieser Ökobilanz im Auftrag von ERB durch. UMTEC kam dabei zum selben Resultat wie das Umweltberatungsbüro "Sustainable System Solutions GmbH": das neue Farbsacksystem lohnt sich hinsichtlich Ökologie [6] und [7].

Im Jahr 2018 startete der Pilotversuch, damals mit dem Namen "SaCo – Sack im Container". Der Pilotversuch lief von September 2018 bis August 2019 über einen Zeitraum von einem Jahr und wurde durch uns vom Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC von der Hochschule für Technik Rapperswil HSR (neu OST, Ostschweizer Fachhochschule) wissenschaftlich begleitet [3]. Das zentrale Element der wissenschaftlichen Begleitung war das Herausarbeiten von Unterschieden zwischen Wirk- und Ursprungszustand der separat gesammelten Fraktionen und den Sammel Mengen betreffend der Zielstoffqualität. Basis hierfür war der Vergleich von Daten aus den Wirk- und den Nullversuchen auf den drei Ebenen "Sack", "Container" und "Vollstrom". Im Zuge dessen wurden verschiedene Analyseaktionen durchgeführt:

- Analyse der Kehrriechtsäcke: Zusammensetzung
  - Nullversuch vor der Pilotphase
  - 3 Wirkversuche während der Pilotphase
- Analyse der Farbsäcke: Zusammensetzung und Separatabfallqualität
  - 4 Wirkversuche während der Pilotphase, davon 3 Einzelsackanalysen
- Analyse der Container: Verteilung & Zustand der Säcke, Erfassen von losem Material
  - 3 Analysen während der Pilotphase
- Beprobung von 3 Quartierentsorgungsstellen: Separatabfallqualität
- Analyse von Brennpunkt-Container (unsachgemäss befüllt, viel Fremdmaterial)
- Analyse der Restfraktion

Hauptziel der wissenschaftlichen Begleitung bestand darin, aufzuzeigen, ob sich das Farbsacktrennsystem als Recyclinglösung bewährt und eine stadtweite Einführung empfohlen werden kann.

Im Rahmen des FSTS-Pilots wurden Liegenschaften in der Stadt Bern aus zwei von drei Abfuhrkreisen (Kreis A und Kreis B) ausgewählt. Der Pilotversuch startete im September 2018 mit zwei verschiedenen Varianten, Pilot 1 und Pilot 2. Bei dem Pilot 1 standen der Bevölkerung zwei verschiedene Container zur Verfügung, einer für Kehrriechtsäcke und einer für FSTS-Säcke. Der Pilot 1 wurde im Abfuhrkreis A durchgeführt. Beim Pilot 2 wurden beide Sackarten, Kehrriechtsäcke und FSTS-Säcke in den gleichen Container entsorgt (Kreis B). Die beiden Varianten sind in Abb. 1.2 dargestellt. Pilot 2 wurde im Februar 2019 eingestellt, weil die zum Teil feuchten Kehrriechtsäcke das Papier zu stark verschmutzten und durchnässten. Die Pilotphase wurde für beide Abfuhrkreise mit dem Modell des Pilot 1 wie geplant bis im August 2019 weitergeführt.

Eine weitere Änderung des Versuchsdesigns des FSTS-Piloten betraf die Papiersammlung. Das Papier wurde in der Endphase lose, zusammen mit den anderen vier verbleibenden Farbsäcken in den FSTS-Containern gesammelt.

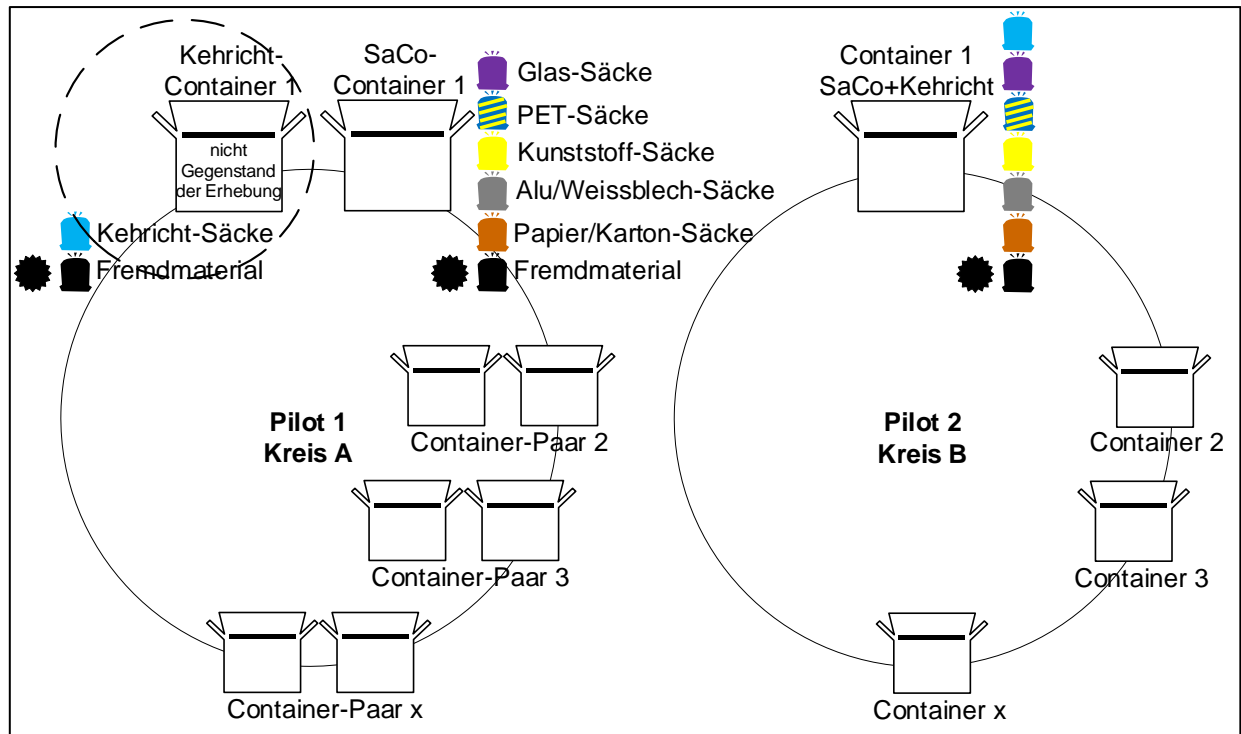


Abb. 1.2: Illustration von Pilot 1 (2 getrennte Container für Kehr- und FSTS-Säcke) und 2 (ein Container für beide Sackarten).

Der Einfluss der betrachteten Sammelszenarios auf die Qualität der gesammelten Separatabfälle sowie deren Verwertung wurde in den genannten 3S-Studie [4] und UMTEC-Studien [6], [7] nicht beurteilt. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotversuchs des FSTS haben FSTS-Sackanalysen zur Bestimmung des Separatabfallgehalts gezeigt, dass die Separatabfallqualität und der Fremdstoffanteil vergleichbar ist mit herkömmlichen Sammelstellen für Separatabfälle [3]. Die UMTEC-Analysen zeigten einen nur leicht höheren Separatabfallanteil an als in den untersuchten Quartierentsorgungsstellen. Es muss allerdings beachtet werden, dass die angegebenen Werte für die Zielstoffqualität des Farbsacktrennsystems nur bedingt auf die ganze Stadt übertragbar sind. Die Möglichkeit besteht, dass überwiegend recyclingaffine Personen am Pilotversuch teilgenommen haben, was zu einer Verzerrung der Stichprobe führen kann. Ebenfalls nicht betrachtet wurde der Einfluss auf das Brennmaterial (Veränderung des Heizwertes aufgrund der Separatsammlung verschiedener Separatabfälle) und dessen Auswirkungen auf die KVA.

Besonders die Verwertung des Altglases und die damit einhergehende ökologische Auswirkung stiess in der Öffentlichkeit auf Interesse. Weshalb ERB nun eine entsprechende Ökobilanz zur Altglasverwertung bei der Umtec Technologie AG (UTech AG) in Auftrag gab.

