

**HSR**

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK  
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

# Farbsack-Trennsystem der Stadt Bern: Wissenschaftliche Begleitung des Pilotversuchs



**Projektleiterin**

Ariane Stäubli

**Verantwortlich**

Prof. Dr. Rainer Bunge

Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik

Oberseestrasse 10

8640 Rapperswil

Tel: 055 222 48 60

21.06.2019

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



**UMTEC**

INSTITUT FÜR UMWELT- UND  
VERFAHRENSTECHNIK

## Zusammenfassung

### Hintergrund

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

- **Violett**    **Gemischtes Glas**
- **Rot**        **PET-Getränkeflaschen**
- **Gelb**        **Kunststoffe gemischt**
- **Grau**        **Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle**
- **Braun**       **Papier und kleine Kartons**

Die FSTS-Container wurden von ERB in Sammelfahrzeuge entleert und deren Inhalt in einer zentrale 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. i) dargestellt.

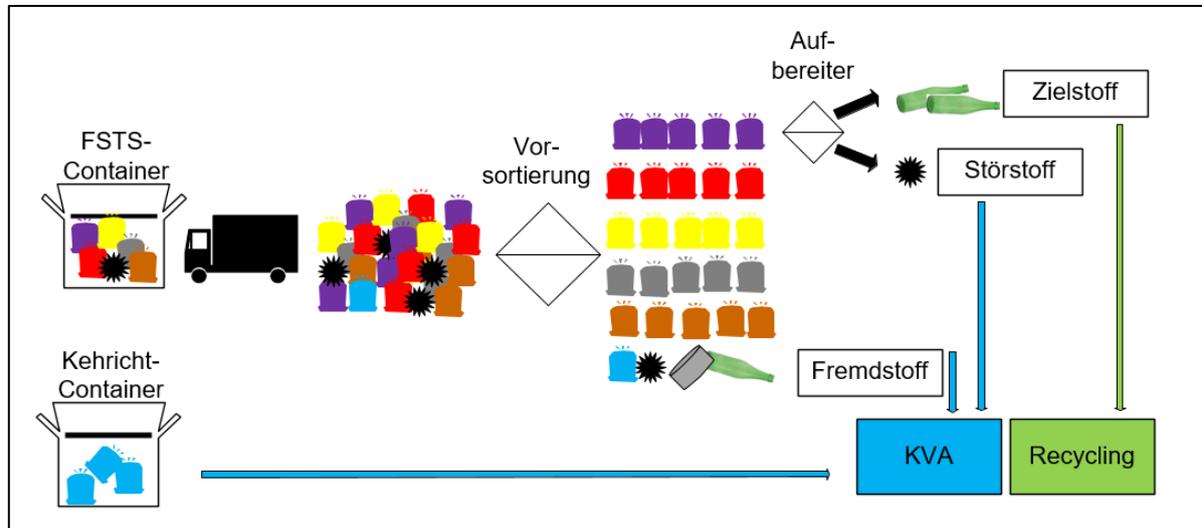
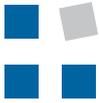


Abb. i.:    *Prozessschema der Aufbereitung der FSTS-Säcke.*

Das UMTEC, ein Institut der Hochschule Rapperswil, wurde mit der wissenschaftlichen Begleitung des Pilotversuchs beauftragt. Ausgangspunkt unserer Untersuchungen waren folgende Hypothesen:



### Hypothese 1: Einfluss der "kollektiven Separatsammlung" auf die Zusammensetzung des verbleibenden Kehrichts

Durch das FSTS-System gelangen weniger Wertstoffe in die Kehrichtsäcke und die Menge an Kehricht wird reduziert.

### Hypothese 2: Einfluss auf das Gewicht der Kehrichtsäcke

Die Kehrichtsäcke werden schwerer, weil im Versuchssperimeter neu auch Kunststoffe in einem Kunststoff-Sack gesammelt werden können. Kunststoffe sind in der Regel voluminös aber leicht und haben daher ein geringes Schüttgewicht.

### Hypothese 3: Qualität der FSTS-Fraktionen

Der durchschnittliche Wertstoffgehalt der FSTS-Säcke ist gleich hoch wie jener der bestehenden Sammelsysteme z.B. der Quartierentsorgungs-Sammelstellen.

### Hypothese 4: Missbrauch der Wertstoffsäcke zur Kehrichtentsorgung

Personen, welche das FSTS-System nicht verstehen oder akzeptieren, befüllen die FSTS-Säcke absichtlich oder unabsichtlich mit Kehricht statt mit Wertstoffen.

### Hypothese 5: Handhabung der FSTS-Container

Die FSTS-Container werden ausschliesslich mit FSTS-Säcken befüllt (und nicht mit Kehrichtsäcken oder Fremdstoffen).

### Hypothese 6: Handhabung der Säcke

Die FSTS-Säcke werden von der Bevölkerung korrekt zugeschnürt und erreichen die Sortieranlage in gutem Zustand.

## **Methoden und getätigte Analysen**

Im Rahmen unserer Analysekampagnen wurden verschiedene Aspekte des Farbsack-Trennsystems während total 15 Tagen beprobt.

- Analyse der Kehrichtsäcke: Zusammensetzung
  - Nullversuch vor der Pilotphase: 28.05.18
  - 3 Wirkversuche während der Pilotphase: 15.11.18, 21.03.19, 06.06.19
- Analyse der Farbsäcke: Zusammensetzung und Wertstoffqualität



- 4 Wirkversuche während der Pilotphase, davon eine aggregierte Sackanalyse und 3 Einzelsackanalysen: 13.11.18, 11.12.18, 19.03.19, 04.06.19
- Container-Analyse: Art und Zustand der FSTS-Säcke, Erfassen von Fremdstoffen
  - 3 Analysen während der Pilotphase: 10./11.12.18, 25.04.19
- Beprobung von 3 Quartiersammelstellen: Wertstoffqualität
  - Eine Analyse während der Pilotphase 07./08.05.19
- Analyse von Brennpunkt-Containern (Container, welche zu Liegenschaften gehören, die erfahrungsgemäss eine unsachgemässe Entsorgung betreiben und durch schlechteres Trennverhalten auffallen.)
  - Eine Analyse während der Pilotphase 03.06.19
- Analyse der Restfraktion (Als Restfraktion wird der Überlauf der Sortieranlage bezeichnet, ist also jene Fraktion, die nicht aussortiert wird.)
  - Eine Analyse während der Pilotphase 05.06.19

## Resultate

### Kehrichtsäcke

Die Kehrichtsäcke enthielten im Schnitt 56% Kehricht, 13% Food-Waste, 10% Garten- und Küchenabfälle sowie 10% Kunststoffe. Zusätzlich waren auch Glas, PET-Getränkeflaschen, Alu- und Weissblechverpackungen sowie Papier und Karton in kleinen Mengen Teil des Kehrichtsacks (Abb.ii).

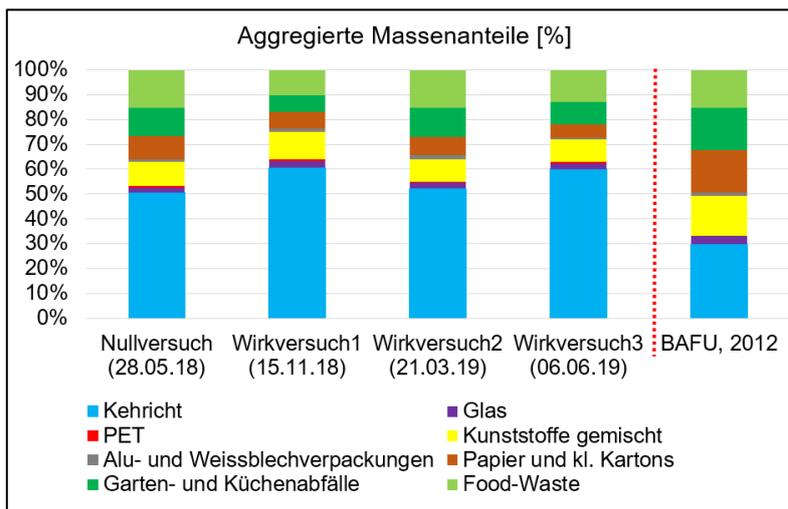


Abb. ii: Aggregierte Massenanteile der vier Kehricht-Analysekampagnen. Ganz rechts ist als Vergleichsgrösse die Analyse des BAFU aus dem Jahr 2012 beigefügt.



Im Rahmen der Kehrrichtanalyse wurde überprüft, ob das FSTS-System einen Einfluss auf die Zusammensetzung des Kehrrichts hat. Im Verlauf der Analyse stellte sich heraus, dass sich diese Frage mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht beantworten lässt, weil neben dem FSTS-System auch andere Einflussgrößen wie z.B. die Jahreszeit, die Witterung bei der Beprobung oder die Arbeitsweise der Sortiermannschaft auf das System wirken. Überdies standen den Teilnehmern des FSTS-Projekts nicht nur die Entsorgungswege Kehrrichtsack und Farbsäcke zur Verfügung, sondern nach wie vor auch die Quartierentsorgungs- Sammelstellen und die Recyclinghöfe. Eine differenzierte Bilanzierung dieses komplexen und volatilen Systems war folglich nicht mit vertretbarem Aufwand möglich. Hypothese 1 konnte also nicht überprüft werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass ein nicht geringer Anteil an separat gesammelten Wertstoffen aus der früheren Kehrrichtfraktion abgezweigt wurde (und nicht aus den Quartierentsorgungs- Sammelstellen). Möglicherweise hat sich also der Recyclinganteil in den pilotierten Stadtkreisen erhöht.

Analysiert wurde neben der Zusammensetzung auch die Verteilung der Nominalvolumina der eingesammelten Kehrrichtsäcke (Anteil 17l- vs. 35l- vs. 60l- vs. 110l Säcke). Im Verlauf des Pilotversuchs kam es bei der Kehrrichtentsorgung zu einer leichten Verschiebung von grossen Säcken hin zu 17 Liter-Säcken (siehe Auswertung der Volumina-Verteilung in Tabelle 3.2). Obschon die Datengrundlage dünn ist, kann diese Verschiebung ein Hinweis dafür sein, dass die Versuchsteilnehmer mehr Abfall rezyklierten, dadurch weniger Kehrricht anfiel und folglich auf kleinere Säcke zurückgegriffen wurde.

Zusätzlich wurde untersucht, wie schwer die Kehrrichtsäcke im Durchschnitt sind. Die branchenübliche Annahme von 4.4 kg pro 35 Liter Sack konnte bestätigt werden. Hypothese 2 hat sich folglich nicht bewahrheitet. Weder beim Anteil an spezifisch leichten Kunststoffen im Kehrrichtsack, noch beim Anteil an spezifisch schwerem Glas, war eine nennenswerte Veränderung durch die Einführung des FSTS-Piloten messbar.

### ***FSTS-Säcke und -Container***

Der Zielstoffanteil (z.B. Anteil an Glas im FSTS-Glassack) war mit 91.9% bis 97.8% bei den FSTS-Säcken aller Fraktionen sehr hoch (Abb. iii). Hypothese 3 wurde bestätigt. Auch der Kunststoffsack wurde sehr gut angenommen, der Kunststoffanteil lag hier bei 94.5%. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Anteil an derzeit als rezyklierbar geltendem Kunststoff (d.h. Hohlkörper v.a. PE-Flaschen und Folien) beim Kunststoff-FSTS-Sack lediglich bei 31.7% lag. Der übrige Kunststoff (z.B. Hartplastik, Styropor, Fleisch- und Käseverpackungen) aus diesen Säcken gelangte in thermische Verwertungsprozesse.

Die Recyclingvereinigungen geben für die jeweiligen Separatsammelfraktionen folgende Zielgehalte an (die im Pilotversuch erreichten Ergebnisse zum Vergleich daneben, siehe auch Abb. iii):

VetroSuisse für Glas:	96% <sup>1</sup>	FSTS: 97%
PRS für PET:	92% <sup>2</sup>	FSTS: 92%
IGORA für Metalldosen:	86-90% <sup>3</sup>	FSTS: 92%
Verein Recycling Papier&Karton:	93% <sup>4</sup>	FSTS: 98%

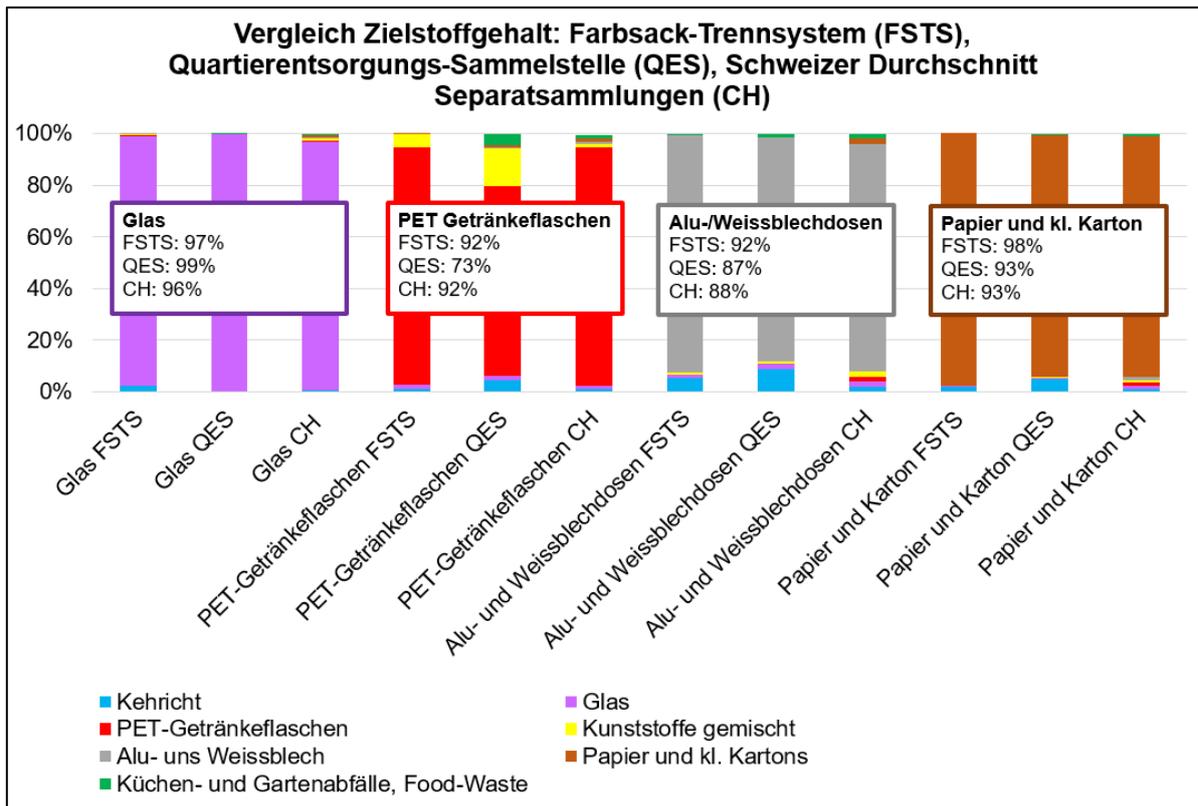


Abb. iii: Vergleich der durchschnittlichen Zielstoffgehalte der FSTS-Säcke mit jenen der Quartierentsorgungs-Sammelstellen (QES) und schweizweiten Durchschnittswerten für Separatsammlungen. Lesebeispiel Glas: In den FSTS-Glassäcken hat es einen Glasanteil (= Zielstoffanteil) von 97%, in den QES einen von 99% und der Schweizer Durchschnitt liegt bei 96%

Auch bei den FSTS-Säcken aus den so genannten Brennpunkt-Containern (Container, welche zu Liegenschaften gehören, die erfahrungsgemäss eine unsachgemässe Entsorgung betreiben und durch schlechteres Trennverhalten auffallen) war der Zielstoffgehalt hoch. Einzig die Fraktionen PET-Getränkeflaschen und Alu-/Weissblechdosen fielen mit 85% resp. 77% Zielstoffgehalt leicht ab. Hypothese 4 wurde damit widerlegt. Interessanterweise wies die PET-

<sup>1</sup> [www.vetroswiss.ch/Zahlen-und-Fakten-823](http://www.vetroswiss.ch/Zahlen-und-Fakten-823)

<sup>2</sup> Bunge&Dinkel, UMTEC&Carbotech, Kurve (Kunststoff Recycling und Verwertung) - Abschlussbericht, 2017

<sup>3</sup> Geschäftsbericht IGORA 17,S.5, 2017

<sup>4</sup> [www.altpapier.ch/files/altpapier\\_gesamtstatistik\\_2017.pdf](http://www.altpapier.ch/files/altpapier_gesamtstatistik_2017.pdf)



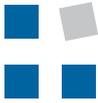
Fraktion als Störstoff vor allem gemischte Kunststoffe und nicht etwa Kehrriecht auf. Das deutet auf eine optimierungsbedürftige Kommunikation hin. Einige Versuchsteilnehmer hatten offenbar nicht verstanden, dass in den roten Sack nur PET-Getränkeflaschen gehören. Bei den Alu-/Weissblechdosen stellte der Kehrriecht die grösste Störstofffraktion dar. Es sei angemerkt, dass nicht bei allen Wertstoffen eine Verunreinigung der Zielstofffraktion gleich heikel ist. Die Alu-/Weissblechverpackungen lassen sich im Recyclingprozess gut aufbereiten, d.h. Störstoffe lassen sich z.B. durch Magnet- oder Wirbelstromabscheidung einfach aussortieren.

Die Containeranalyse erfolgte an drei verschiedenen Wochentagen in drei verschiedenen Stadtkreisen. Durch diesen wechselnden Beprobungsperimeter sind die Resultate und Erkenntnisse der verschiedenen Analysetage nur bedingt vergleichbar. Dennoch lassen sich einige Tendenzen feststellen, besonders Folgen von Systemanpassungen, welche den ganzen Piloten betrafen wie z.B. der Wechsel im Schliessmechanismus der FSTS-Papiersäcke auf Klebebänder.

Bei der letzten Containeranalyse im April war die Verteilung der Sacktypen wie folgt: Es fielen, bezogen auf die Anzahl Säcke, mit je 24% am meisten Papier- und PET-Säcke an, gefolgt von Glas mit 19%, Kunststoff mit 17% und Alu/Stahl-Dosen mit 13%. Bei der Beprobung im Dezember wurde festgestellt, dass 20% der Papiersäcke unverschlossen waren und deren Inhalt zum grossen Teil mit anderen Fremdanteilen im Container vermischt vorlag. Dieser Missstand konnte, wohl vor allem durch den neuen Schliessmechanismus mit den Klebebändern, auf einen Anteil offener Papiersäcke von 7% vermindert werden. Auch der Anteil an Containern mit Fremdstoffen, d.h. schwarzen Säcken (z.T. handschriftlich beschriftet als Alu/Papier), Säcken von Grossverteilern und losem Material hatte während dieser Zeit von 43% auf 10% abgenommen. Anscheinend wurde das FSTS-System nach einer Eingewöhnungsphase von den Benutzern sukzessive besser akzeptiert. Bei der Beprobung im April wurden auch nur wenige, in die FSTS-Container (anstatt in Kehrriecht-Container) eingeworfene blaue Kehrriichtsäcke festgestellt (lediglich 3 bis 4%). Hypothese 5 konnte also teilweise bestätigt werden. Diese Hypothese besagt, dass die FSTS-Container ausschliesslich mit FSTS-Säcken befüllt werden (und nicht mit Kehrriichtsäcken oder Fremdstoffen). Der mittlere Füllstand der Container betrug bei der letzten Analyse 74%.

