



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik



BIOMASSE
suisse

Relevanz verschiedener Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von Grüngut aus Haushalten

Bachelorthesis zur Erlangung des akademischen Grades
«Bachelor of Science FHNW in Energie-
und Umwelttechnik»

vorgelegt von
Raphael Dietiker

BSc Energie- und Umwelttechnik

Aarau, 08. August 2022



Bachelorthesis

EUT-P6-22FS-DR

Relevanz verschiedener Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von Grüngut aus Haushalten

Dokumentname:	Bachelorthesis EUT-P6-22FS-DR
Auftraggeberin:	Uebersax Annelies, Co-Geschäftsführerin Verband Biomasse Suisse
Experte:	Andreas Utiger, Geschäftsführer KEWU AG
Projektleiter:	Dietiker Raphael
Projektcoach:	Prof. Dr. Petar Mandaliev
Vertiefungsverantwortung:	Prof. Dr. habil. Claus-Heinrich Daub
Studiengang:	Energie- und Umwelttechnik
Version:	Final
Abgabedatum:	August 2022

Management Summary

Der Grundgedanke der Kreislaufwirtschaft fördert die getrennte Sammlung von biogenen Abfällen. In der Schweiz ist es gesetzlich gefordert, diese Abfälle zu sammeln und zu verwerten. Vergärungs- und Kompostieranlagen produzieren organischen Recyclingdünger, der in der Landwirtschaft und im Gartenbau eingesetzt werden kann. Bei der Vergärung kann zusätzlich erneuerbare Energie in Form von Gas oder Strom hergestellt werden. Als grösster Input für die Verwertungsanlagen sind national die kommunalen Sammeldienste verantwortlich. Die biogenen Abfälle aus privaten Haushalten machen dabei einen Grossteil aus. Der Fremdstoffanteil in den Produkten aus Vergärungs- und Kompostierprozessen stellt ein Problem für Anlagenbetreiber und Natur dar. Ein Teil der Abfallentsorgerinnen und Abfallentsorger versteht nicht, dass mit der Fremdstoffentfernung im Grüngut grosse manuelle und technischen Herausforderungen einher gehen. Sie entsorgen anstelle von biogenem Material Fremdstoffe wie Kunststoffe etc. im grünen Kübel. Trotz der Entwicklung der Digitalisierung und Automatisierung werden im Alltag der Anlagenbetreiber nach wie vor Fremdstoffe in biogenen Abfällen von Hand aussortiert. Auf diese Weise kann ein Weiterleiten von Fremdstoffanteilen in die nachfolgenden Prozesse nicht absolut ausgeschlossen werden. Kompostier- sowie Vergärungsanlagen sind daher auf einen möglichst sauberen Input angewiesen.

Im Projektauftrag wurden die gemeinsam definierten Ziele der Projektbeteiligten festgehalten. Einerseits soll die Relevanz der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von separat gesammeltem Grüngut aus Haushalten untersucht werden. Andererseits sollte die Wirksamkeit einzelner Massnahmen zur Reduktion des Fremdstoffanteils im Grüngut aus Haushalten quantifiziert sein. Als letztes Ziel wurde die Aussprache einer Empfehlung für Gemeinden, Hausverwaltungen und andere Stakeholder zur Minimierung des Fremdstoffgehalts von Grüngut definiert.

Für die Erarbeitung der notierten Ziele wurde das Konzept der Daten-Triangulation angewendet. Das Verfahren sollte ermöglichen, ein grundlegendes Verständnis der Fremdstoffproblematik im separat gesammeltem Grüngut aus Haushalten aufzunehmen und vermitteln zu können. Zu diesem Zweck wurden zum einen Literaturberichte analysiert und nach wissenschaftlichen Publikationen gesucht. Zum anderen wurde eine statistische Analyse mit Daten des Grüngutscanners vollzogen, welche vom Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (Zeba) zur Verfügung gestellt wurden. Alle diese Ergebnisse wurden miteinander verglichen und zu einer finalen Schlussfolgerung zusammengeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen die relevanten Einflussfaktoren für die Reduktion der Fremdstoffe im Grüngut auf. Die bereits bekannten Faktoren wurden ergänzt und ihre Bedeutsamkeit bewertet. Ebenfalls wurde die Möglichkeit einer Optimierung für alle Einflussfaktoren abgeschätzt. Die wissenschaftlichen Berichte und Publikationen zeigten, dass die Öffentlichkeitsarbeit der zuständigen Anlagenbetreiber und verantwortlichen Organisationen ein grosses Einflusspotential auf den Fremdstoffanteil hat. Auch kann in Zukunft die technische Detektion von Fremdstoffen dafür verwendet werden, die Hot-Spots der Verschmutzungen ausfindig zu machen, um die Verursacher allenfalls zu sanktionieren. Die Literatur sagt zusätzlich aus, dass Küchenabfälle einen Einfluss auf die Fremdstoffe haben. Diese Tatsache konnte mithilfe der definierten These (durch die steigende Gesamtmenge an biogenen Abfällen durch Grünabfälle im Frühling wird der Anteil Fremdstoffe kleiner) und der statistischen Analyse der Datensätze 2020 im Kanton Zug belegt werden. Man kann Küchenabfälle in den