### 3 Ausgangslage und Zielsetzung

In der Stadt Bern wird Altglas bis anhin farbengetrennt separat gesammelt und der Verwertung zugeführt. Im neu angedachten «Farbsacktrennsystem» FSTS wird das Glas in einem verstärkten, violetten Kunststoffsack farbengemischt gesammelt. Daneben werden im Farbsacktrennsystem weitere Fraktionen: PET, Büchsen, Kunststoffe und Papier&Karton gesammelt. Die verschiedenen

farbigen Säcke und das lose gesammelte Papier&Karton werden zuerst bei der AlpaBern AG in die jeweiligen Separatabfallfraktionen sortiert. Danach gelangen die einzelnen Separatabfälle in die entsprechenden Verwertungskanäle. Die violetten Säcke mit dem Altglas werden dabei durch eine mehrstufige optische Sortierung nach Glas-Farben getrennt. Dies geschieht bei einem Drittanbieter mit entsprechender Infrastruktur und verfahrenstechnischem Know-How, voraussichtlich in Süddeutschland. Die Sortierung nach der Glasfarbe dient der Rückführung in den Verpackungsglas-Herstellungskreislauf.

Nun stellt sich allerdings die Frage, wie die neue farbengemischte Altglassammlung im FSTS gegenüber dem aktuellen farbengetretennten Altglas-Separatsammelsystem ökologisch abschneidet. Mit einer Ökobilanz sollen daher folgende Altglasverwertungs-Szenarien für die Stadt Bern miteinander verglichen werden:

1. «Status Quo»: Altglas-Separatsammlung und -verwertung der Stadt Bern mit Stand heute (Daten Altglassammelmenge 2020). Bei den Verwertungswegen wird der Schweizer Durchschnitt angenommen, da es hierfür von der Stadt Bern keine Daten gibt. Es wird auf die offiziellen Daten von VetroSwiss [1] und aus einer wissenschaftlichen Veröffentlichung der ETH zurückgegriffen [2] (siehe dazu auch Abb. 10-1 im Anhang dieses Berichts). Dabei werden ca. 26% des farbengetretennt gesammelten Altglases in der Schweiz in St. Prex zur Herstellung von neuem Verpackungsglas verwendet. Das restliche farbengetretennt gesammelte Altglas wird grösstenteils ins nahe Ausland exportiert. Dort wird es gemäss [1] und [2] ebenfalls hauptsächlich zur Herstellung von neuem Verpackungsglas sowie auch zur Herstellung von hochwertigen Bauersatzprodukten (vor allem Schaumglas) verwendet. Eine detaillierte Materialflussanalyse ist in Kap. 5.1 dargestellt. In dieser Materialflussanalyse ist auf einen Blick ersichtlich, welche Materialströme wohin gehen und welche Produkte / Abfälle entstehen.
2. «FSTS»: Altglas-Separatsammlung und -verwertung im Rahmen des Farbsacktrennsystems FSTS der Stadt Bern. Hier wird das Altglas farbengemischt im violetten Farbsack und lose in Containern bei den Farbsacksammelstellen gesammelt und danach in einer mehrstufigen Sortierung in die einzelnen Glasfarben getrennt, um wieder der Verpackungsglas-Herstellung zugeführt werden zu können. Ein kleiner Anteil an Altglas wird nach wie vor bei Sammelstellen in oberirdischen Containern farbengetretennt gesammelt und den bisherigen Verwertungsweg zur Glashütte St. Prex in der Schweiz respektive ins nahe Ausland nehmen. Eine detaillierte Materialflussanalyse ist in Kap. 5.1 dargestellt. In dieser Materialflussanalyse ist auf einen Blick ersichtlich welche Materialströme wohin verlaufen und welche Produkte / Abfälle entstehen.

Die vorliegende Studie soll nun die bestehende Lücke der Lebenszyklusphasen «Verwertung» bis und mit «Herstellung neues Produkt / Entsorgung in KVA / auf Deponie (Reststoffe der Glasverwertung)» der Altglasverwertung schliessen. Die vorliegende Studie erweitert damit die Systemgrenze der bereits bestehenden Ökobilanz des FSTS aus [4], [6] und [7] für die Separatabfallfraktion Glas. Schlussendlich können die Resultate der Vorstudien und der vorliegenden Studie für die Glasverwertung den gesamten Lebenszyklus des Altglases abbilden, im Sinne «von der Wiege bis zur Bahre».



## 4 Rahmenbedingungen der Ökobilanzierung

Die Ökobilanz, auch Lebenszyklusanalyse oder life cycle assessment (LCA) genannt, ist ein Hilfsmittel zur Analyse der Umweltwirkung. Der Wortteil "Öko" steht dabei für die Umweltwirkung und der Wortteil „Bilanz“ für die buchhalterische Erfassung sämtlicher Umweltwirkungen über den ganzen Lebenszyklus eines Produkts oder Prozesses in numerischer Form. Wichtig dabei ist, dass alle Emissionen und Ressourcenverbräuche während der Entstehung, über die eigentliche Lebenszeit bis zur Entsorgung oder Wiederverwertung in die Lebenszyklusanalyse einfließen - „von der Wiege bis zur Bahre“.

In der Abfallwirtschaft werden neben der ökologischen Belastung fürs Recycling und für die Entsorgung (Verbrennung und Deponierung) auch ökologische Gutschriften vergeben. Das Recycling ersetzt Primärrohstoffe, deren Gewinnung (z.B. Siliziumoxid, Quarzsand) sehr umweltbelastend ist.

Es gibt verschiedene Methoden zur Ökobilanzierung die, je nach Aufgabenstellung, mehr oder weniger geeignet sind um den Einfluss einer umweltrelevanten Tätigkeit abzubilden. In der vorliegenden Studie wurde folgende Methode der Ökobilanzierung verwendet:

### Ökologische Knappheit (UBP-Methode)

Diese Ökobilanzierungsmethode beruht auf dem Vergleich der aktuellen Belastung der Umwelt (aktueller Fluss, „Ist-Menge“) mit der gesellschaftspolitisch als zulässig angesehen Belastung (kritischer Fluss, „Toleranzmenge“). Das Verhältnis von aktuellem zu kritischem Fluss resp. der „Ist-Menge“ zur „Toleranzmenge“ wird als ökologische Knappheit bezeichnet. Diese Methode wird auch Umweltbelastungspunkte-Methode (kurz UBP-Methode) genannt. Denn diese Ökobilanzierungsmethode berücksichtigt eine grosse Anzahl an Wirkungskategorien, welche anhand einer Gewichtung, basierend auf politischen Zielen der Schweizer Umweltgesetzgebung abgestützt, ein gesamt aggregiertes eindimensionales Ergebnis in der Einheit Umweltbelastungspunkte UBP liefert [8]. Ein Vorteil dieser Methode liegt in der Erfassung des Effekts von Schadstoffemissionen in die Umwelt. In der Schweiz gilt die "UBP-Methode" als Standard bei Ökobilanzen [9], [10], [11].

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht der Rahmenbedingung der von der Umtec Technologie AG erstellten Ökobilanz nach Norm ISO 14'040 2006 [12] und ISO 14'044 2006 [13]. Das Vorgehen entspricht in den wesentlichen Aspekten deren Anforderungen. Bezüglich der Verwendung von gesamt aggregierenden Bewertungsmethoden, wie dies die Umweltbelastungspunkte (UBP) sind, geht die Studie über die Norm hinaus [14]. Dieses Vorgehen wird für Entscheidungsträger als hilfreich und zielführend betrachtet. Denn teilaggregierte Ökobilanzen aggregieren das Ergebnis nicht zu einem eindimensionalen Resultat und können sich bei den betrachteten Wirkungskategorien (Umweltteilbereiche wie Eutrophierung, Versauerung des Bodens, stratosphärischer Ozonabbau, Klimaerwärmung etc.) widersprechen. Dadurch sind die Ergebnisse von teilaggregierten Ökobilanzen nicht immer eindeutig und stellen die Entscheidungsträger vor eine schwierige Situation.

Nachfolgend sind weitere Eckpunkte und Rahmenbedingungen der Ökobilanz aufgeführt:

- **Erstellt durch:** Thomas Pohl, Bereichsleiter Umweltberatungen der Umtec Technologie AG (UTech AG) mit der Software SimaPro 9.1.0 [15].