Die erfassten FSTS-Säcke wurden meist von der Bevölkerung gut zugeschnürt und befanden sich im Container in gutem Zustand. Durch das Verdichten und Zusammenstossen im Sammelfahrzeug und den Entladevorgang bei der Sortieranlage wurden die Säcke z.T. beschädigt (eingeklemmt, komprimiert). Dies betraf vor allem die Glassäcke und führte zu vielen Glascherben in der Restfraktion (Überlauf der Sortieranlage, Fraktion, die nicht aussortiert wurde). Hypothese 6 konnte bis zum Punkt der Entladung der Container ins Kehrriechtfahrzeug bestätigt werden. Die Hypothese 6 besagt, dass die FSTS-Säcke von der Bevölkerung korrekt zugeschnürt werden und die Sortieranlage in gutem Zustand erreichen.

Die Restfraktion, d.h. der Überlauf der Sortieranlage, bestand in der letzten Phase des Pilotversuchs hauptsächlich aus Papier und Glascherben und wurde ab Mai 2019 der Papier- und Karton – Fraktion von AlpaBern (Betreiberin einer Papier- & Karton- Sortieranlage) zugewie-



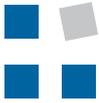
sen. Da der Anteil an Papier und Karton aus dem FSTS-System, verglichen mit den stadtweiten übrigen Anlieferungen (d.h. von Haushalten, die nicht am FSTS-Piloten beteiligt waren sowie dem Gewerbe), sehr klein war, fiel die Verunreinigung durch die Glasscherben nicht ins Gewicht und ging in der Masse unter. Wird das FSTS-System allerdings stadtweit umgesetzt, sind solche Verdünnungseffekte nicht mehr möglich. Gemäss AlpaBern sollen die Glasscherben bei einer stadtweiten Umsetzung durch ein vorgelagertes Feinsieb aus dem Papier- und Kartonstrom aussortiert werden. Im letzten Teil des Pilotprojekts, d.h. im Juli und August 2019, soll das Papier und der Karton lose in den Containern gesammelt werden, also vermischt mit Fremdstoffen, die entweder einzeln eingeworfen wurden oder aus aufgeplatzten FSTS-Säcken stammen. Bis durch Beprobungen gezeigt werden kann, dass der Störstoffgehalt innerhalb der Papier- und Kartonfraktion nicht übermässig hoch ist, wird die lose Papiersammlung vom UMTEC als kritisch eingestuft. Wir gehen davon aus, dass sich die Qualität der Papier- und Kartonfraktion verschlechtern und der Sortieraufwand bei AlpaBern folglich erheblich höher werden wird.

### Fazit

Aus unserer Sicht hat das Farbsack- Trennsystem gegenüber dem *status quo* folgende Vorteile:

- Hoher durchschnittlicher Zielstoffanteil von 92 – 98% bei allen FSTS-Sacktypen.
  - Besser oder gleich gut wie der Zielstoffanteil bestehender Sammelsysteme (z.B. Quartierentsorgungs- Sammelstellen).
  - Auch FSTS-Säcke aus Brennpunktcontainern erreichen beim Glas, den gemischten Kunststoffen und dem Papier / kl. Kartons gleich hohe Zielstoffgehalten wie der Durchschnitt. Bei den PET-Getränkelaschen und den Alu-/Weissblechdosen liegt dieser Wert lediglich 7% resp. 15% tiefer. Eine verschlechterte Sammelqualität bei den Dosen wird durch die ohnehin notwendige mechanische Aufbereitung (Magnet- und Wirbelstromabscheidung) des Sammelgutes auf einfache Weise abgedeckt.
- Wenig Kehrrietsäcke und wenig loser Fremdstoff in den FSTS-Containern.
- Konstanz im Vollstrom, das heisst konstanter Rücklauf der FSTS-Säcke aller Fraktionen über die gesamte Dauer des Pilotversuchs hinweg.
  - Eine Konstanz im Vollstrom deutet auf eine gute Akzeptanz bei den Teilnehmenden hin.
- Dynamisches System bezogen auf die Menge an anfallendem Wertstoff.
  - Quartiersammelstellen haben je Zielfraktion ein definiertes, fixes Volumen, 5m<sup>3</sup> für Glas, 5m<sup>3</sup> für PET-Getränkeflaschen und 5m<sup>3</sup> für Alu- / und Weissblechdosen. Das FSTS-System erlaubt eine dynamische Abfuhr, angepasst an die tatsächlich anfallende Menge an Wertstoffen.

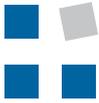




Es muss beachtet werden, dass die angegebenen Werte für die Zielstoffqualität des Farbsack-Trennsystems nur bedingt auf die ganze Stadt übertragbar sind. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass überwiegend recyclingaffine Personen am Pilotversuch teilgenommen haben, was zu einer Verzerrung der Stichprobe führen kann. Hilfreich war in Bezug auf diese Problematik die Beprobung der Brennpunkt-Container. Diese Container lagen gemäss ERB bezüglich der vorgesehenen Befüllung (nur FSTS-Säcke) am unteren Ende des Spektrums. Unsere Analysen haben allerdings ergeben, dass die FSTS-Säcke aus den Brennpunkt-Containern ähnlich hohe Zielstoffgehalte wie jene aus der durchschnittlichen Stichprobe erreichen. Folglich ist davon auszugehen, dass das FSTS auch bei einer stadtweiten Einführung von einem Grossteil der Bevölkerung verstanden und umgesetzt wird.

Da die lose Papiersammlung im Rahmen des FSTS erst im letzten Teil des Pilotversuchs eingeführt werden soll, liegen bis dato noch keine belastbaren Analyseergebnisse zur Zielstoffqualität vor. Wird Papier lose gesammelt, vermischt es sich mit den übrigen losen Stoffen der Restfraktion, d.h. vor allem mit Glasscherben. Gemäss ersten Vorversuchen von ERB ist eine lose Papiersammlung dennoch grundsätzlich möglich. Bis durch Beprobungen gezeigt werden kann, dass der Störstoffgehalt innerhalb der Papier- und Kartonfraktion nicht übermässig hoch ist, wird die lose Papiersammlung als kritisch eingestuft.

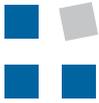
Der FSTS-Sack für gemischte Kunststoffe enthält gut 30% stofflich verwertbare Kunststoffe (d.h. Hohlkörper und Folien). Die übrigen Kunststoffe (z.B. Hartplastik, Styropor, Fleisch- und Käseverpackungen) aus diesen Säcken gelangen in thermische Verwertungsprozesse. Durch die thermische Verwertung in Zementwerken oder KVA werden fossile Brennstoffe ersetzt, wodurch ebenfalls ein ökologischer Nutzen entsteht.



## Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Zielsetzung.....	1
1.1	Hintergrund.....	1
1.2	Zielsetzung und Hypothesen .....	3
2	Material und Methoden.....	5
2.1	Analyse der Kehrichtsäcke .....	5
2.2	Analyse der Farbsäcke.....	7
2.3	Analyse der Container.....	9
2.4	Beprobung von Quartierentsorgungs- Sammelstellen QES.....	9
2.5	Analyse der Brennpunkt-Container .....	11
2.6	Beprobung der Restfraktion 3.....	13
3	Resultate.....	16
3.1	Analyse der Kehrichtsäcke .....	16
3.2	Analyse der Farbsäcke.....	18
3.3	Analyse der Container.....	25
3.4	Beprobung von Quartiersammelstellen .....	27
3.5	Analyse der Brennpunkt-Container .....	29
3.6	Beprobung der Restfraktion 3.....	31
4	Diskussion und Fazit .....	33
4.1	Kehrichtsäcke .....	34
4.2	FSTS-Säcke.....	35
4.3	Container .....	37
4.4	Restfraktion und loses Papier/Karton.....	37
4.5	Fazit.....	39
5	Anhang .....	41





## Begriffe und Definitionen

### Allgemeine Begriffe

AlpaBern	Papier- und Karton – Sortierbetrieb, Teil der Barec Gruppe.
Bias	Verzerrung oder auch systematischer Fehler, d.h. Abweichung eines Messwerts einer Messgrösse von ihrem wahren Wert, die einseitig gerichtet und durch im Prinzip feststellbare Ursachen bedingt ist. Beispiel: Verzerrung durch die Wahl des Untersuchungsperimeters indem z.B. ein Villen-Viertel beprobt wird und die Erkenntnisse dann auf die ganze Stadt übertragen werden.
ERB	Entsorgung und Recycling Stadt Bern.
FSTS	Spezifische Bezeichnung für das Projekt: Farbsack-Trennsystem.
Pilot 1 und 2	Bei dem Pilot 1 stehen der Bevölkerung zwei verschiedene Container zur Verfügung, einer für Kehrriechtsäcke und einer für FSTS-Säcke. Beim Pilot 2 werden beide Sackarten, Kehrriechtsäcke und FSTS-Säcke in den gleichen Container entsorgt.
QES	Quartierentsorgungs-Sammelstelle.

### Container

FSTS-Container	Container, die für die Sammlung der FSTS-Säcke vorgesehen sind.
Brennpunkt-Container	Container, welche zu Liegenschaften gehören, die erfahrungsgemäss eine unsachgemässe Entsorgung betreiben und durch schlechteres Trennverhalten auffallen.

### Säcke

FSTS-Säcke	Synonym für Farbsack- oder Wertstoffsack. Farbige Säcke, welche der Sammlung von Wertstoffen dienen. Alle Säcke haben ein Volumen von 17l. Folgende Farben stehen für folgende Fraktionen:
------------	--

**Violett: Gemischtes Glas**

**Rot PET-Getränkeflaschen (Abkürzung PET)**

**Gelb Kunststoffe gemischt**

**Grau Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle**

**Braun Papier und kleine Kartons**

Unter Kleinmetallen werden kl. Drähte, Scheren, Thermosflaschen, Biscuit-Büchsen, Alufolie etc. verstanden.





Ausreisser-Sack	Es gibt zwei Arten von Ausreisser-Säcken: 1. FSTS-Säcke, welche mindestens zur Hälfte mit falschem Material befüllt sind, z.B. ein Glassack, der zu 80% mit Kehricht statt mit Glas befüllt ist. 2. Kehricht-Säcke, welche mindestens bis zur Hälfte mit "untypischem" Kehricht wie z.B. Katzensand befüllt sind.
Kehricht-Säcke	Säcke, in denen der Hauskehricht gesammelt wird. Diese sind in der Stadt Bern <b>blau</b> und in den Grössen 17l, 35l, 60l und 110l erhältlich.
Systemfremde Säcke	Säcke, welche weder FSTS-Säcke noch offizielle Kehrichtsäcke der Stadt Bern sind, z.B. schwarze Mehrzwecksäcke oder Einkaufssäcke, z.B. von Grossverteilern, aus Karton oder Kunststoff.

### Stoffe und Fraktionen

Wertstoff	Der Teil der Siedlungsabfälle, der einem stofflichen Recyclingprozess zugewiesen werden kann d.h. Glas, Dosen, Papier etc. Kehricht wird hier nicht als Wertstoff betrachtet.
Zielstoff(-fraktion)	Wertstoff, der in einem bestimmten System gesammelt werden soll, z.B. Glas, welches über die Quartiersammelstelle gesammelt wird. Dosen sind zwar grundsätzlich ein Wertstoff, in der Glasfraktion aber kein Zielstoff, sondern ein Störstoff. Die Fraktion der Zielstoffe wird Zielstofffraktion genannt.
Störstoff(-fraktion)	Kehricht oder Wertstoff, welcher ins falsche Sammelsystem gelangt ist, z.B. Dosen oder Kehricht in der Glassammlung. Die Fraktion der Störstoffe wird Störstofffraktion genannt.
Fremdstoff/-material	Systemfremde Säcke oder loses Material wie Flaschen, Dosen oder Kehricht, die nicht in die Container des FSTS-Systems gehören.
Loses Material	Wertstoff oder Kehricht, welcher nicht in Säcke verpackt wird, sondern lose in die FSTS-Container entsorgt wird, z.B. einzelne Dosen, einzelnen Glasflaschen, Glasscherben, Zeitungen etc. Loses Material wird von Versuchsteilnehmern verursacht, z.B. durch Einwürfe in die Container resp. ungenügend zugeschnürte FSTS-Säcke oder durch den Sammel- und Sortierprozess, z.B. durch die Beschädigung der FSTS-Glassäcke auf der Förderbandanlage.
Restfraktion	Als Restfraktion wird der Überlauf der Sortieranlage bezeichnet, ist also jene Fraktion, die nicht aussortiert wird. Die Restfraktion hat sich im Verlauf des Projekts mehrfach geändert.  <u>Restfraktion 1</u> (01.09.18 – 31.01.19): Fraktion, welche nach dem Aussortieren der FSTS- Säcke übrigbleibt, d.h. Kehrichtsäcke als



**HSR**

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK  
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

Fehlwürfe von Pilot 1, Kehrichtsäcke von Pilot 2, systemfremde Säcke und loses Material.

Restfraktion 2 (01.02.19 – 30.04.19): Nach der Abschaffung von Pilot 2: Fraktion, welche nach dem Aussortieren der FSTS- Säcke übrigbleibt, d.h. Kehrichtsäcke als Fehlwürfe, systemfremde Säcke und loses Material

Restfraktion 3 (ab 01.05.19): Die Restfraktion besteht nur noch aus losem Papier/Karton und übrigem losen Material. Alle Säcke (FSTS-Säcke, Kehricht, systemfremde Säcke) werden aussortiert.

Vollstrom

Gesamte Menge an Kehricht und Wertstoff, der im Rahmen des FSTS-Pilotversuchs anfällt. Diese kontinuierliche Mengenerfassung erfolgt bei AlpaBern.

# 1 Hintergrund und Zielsetzung

## 1.1 Hintergrund

ERB bietet der Bevölkerung der Stadt Bern aktuell folgende Recyclinglösungen an:

- Recyclinghöfe (betreut von Rezyklisten, alle Fraktionen)
- Quartierentsorgungs-Sammelstellen (QES, alle Fraktionen)
- Wertstoffsammelstellen unterirdisch (WSU, Glas und Alu)
- Wertstoffsammelstellen oberirdisch (WSO, Glas und Alu)
- Hauskehrichtsammlstellen (HK-SS, neben Kehricht auch Papier/Karton)
- Hohlsammlung für Papier/Karton

Im Rahmen des FSTS-Projekts wurde nun eine neuartige Recyclinglösung erprobt. Die Kernidee dieses Farbsack-Trennsystems war eine „kollektive Separatsammlung“. Hierbei wurden die separat zu sammelnden Materialkategorien vom Konsumenten in verschiedenfarbige Säcke verpackt und in Container eingeworfen, die den Liegenschaften durch ERB bereitgestellt wurden. Folgende 17 Liter – Farbsäcke standen der Bevölkerung während des Pilotversuchs zur Verfügung:

- **Violett**    **Gemischtes Glas**
- **Rot**        **PET-Getränkeflaschen**
- **Gelb**       **Kunststoffe gemischt**
- **Grau**       **Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle**
- **Braun**      **Papier und kleine Kartons**

Die FSTS-Container wurden von ERB in Sammelfahrzeuge entleert und deren Inhalt in einer zentrale 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 Abb.1.1 dargestellt. Um diese wegweisende Idee in der Praxis zu untersuchen, wurde ein Pilotversuch über einen Zeitraum von knapp einem Jahr, zwischen September 2018 und August 2019, in zwei Bezirken der Stadt Bern (Kreis A und Kreis B) durchgeführt.

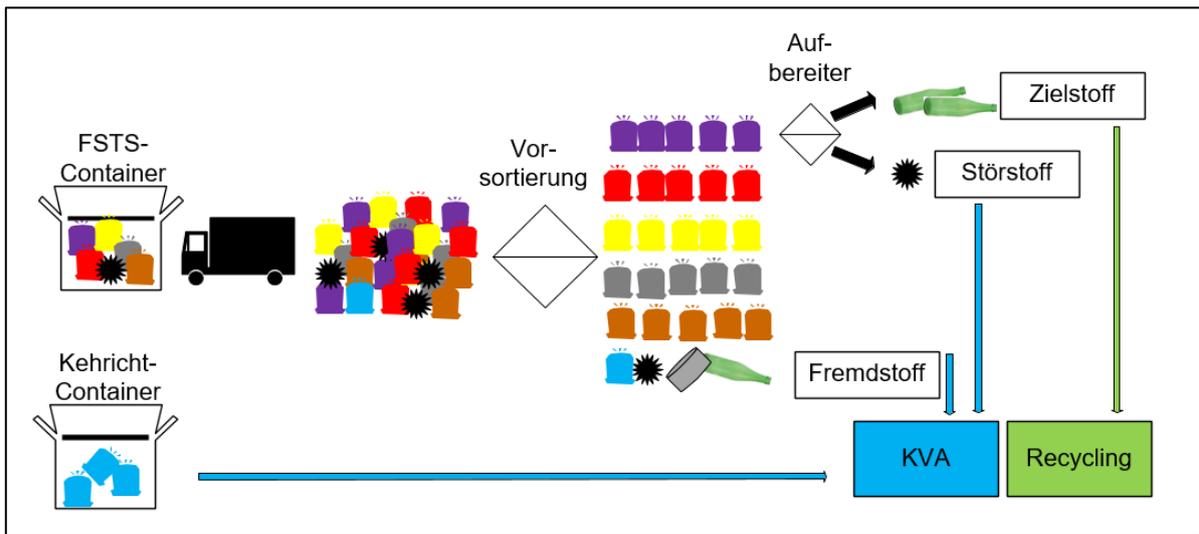


Abb. 1.1: Prozessschema der Aufbereitung der FSTS-Säcke.

Der Pilotversuch startete im September 2018 mit zwei verschiedenen Varianten, Pilot 1 und 2. Bei dem Pilot 1 standen der Bevölkerung zwei verschiedene Container zur Verfügung, einer für Kehrichtsäcke und einer für FSTS-Säcke. Der Pilot 1 wurde im Stadtkreis A durchgeführt. Beim Pilot 2 wurden beide Sackarten, Kehrichtsäcke 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 z.T. feuchten Kehrichtsäcke das Papier zu stark verschmutzten und durchnässten. Die Pilotphase wurde für beide Stadtkreise 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.

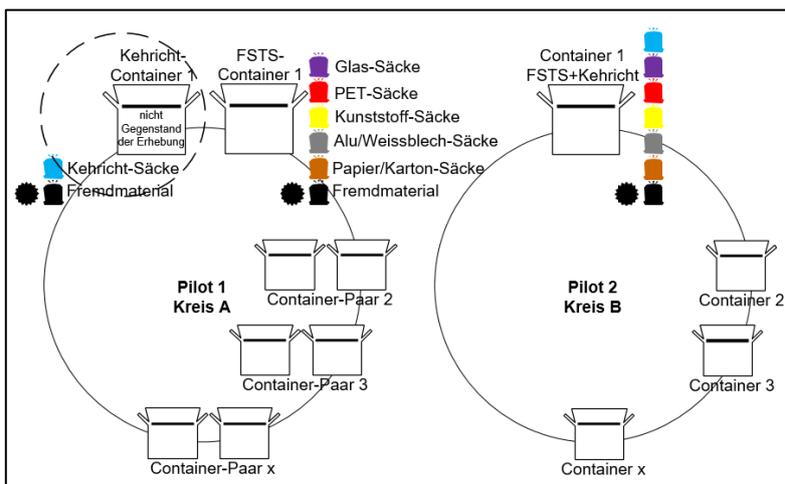


Abb. 1.2: Illustration von Pilot 1 (2 getrennte Container für Kehricht- und FSTS-Säcke) und 2 (ein Container für beide Sackarten).