- **Systemgrenze:** Von der Verwertung bis zum neuen Produkt respektive bis zur Entsorgung in KVA oder einer Deponie (Rückstände der Glasherstellung). Die anderen Lebenszyklusphasen sind im Bericht [7] ausgewiesen. In der vorliegenden Studie soll auf die Verwertung fokussiert werden. In Abb. 4-1 und Abb. 4-2 sind die jeweiligen Systemgrenzen dargestellt.
- **Funktionelle Einheit:** Verwertung der Jahresmenge an separat gesammeltem Altglas durch ERB der Stadt Bern.
- **Daten:** Die Ökobilanzdaten der Vorstudie «Ökobilanz FSTS» vom 06.08.2019 [6] und «Ökobilanz FSTS Update» vom 11.11.2020 [7] wurden vom Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC der Hochschule für Technik HSR (neu OST, Ostschweizer Fachhochschule) mit Erlaubnis von ERB der Umtec Technologie AG zur Verfügung gestellt. Die Hintergrunddaten der Prozessvorkette wie Rohstoffgewinnung + Transporte stammen aus der Umweltdatenbank Ecoinvent 3.6 (grösste und solideste Umweltdatenbank) [16]. Die verwendeten Daten und Datensätze aus Ecoinvent sind dem Anhang sowie dem Literaturverzeichnis zu entnehmen.

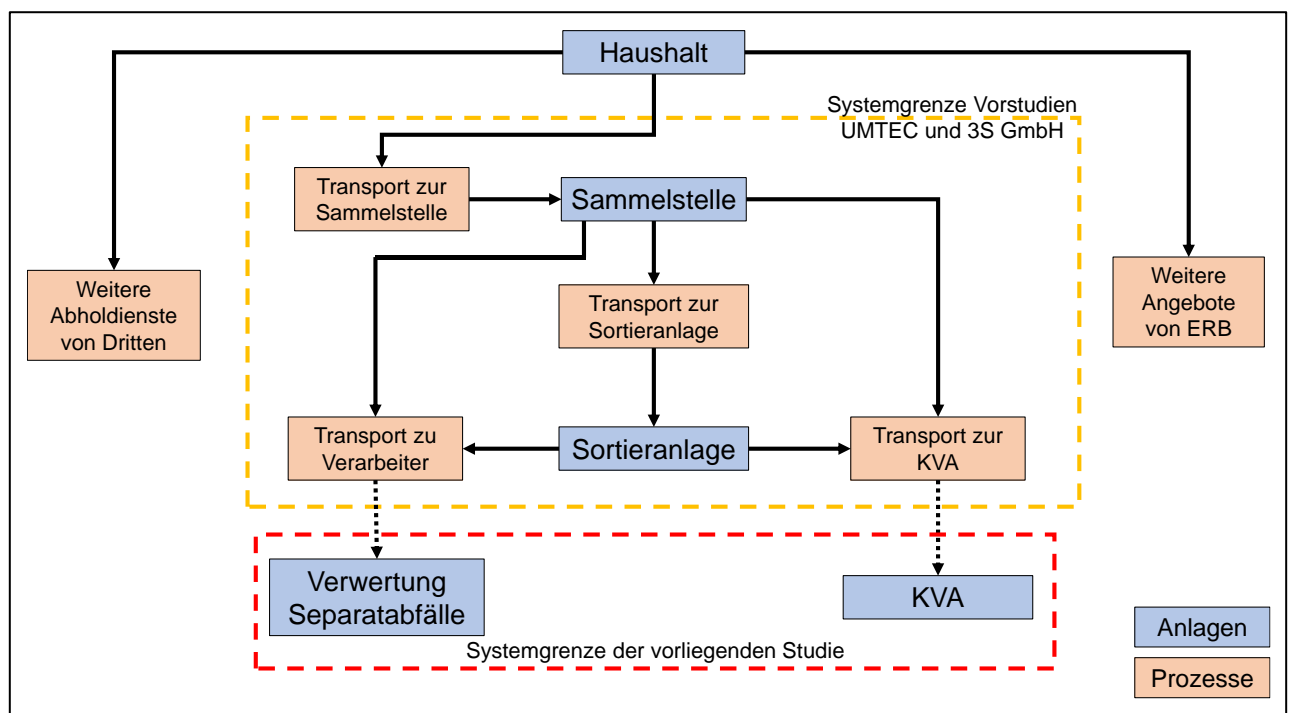


Abb. 4-1: Systemgrenze der Vorstudien der 3S GmbH [4] und von UMTEC [6], [7] in gelber Farbe sowie die Systemgrenze der vorliegenden Studie in roter Farbe.

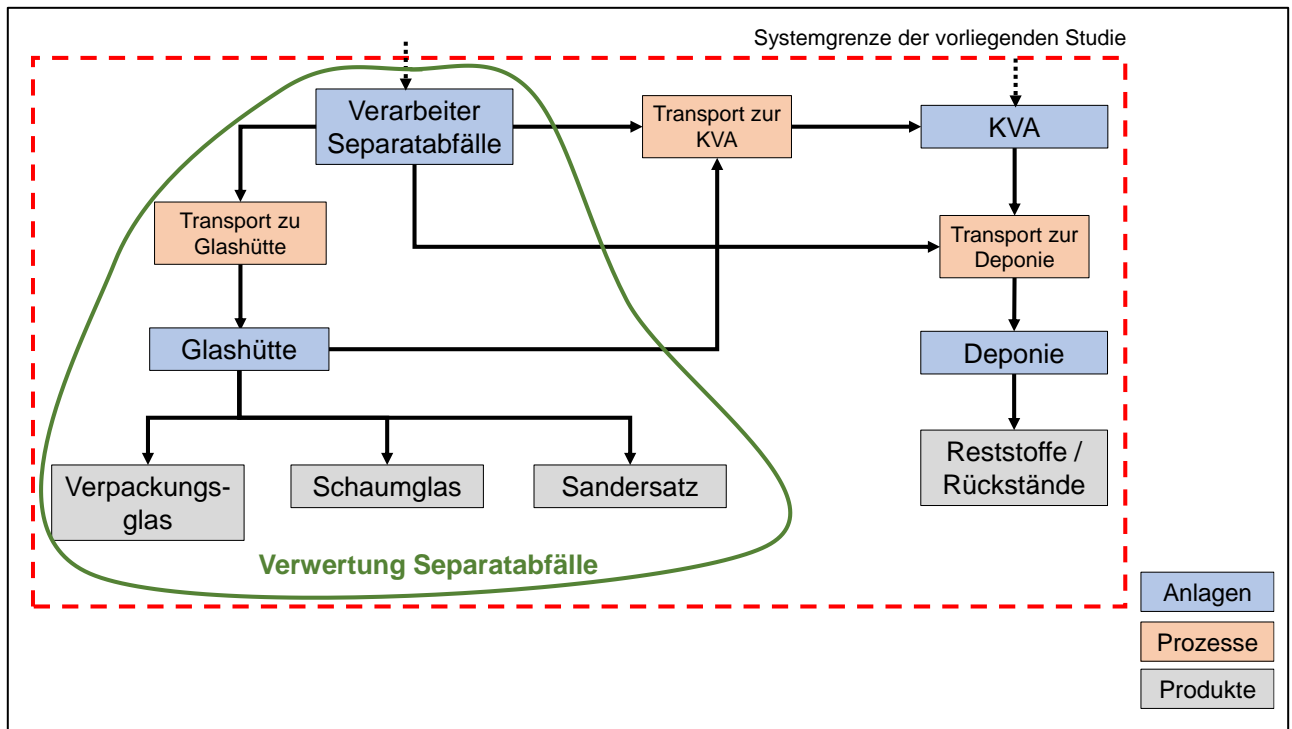


Abb. 4-2: Systemgrenze der vorliegenden Studie für die Altglasverwertung.

## 5 Resultate und Diskussion

Abb. 5-1 zeigt die Materialflussanalyse für die Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute «Status Quo» gegenüber der zukünftigen Situation bei Einführung des Farbsacktrennsystems FSTS, siehe dazu Abb. 5-2. Die Daten zu den Altglasmengen stammen direkt von ERB und bilden die Situation des Jahres 2020 ab. Für das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» verfügt ERB über Daten zum Verwertungsweg, da eine Zusammenarbeit mit einem Altglasverwerter in Süddeutschland geplant ist, der das farbengemischte Altglas mit innovativer optischer Sortiertechnik nach Farben trennt und diese dann ausschliesslich zur Herstellung von neuem Verpackungsglas verwendet.