## 1.2 Zielsetzung und Hypothesen

Das UMTEC war für die wissenschaftliche Begleitung dieses Pilotversuchs verantwortlich. Das zentrale Element der wissenschaftlichen Begleitung war das Herausarbeiten von Unterschieden zwischen Wirk- und Ursprungszustand der separat gesammelten Fraktionen und den Sammelmengen 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 Analysekampagnen durchgeführt:

- Analyse der Kehrriechtsäcke: Zusammensetzung
  - Nullversuch vor der Pilotphase
  - 3 Wirkversuche während der Pilotphase
- Analyse der Farbsäcke: Zusammensetzung und Wertstoffqualität
  - 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 Quartiersammelstellen: Wertstoffqualität
- Analyse von Brennpunkt-Container (unsachgemäss befüllt, viel Fremdmaterial)
- Analyse der Restfraktion

Folgende Hypothesen galt es im Rahmen der Analyse zu überprüfen:

*Hypothese 1: Einfluss der "kollektiven Separatsammlung" auf die Zusammensetzung des verbleibenden Kehrriechts*

*Durch das FSTS-System gelangen weniger Wertstoffe in die Kehrriechtsäcke und die Menge an Kehrriecht wird reduziert.*

*Hypothese 2: Einfluss auf das Gewicht der Kehrriechtsäcke*

*Die Kehrriechtsäcke werden schwerer, weil im Versuchssperimeter neu auch Kunststoffe in einem Kunststoff-Sack gesammelt werden können. Kunststoffe sind in der Regel voluminös aber leicht und haben daher ein geringes Schüttgewicht.*

*Hypothese 3: Qualität der FSTS-Fraktionen*

*Der durchschnittliche Wertstoffgehalt der FSTS-Säcke ist gleich hoch wie jener der bestehenden Sammelsysteme z.B. der Quartierentsorgungs-Sammelstellen.*

Hypothese 4: Missbrauch der Wertstoffsäcke zur Kehrichtentsorgung

*Personen, welche das FSTS-System nicht verstehen oder akzeptieren, befüllen die FSTS-Säcke absichtlich oder unabsichtlich mit Kehricht statt mit Wertstoffen.*

Hypothese 5: Handhabung der FSTS-Container

*Die FSTS-Container werden ausschliesslich mit FSTS-Säcken befüllt (und nicht mit Kehrichtsäcken oder Fremdstoffen).*

Hypothese 6: Handhabung der Säcke

*Die FSTS-Säcke werden von der Bevölkerung korrekt zugeschnürt und erreichen die Sortieranlage in gutem Zustand.*

Neben der Überprüfung dieser Hypothesen war das Hauptziel der wissenschaftlichen Begleitung aufzuzeigen, ob sich das Farbsack-Trennsystem als Recyclinglösung bewährt und eine stadtweite Einführung empfohlen werden kann.

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen der Analysekampagnen wurden verschiedene Komponenten des Farbsack-Trennsystems während total 15 Tagen beprobt.

- Analyse der Kehrriechtsäcke: Zusammensetzung
  - Nullversuch vor der Pilotphase: 28.05.18
  - 3 Wirkversuche während der Pilotphase: 15.11.18, 21.03.19, 06.06.19
- Analyse der Farbsäcke: Zusammensetzung und Wertstoffqualität
  - 4 Wirkversuche während der Pilotphase, davon eine aggregierte Sackanalyse und 3 Einzelsackanalysen: 13.11.18, 11.12.18, 19.03.19, 04.06.19
- Container-Analyse: Art und Zustand der FSTS-Säcke, Erfassen von Fremdstoffen
  - 3 Analysen während der Pilotphase: 10./11.12.18, 25.04.19
- Beprobung von 3 Quartiersammelstellen: Wertstoffqualität
  - Eine Analyse während der Pilotphase 07./08.05.19
- Analyse von Brennpunkt-Container (unsachgemäss befüllt, viel Fremdstoff)
  - Eine Analyse während der Pilotphase 03.06.19
- Analyse der Restfraktion
  - Eine Analyse während der Pilotphase 05.06.19

Eine ausführliche Planung jeder Beprobung erfolgte in einem "Drehbuch", d.h. einem Versuchskonzept, welches jeweils im Vorfeld mit ERB abgestimmt wurde. Alle Drehbücher sind auf der beigefügten Daten - CD abgelegt. Die nachfolgend beschriebenen Methoden geben eine Zusammenfassung des Inhalts der Drehbücher wieder.

### 2.1 Analyse der Kehrriechtsäcke

#### 2.1.1 Zusammensetzung des Inhalts

Das Ziel der Analyse der Kehrriechtsäcke war es, festzustellen, ob die Einführung des Farbsack-Trennsystems einen Einfluss auf deren Zusammensetzung hat. Zu diesem Zweck wurden die Kehrriechtsäcke eines bestimmten Untersuchungsperimeters sowohl vor (Nullversuch), wie auch dreimal während dem Pilotversuch beprobt.

Je Versuchskampagne wurden rund 200 Säcke durch das Kehrriechtfahrzeug angeliefert, gekippt und mit vier Analyseteams, bestehend aus je zwei Mitarbeitern, aufgeschnitten und deren Inhalt sortiert (Abb. 2.1). Die Analyse erfolgte nicht auf der Ebene Einzelsack, sondern kumulativ, d.h. die Wägung der Fraktionen erfolgte nicht nach jedem Sack, sondern am Ende des Tages. Eine Ausnahme stellt die letzte Beprobung von 06.06.2019 dar. Bei dieser Kam-

pagne wurde das Gewicht von 124 einzelnen Kehrichtsäcken erfasst. Ziel war es, den Schweizer Mittelwert von 4.4 kg je 35 Liter Sack zu überprüfen und die Gewichtsverteilung der Säcke zu erfassen.

Bei den Analysen wurden folgende Kenngrößen ermittelt:

- In den Säcken enthaltene Fraktionen: Kehricht, Glas, PET-Getränkeflaschen, Kunststoff, Alu/Weissblech & Kleinmetalle, Papier/Karton, Küchen- und Gartenabfälle sowie Food Waste. Eine genaue Beschreibung der Fraktionen ist im Anhang abgelegt.
- Sackgrösse: 17l, 35l, 60l, 110l.
- "Ausreisser"-Säcke: Säcke, welche ganz mit Katzensand oder Glas gefüllt waren, wurden notiert und deren Gewicht erfasst (nur bei letzten beiden Analysetagen).

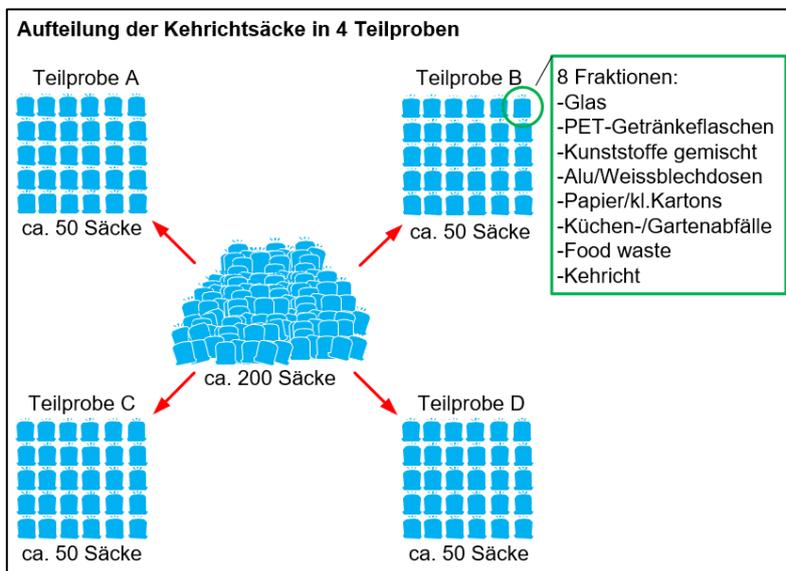


Abb. 2.1: Die Kehrichtsäcke wurden aufgeschnitten und deren Inhalt einer der 8 folgenden Fraktionen zugeteilt: Glas, PET-Getränkeflaschen, Kunststoff, Alu/Weissblech & Kleinmetalle, Papier/Karton, Küchen- und Gartenabfälle, Food Waste oder Kehricht.

### 2.1.2 Erfassung der gesammelten Mengen

Die Kehrichtsäcke, welche im Rahmen des Pilotversuchs anfielen, wurden über die gesamte Dauer hinweg beim Sortierbetrieb Alpabern gewogen. Während der ersten Phase des Pilotversuchs war folglich der gesamte Kehricht von Kreis B Teil des Massenstroms. Im Februar 2019 erfolgte im Stadtkreis B eine Umstellung von Pilot 2 auf Pilot 1. Ab diesem Zeitpunkt war nur noch der Kehricht, welcher fälschlicherweise in den FSTS-Containern entsorgt wurde, Teil der Gewichtserhebung bei Alpabern.

## 2.2 Analyse der Farbsäcke

### 2.2.1 Zusammensetzung des Inhalts

Das Hauptziel der Analyse der Farbsäcke war es, festzustellen, ob die Zielstoffqualität der separat gesammelten FSTS-Fractionen gegenüber der Sammelgutqualität von z.B. Quartierentsorgungs- Sammelstellen beibehalten oder gar verbessert werden kann. Zu diesem Zweck wurden die Farbsäcke jeder Fraktion während dem Pilotversuch viermal beprobt.

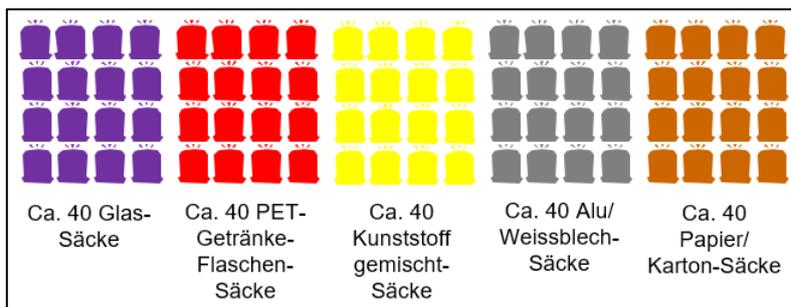


Abb. 2.2: FSTS-Säcke, welche im Rahmen der Farbsack-Beprobung je Kampagne analysiert wurden.

Folgende Farbsäcke standen der Bevölkerung während dem Pilotversuch zur Verfügung (Abb. 2.2).

- **Violetter Sack**      **Gemischtes Glas**
- **Roter Sack**      **PET-Getränkeflaschen (Abkürzung PET)**
- **Gelber Sack**      **Kunststoffe gemischt**
- **Grauer Sack**      **Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle**
- **Brauner Sack**      **Papier und kleine Kartons**

Pro Kampagne wurden rund 40 Säcke je Fraktion beprobt. Die Säcke wurden aufgeschnitten und deren Inhalt einer der folgenden acht Fraktionen zugeordnet (siehe auch Anhang):

- Glas
- PET- Getränkeflaschen
- Kunststoffe gemischt
- Alu- und Weissblechverpackungen
- Papier und kl. Kartons
- Küchen- und Gartenabfälle
- Food-Waste
- Kehricht

Je Sacktyp ergab sich jeweils eine Zielstofffraktion und 7 Störstofffraktionen. Der Zielstoff wechselte je nach FSTS-Sacktyp, entsprechend der Fraktion, welche gesammelt werden sollte. Die Störstoffe wurden nicht aggregiert ausgewertet, sondern ebenfalls einer der 7 verbleibenden Fraktionen zugeteilt. Eine Ausnahme stellte die Kunststofffraktion dar. Hier wurden 5 verschiedene Zielstofffraktionen ausgezählt:

- Kunststoffbehälter (v.a. PE-Hohlkörper)
- Folien
- PET-Getränkeflaschen
- Tetra-Pak
- Übrige Kunststoffe (Styropor, Hartplastik, Tiefziehschalen, Jogurt-Becher etc.)

War der Kunststoff Störstoff (immer, ausser beim Kunststoff-FSTS-Sack), wurden die 5 oben aufgelisteten Unterfraktionen nicht unterschieden. Nach der Sortierung wurden alle Fraktionen ausgewogen und deren Gewicht notiert.

Bei der ersten Kampagne wurde eine aggregierte Bestimmung der Massenanteile je Fraktion vorgenommen. Da statistische Auswertungen nur möglich sind, wenn genügend Datenpunkte je Analysetag vorliegen, erfolgten die übrigen Beprobungen als Einzelsackanalysen, d.h. Erfassung und Vergleich der Zusammensetzung je FSTS-Sack. Zusätzlich zur Zusammensetzung wurde bei der letzten Kampagne auch das Volumen resp. der Füllstand der einzelnen Säcke erfasst.

Generell wurde Sacktyp um Sacktyp ausgezählt, d.h. zuerst alle Glas-Säcke, dann alle PET-Säcke etc. (Vermeidung eines Bias). Die FSTS-Säcke wurden mit Hilfe eines Förderbands sortiert (siehe Abb. 2.3).

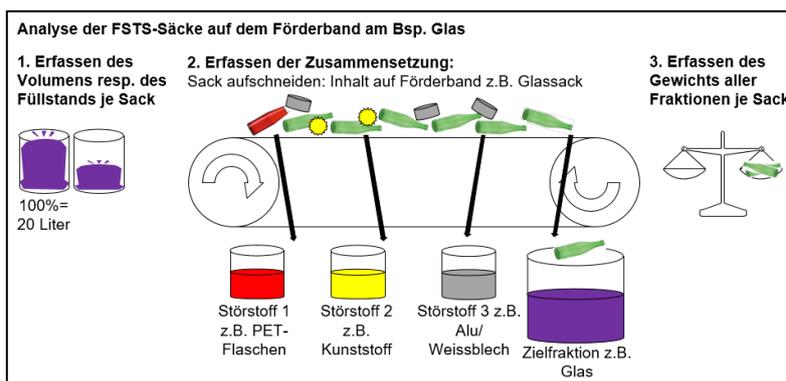


Abb. 2.3: *Beispiel Glassack: Die Säcke wurden aufgeschnitten und deren Inhalt einer der 8 folgenden Fraktionen zugeteilt: Glas, PET-Getränkeflaschen, Kunststoff, Alu/Weissblech & Kleinmetalle, Papier/Karton, Küchen- und Gartenabfälle, Food Waste oder Kehricht.*

### 2.2.2 Erfassung der gesammelten Mengen

Die Erfassung der gesammelten Mengen über die ganze Dauer des Pilotversuchs hinweg erfolgte beim Sortierbetrieb Alpabern. Alpabern nahm die angelieferten Farbsäcke täglich entgegen, sortierte diese manuell nach Sackfarbe und erfasste deren Gewicht. Auch die Restfraktion wurde täglich gewogen. Bestandteil der kontinuierlichen Mengenerfassung bei Alpabern waren also während der ganzen Versuchsdauer die FSTS – Säcke aller Fraktionen.

### 2.3 Analyse der Container

Bei der Analyse der Container ging es darum, die Anzahl an Säcken je Sackart (Kehricht-, systemfremde und FSTS-Säcke) und deren Zustand vor der Verpressung im Sammelfahrzeug zu erfassen. Zudem sollte begutachtet werden, wie viel loses Material in die Container geworfen wird. Eine Mitarbeiterin fuhr für die Container-Analyse jeweils einen ganzen Tag mit dem Kehrichtfahrzeug mit und erfasste auf der Sammeltour folgende Daten:

- Überprüfung der Liegenschaft gemäss Kehricht-Sammlung-Tourenliste
- Grösse und Art der Container
- Füllstand der Container
- Anzahl Kehricht-Säcke je Sacktyp (17/35/60/110 Liter) pro Container
- Anzahl FSTS-Säcke je Sacktyp pro Container
- Zustand der Säcke vor der Verpressung im Sammelfahrzeug
- Fremdstoffe (unerwünschte Säcke z.B. schwarze Säcke, loses Material)

Schon vor der Container-Analyse war klar, dass nur Pilot 1 (getrennte Container für Kehricht- und FSTS-Säcke) weitergeführt wird. Durch die gemeinsame Sammlung von Kehricht- und FSTS-Säcken kam es zu einer zu starken Verschmutzung und Durchnässung der FSTS-Säcke (v.a. Papier/Karton). Die generelle Einführung von Pilot 1 erfolgte im Februar 2019. Insgesamt wurden an drei Tagen Container-Analysen auf den folgenden Touren durchgeführt:

- Tour B1, Montag 10.12.18 (Pilot 2- ein gemeinsamer Container für FSTS und Kehricht)
- Tour A2, Dienstag 11.12.18 (Pilot 1- zwei getrennte Container)
- Tour B4, Donnerstag 25.04.2019 (Pilot 1- zwei getrennte Container)

Die Abb. 1.2 bietet eine Darstellung der beiden Stadtkreise und Piloten. Bei den Container-Analysen wurden nur die FSTS-Container von Pilot 1 und der Container von Pilot 2 beprobt, nicht jedoch der Kehricht-Container von Pilot 1.

### 2.4 Beprobung von Quartierentsorgungs- Sammelstellen QES

Der Fokus dieses Analyseschritts lag auf einem Vergleich der Wertstoffqualität der Fraktionen aus den Quartierentsorgungs- Sammelstellen mit jenen aus den FSTS-Säcken. Dabei

standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Wie hoch ist die Sortenreinheit der Fraktionen Glas, PET-Getränkeflaschen, Dosen und Papier/Karton aus Quartierentsorgungs- Sammelstellen im Allgemeinen? Eine hohe Sortenreinheit bedeutet wenig Fremdmaterial, welches mit dem Zielmaterial der einzelnen Fraktionen vermischt ist.
- Wie hoch ist die Sortenreinheit der Quartierentsorgungs- Sammelstellen im Vergleich mit jener der FSTS-Säcke?

Zusätzlich erfolgte ein Vergleich der ausgewerteten Daten mit schweizweiten Werten für die Qualität von separat gesammeltem Glas, PET, Dosen und Papier/Kartons aus Haushalten.

ERB stellte das Recyclinggut folgender drei Quartierentsorgungs- Sammelstellen bereit:

- QES Bau und Hobby (Bümpliz-Oberbottigen)
- QES Muesmatt (Länggasse-Felsenau)
- QES Sempach (Breitenrain-Lorraine)

Das Recyclinggut wurde nicht je Quartierentsorgungs- Sammelstelle einzeln beprobt, sondern in aggregierter Form. Beprobte wurden jene Fraktionen, die auch im Rahmen des FSTS-Projekts gesammelt werden:

- Glas (gemischt, nicht nach Farbe getrennt) ca. 20 m<sup>3</sup>
- PET-Getränkeflaschen ca. 12 m<sup>3</sup>
- Alu-/Weissblechdosen und Kleinmetalle ca. 12 m<sup>3</sup>
- Papier und kleine Kartons ca. 12 m<sup>3</sup>

Bei der Beprobung jeder dieser vier Zielfraktionen wurden folgende Fraktionen unterschieden (siehe auch Anhang):

- Glas
- PET- Getränkeflaschen
- Kunststoffe gemischt
- Alu- und Weissblechverpackungen
- Papier und kl. Kartons
- Küchen- und Gartenabfälle
- Food-Waste
- Kehricht

Es wurde folglich zwischen einer Zielstofffraktion und 7 Störstofffraktionen unterschieden. Die Kunststoffe wurden in diesem Unterprojekt nicht als eigene Zielstofffraktion untersucht,

weil sie bis dato über die Grossverteiler gesammelt werden und nicht über Quartiersammelstellen. Kunststoffe wurden lediglich als Störstoff erfasst. Verschlüsse von Flaschen, die auf die Flaschen aufgeschraubt waren (PE-Deckel auf PET-Flaschen und Korken resp. Drehverschlüsse auf Glasflaschen), wurden als Bestandteil des Recyclingguts betrachtet und nicht als Fremdstoff. Lose Verschlüsse hingegen, wurden als Fremdstoff erfasst und aussortiert.

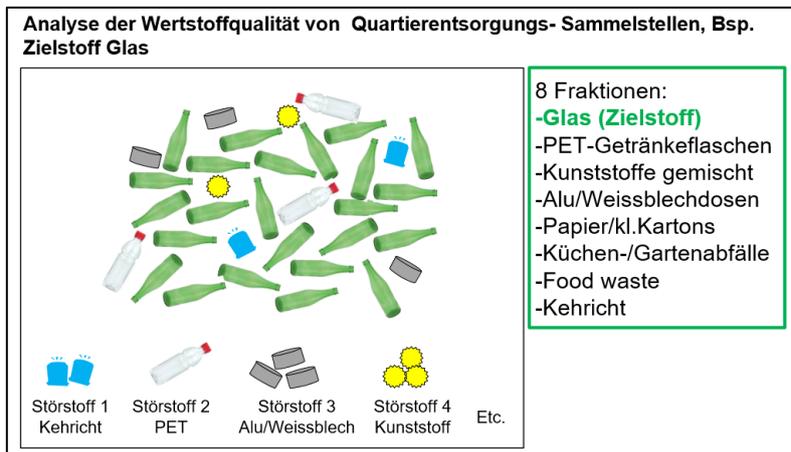


Abb. 2.4: Beprobung der Quartierentsorgungs- Sammelstellen. Darstellung der Negativseparation am Beispiel Glas.

Der Beprobungsprozess wurde als Negativseparation gestaltet (Abb. 2.4). Das Recyclinggut der auszuwertenden Fraktion z.B. Glas wurde auf einer Blache ausgebreitet. Anschliessend wurde das Recyclinggut entweder mit Rechen 2 Meter vorwärts befördert (Glas) oder direkt in Container geschaufelt (PET, Alu- und Weissblechverpackungen, Papier/kl. Kartons). Dabei wurden alle Störstoffe aussortiert, einer der sieben Kategorien zugeordnet und ausgewogen. Das Gewicht des Zielstoffs Glas wurde als Netto-Wert über die Lastwagenwaage ermittelt und dasjenige der anderen Zielstoffe durch die Wägung der Container abgefüllt und ebenfalls gewogen.

## 2.5 Analyse der Brennpunkt-Container

Die Brennpunkt-Container sind Container, welche zu Liegenschaften gehören, die erfahrungsgemäss eine unsachgemässe Entsorgung betreiben und durch schlechteres Trennverhalten auffallen. Welche Container als Brennpunkt-Container gelten, wurde durch ERB definiert. Die besagten Container stammen von so genannten Brennpunkt-Liegenschaften. Wie oben beschrieben, sind das Liegenschaften, die durch ein mehrfaches Fehlverhalten bei der Abfallentsorgung (z.B. Kehricht in schwarzen statt in offiziellen blauen Kehrichtsäcken) negativ auffielen. Die Analyse der Brennpunkt-Container wurde auf folgende Fragestellungen ausgerichtet:

- Massenanteil der FSTS-Säcke je Sacktyp.
- Massenanteil und Zusammensetzung des Fremdstoffs in den Containern.

- Werden die FSTS-Säcke, welche aus den unsachgemäss befüllten Container stammen, dennoch korrekt befüllt (d.h. ausschliesslich Glas im Glas-Sack etc.)? Das Problem mit den, mit einem hohen Fremdstoffanteil befüllten, Containern wäre dann weniger gravierend, als auf den ersten Blick anzunehmen ist.

Die Analyse der Brennpunkt-Container erfolgte containerweise in je zwei Schritten. Zuerst wurde der Inhalt der Container analysiert und anschliessend wurden die FSTS-Säcke aufgeschnitten.

### 2.5.1 Analyse der Zusammensetzung der Container

Während einer Woche sammelte ERB den Inhalt der Brennpunkt-Container (8 x 770l und 1 x 800l Container, d.h. rund 7m<sup>3</sup> Material) und lagerte diesen bei AlpaBern zwischen. Es fand keine Vorsortierung durch AlpaBern statt. Das gesammelte Material wurde durch UMTEC in folgende Fraktionen aufgetrennt (siehe Abb. 2.5 und eine genaue Beschreibung der Fraktionen im Anhang A):

- FSTS-Säcke
  - **Violetter Sack**      **Gemischtes Glas**
  - **Roter Sack**        **PET-Getränkeflaschen (Abkürzung PET)**
  - **Gelber Sack**        **Kunststoffe gemischt**
  - **Grauer Sack**        **Alu-/ Weissblechdosen und Kleinmetalle**
  - **Brauner Sack**      **Papier und kleine Kartons**
- Loses Material
  - Glas
  - PET- Getränkeflaschen
  - Kunststoffe gemischt
  - Alu- und Weissblechverpackungen und Kleinmetalle
  - Papier und kl. Kartons
  - Küchen- und Gartenabfälle
  - Food-Waste
  - Kehricht
- Offizielle Kehrichtsäcke der Stadt Bern (blau)
- Systemfremde Säcke (z.B. schwarze Säcke)

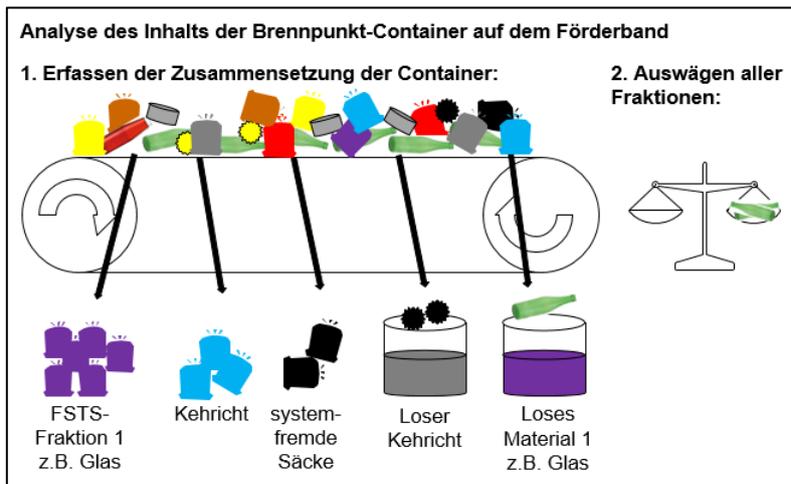


Abb. 2.5: Der Inhalt der Brennpunkt-Container wurde in einem ersten Schritt nach FSTS-, Kehricht- und systemfremden Säcken und losem Material sortiert.

## 2.5.2 Analyse des Inhalts der FSTS-Säcke der Brennpunkt - Container

In einem zweiten Schritt erfolgte eine Einzelsackanalyse der FSTS-Säcke (siehe Kapitel 2.2. Analyse der Farbsäcke).

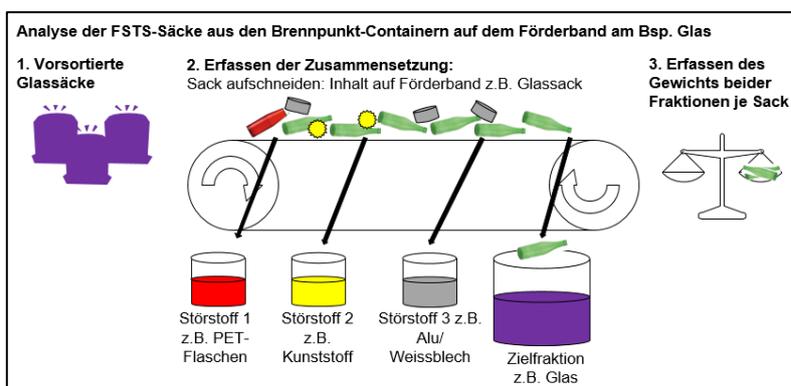


Abb. 2.6: In einem zweiten Schritt wurde der Inhalt der FSTS-Säcke der Brennpunkt-Container im Rahmen einer Einzelsackanalyse nach Ziel- und Störstoffen sortiert.

Die FSTS-Säcke wurden gewogen und aufgeschnitten und deren Inhalt, analog zu den Wirkversuchen, 8 verschiedenen Fraktionen zugeordnet (jeweils einer Zielfraktion und 7 Störstofffraktionen, siehe Abb. 2.6 und Anhang). Eine Ausnahme stellte die Kunststofffraktion dar, hier wurden 5 verschiedene Zielfraktionen ausgezählt. Generell wurde je Container Sacktyp um Sacktyp ausgezählt, d.h. zuerst alle Glas-Säcke, dann alle PET-Säcke etc. Alle Beteiligten zählten also alle Sacktypen aus (Vermeidung eines Bias).

## 2.6 Beprobung der Restfraktion 3

Beprobt wurde die Restfraktion der Phase 3 (siehe Begriffe und Definitionen, Seite xi). Diese

Fraktion entsprach dem Überlauf der Sortieranlage und bestand nur noch aus losem Papier/Karton und übrigem losen Material (einzelne PET-Flaschen, einzelne Dosen, loser Kehricht etc.). Alle Säcke, FSTS-Säcke, Kehricht und systemfremde Säcke wurden zuvor aussortiert. Folgende Fragenstellungen wurden im Rahmen der Beprobung der Restfraktion untersucht:

- Wie ist die Restfraktion 3 zusammengesetzt? Sollte diese dem Kehricht zugeschlagen werden oder der Papiersortierung?
- Wie viel Recyclingmaterial befindet sich in der Restfraktion 3 und entgeht so dem FSTS-System?

Die Beprobung der Restfraktion 3 ist insofern interessant, als dass ERB plant, das Papier in der Endphase des FSTS-Piloten lose zu sammeln. Diese Systemumstellung wirft einige Fragen bezüglich des Sortiervorgangs bei Alpbabern auf. Es gilt in einer späteren Phase abzuklären, ob das Gemisch loses Papier & Restfraktion verarbeitet werden kann, oder ob eine Vorsortierung nötig ist. Auch muss überprüft werden, ob die erzielte Qualität auch der Papierfabrik als finaler Abnehmerin des Recyclingguts genügt. Weiter steht die Frage im Raum, wie hoch die zusätzlichen Kosten/Ersparnisse gegenüber der separaten Papiersammlung in Säcken sind. Gemäss ERB sind Fragen betreffend der Sortieranlage nicht Gegenstand der UMTEC – Analysen, sondern müssen von Alpbabern beantwortet werden können.

Über den Zeitraum einer Woche hinweg, sammelte Alpbabern einen Teil der Restfraktion 3 jeden Tages (ca. 0.8m<sup>3</sup>/Tag d.h. total ca. 4m<sup>3</sup> Material). Alle Säcke wurden aus dieser Fraktion bereits entfernt. Folglich bestand die Restfraktion 3 nur noch aus losem Material. UMTEC trennte im Rahmen der Beprobung diese Restfraktion 3 in folgende Fraktionen auf (genaue Beschreibung der Fraktionen, siehe Anhang A):

- Glas lose
- PET- Getränkeflaschen lose
- Kunststoffe gemischt lose
- Alu- und Weissblechverpackungen und Kleinmetalle lose
- Papier und kl. Kartons lose
- Küchen- und Gartenabfälle lose
- Food-Waste lose
- Kehricht lose

Das Material wurde mit Hilfe eines Förderbands sortiert und gewogen (Abb. 2.7).

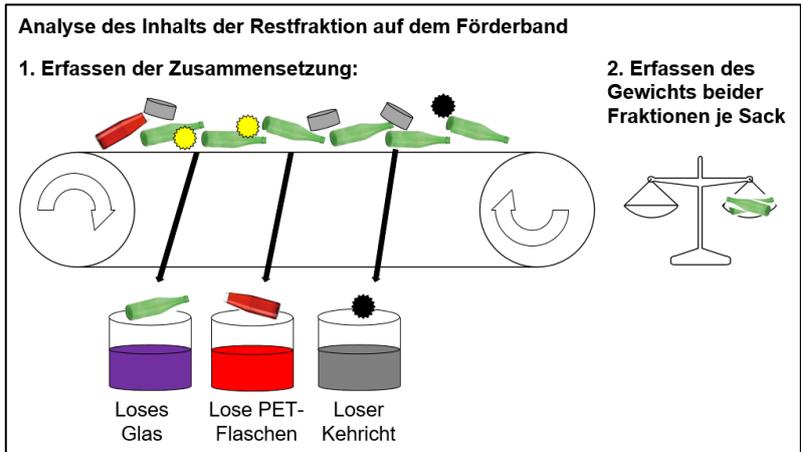


Abb. 2.7: Analyse der Restfraktion 3 mittels Förderband.

### 3 Resultate

#### 3.1 Analyse der Kehrachtsäcke

Im Rahmen der Kehrachtanalyse wurde der Inhalt der Kehrachtsäcke einer der folgenden Fraktionen zugeordnet: Kehracht, Glas, PET-Getränkeflaschen, Kunststoffe gemischt, Alu- und Weissblechverpackungen, Papier und kleine Kartons, Garten- und Rüstabfälle sowie Foodwaste (Abb. 3.1). Der zu analysierende Kehracht stammte immer aus dem gleichen, von ERB definierten Nullversuchssperimeter. Analysiert wurden an den vier Versuchstagen folgende Kehrachtmengen: 735kg, 1'074kg, 943kg, 603kg. Die Schwankung lässt sich mit Veränderungen der Kehrachtproduktion im Versuchssperimeter erklären.



Abb. 3.1: *Impressionen von der Kehrachtanalyse. Das Bild rechts oben vermittelt den Eindruck eines typischen Kehrachtsacks, das Bild links unten zeigt den Foodwaste (Kartotten, Brot, Salat, Sandwich etc.), der während eines Tages aussortiert wurde.*

##### 3.1.1 Zusammensetzung des Inhalts der Kehrachtsäcke

Abbildung 3.2 zeigt die aggregierte, prozentuale Zusammensetzung (Massenanteile) des Kehrachts an. Als Vergleichsgrösse wurde die Kehrachtanalyse des BAFUs aus dem Jahr 2012 herangezogen. Es fällt auf, dass die Berner Kehrachtsäcke bedeutend weniger Papier und

Kunststoffe enthalten als diejenigen aus der BAFU-Analyse. Das kann an der sehr ausgereiften Papiersammlung der Stadt Bern und den neuartigen Kunststoff-Separatsammlungen liegen.

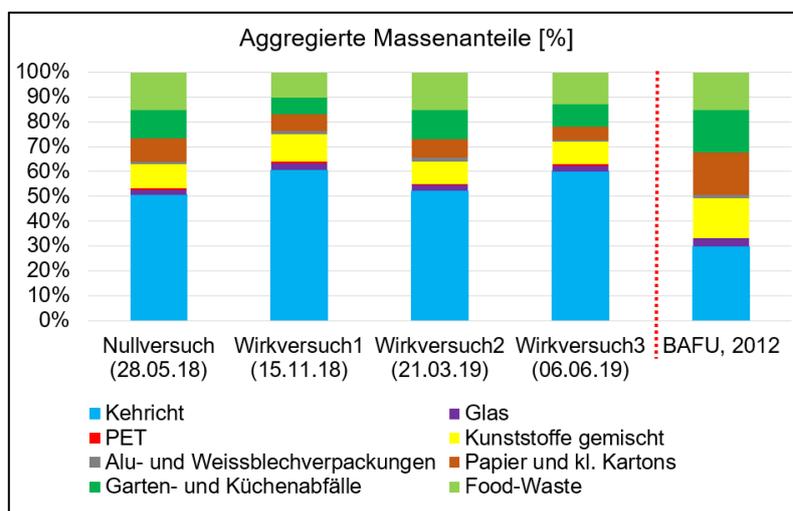


Abb. 3.2: Aggregierte Massenanteile der vier Kehrrecht-Analysekampagnen. Ganz rechts ist als Vergleichsgrösse die Analyse des BAFU aus dem Jahr 2012 beigefügt.

### 3.1.2 Analysen zum Gewicht und der Volumenverteilung von Kehrrechtsäcken sowie der Mengen

Ein weiteres Ziel war es, das in der Branche bekannte Gewicht von 4.4 kg pro 35 Liter Kehrrechtsack zu verifizieren. Wie die Tabelle 3.1 zeigt, wird dieser Wert bestätigt. Im Nullversuch wie auch in allen Wirkversuchen wurde das Gesamtgewicht der analysierten Säcke durch die Anzahl Säcke dividiert (aggregiertes Verfahren). Im Wirkversuch 3 wurde zusätzlich das Gewicht von 124 Säcken einzeln bestimmt und der Durchschnittswert berechnet (Einzelsackanalyse).

Tab. 3.1: Gewichts je 35 Liter Sack geordnet nach Quelle

	Gewicht pro 35l Sack [kg]
BAFU	4.4
VBSA-Quartier	4.6
Nullversuch - Abschätzung: analysierte Menge / Anzahl Säcke	4.2
Wirkversuch 1 - Abschätzung: analysierte Menge / Anzahl Säcke	4.6
Wirkversuch 2 - Abschätzung: analysierte Menge / Anzahl Säcke	4.6
Wirkversuch 3 - Abschätzung: analysierte Menge / Anzahl Säcke	4.5
<b>Mittelwert der vier Abschätzungen</b>	<b>4.5</b>
<b>Wirkversuch 3 - exakte Gewichtsbestimmung von 124 Säcken</b>	<b>4.4</b>

Zusätzlich wurde die Verteilung der Sackvolumina je Versuchskampagne erfasst und mit den

Werten der in der Stadt Bern verkauften Kehrriechsäcken verglichen. Wie in Tab. 3.2 dargestellt ist, dominieren die 35 Liter Säcke mit einem Anteil von rund zwei Dritteln, gefolgt von den 17 Liter Säcken mit einem Anteil von 23% bis 33%. Werden die Daten von Null- und Wirkversuch verglichen, fällt auf, dass es im Nullversuchssperimeter zu einer leichten Verschiebung hin zu den 17 Liter Säcken kam.

Tab. 3.2: Verteilung Sackvolumen im Nullversuchssperimeter des Pilotversuchs, verglichen mit verkauften Kehrriechsäcken im ganzen Stadtgebiet.