Allerdings verfügt ERB für das Szenario «Status Quo» nicht über Daten zum Verwertungsweg, da ERB nur für die Sammlung zuständig ist und das Sammelgut einem Recycler in Ostermündigen übergibt. Deshalb wurde in der vorliegenden Studie der Schweizer Durchschnitt analysiert und für die Altglasmenge der Stadt Bern angewandt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass dieser Verwertungsweg sehr gut den tatsächlichen Verbleib des Altglases widerspiegelt, denn die Datenlage ist aufgrund des Jahresberichts 2019 von Vetroswiss [1] sowie aufgrund einer fundierten, wissenschaftlichen Veröffentlichung der ETH Zürich [2] solide abgesichert. Die einzige Unsicherheit, die sich auf Basis der aktuellen Datenlage ergibt, ist die finale Verwertung des exportierten Altglases. Gemäss [2] soll das gesamte exportierte Altglas zur Herstellung von neuem Verpackungsglas verwendet werden. Die Daten von Vetroswiss aus dem Jahr 2019 [1] sind in diesem Punkt nicht klar, denn es wird beim exportierten Anteil des Altglases nicht unterschieden zwischen der Herstellung von Verpackungsglas und dem Einsatz für die Produktion von sogenannten «hochwertigen Ersatzprodukten» wie es im Jahresbericht heisst. Deshalb wurde in der vorliegen-

den Studie davon ausgegangen, dass heute zwei Drittel des exportierten Altglases für die Herstellung von neuem Verpackungsglas (Sekundärverpackungsglas) und ein Drittel für die Herstellung von Schaumglas als Dämmmaterial (hochwertiges Bauersatzprodukt) verwendet wird. Da diese Annahme kritisch ist, wurde zudem eine Variante berechnet, in der das gesamthaft exportierte Altglas zur Herstellung von neuem Verpackungsglas im Ausland verwendet wird, wie es aus der der Veröffentlichung der ETH Zürich [2] hervorgeht, siehe dazu Abb. 5-3 («Status Quo») und Abb. 5-4 («Farbsacktrennsystem FSTS»).

Nun zurück zu Abb. 5-1. Es ist ersichtlich, dass heute (ohne FSTS) die Altglassammlung grösstenteils, abgesehen von ein paar wenigen farbengemischten Sammelstellen, farbengetreunt erfolgt. Bei der farbengetreunten Altglassammlung fliesst der überwiegende Teil des grünen Altglases in die einzige Glashütte der Schweiz in St. Prex. Ebenfalls ein Teil des braunen und weissen Altglases wird in St. Prex zu neuem Verpackungsglas verarbeitet. Aufgrund der Kapazitätsgrenze der Glashütte St. Prex kann nicht alles Altglas in der Schweiz verwertet werden und ein Teil geht daher ins nahe gelegene Ausland (vor allem Deutschland, Frankreich und Italien). Dort wird das Altglas zu neuem Verpackungsglas sowie zu hochwertigen Baustoffersatzprodukten (z.B. Schaumglas als Dämmprodukt) verarbeitet. Eine Ökobilanz der Firma Carbotech AG [17] hat aufgezeigt, dass der ökologische Vorteil des Glasrecyclings respektive der Verwendung der Glasscherben zur Herstellung von hochwertigen Ersatzbaustoffen, den Transport ins nahe gelegene Ausland deutlich überkompensiert. Das heisst, auch bei längeren Transportdistanzen (>300km) resultiert immer noch ein grosser Umweltnutzen aus dem Glasrecycling im Ausland. Dies wird auch von Vetroswiss bestätigt [1].

In Abb. 5-2 ist ersichtlich, dass durch die Einführung des Farbsacktrennsystems FSTS der überwiegende Teil des Altglases farbengemischt gesammelt wird. Nur noch in den verbleibenden oberirdischen Containern weniger Sammelstellen (Farbsacktrennsystem-Sammelstellen) wird das Altglas farbengetreunt gesammelt. Das farbengetreunte Altglas verläuft, in Bezug auf den Verwertungsweg, analog zum Szenario «Status Quo» aus Abb. 5-1. Das farbengemischte Altglas hingegen, geht nach Süddeutschland in die Sortierung und wird anschliessend auch dort in einer Glashütte direkt zu neuem Verpackungsglas («Sekundärglas») verarbeitet.

### 5.1 Materialflussanalyse

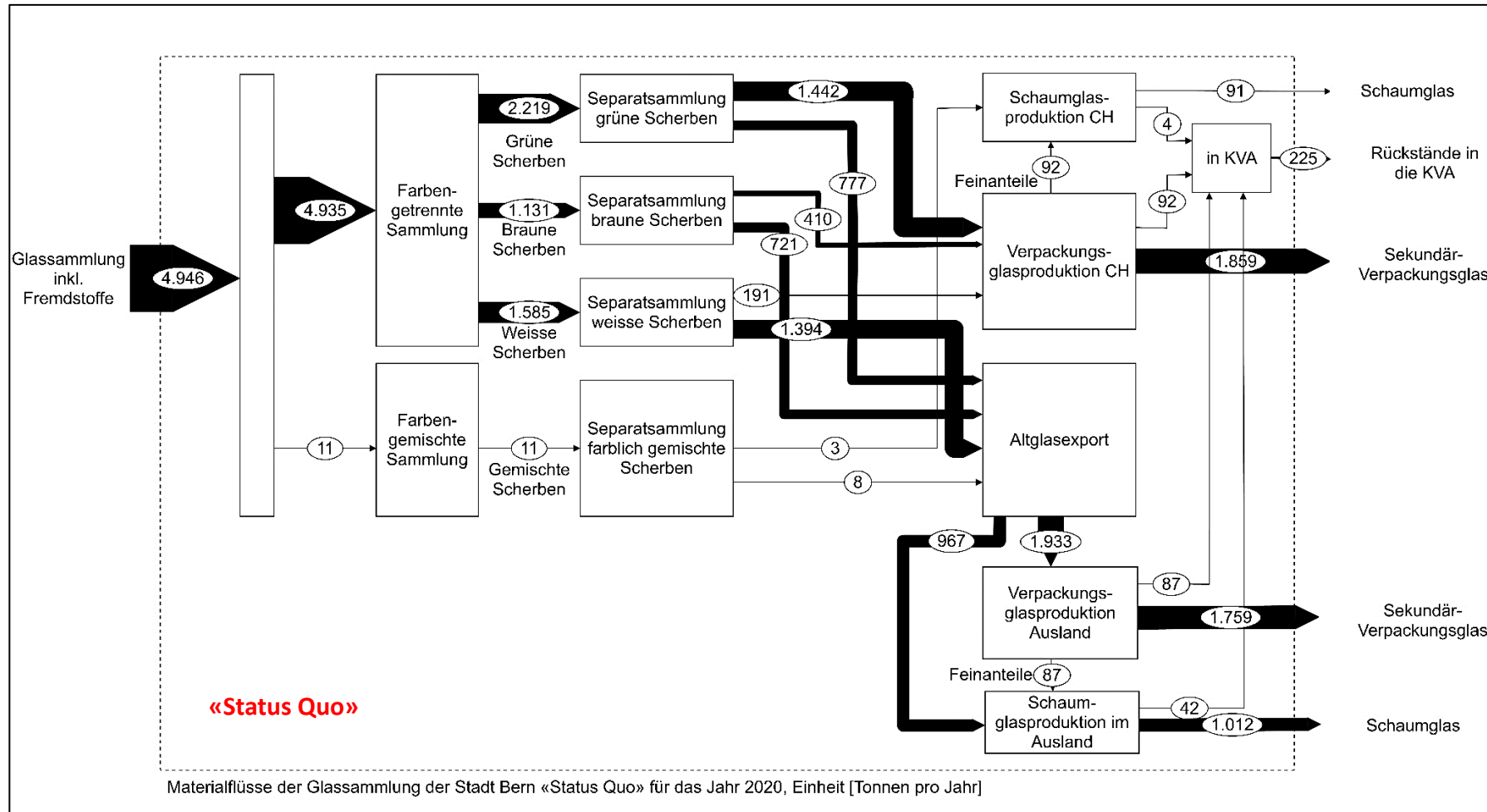


Abb. 5-1: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Status quo» (aktuelle Situation) und das Jahr 2020. Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Zwei Drittel des exportierten Altglases wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt und ein Drittel geht in die Schaumglasproduktion.

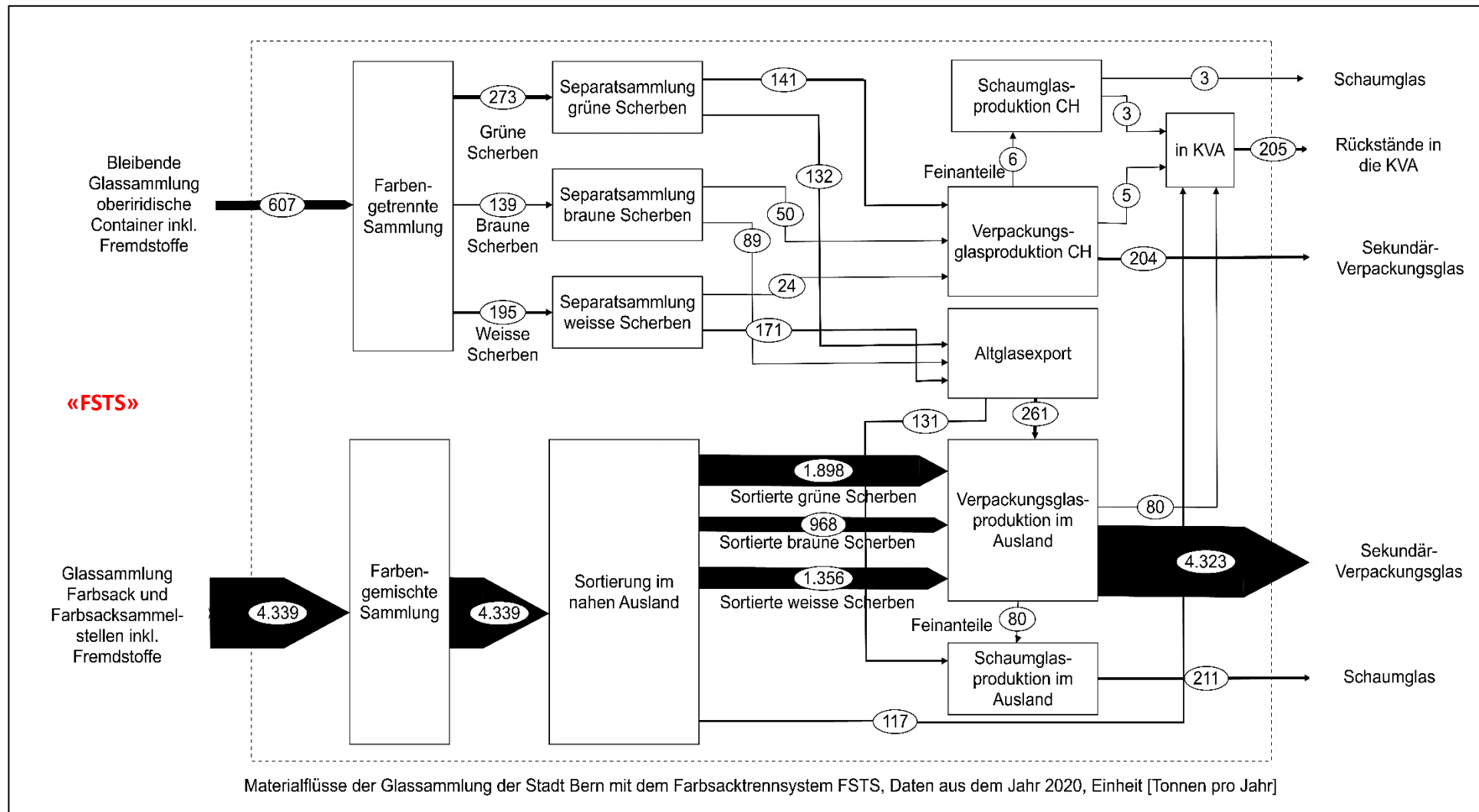


Abb. 5-2: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» (Zustand zukünftig). Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Zwei Drittel des farbengetrennt gesammelten und exportierten Altglases wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt und ein Drittel geht in die Schaumglasproduktion.

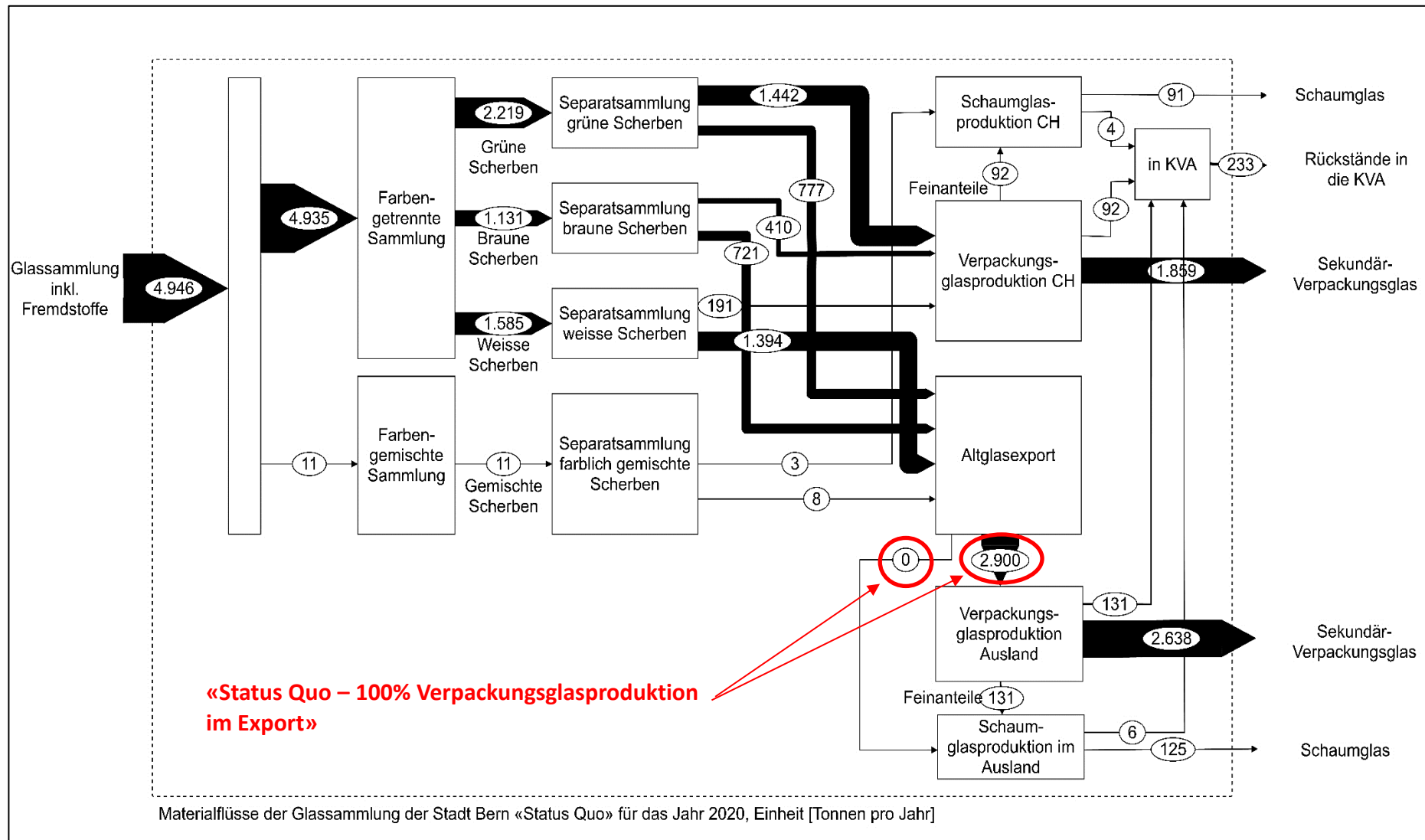


Abb. 5-3: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Status quo» (aktuelle Situation) und das Jahr 2020. Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Das gesamte exportierte Altglas wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt. Es fließt nichts in die ausländische Schaumglasproduktion.