	Nullversuch	Wirkversuch 1	Wirkversuch 2	Wirkversuch 3	Verkaufte Säcke Bern 2017
17 Liter	23%	23%	33%	31%	22%
35 Liter	68%	51%	63%	65%	69%
60 Liter	6%	18%	2%	3%	5%
110 Liter	3%	8%	2%	1%	4%
	100%	100%	100%	100%	100%

Die im Pilot 2 (Kreis B, ein Container für FSTS und Kehrriech) eingesammelten Kehrriechsäcke und die Kehrriechsäcke, welche als Fehlwürfe im Pilot 1 (zwei getrennte Container für FSTS und Kehrriech) ins System eingetragen wurden, wurden von AlpaBern ausgewogen. Deutlich ist in Abb. 3.3 der Knick nach der Einstellung von Pilot 2 ersichtlich.

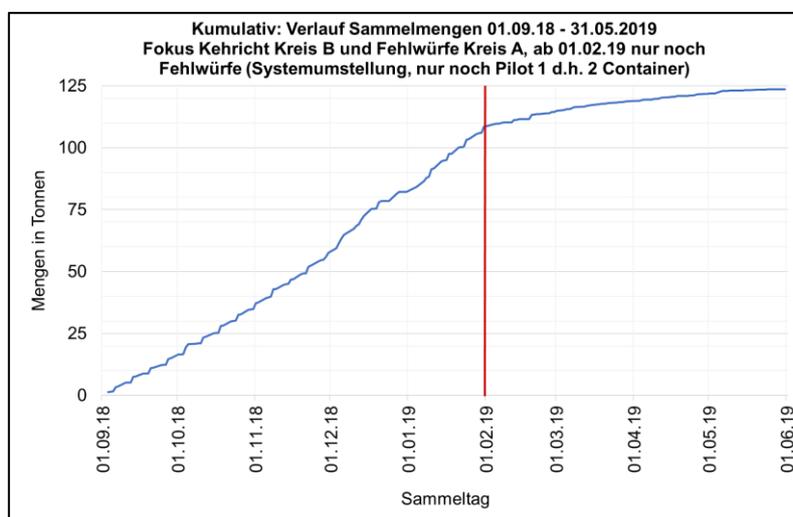


Abb. 3.3: Während der Versuchsperiode zwischen dem 01.09.18 und 31.05.19 eingesammelte Kehrriechmenge. Der rote Strich markiert das Ende von Pilot 2.

### 3.2 Analyse der Farbsäcke

Die Analyse der FSTS-Säcke erfolgte als Einzelsackanalyse mit Hilfe eines Förderbands. Die

Glas-, PET-, Kunststoff-, Alu- und Weissblechdosen sowie die Papier und Karton – Säcke wurden aufgeschnitten und deren Inhalt 8 verschiedenen Fraktionen zugeordnet (Abb. 3.3): Glas, PET-Getränkeflaschen, Kunststoff, Alu/Weissblech & Kleinmetalle, Papier/Karton, Küchen- und Gartenabfälle, Food Waste oder Kehrriecht. Eine Ausnahme stellt die Kunststofffraktion dar, hier wurden 5 verschiedene Zielfraktionen ausgewertet: Kunststoffbehälter (v.a. PE-Hohlkörper), Folien, PET-Getränkeflaschen, Tetra-Pak, Übrige Kunststoffe (Styropor, Hartplastik, Tiefziehschalen, Joghurt-Becher etc.).



Abb. 3.4: *Impressionen der Analyse der Farbsäcke. Im Bild unten rechts ist ersichtlich, dass viele Glassäcke durch den Transport innerhalb der Förderbandanlage zerrissen wurden und folglich viel loses Glas im Recyclingstrom landet.*

Bei den Fraktionen Glas und Papier/kleine Kartons lag viel loser Zielstoff auf dem Förderband. Beim Glas betrug dieser Anteil 19% und beim Papier 21%. Dieses lose Material wurde ausgewogen, ging jedoch nicht in die Auswertung der Einzelsäcke ein.

### 3.2.1 Zusammensetzung des Inhalts der Farbsäcke

Wie folgender Matrix (Tab. 3.3) und Grafik (Abb. 3.5) entnommen werden kann, ist der Wertstoffanteil in den Farbsäcken sehr hoch und hat sich im Verlauf der Pilotphase teilweise sogar gesteigert. Ein Spezialfall stellt die Fraktion "Kunststoffe gemischt" dar. Der Anteil an Kunststoffen ist ein den Kunststoff-Säcken zwar sehr hoch, jedoch sind von diesen gesammelten

Kunststoffen gemäss dem aktuellen Stand der Technik nur die Folien und die Hohlkörper verwertbar. Folglich sinkt der rezyklierbare Anteil von 94.5% auf 32%.

Tab. 3.3: Anteil an Zielstoff je FSTS-Sacktyp. Die Prozentzahlen sind durchschnittliche Werte aus allen Wirkversuchen und setzten sich sowohl aus massen- wie auch anteilsbasierten Messungen zusammen.

Fraktion [%] \ Sacktyp	Glas	PET	Kunststoffe gemischt	Alu- und Weissblech	Papier und Karton
Glas	96.8%	1.5%	0.6%	1.3%	0.1%
PET-Getränkeflaschen	0.4%	91.9%	0.8%	0.0%	0.0%
Kunststoffe gemischt	0.2%	5.2%	94.5% (31.7%)	0.7%	0.0%
Alu- und Weissblech	0.1%	0.0%	0.1%	91.9%	0.0%
Papier und kl. Kartons	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	97.8%
Küchen- und Gartenabfälle	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Food-Waste	0.1%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%
Kehricht	2.3%	1.3%	3.8%	5.4%	2.1%
	100%	100%	100%	100%	100%

Verwertbarer Kunststoff (Hohlkörper und Folien): 31.7%.

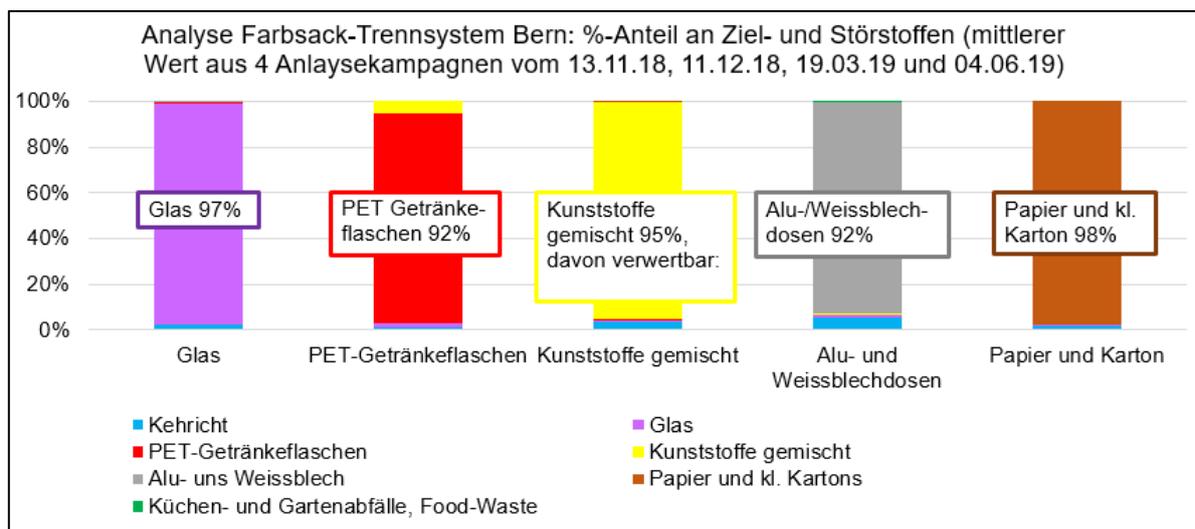


Abb. 3.5: Anteil an Zielstoff je FSTS-Recyclingfraktion.

Diese Sammelqualitäten sind auch verglichen mit schweizweiten Zahlen oder Werten von Quartiersammelstellen hoch. Die Recyclingvereinigungen geben für die jeweiligen Separatsammelfraktionen folgende Wertstoffgehalte an:

VetroSuisse für Glas: 96%<sup>5</sup> FSTS: 97%

<sup>5</sup> www.vetroswiss.ch/Zahlen-und-Fakten-823

PRS für PET:	92% <sup>6</sup>	FSTS: 92%
IGORA für Metalldosen:	86-90% <sup>7</sup>	FSTS: 92%
Verein Recycling Papier&Karton:	93% <sup>8</sup>	FSTS: 98%

Wird die Ebene des Zielstoffgehalts der einzelnen Säcke betrachtet, ergibt sich folgendes Bild. Der Zielstoffgehalt ist bei den Säcken binär verteilt, d.h. entweder sind die FSTS-Säcke fast zu 100% mit dem jeweiligen Zielstoff, z.B. Glas gefüllt oder sie enthalten überwiegend Störstoffe. Letztere werden als Ausreisser-Säcke bezeichnet. Dieser Sachverhalt wird durch die Zielstoff-Anteilsklassen in Abb. 3.6 illustriert. Auch die Abb. 3.7 und 3.8 zeigen diese binäre Verteilung (überwiegend Glas oder überwiegend Kehricht). Einzig beim Kunststoffsack ist der Anteil an verwertbarem Recyclinggut weiter gestreut (Abb. 3.6, linke Grafik).

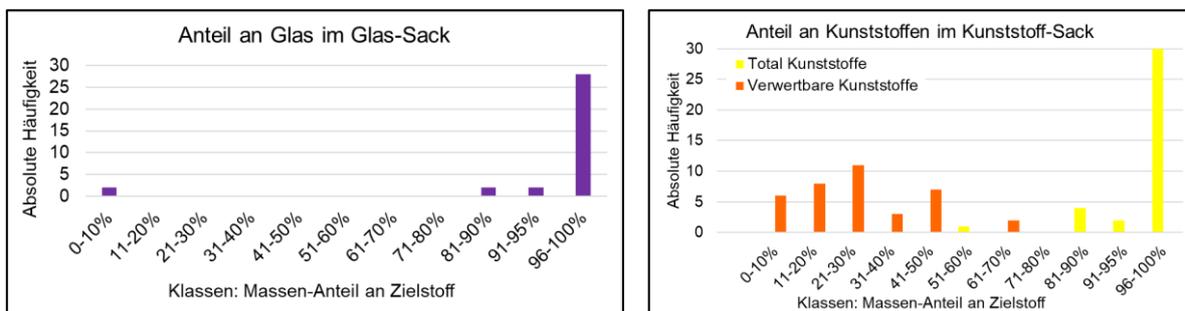


Abb. 3.6: Absolute Häufigkeit von Zielstoff-Anteilsklassen am Beispiel Glas und Kunststoffe gemischt (Werte aus dem Wirkversuch 1).

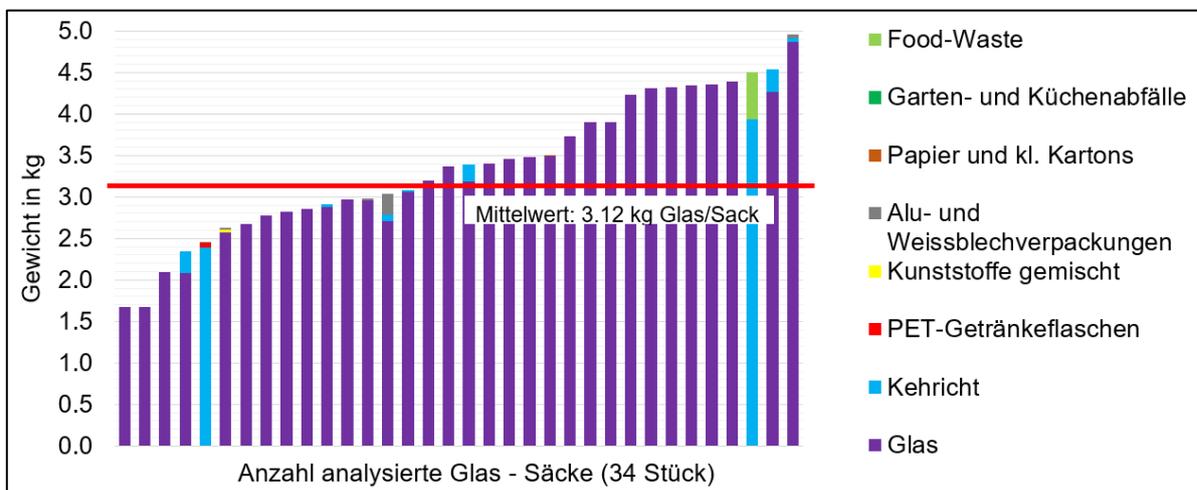


Abb. 3.7: Gewicht und Inhalt der Glassäcke (Werte aus dem Wirkversuch 1).

<sup>6</sup> Bunge&Dinkel, UMTEC&Carbotech, Kurve (Kunststoff Recycling und Verwertung) - Abschlussbericht, 2017

<sup>7</sup> Geschäftsbericht IGORA 17,S.5, 2017

<sup>8</sup> www.altpapier.ch/files/altpapier\_gesamtstatistik\_2017.pdf

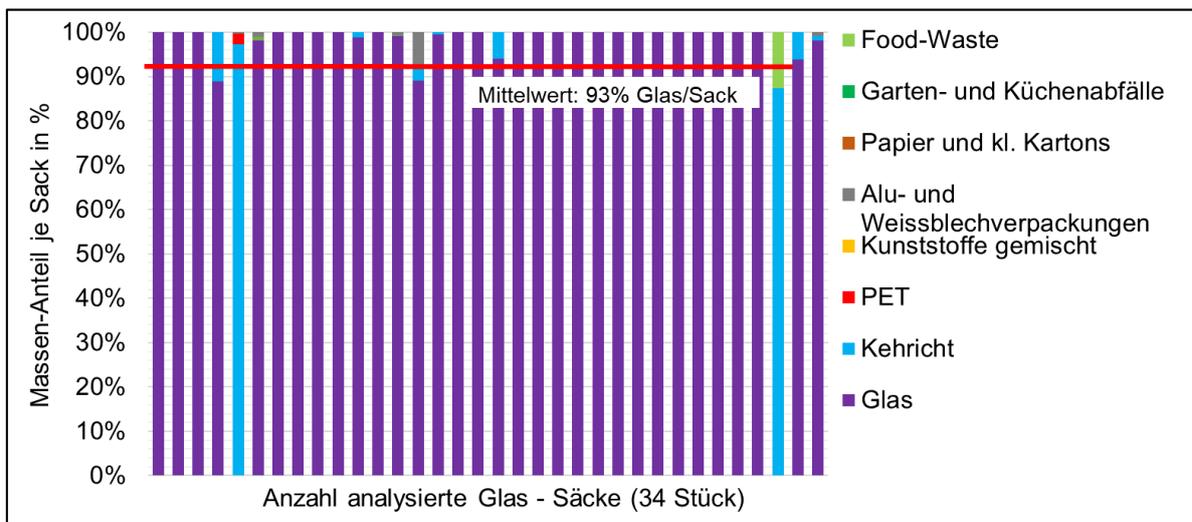


Abb. 3.8: Massenanteil an Ziel- und Störstoffen je Glassack (Werte aus dem Wirkversuch 1).

### 3.2.2 Analysen zum Füllgrad der Farbsäcke sowie den Mengen

Der Füllgrad der Säcke wurde im letzten Wirkversuch erfasst und erreicht folgende Werte:

Glas	69%
PET	92%
Kunststoffe gemischt	98%
Alu- und Weissblechdosen	83%
Papier und kl. Kartons	64%

Aus diesen Prozentangaben lässt sich ablesen, dass die spezifisch leichten PET- und Kunststoffsäcke sehr stark befüllt werden, während die schweren Glas- und Papiersäcke schon bei einem Füllgrad von 64-69% dem Recyclingsystem übergeben werden.

Die Erfassung der gesammelten Mengen an Kehricht und Wertstoffen des gesamten Pilotversuchs fand durch AlpaBern statt. Wie oben beschrieben, änderte sich die Definition der Restfraktion im Verlauf des Pilotversuchs mehrere Male. Dadurch erfolgte die Auswertung der Mengenerfassung in drei Teilen (siehe Abb. 3.9). Durch Feiertage und Ferien wurden die angelieferten FSTS-Säcke nicht täglich gewogen, sondern in unregelmässigen Abständen. Das erklärt die z.T. sprunghaften Mengenanstiege in den Grafiken in Abb. 3.10 und 3.11.

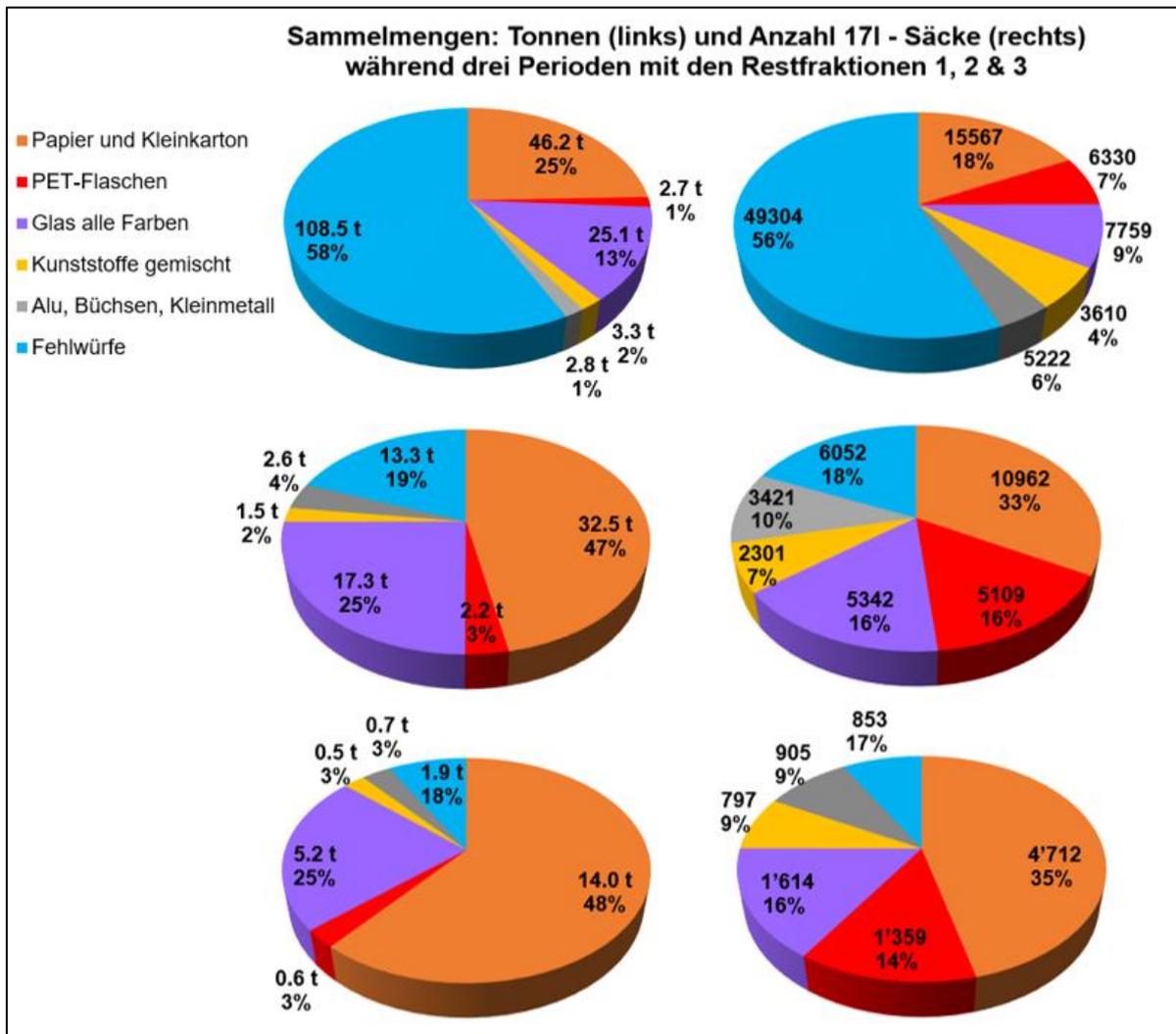


Abb. 3.9: Sammelmengen in Tonnen und Anzahl 17l – Säcke während drei verschiedenen Versuchsperioden, welche durch unterschiedliche Definitionen der Restfraktion geprägt waren: Restfraktion 1, erste Zeile (01.09.18-31.01.19): Fraktion, welche nach dem Aussortieren der FSTS- Säcke übrigbleibt, d.h. Kehrichtsäcke als Fehlwürfe von Pilot 1, Kehrichtsäcke von Pilot 2, systemfremde Säcke und loses Material. Restfraktion 2, zweite Zeile (01.02.19 – 30.04.19): Nach der Abschaffung von Pilot 2, Fraktion, welche nach dem Aussortieren der FSTS- Säcke übrigbleibt, d.h. Kehrichtsäcke als Fehlwürfe, systemfremde Säcke und loses Material. Restfraktion 3, dritte Zeile (ab 01.05.19): Loses Material. Alle Säcke (FSTS-Säcke, Kehricht, systemfremde Säcke) wurden aussortiert. Alle Daten wurden durch AlpaB-ern erhoben.