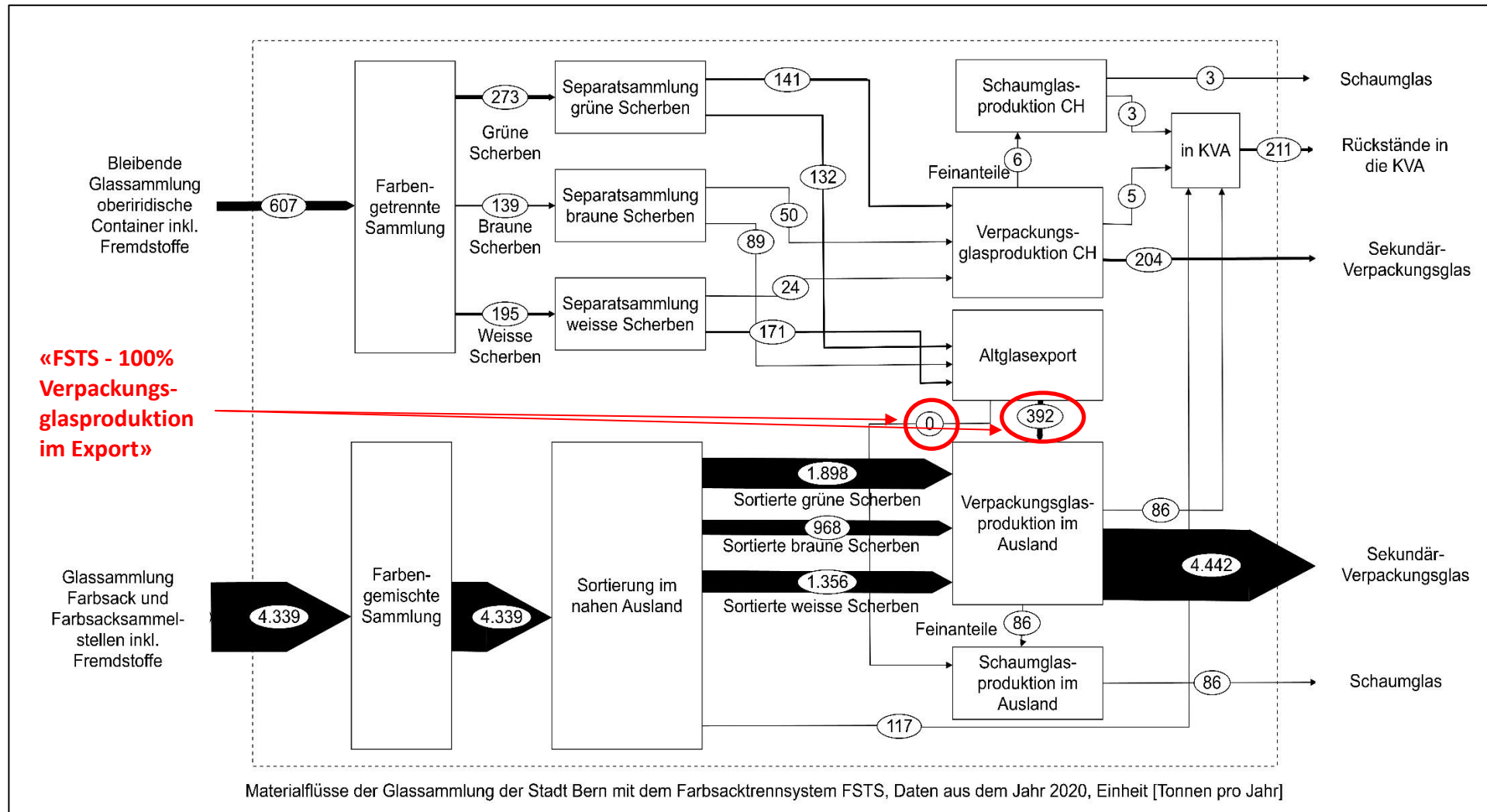


Abb. 5-4: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» (Zustand zukünftig). Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Das farbengetreunt gesammelte und exportierte Altglases wird vollständig in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt. Es fließt davon nichts in die Produktion von ausländischem Schaumglas.



## 5.2 Ökobilanz

Abb. 5-5 zeigt das Ergebnis der vergleichenden Ökobilanz zur Altglasverwertung der Stadt Bern für das Jahr 2020 und für die Einführung des Farbsacktrennsystems FSTS. Die Ökobilanz wurde auf Basis der in Abb. 5-1 und Abb. 5-2 dargestellten Materialflüsse erstellt. Dabei wird ersichtlich, dass hinsichtlich der Ökologie beide Verwertungswege vergleichbar abschneiden. Da das Altglas im FSTS gezielt zu einem Verwerter in Süddeutschland transportiert, dort mit innovativer Sortiertechnik in die einzelnen Farben getrennt und anschliessend direkt zu neuem Verpackungsglas verarbeitet wird, schneidet dieses Szenario tendenziell ökologisch leicht besser ab. In Anbetracht der Unsicherheit (Fehlerindikatoren, rote Balken in Abb. 5-5) sind die beiden Verwertungswege allerdings als ökologisch gleich zu betrachten.

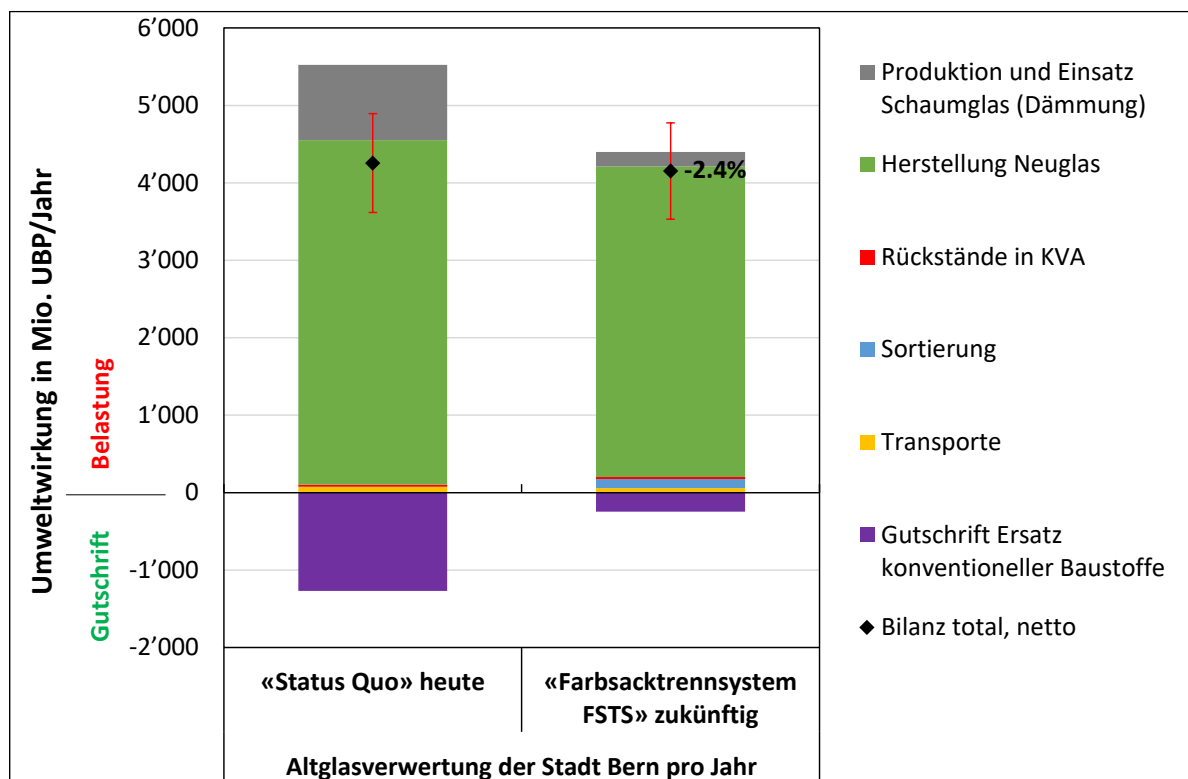


Abb. 5-5: Ökobilanzerggebnis der Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-1 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-2 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet.

Im Unterschied zur Abb. 5-5 zeigt Abb. 5-6 das Ergebnis der vergleichenden Ökobilanz für die Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) und für die Einführung des Farbsacktrennsystems, wenn angenommen wird, dass das gesamte exportierte Altglas zur Herstellung von neuem Verpackungsglas verwendet wird. Aus Abb. 5-3 und Abb. 5-4 sind die Materialflüsse dargestellt für den Fall, dass das gesamte exportierte Altglas zur Produktion von neuem Verpackungsglas verwendet wird (der Massenfluss in die Schaumglasproduktion ist daher gleich Null).

Abb. 5-6 wurde basierend auf diesen Materialflussanalysen erstellt und zeigt damit den daraus resultierenden ökologischen Effekt auf. Aus Abb. 5-6 geht hervor, dass bei einer 100%-igen Verwendung des exportierten Altglases zur Produktion von neuem Verpackungsglas, das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» tendenziell ökologisch leicht schlechter abschneidet gegenüber dem «Status Quo». Unter Einbezug der Unsicherheit (Fehlerindikatoren, rote Balken in Abb. 5-6) sind die beiden Verwertungswege allerdings als ökologisch gleich zu betrachten.