Die Anzahl Säcke in Abb. 3.9 wurde ermittelt, indem die Gesamtmenge je Fraktion durch das durchschnittliche Gewicht des jeweiligen FSTS-oder Kehricht- Sacks geteilt wurde.

Wie den Grafiken in Abb. 3.10 und 3.11 entnommen werden kann, waren die angelieferten

Monatsmengen relativ konstant. Die Menge an gesammeltem Papier hat gegen Ende sogar zugenommen. Das liegt daran, dass AlpaBern ab Mai auch loses Papier aus der Restfraktion der Papierfraktion zugeordnet hatte und nicht nur, wie zu Beginn der Pilotphase die FSTS-Papiersäcke. Aus den konstant bleibenden Monatsmengen kann abgeleitet werden, dass wenig Versuchsteilnehmer im Verlauf des Pilotprojekts abgesprungen sind.

Der Sprung in der Mengenerfassung von Mitte Februar lässt sich durch eine kurzfristige Lagerhaltung bei AlpaBern erklären.

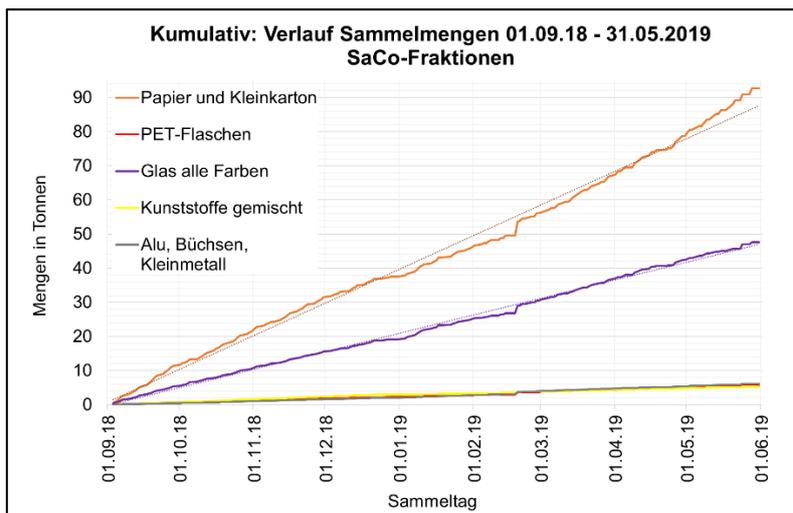


Abb. 3.10: Während der Versuchsperiode zwischen dem 01.09.18 und 31.05.19 erfasste Farbsäcke. Die Daten wurden von AlpaBern erhoben.

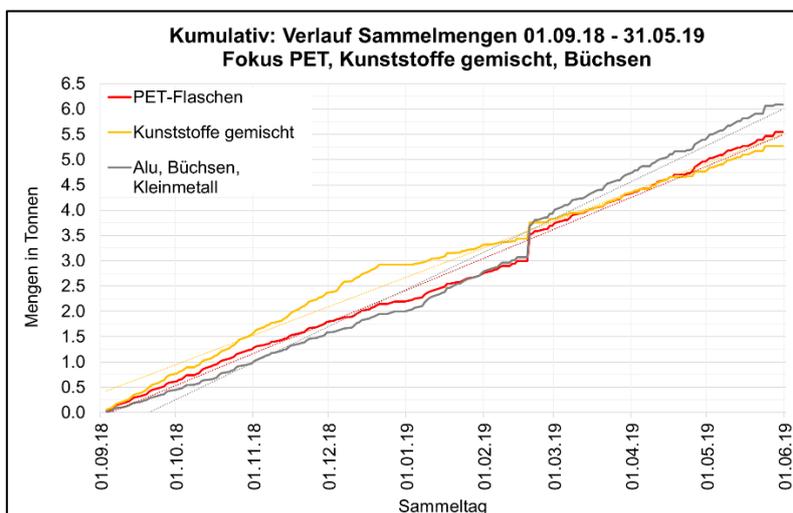


Abb. 3.11: Während der Versuchsperiode zwischen dem 01.09.18 und 31.05.19 erfasste PET-Kunststoff- und Alu-Weissblech – Säcke. Die Daten wurden von AlpaBern erhoben.

Eine Abschätzung der Anzahl an benötigten Säcken pro Jahr, bei einer stadtweiten Einführung, ist für die Fraktion Glas im Anhang abgelegt.

### 3.3 Analyse der Container

An drei Tagen fand die Container-Analyse statt (Abb. 3.12).



Abb. 3.12: Impressionen der Container-Analyse. Unten links ist der Inhalt eines mustergültigen Containers abgebildet, rechts eines Containers, der unsachgemäss befüllt wurde.

Die Grafiken in Abb. 3.13 geben Aufschluss über die Verteilung der Säcke in den Containern während aller drei Versuchstage. Da die Containeranalyse an drei verschiedenen Wochentagen in drei verschiedenen Stadtkreisen erfolgte, sind die Resultate und Erkenntnisse der verschiedenen Analysetage nur bedingt vergleichbar. Dennoch lassen sich einige Tendenzen feststellen, besonders Folgen von Systemanpassungen, welche den ganzen Piloten betrafen z.B. der Wechsel im Schliessmechanismus der FSTS-Papiersäcke auf Klebebänder.

Bei den Kampagnen im Dezember fielen von allen FSTS-Säcken am meisten Papiersäcke an. Bei der letzten Containeranalyse im April war die Verteilung der Sacktypen ausgeglichener. Es fielen mit je 24% am meisten Papier- und PET-Säcke an, gefolgt von Glas mit 19%, Kunststoff mit 17% und Alu/Stahl-Dosen mit 13%. Bei der Beprobung im Dezember waren 20% der Papiersäcke offen. Dieser Wert konnte, wohl vor allem durch den neuen Schliessmechanismus mit den Klebebändern, auf 7% vermindert werden. Auch der Anteil an Containern mit Fremdstoffen, d.h. schwarzen Säcken (z.T. beschriftet mit Alu/Papier), Coop/Spar/Aldi/Migros-Säcken und losem Material hatte während dieser Zeit von 43% auf 10% abgenommen.

Bei der Beprobung im April hatte es wenige, lediglich 3-4% blaue Kehrichtsäcke (d.h. Fremdstoffe) in den FSTS-Containern. Der mittlere Füllstand der Container betrug bei der letzten Analyse 74%.

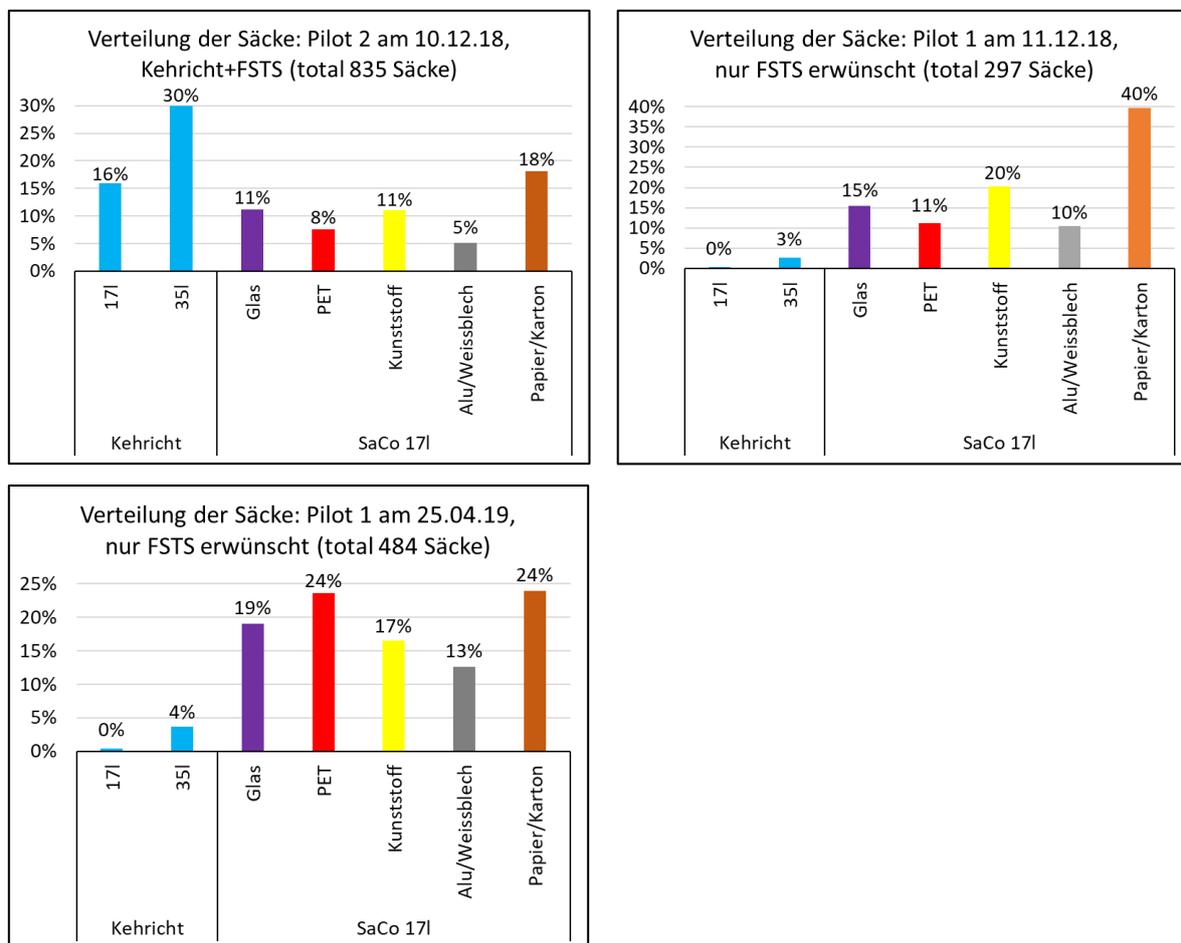


Abb. 3.13: Verteilung der Säcke im Rahmen der drei Analysekampagnen.

Die analysierten FSTS-Säcke wurden meist von der Bevölkerung gut zugeschnürt und waren im Container in gutem Zustand. Durch das Verdichten und Zusammenstossen im Fahrzeug und den Entladevorgang bei AlpaBern wurden die Säcke z.T beschädigt (eingeklemmt, komprimiert). Dies betraf vor allem die Glassäcke. Normalerweise kann ein Kehrichtfahrzeug zwischen 8 und 10 Tonnen Kehricht aufnehmen, bei FSTS-Touren hingegen nur 2 Tonnen.

Die letzte Container-Analyse hat gezeigt, dass das FSTS-System entweder voll und ganz verstanden und umgesetzt wird, oder gar nicht. Die Container sind also entweder mustergültig oder sehr schlecht befüllt (siehe Fotos in Abb. 3.12). Von den 75 analysierte Containern wurden deren 12, d.h. 16 % fehlerhaft, d.h. mit blauen Kehrichtsäcken der Stadt Bern oder Fremdmaterial befüllt. Die binäre Verteilung der Wertstoffgehalte der einzelnen Säcke, zeigt sich also auch bei den Containern.

### 3.4 Beprobung von Quartiersammelstellen

Im Rahmen von zwei Analysetagen wurde die Wertstoffqualität von Recyclingfraktionen (Glas, Alu- und Weissblechdosen, Papier und PET) aus drei Quartiersammelstellen erfasst.



Abb. 3.14: Impressionen von der Quartiersammelstellen-Beprobung. Von oben rechts im Uhrzeigersinn: Glas – Alu- und Weissblechdosen – PET - Papier und kl. Kartons.

Analysiert wurden folgende Mengen:

- Glas: 5'830kg
- PET-Getränkeflaschen 341kg
- Alu-/Weissblechdosen und Kleinmetalle 497kg
- Papier und kleine Kartons 1'064kg

In Tab. 3.4 und Abb. 3.15 sind die Zielstoffanteile aller beprobten Fraktionen dargestellt. Vor allem Glas weist mit 99% einen sehr hohen Wert auf.

Tab. 3.4: Anteil an Zielstoff je Quartiersammelstellenfraktion.

Quartiersammelstelle Fraktion [%]	Glas	PET-Getränke- flaschen	Alu-/Weissblech- dosen und Klein- metalle	Papier und kl. Karton
Glas	99.2%	1.9%	2.2%	0.2%
PET-Getränkeflaschen	0.0%	73.3%	0.2%	0.2%
Alu-Weissblechdosen und Kleinmetalle	0.2%	0.4%	86.8%	0.1%
Kunststoffe gemischt	0.0%	14.6%	0.8%	0.4%
Papier und kl. Karton	0.0%	1.2%	0.0%	92.7%
Garten- und Küchenabfälle, Food-Waste	0.1%	4.3%	1.3%	0.8%
Kehricht	0.4%	4.3%	8.6%	5.7%

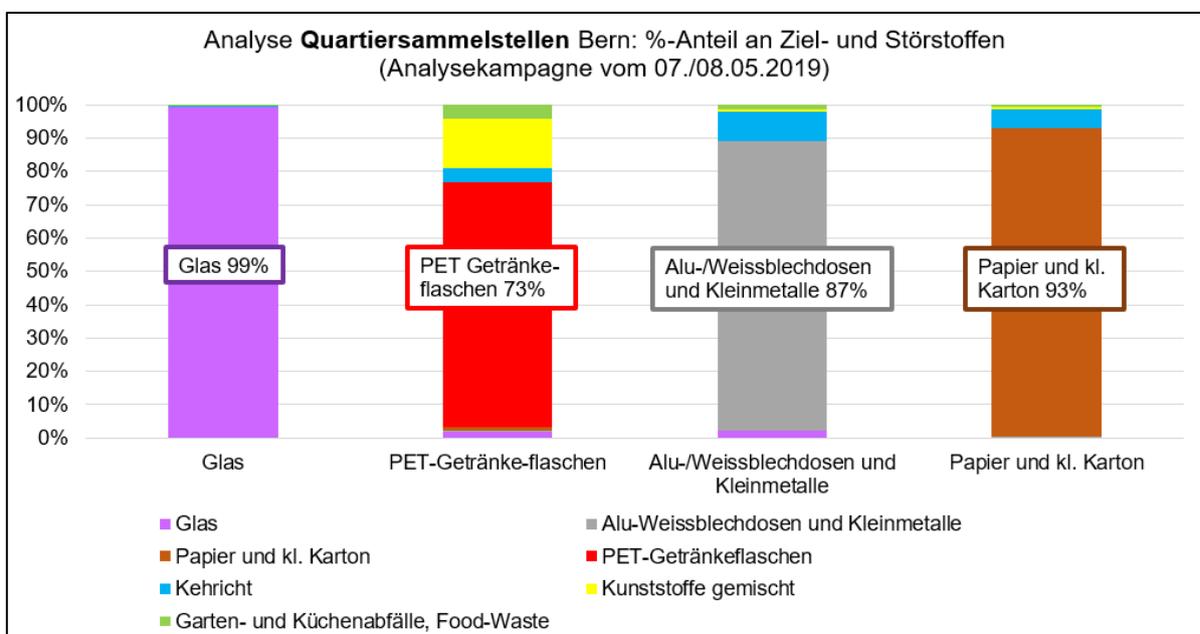


Abb. 3.15: Auswertung der Quartiersammelstellen- Beprobung: Zielstoffgehalt und Anteil an Störstoffen der vier Fraktionen Glas, PET-Getränkeflaschen, Alu-Weissblechdosen und Kleinmetall sowie Papier und Karton.

Von allen Sammelsystemen weisen die Fraktionen PET-Getränkeflaschen und Alu-Weissblechdosen & Kleinmetall die geringste Reinheit auf. Vor allem die PET-Getränkeflaschen-Sammlung fallen mit einem Zielstoffanteil von 73% negativ auf. Folgende Störstoffe tragen hauptsächlich zur Verunreinigung dieser beiden Fraktionen bei:

Bei den Metalldosen:

Kehricht v.a. Verpackungen und Spraydosen.

Bei den PET-Getränkeflaschen:

Gemische Kunststoffe wie PE-Flaschen (Getränke und Kosmetika), Putzmittelflaschen, Folien, Lebensmittelverpackungen.

### 3.5 Analyse der Brennpunkt-Container

Analysiert wurde bei dieser Beprobung der Inhalt von neuen 770l- Brennpunktcontainern.



Abb. 3.16: Impressionen von der Analyse der Brennpunkt-Container.