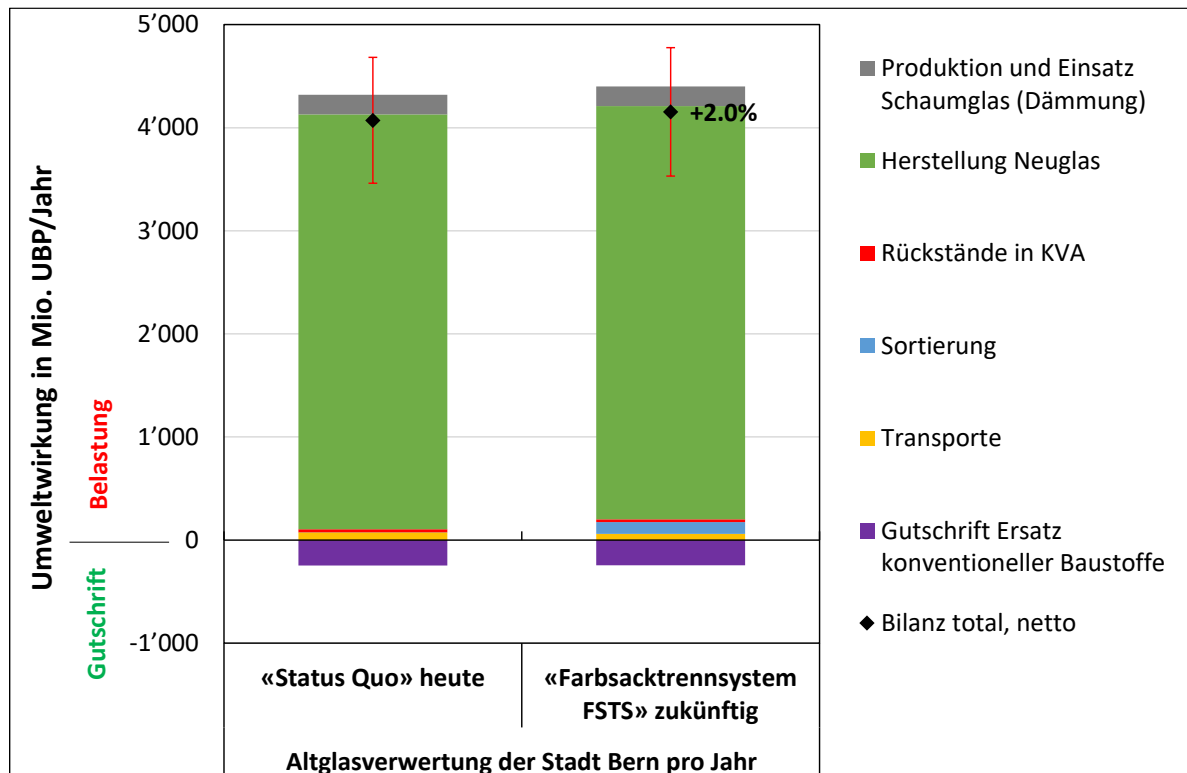


Abb. 5-6: Ökobilanzergbnis der Altglasverwertung-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-3 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-4 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet.

**Fazit:** Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die beiden verglichenen Altglasverwertungs-Szenarien hinsichtlich ihrer Umweltbilanz vergleichbar sind. Keines der Szenarien ist signifikant besser als das andere, sondern ökologisch gleichwertig.

## 6 Begriffe und Abkürzungen

AS	Alternativszenario = Wirkszenario
ERB	Entsorgung + Recycling Stadt Bern
FSTS	Spezifische Bezeichnung für das in der Stadt Bern lancierte Pilotprojekt: Farbsacktrennsystem. Der Bevölkerung stehen neu zwei verschiedene Container zur Verfügung, einer für Kehrichtsäcke und einer für verschiedene Säcke für Separatabfälle. Dabei werden unterschiedlich gefärbte Sammelsäcke für die Sammlung der verschiedenen Fraktionen eingesetzt.
FSTS-Säcke	Synonym für Farbsack oder Sack für Separatabfälle. Farbige Säcke, welche der Sammlung von Separatabfällen dienen. Alle Säcke haben ein Volumen von 17l. Folgende Farben stehen für folgende Fraktionen: <b>Violett:</b> <b>Gemischtes Glas</b> <b>Blau-Gelb</b> <b>PET-Getränkeflaschen (Abkürzung PET)</b> <b>Gelb</b> <b>Kunststoffe gemischt</b> <b>Grau</b> <b>Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle</b> <b>Braun</b> <b>Papier und kleine Kartons (neu, lose im Container)</b>
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
Gew.-%	Gewichts-Prozent
LCA	Ökologische Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment): Systematische Analyse der Umweltauswirkungen von Produkten und Prozessen während deren gesamten Lebenszyklus
RS	Referenzszenario = Basisszenario
vUBP	vermiedene (eingesparte) Umweltbelastungspunkte (Einheit der vollaggregierten Ökobilanz-Methode der ökologischen Knappheit, engl. Ecological Scarcity)

## 7 Literatur

- [1] Vetroswiss - erstellt durch ATAG Wirtschaftsorganisation AG, „Jahresbericht 2019,“ Vetroswiss, Bern, 2020.
- [2] M. Haupt, C. Vadenbo und S. Hellweg, „Do We Have the Right Performance Indicator for the Circular Economy? - Insight into the Swiss Waste Management System,“ *Journal of Industrial Ecology*, pp. 1-13, 2016.
- [3] R. Bunge und A. Stäubli, „Farbsack-Trennsystem der Stadt Bern: Wissenschaftliche Begleitung des Pilotversuchs,“ Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2019.
- [4] M. G. (. S. Solutions), „Ökologische Lebenszyklusanalyse des Variantenstudiums Sack im Behälter (SaB),“ Sustainable Systems Solution GmbH, Dübendorf, 2016.
- [5] Holinger AG, Textor Engineering, „Strategie Abfallsammlung 2030,“ Luzern/Münsingen, 2015.
- [6] R. Bunge und T. Pohl, „Ökobilanz des Farbsack-Trennsystems der Stadt Bern,“ Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2019.
- [7] R. Bunge und T. Pohl, „Update der Ökobilanz des Farbsack-Trennsystems der Stadt Bern,“ Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2020.
- [8] R. Frischknecht und S. Büsser Knöpfel, „Ökofaktoren Schweiz 2013 gmäss der Methode der ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2013.
- [9] A. A. u. R. Bundesamt für Umwelt BAFU, „www.bafu.admin.ch,“ MAI 2008. [Online]. Available:  
file:///C:/Users/chaueise/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/HUMWE3DE/methode\_der\_umweltbelastungspunkteubp.pdf.
- [10] ETH Zürich, Prof. Dr. Stefanie Hellweg, „Vorlesung: Grundzüge “Ökologische Systemanalyse”,“ in *Methodik Ökobilanz Wirkungsbilanz*, Zürich, 2017.
- [11] A. Gautschi, „Green Economy - The Method of Ecological Scarcity in Policy Making, in Economics and Environmental Monitoring Division,“ *Bundesamt für Umwelt (BAFU)*, 2013.
- [12] I. 14040, „Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines,“ ISO, Geneva, 2006.
- [13] I. 14044, „Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines,“ ISO, Geneva, 2006.

- [14] T. Kägi, F. Dinkel, R. Frischknecht, S. Humbert, J. Lindberg, S. De Mester, T. Ponsioen, S. Sala und U. W. Schenker, „Session "Midpoint, endpoint or single score for decision-making?" - SETAC Europe 25th Annual Meeting," *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5 Mai 2015.
- [15] Pré Sustainability, „SimaPro Version 9.1.0,“ PRé Consultants / Sustianability, Amerfoort NL, 2020.
- [16] ecoinvent, „ecoinvent 2019: Version 3.6 Swiss Life Cycle Inventories,“ ecoinvent, 2019.
- [17] C. Stettler, S. Rüttimann und T. Kägi, „Ökobilanz der Verwertung von Altglas - ökologischer Nutzen der Sammlung und Verwertung,“ Carbotech AG, Basel, 2016.
- [18] Ecoinvent, „Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER} Allocation Cut-off, U,“ Ecoinvent.org, Zürich, 2016.
- [19] Ecoinvent, „Transport, freight train {CH} market for, Allocation Cut-off, U,“ Ecoinvent.org, Zürich, 2016.
- [20] Ecoinvent, „Glass cullet, sorted {RER}, treatment of waste glass from unsorted public collection, sorting, Cut-off, U,“ Ecoinvent.org, Zürich, 2016.
- [21] KBOB, eco-bau und IPB, „KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016,“ Koordinationskonferenz der der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern, 2016.