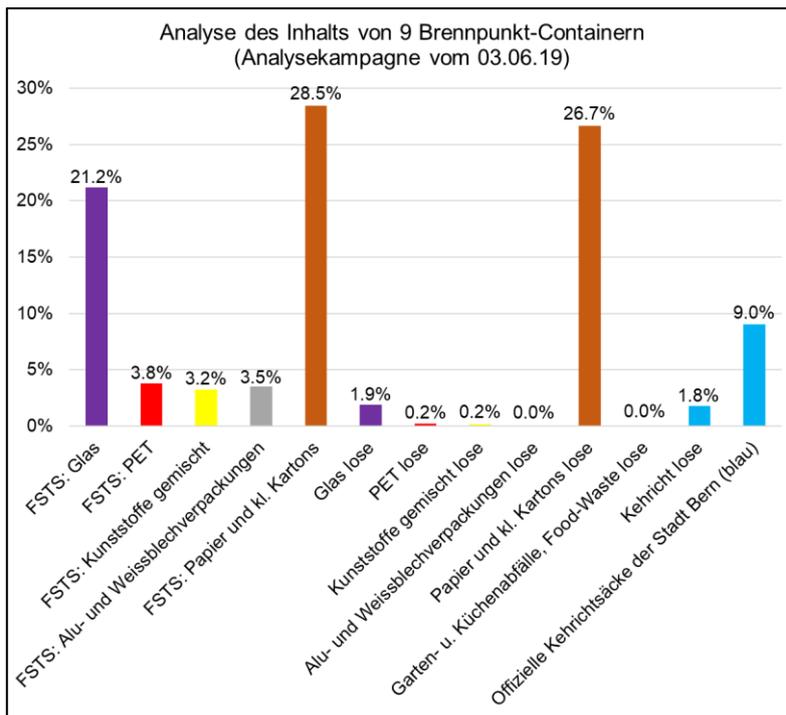


Abb. 3.17: Zusammensetzung der Brennpunkt-Container. Der Anteil an FSTS-Säcken beträgt 60%, d.h. zu 40% enthalten diese Container Reststoffe (systemfremde Säcke, Kehrichtsäcke oder loses Material), das nicht in die Container gehören würde. Das Papier stellt mir über 25% den Hauptteil des losen Materials dar.

Wie den Bildern in Abb. 3.16 und der Grafik in Abb. 3.17 zu entnehmen ist, enthalten diese Container neben blauen Kehrichtsäcken sehr viel loses Papier. Nach dem Entfernen der FSTS-

Säcke und einem Grossteil des Papiers, bleibt ein Gemisch aus Papier und Glasscherben zurück.

Wie in Abb. 3.18 dargestellt ist, weisen auch die FSTS-Säcke aus den Brennpunkt-Containern einen hohen Zielstoffgehalt auf. Einzige die Fraktionen PET-Getränkeflaschen und Alu-/Weissblechdosen fallen mit 85% resp. 77% Zielstoffgehalt leicht ab. Der hauptsächliche Störstoff ist bei den PET-Getränkeflaschen die Fraktion Kunststoffe gemischt und bei den Alu-/Weissblechdosen Kehrlicht.

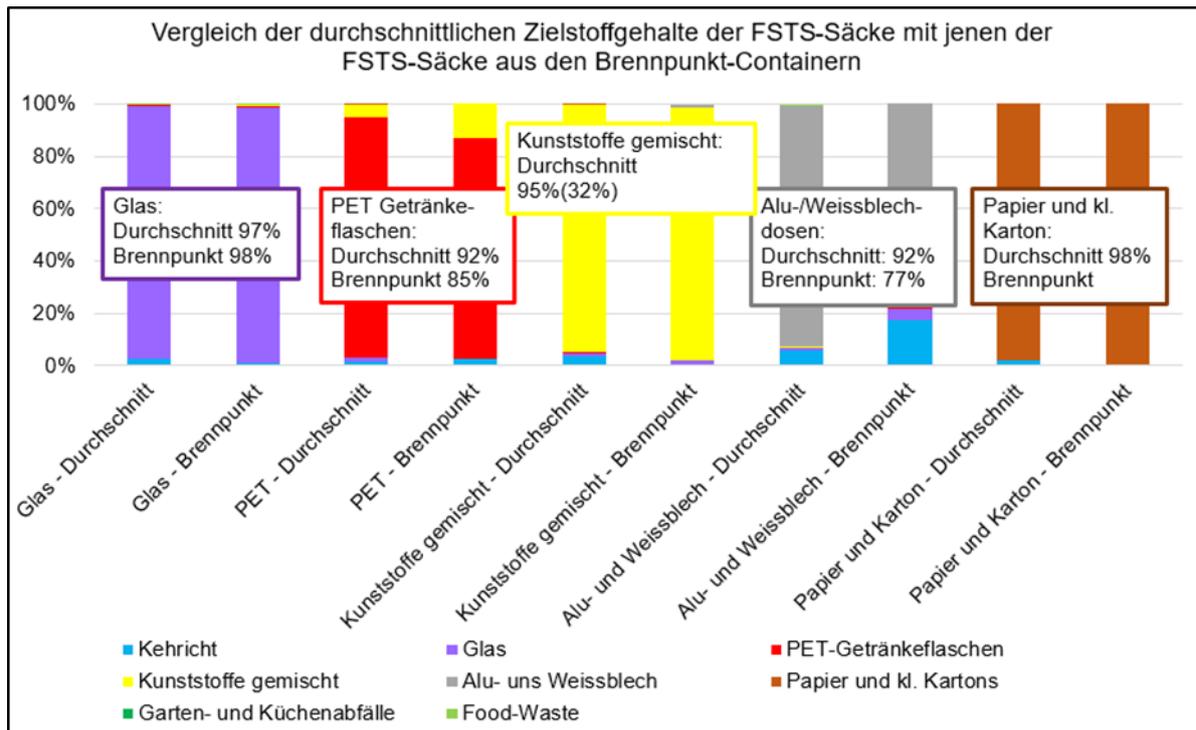


Abb. 3.18: Vergleich der durchschnittlichen Zielstoffgehalte der FSTS-Säcke mit jenen der FSTS-Säcke aus den Brennpunkt-Containern. Zu beachten gilt, dass sich der verwertbare Anteil beim Kunststoffsack auf Hohlkörper und Folien beschränkt.

### 3.6 Beprobung der Restfraktion 3



Abb. 3.19: Impressionen von der Reststoff-Beprobung.

Die Analyse der Restfraktion umfasste die Beprobung von fünf 770l – Containern. Die Restfraktion bestand nur aus losem Material (Restfraktion 3, siehe Erklärungen auf Seite xi und xii).

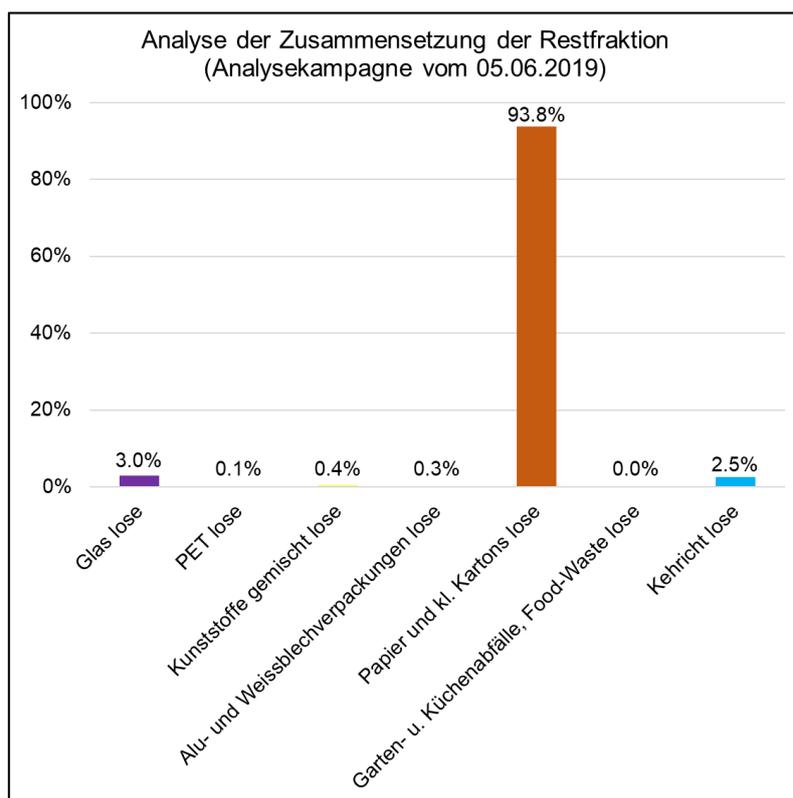


Abb. 3.20: Die Restfraktion 3 besteht fast ausschliesslich aus Papier (Anteil von 93.8%), welches mit Glassplintern durchsetzt ist.

Die Beprobung hat ergeben, dass die Restfraktion 3 hauptsächlich aus Papier und Glasscherben bestand (Abb. 3.20). Ab Mai 2019 wurde sie von AlpaBern der Papier/Karton-Fraktion zugeteilt. AlpaBern betreibt eine Anlage, die ein Gemisch aus Papier und Karton sortiert und

erzeugt dadurch verschiedene handelsfähige Zwischenprodukte. Das Papier geht an die Firma Perlen Papier AG und die Karton-Fraktion wird an die Firma Model geliefert oder nach Deutschland oder Österreich exportiert. Diese schweren Glasscherben aus der Restfraktion gelangen momentan in die Karton-Fraktion.

## 4 Diskussion und Fazit

In diesem Kapitel werden die eingangs vorgestellten Hypothesen aufgegriffen und kurz bewertet. Anschliessen dazu, folgt eine ausführliche Diskussion aller Resultate.

### Hypothese 1: Einfluss der "kollektiven Separatsammlung" auf die Zusammensetzung des verbleibenden Kehrichts

Durch das FSTS-System gelangen weniger Wertstoffe in die Kehrichtsäcke und die Menge an Kehrlicht wird reduziert.

- Diese Hypothese liess sich nicht überprüfen, weil neben dem FSTS-System auch andere Einflussgrössen wie z.B. die Jahreszeit, die Witterung bei der Beprobung oder die Arbeitsweise der Sortiermannschaft auf das System wirken.

### Hypothese 2: Einfluss auf das Gewicht der Kehrichtsäcke

Die Kehrichtsäcke werden schwerer, weil im Versuchssperimeter neu auch Kunststoffe im Kunststoff-FSTS-Sack gesammelt werden können. Kunststoffe sind in der Regel voluminös aber leicht und haben daher ein geringes Schüttgewicht.

- Nein, die in der Branche bekannte Durchschnittsdichte von 4.4 kg / 35 Liter Kehrichtsack konnte bestätigt werden. Möglicherweise wurde die erwartete Zunahme des Kehrichtsackgewichts aufgrund der separat erfassten spezifisch leichten Kunststoffe durch eine Verringerung des Kehrichtsackgewichts infolge einer ebenfalls besseren Erfassung von spezifisch schwerem Glas kompensiert.

### Hypothese 3: Qualität der FSTS-Fraktionen

Der durchschnittliche Wertstoffgehalt der FSTS-Säcke ist gleich hoch wie jener der bestehenden Sammelsysteme z.B. der Quartiersammelstellen.

- Diese Hypothese wurde bestätigt.

### Hypothese 4: Missbrauch der Wertstoffsäcke zur Kehrlichtentsorgung

Personen, welche das FSTS-System nicht verstehen oder akzeptieren, befüllen die FSTS-Säcke absichtlich oder unabsichtlich mit Kehrlicht statt mit Wertstoffen.

- Nein, auch FSTS-Säcke aus Brennpunktcontainern erreichen beim Glas, den gemischten Kunststoffen und dem Papier / kl. Kartons gleich hohe Zielstoffgehalten wie der Durchschnitt. Bei den PET-Getränkflaschen und den Alu-/Weissblechdosen liegt dieser Wert lediglich 7% resp. 15% tiefer.

### Hypothese 5: Handhabung der FSTS-Container

Die FSTS-Container werden ausschliesslich mit FSTS-Säcken befüllt (und nicht mit Kehrichtsäcken oder Fremdstoffen).

- Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Neben den FSTS-Säcken enthalten die Container zum Teil viel loses Papier / Karton und Glasscherben.

### Hypothese 6: Handhabung der Säcke

Die FSTS-Säcke werden von der Bevölkerung korrekt zugeschnürt und erreichen die Sortieranlage in gutem Zustand.

- Diese Hypothese trifft auf einen Teil der FSTS-Säcke zu. Bis auf einen Teil der Papier-Säcke werden die Säcke von der Bevölkerung gut zugeschnürt. Die Glas-Säcke werden zwar gut verschlossen, jedoch auf dem Weg zur Sortieranlage beschädigt.

## **4.1 Kehrichtsäcke**

Die Kehrichtsäcke enthielten im Schnitt 56% Kehricht, 13% Food-Waste, 10% Garten- und Küchenabfälle sowie 10% Kunststoffe. Zusätzlich waren auch Glas, PET-Getränkeflaschen, Alu- und Weissblechverpackungen sowie Papier und Karton in kleinen Mengen Teil des Kehrichtsacks.

Eine Frage, die es im Rahmen der Kehrichtanalyse zu überprüfen galt, war, ob das FSTS-System einen Einfluss auf die Zusammensetzung des Kehrichts hat. Im Verlauf der Analyse stellte sich heraus, dass sich diese Frage nicht beantworten lässt, weil neben dem FSTS-System auch folgende Einflussgrössen auf das System wirken:

- Jahreszeit: Anfall an Gartenabfällen und Bierdosen ist im Sommer und Herbst höher.
- Genauigkeit in der Arbeitsausführung und Motivation der Sortiermannschaft: Wie genau wurden die Säcke aussortiert resp. wie schnell wurde ein ganzer Sack dem Kehricht zugeordnet? War ein Sack mit Food-Waste durchtränkt, wurde er rasch dem Kehricht zugeordnet und nicht genau aussortiert.
- Witterung: Die letzte Analyse fand im Regen statt, wodurch das Papier nass und schwer wurde und sich Wasser in den Containern ansammelte. Vor allem bei spezifisch leichten Fraktionen wie PET und Alu-/Weissblechdosen hatte dies einen Einfluss.
- Veränderungen innerhalb des Nullversuchssperimeters: Einige Liegenschaften schieden im Verlauf des Pilotversuchs aus oder stellten an den Analysetagen keinen Kehricht bereit.

Überdies standen den Teilnehmern des FSTS-Projekts nicht nur die Entsorgungswege Kehrichtsack und Wertstoffsäcke zur Verfügung, sondern nach wie vor auch die Quartiersammelstellen. Eine differenzierte Bilanzierung dieses komplexen und volatilen Systems war folglich nicht mit vertretbarem Aufwand möglich. Es ist jedoch anzunehmen, dass ein nicht geringer Anteil separat gesammelten Wertstoffen aus der früheren Kehrichtfraktion abgezweigt wurde (und nicht aus den Quartiersammelstellen). Vermutlich hat sich also der Recyclinganteil in den pilotierten Stadtkreisen erhöht.

Analysiert wurde neben der Zusammensetzung auch die Verteilung der Nominalvolumina der eingesammelten Kehrichtsäcke (Anteil 17l- vs. 35l- vs. 60l- vs. 110l Säcke). Im Verlauf des Pilotversuchs kam es bei der Kehrichtentsorgung zu einer leichten Verschiebung von grossen Säcken hin zu 17 Liter-Säcken. Obschon die Datengrundlage dünn ist, kann diese Verschiebung ein Hinweis dafür sein, dass die Versuchsteilnehmer mehr Abfall rezyklierten, dadurch weniger Kehricht anfiel und folglich auf kleinere Säcke zurückgegriffen wurde.

Zusätzlich wurde untersucht, wie schwer die Kehrichtsäcke im Durchschnitt sind. Die branchenübliche Annahme von 4.4 kg pro 35 Liter Sack konnte bestätigt werden. Hypothese 2 hat sich folglich nicht bewahrheitet. Weder beim Anteil an spezifisch leichten Kunststoffen im Kehrichtsack, noch beim Anteil an spezifisch schwerem Glas, war eine nennenswerte Veränderung durch die Einführung des FSTS-Piloten messbar.

## 4.2 FSTS-Säcke

Der Zielstoffanteil war mit 91.9% bis 97.8% bei den FSTS-Säcken aller Fraktionen unerwartet hoch und liegt bei einem Vergleich mit schweizweiten Daten im Bereich bestehender Separatsammel-Systeme. Es sei angemerkt, dass der Anteil an derzeit als rezyklierbar geltendem Kunststoff (d.h. Hohlkörper v.a. PE-Flaschen und Folien) beim Kunststoff-FSTS-Sack lediglich bei 31.7% lag. Der übrige Kunststoff (z.B. Hartplastik, Styropor, Fleisch- und Käseverpackungen) aus diesen Säcken gelangte in thermische Verwertungsprozesse.

Es muss beachtet werden, dass die angegebenen Werte für die Zielstoffqualität des Farbsack-Trennsystems nur bedingt auf die ganze Stadt übertragbar sind. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass überwiegend recyclingaffine Personen am Pilotversuch teilgenommen haben, was zu einer Verzerrung der Stichprobe führen kann. Hilfreich war in Bezug auf diese Problematik die Beprobung der Brennpunkt-Container. Diese Container lagen bezüglich der Zielstoffqualität der gesammelten Fraktionen am unteren Ende des Spektrums. Die Analysen haben allerdings ergeben, dass die FSTS-Säcke aus Brennpunkt-Containern beim Glas (98%), den gemischten Kunststoffen (97%) und dem Papier / kl. Kartons (100%) einen gleich hohe Zielstoffgehalt wie jene aus der durchschnittlichen Stichprobe erreichen. Bei den PET-Getränkflaschen (85%) und den Alu-/Weissblechdosen (77%) liegt dieser Wert mit 7% resp. 15% ein bisschen tiefer. Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass das FSTS-System auch bei einer stadtweiten Einführung von einem Grossteil der Bevölkerung verstanden und umgesetzt wird.

Nicht bei allen Wertstoffen ist eine Verunreinigung der Zielstofffraktion gleich heikel. Die beiden Fraktionen Glas und Alu-/Weissblechverpackungen lassen sich sehr gut aufbereiten, Störstoffe lassen sich z.B. durch Dichtesortierung oder eine Wirbelstromabscheidung einfach aussortieren. Anders sieht es bei den PET-Getränkeflaschen, der Fraktion Kunststoffe gemischt oder der Fraktion Papier/kl. Kartons aus. Beim Recycling der PET-Getränkeflaschen ist das Ziel, das PET-Granulat wieder im Lebensmittelbereich einzusetzen. Bereits ein Fehlwurf, z.B. eine Putzmittelflasche, kann eine ganze Charge PET-Getränkeflaschen ruinieren. Bei der Fraktion Kunststoffe gemischt werden aktuell nur die Hohlkörper und die Folien einem stofflichen Recycling zugeführt. Die Abtrennung der übrigen Kunststoffe wird von AlpaBern manuell getätigt, geeignete Sortieranlagen fehlen in der Schweiz bis dato weitgehend. Generell kann die Ökoeffizienz von gemischten Kunststoffsammlungen in Frage gestellt werden<sup>9</sup>. Bei der Fraktion Papier/kleine Kartons wird eine Abtrennung von Störstoffen problematisch, sobald das Papier, resp. der Karton durchnässt wird. Viele Störstoffe z.B. Putzlappen bleiben dann am Papier kleben und lassen sich nicht mehr durch gängige Verfahren (Ballistik-Sichter, Siebung) aussortieren.

Neben dem durchschnittlich sehr hohen Zielstoffgehalt der Fraktionen, hat die Analyse der FSTS-Säcke ergeben, dass der Zielstoffgehalt der Farbtrennsäcke binär verteilt ist. Ein Grossteil der Säcke war korrekt befüllt, ein sehr kleiner Teil z.B. zu 90% mit Kehricht ("Ausreisser"-Säcke). Basierend auf dieser Erkenntnis wird ein Sortierverfahren vorgeschlagen, welches auf zwei Merkmalen basiert: Sortierung nach Sackfarbe und einem Zusatzmerkmal wie Gewicht oder Leitfähigkeit (Abb. 4.1). Dadurch werden die "Ausreisser"-Säcke eliminiert und ein noch höherer Wertstoffgehalt der Recyclingfraktion erreicht.

---

<sup>9</sup> Siehe dazu: Bunge&Dinkel, UMTEC&Carbotech, Kurve (Kunststoff Recycling und Verwertung) - Abschlussbericht, 2017

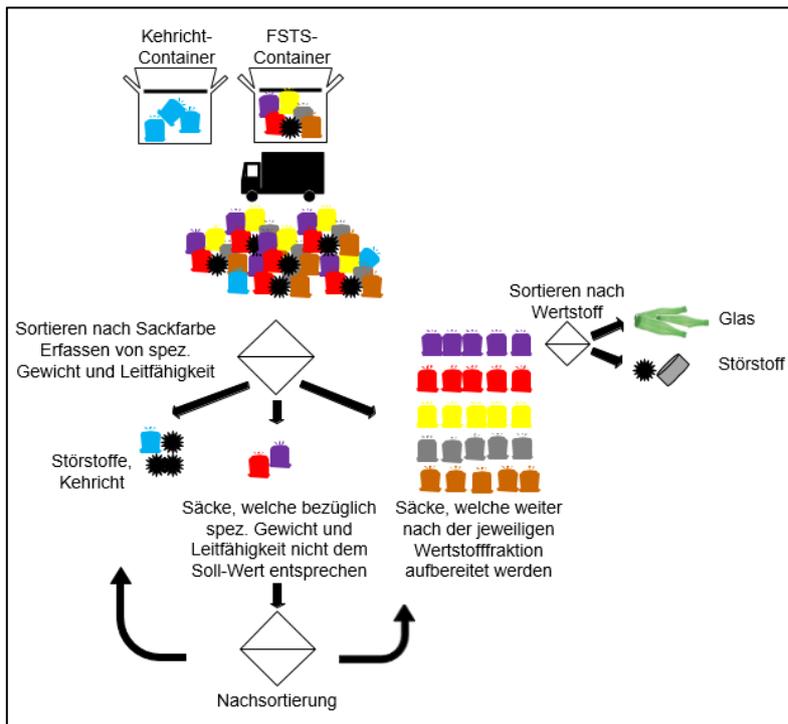


Abb. 4.1: Beispiel eines mehrstufigen Sortierverfahrens für die FSTS-Säcke.

### 4.3 Container

Die letzte Container-Analyse hat gezeigt, dass das FSTS-System entweder voll und ganz verstanden und umgesetzt wird, oder gar nicht. Die Container sind also entweder mustergültig oder unsachgemäß befüllt. Von den 75 analysierte Containern wurden deren 12 Stück, d.h. 16 % fehlerhaft befüllt. Die binäre Verteilung der Zielstoffgehalte der einzelnen Säcke zeigt sich also auch bei den Containern.

### 4.4 Restfraktion und loses Papier/Karton

Die Restfraktion bestand in der letzten Projektphase hauptsächlich aus Papier und Glasscherben und wurde ab Mai 2019 der Papier- und Karton – Fraktion von AlpaBern zugewiesen und dort nachsortiert. Da der Anteil an Papier und Karton aus dem FSTS-System, verglichen mit den stadtweiten übrigen Anlieferungen (Papier aus der herkömmlichen Papiersammlung und aus dem Gewerbe), sehr klein war, fiel die Verunreinigung durch die Glasscherben nicht ins Gewicht und ging in der Masse unter. Wird das FSTS-System allerdings stadtweit umgesetzt, sind solche Verdünnungseffekte nicht mehr möglich. Gemäss AlpaBern, sollen die Glasscherben bei einer stadtweiten Umsetzung durch ein vorgelagertes Feinsieb aus dem Papier- und Kartonstrom aussortiert werden.

Im letzten Teil des Pilotprojekts, d.h. im Juli und August 2019, soll das Papier und der Karton lose in den Containern gesammelt werden, also vermischt mitlosem Material, das entweder

einzelnen eingeworfen wurde oder aus aufgeplatzten FSTS-Säcken stammt. Gemäss ersten Vorversuchen von ERB ist eine lose Papiersammlung dennoch grundsätzlich möglich. Bis durch Beprobungen gezeigt werden kann, dass der Störstoffgehalt innerhalb der Papier- und Kartonfraktion nicht übermässig hoch ist, wird die lose Papiersammlung als kritisch eingestuft. Das UMTEC geht davon aus, dass die Qualität der Papier- und Kartonfraktion verschlechtert wird und der Sortieraufwand bei AlpaBern folglich erheblich höher werden wird. In diesem Zusammenhang wird auf die Trennerfolgskurve in Abb. 4.2 hingewiesen. In diese Grafik ist die Konzentratqualität gegen das Zielstoffausbringen aufgetragen. Die Begriffe werden im Folgenden kurz erklärt:

*Konzentratqualität:* Die Konzentratqualität besagt, wie hoch der Anteil an Zielstoff in einer aufbereiteten oder gesammelten Fraktion ist. Anders gesagt: Wie hoch ist der Anteil an Papier in der Papierfraktion? Der Anspruch der Industrie liegt heute beim Papier bei einer Konzentratqualität von 97%.

*Ausbringen ("Ausbeute"):* Das Zielstoffausbringen im Konzentrat besagt, welche Menge des im Aufgabenmaterial enthaltenen Zielstoffs letztlich ins Konzentrat gelangt. Oder anders gesagt: Wie viel des gesamthaft anfallenden Papiers gelangt in die Papierfraktion und geht nicht im Verlauf des Prozesses verloren?

Optimiert werden kann nicht beides: je höher die geforderte Konzentratqualität ist, desto tiefer fällt das Zielstoffausbringen aus. Wird die Qualität des Aufgabematerials (Gemisch aus Papier und Karton) verringert, z.B. durch Glasscherben, gilt für die Anlage neu die schwarz gestrichelte Linie in Abb. 4.2. Soll die Konzentratqualität für Papier und Karton gleich hoch bleiben, wird sich die Zielstoffausbringung verkleinern (Verschiebung von Punkt zu Stern in Abb. 4.2). Steht das Zielstoffausbringen im Vordergrund, d.h. wird der Output an Papier und Karton maximiert, wird sich die Konzentratqualität verschlechtern, wenn der Zielstoffgehalt des Aufgabenmaterial abnimmt (Papier verunreinigt mit Glassplittern). Eine Verunreinigung des gesamten Papiers resp. Kartons mit Glassplittern kann daher problematisch sein. Der Toleranzbereich der Konzentratqualität wird durch die Abnehmer des Zielstoffs (für Papier die Perlen AG, für Karton die Firma Model) vorgegeben.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass der Prozess durch einen sorgfältigeren Umgang mit den Glassäcken optimiert wird. Während dem Pilotversuch stürzten die Glassäcke mehrmals aus einer Höhe von einem bis drei Meter zu Boden, z.B. beim Kippvorgang aus dem Kehrlichtfahrzeug oder auf der Förderbandanlage. Dadurch wurden die Säcke beschädigt und das Glas wanderte in den losen Materialstrom aus Papier und Karton.

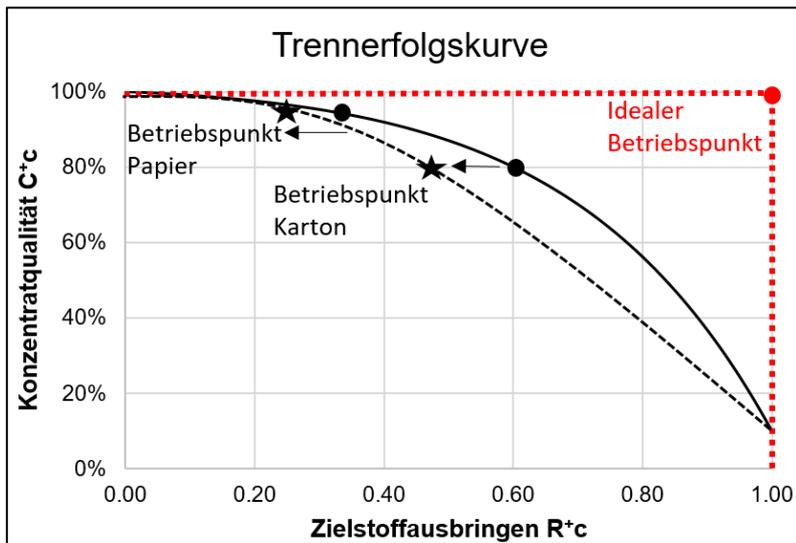


Abb. 4.2: Vergleich einer idealen Trennbarkeitskurve (rote gestrichelte Linie) mit einer Trennung auf einer Anlage bei den verschiedenen Betriebspunkten für Papier und Karton (Trennerfolgskurve). Auf der y-Achse ist die Konzentratqualität aufgetragen und auf der x-Achse das Zielstoffausbringen im Konzentrat.

#### 4.5 Fazit

Aus unserer Sicht hat das Farbsack- Trennsystem gegenüber dem *status quo* folgende Vorteile:

- Hoher durchschnittlicher Zielstoffanteil von 92 – 98% bei allen FSTS-Sacktypen.
  - Besser oder gleich gut wie der Zielstoffanteil bestehender Sammelsysteme (z.B. Quartierentsorgungs- Sammelstellen).
  - Auch FSTS-Säcke aus Brennpunktcontainern erreichen beim Glas, den gemischten Kunststoffen und dem Papier / kl. Kartons gleich hohe Zielstoffgehalten wie der Durchschnitt. Bei den PET-Getränkelaschen und den Alu-/Weissblechdosen liegt dieser Wert lediglich 7% resp. 15% tiefer. Eine verschlechterte Sammelqualität bei den Dosen wird durch die ohnehin notwendige mechanische Aufbereitung (Magnet- und Wirbelstromabscheidung) des Sammelgutes auf einfache Weise abgedeckt.
- Wenig Kehrriechsäcke und wenig loser Fremdstoff in den FSTS-Containern.
- Konstanz im Vollstrom, das heisst konstanter Rücklauf der FSTS-Säcke aller Fraktionen über die gesamte Dauer des Pilotversuchs hinweg.
  - Eine Konstanz im Vollstrom deutet auf eine gute Akzeptanz bei den Teilnehmenden hin.
- Dynamisches System bezogen auf die Menge an anfallendem Wertstoff.

- Quartiersammelstellen haben je Zielfraktion ein definiertes, fixes Volumen, 5m<sup>3</sup> für Glas, 5m<sup>3</sup> für PET-Getränkeflaschen und 5m<sup>3</sup> für Alu- / und Weissblechdosen. Das FSTS-System erlaubt eine dynamische Abfuhr, angepasst an die tatsächlich anfallende Menge an Wertstoffen.

Es muss beachtet werden, dass die angegebenen Werte für die Zielstoffqualität des Farbsack-Trennsystems nur bedingt auf die ganze Stadt übertragbar sind. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass überwiegend recyclingaffine Personen am Pilotversuch teilgenommen haben, was zu einer Verzerrung der Stichprobe führen kann. Hilfreich war in Bezug auf diese Problematik die Beprobung der Brennpunkt-Container. Diese Container lagen bezüglich der Zielstoffqualität der gesammelten Fraktionen am unteren Ende des Spektrums. Unsere Analysen haben allerdings ergeben, dass die FSTS-Säcke aus den Brennpunkt-Containern ähnlich hohe Zielstoffgehalte wie jene aus der durchschnittlichen Stichprobe erreichen. Folglich ist davon auszugehen, dass das FSTS auch bei einer stadtweiten Einführung von einem Grossteil der Bevölkerung verstanden und umgesetzt wird.

Da die lose Papiersammlung im Rahmen des FSTS erst im letzten Teil des Pilotversuchs eingeführt werden soll, liegen bis dato noch keine belastbaren Analyseergebnisse zur Zielstoffqualität vor. Wird Papier lose gesammelt, vermischt es sich mit den übrigen losen Stoffen der Restfraktion, d.h. vor allem mit Glasscherben. Gemäss ersten Vorversuchen von ERB (Entsorgung und Recycling Stadt Bern) ist eine lose Papiersammlung dennoch grundsätzlich möglich. Bis durch Beprobungen gezeigt werden kann, dass der Störstoffgehalt innerhalb der Papier- und Kartonfraktion nicht übermässig hoch ist, wird die lose Papiersammlung als kritisch eingestuft.

Der FSTS-Sack für gemischte Kunststoffe enthält gut 30% stofflich verwertbare Kunststoffe (d.h. Hohlkörper und Folien). Die übrigen Kunststoffe (z.B. Hartplastik, Styropor, Fleisch- und Käseverpackungen) aus diesen Säcken gelangen in thermische Verwertungsprozesse. Durch die thermische Verwertung in Zementwerken oder KVA werden fossile Brennstoffe ersetzt, wodurch ebenfalls ein ökologischer Nutzen entsteht.

## 5 Anhang

### A1 Fraktionen, welche im Rahmen des FSTS-Projekts unterschieden werden

<b>1. Kehricht</b>	
Verbundwaren	Möbel, Bretter mit Nägel, nichtelektronische Haushaltsgeräte, Spielzeuge, Schuhe und Teppiche aus gemischten Materialien, Windeln, Binden, Watte, Tampons, Schmuck, Werkzeug, Ordner, Fotos, Besteck
Verbundverpackungen	TetraPaks, Tiefgefrierpackungen, Plastik-Aluverbund (Fondue-, Rösti-, Kaffeeverpackungen, Zigarettenverpackungen, Plastiktuben
Textilien	Kleider, Natur- und synthetische Fasern, Lumpen, Strümpfe, Tischtücher, Servietten, Putztücher, Vorhänge, Schnur, Rucksäcke und Taschen
Mineralien	Katzenstreu, Steine, Keramik, Porzellan, Staub (inkl. Staubsaugersäcke), Asche, Hygrokügelchen
Organische Naturprodukte	Holz, Leder, Fell, Haare, Kohle, Kork
Elektrik/Elektronik	Elektrogeräte wie Haushaltsgeräte, Radios, Lampen, Uhren, Bügeleisen, Föhn, Rasierapparat, Elektrozahnbürste, Computerteile, elektr. Spielzeug, Mobiltelefone, Kabel, alle Arten von Batterien etc.
Übriges Glas	Trinkgläser, Brillenglas, Fensterglas, Glühbirnen, Kompakt-Leuchtstofflampen, Neonröhren
Übriges Papier	Papiertaschentücher, Haushaltspapier, Papiertischtücher, -servietten
Sonderabfälle	Medikamente, Fiebertermometer, Farbkübel, Spraydosen, Gebinde mit Fotoentwickler, Altöl, Spritzmittel etc.
<b>2. Glas</b>	
Glasflaschen	Getränke- und Konservengläser (kein Flachglas) →Hohlkörper: Getränkeflaschen, Nahrungsmittelflaschen (Saucen etc.), Vasen, Krüge, Parfümflaschen, Verpackungsglas (mit Schraubverschluss)

<b>3. PET</b>	
PET-Getränkeflaschen	Analog zu PRS
<b>4. Kunststoffe gemischt</b>	
4.1 Kunststoffbehälter (Hohlkörper)	PE- und PP-Flaschen (Shampoo, Putzmittel, Milch, Öl, Essig, Sirup, Waschmittel, Pflanzendünger), Kübel und Kanister (Öl, Benzin, Farbe)
4.2 Tetra-Pak	Getränkeverpackungen
4.3 PET-Getränkeflaschen	Analog PRS
4.4 Folien	Folien, Kunststoff und FSTS-Säcke, Luftpolsterfolien
4.5 Übrige Kunststoffe	Tiefziehschalen (Fleisch), Joghurt-Becher, Vakuumverpackungen (Käse), Blister (Keks-Verpackungen)

Bemerkung: Die 5 Unterfraktionen werden nur beim FSTS-Kunststoffsack unterschieden. Bei der Auswertung der Kehrichtsäcke wird nur "Kunststoff gemischt" als Fraktion ausgezählt.

<b>5. Alu- und Weissblechverpackungen</b>	
Nichteisenmetalle	Alu-Getränkedosen, Aluminiumfolien, Tuben, Behälter, Deckel, Tierfutterschalen und -dosen, Messing- und Kupferteile
Eisenmetalle	Weissblechdosen, Deckel, Schrauben, Nägel, Gusseisen-, Teflon- und Chromstahlpfannen
<b>6. Papier und kl. Kartons</b>	
Papier	Zeitungen, Zeitschriften, Bücher, Werbebroschüren, Kataloge, Hefte, Schreib- und Kopierpapier, Papiersäcke- und -taschen, Briefumschläge
Karton	Schachteln, unplastifizierte Verpackungen (z.B. Schuh- oder Pizzaschachteln), Wellpappen, WC-Rollen, Eierschachteln
<b>7. Spezial: Biogene Abfälle 1</b>	
Garten- und Rüstabfälle	Baum-, Strauch- und Rasenschnitt, Rüstabfälle
<b>8. Spezial: Biogene Abfälle 2</b>	
Nahrungsmittel „Food-Waste“	Lebensmittel (auch verpackt)

## A2 Bsp. Glas: Benötigte Anzahl Säcke bei einer stadtweiten Einführung

Exemplarisch für Glas wird im Folgenden eine Abschätzung der Anzahl benötigter Säcke pro Jahr bei einer stadtweiten Einführung vorgenommen.

### Basisdaten

Mittleres Gewicht der FSTS-Glassäcke:	3.23kg mit einer Reinheit von 96.8%
Stadt-Bevölkerung Bern:	142'575 Personen
Swiss Recycling: Glas pro Person pro Jahr:	43 kg <sup>10</sup>
AlpaBern: Gewicht Glassäcke 01.09.18-31.05.19:	47'579 kg (47.6 Tonnen in 9 Monaten)

### Ansatz 1: Daten von Swiss Recycling als Basis

Gewicht Glas der ganzen Stadt Bern pro Jahr:	6'130'725 kg (6'131 Tonnen)
Gewicht Glassäcke ganze Stadt Bern pro Jahr	6'333'394 kg (inkl.3.2% Fremdmaterial)
<b>Anzahl FSTS-Glassäcke pro Jahr stadtweit</b>	<b>1'960'803 Glassäcke stadtweit pro Jahr (2 Mio Glassäcke)</b>

### Ansatz 2: Daten der Mengenerfassung von AlpaBern als Basis

Geschätzte Teilnehmerzahl FSTS:	1000 Haushalte, d.h. 1'800 Personen
AlpaBern: Gewicht Glassäcke 01.09.18-31.05.19:	47'579 kg (47.6 Tonnen in 9 Monaten)
Gewicht Glassäcke, Hochrechnung auf ein Jahr	63'439 kg (63.4 Tonnen)
Anzahl FSTS-Glassäcke pro Person und Jahr	10.9 Säcke
Stadt-Bevölkerung Bern:	142'575 Personen
<b>Anzahl FSTS-Glassäcke pro Jahr stadtweit</b>	<b>1'554'068 Glassäcke stadtweit pro Jahr (1.6 Mio Glassäcke)</b>

Die beide Berechnungsansätze ergeben, dass pro Jahr bei einer stadtweiten Einführung des FSTS-Systems 1.6 bis 2 Mio Glassäcke benötigt werden.

---

<sup>10</sup><http://www.swissrecycling.ch/wissen/kennzahlen-und-quoten/>

### **A3 Drehbücher aller Analysetage**

Alle 9 Drehbücher werden als separates Dokument auf der beiliegenden Daten-CD abgespeichert.