## 8 Abbildungen

Abb. 1-1: Ökobilanzergebnis der Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-1 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-2 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet. ....	4
Abb. 2-1: Prozessschema der Aufbereitung der FSTS-Säcke. ....	5
Abb. 4-1: Systemgrenze der Vorstudien der 3S GmbH [4] und von UMTEC [6], [7] in gelber Farbe sowie die Systemgrenze der vorliegenden Studie in roter Farbe. ....	10
Abb. 4-2: Systemgrenze der vorliegenden Studie für die Altglasverwertung. ....	11
Abb. 5-1: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Status quo» (aktuelle Situation) und das Jahr 2020. Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Zwei Drittel des exportierten Altglases wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt und ein Drittel geht in die Schaumglasproduktion. ....	13
Abb. 5-2: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» (Zustand zukünftig). Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Zwei Drittel des farbengetrennt gesammelten und exportierten Altglases wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt und ein Drittel geht in die Schaumglasproduktion. ....	14
Abb. 5-3: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Status quo» (aktuelle Situation) und das Jahr 2020. Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Das gesamte exportierte Altglas wird in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt. Es fließt nichts in die ausländische Schaumglasproduktion. ....	15
Abb. 5-4: Materialflüsse der Altglasverwertung der Stadt Bern für das Szenario «Farbsacktrennsystem FSTS» (Zustand zukünftig). Daten basieren auf Zahlen des Jahres 2020. Materialflüsse sind in Tonnen pro Jahr angegeben. Das farbengetrennt gesammelte und exportierte Altglases wird vollständig in ausländischen Glashütten zu neuem Verpackungsglas hergestellt. Es fließt davon nichts in die Produktion von ausländischem Schaumglas. ....	16
Abb. 5-5: Ökobilanzergebnis der Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-1 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-2 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet. ....	17
Abb. 5-6: Ökobilanzergebnis der Altglasverwertungs-Situation der Stadt Bern heute (Jahr 2020) im Vergleich zur zukünftigen Altglasverwertung im Farbsacktrennsystem FSTS. Ausgewertet wurde die Ökobilanz mit der Methode der ökologischen Knappheit - auch als	

Umweltbelastungspunkte-UBP-Methode bekannt. Bei dieser Grafik wurden die Materialflüsse aus Abb. 5-3 (für linke Säule «Status Quo») und aus Abb. 5-4 (für rechte Säule «Farbsacktrennsystem FSTS») verwendet. .... 18

Abb. 10-1: Materialflüsse der Altglasverwertung der Schweiz für das Jahr 2012 (Daten stammen aus [2] und beziehen sich auf das Jahr 2012). .... 25

## 9 Tabellen

Tabelle 10-1: Verwendete Daten, Datensätze und Literaturquellen zur Berechnung der Ökobilanz  
..... 26



## 10 Anhang:

### 10.1 Materialflussanalyse

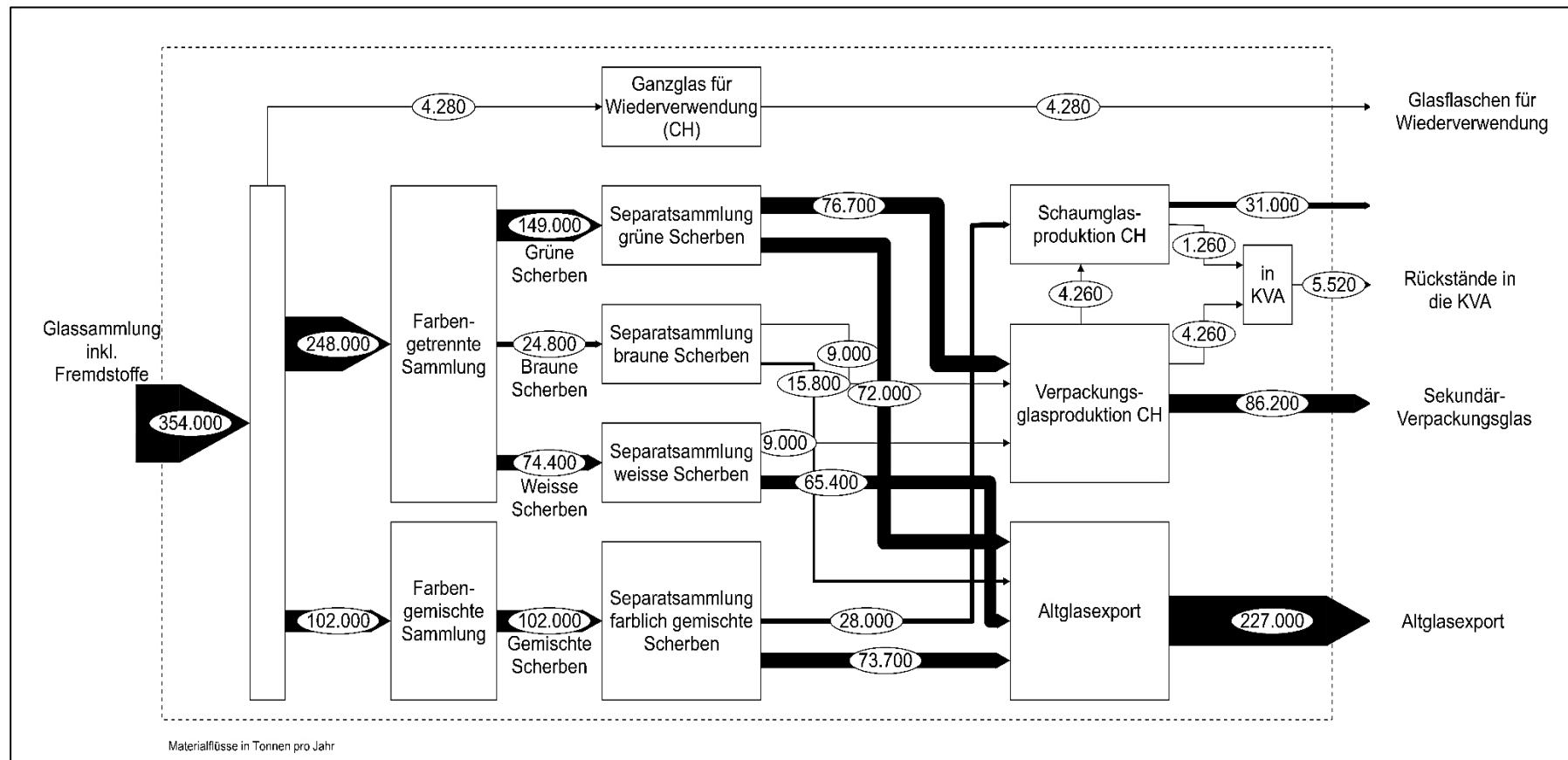


Abb. 10-1: Materialflüsse der Altglasverwertung der Schweiz für das Jahr 2012 (Daten stammen aus [2] und beziehen sich auf das Jahr 2012).

## 10.2 Ökobilanzdaten

Folgende Ecoinvent 3.6 Datensätze und Literaturquellen wurden in der vorliegenden Studie zur Berechnung der Ökobilanz verwendet:

*Tabelle 10-1: Verwendete Daten, Datensätze und Literaturquellen zur Berechnung der Ökobilanz*

<b>Ecoinvent 3.6 Datensatz / Literatur</b>	<b>Prozess / Produkt</b>	<b>Quelle</b>
Ecoinvent 3.6: Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER} Cut-off, U	LKW-Transport	[18]
Ecoinvent 3.6: Transport, freight train {CH} market for, Cut-off, U	Bahn-Transport	[19]
Ecoinvent 3.6: Glass cullet, sorted {RER}, treatment of waste glass from unsorted public collection, sorting, Cut-off, U	Sortierung der farbengemischten Glassammlung FSTS	[20]
KBOB Datenbank: Foam glass, at regional storage CH, U	Schaumglasproduktion	[21]
KBOB Datenbank: Rock wool, at plant CH, U	Gutschrift Ersatz konventioneller Baustoffe	[21]
Carbotech AG: Entsorgung Rückstände der Altglasverwertung via KVA	Entsorgung Rückstände der Altglasverwertung via KVA	[17]
Carbotech AG: Produktion von Neuglas	Produktion von Neuglas aus Primärmaterial sowie aus Glasscherben	[17]