Kompostier- und Vergärungsanlagen verbieten, ökologisch betrachtet ist dies aber weniger sinnvoll und steht im Widerspruch zur gesamtheitlichen Kreislaufwirtschaft. Weitere Einflussfaktoren Sammelart von Grüngut, Gebühren, Kontrollen, Häufigkeit der Entleerungen und BAW-Säcke haben nach der Recherche zusätzlich einen hohen bis mittleren Einfluss. Gemeinden oder Anlagenbetreiber sind dabei allerdings mit hohen finanziellen Aufwänden konfrontiert. Die Bevölkerungsdichte, Siedlungsstruktur und Jahreszeiten haben ebenso einen starken Einfluss auf die Fremdstoffproblematik, diese Faktoren können jedoch von aussen nicht optimiert werden. Das Behältervolumen, die Gartengrösse/Verbreitung der Eigenkompostierung, die Bevölkerungsart und das Bruttoeinkommen haben z. T. auch höhere Einflüsse, jedoch können sie wie die vorherig genannten Einflussfaktoren nicht einfach geändert werden. Die Literatur wie auch die Datenauswertung im Kanton Zug sagen aus, dass Grünabfälle für die fluktuierende Menge an Grüngut verantwortlich, hingegen für die Fremdstoffanteile vernachlässigbar sind.

Aufgrund der Untersuchungen wird empfohlen, dass Kantone, Gemeinden und andere Akteure die Implementierung eines gesamtheitlichen Informationssystems zur Förderung des Wissensstands der Bevölkerung zum Verwertungsprozesses der biogenen Abfälle realisieren sollten. Durch ein kantonsübergreifendes Konzept könnten die finanziellen Mittel durch eine Vereinheitlichung der durchzuführenden Arbeiten beachtlich gesenkt werden. Zusätzlich wäre es ein Meilenstein, wenn auf nationaler Ebene Massnahmen für eine Unterstützung getätigt werden könnten. Weiterhin sollte auch die Entwicklung der digitalen Instrumente zur Fremdstoffauslese im Inputmaterial beobachtet und gefördert werden. Wenn die Anwendungen durch eine Häufung der aktuellen Projekte günstiger werden, können die Anschaffungs- und Betriebskosten auch von einzelnen Gemeinden oder Entsorgungsunternehmen getragen werden. Die Detektionen im Inputmaterial vor der Verwertung sind sinnvoll, da dies die relevante Schnittstelle im Entsorgungsprozess ist, welche den Übergang der Abfälle von Privatpersonen zu Anlagenbetreibern beschreibt. An diesem Punkt können Belohnungen wie auch Sanktionen ausgesprochen werden.

1 Inhaltsverzeichnis

Management Summary	2
1 Inhaltsverzeichnis.....	4
2 Definitionen & Abkürzungen	7
3 Ausgangslage	9
3.1 Problemstellung	9
3.2 Einflussfaktoren.....	9
3.3 Kompostierung & Vergärung	10
3.3.1 Geschichtlicher Hintergrund	10
3.3.2 Kompostier- und Vergärungsverfahren.....	11
3.3.3 Anlagentypen	12
3.4 Herkunft der biogenen Abfälle	13
3.5 Qualitätsvorschriften für Abfälle & Produkte	13
3.5.1 Schweiz.....	14
3.5.2 Deutschland	15
3.5.3 Österreich	18
3.6 Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von biogenen Abfällen	18
3.7 Fremdstoffarten.....	18
3.8 Fremdstoffquellen	18
3.8.1 Gartenbau und Landschaftspflege.....	19
3.8.2 Industrie und Gewerbe	19
3.8.3 Landwirtschaftliche Quellen.....	19
3.8.4 Kommunale Sammelstellen und Sammlungen	19
3.9 Detektion.....	20
3.9.1 Detektionssysteme	20
3.9.2 Auswertung der Detektionen	23
3.10 Qualitätskontrollen bei biogenen Abfällen.....	24
3.10.1 Kategorisierung und Klassifizierung von Fremdstoffen	24
3.10.2 Chargenanalyse	26
3.11 Informationskampagnen.....	27
3.11.1 Stop Plastic	27
3.11.2 Aktion Biotonne Deutschland	27
3.12 Systeme zur Sammlung von Speiseresten	27
3.12.1 GastroVert.....	27

4	Methodik	30
4.1	Daten-Triangulation.....	30
4.1.1	Berichte.....	30
4.1.2	Wissenschaftliche Publikationen	30
4.1.3	Datenauswertung des Grüngutscanners	30
4.1.4	Statistische Analyse der Daten des Grüngutscanners	31
5	Resultate & Diskussion.....	32
5.1	Berichte.....	32
5.1.1	Kompostierung – Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung.....	32
5.1.2	Bioabfallkompostierung – Verfahren und Verwertung.....	33
5.1.3	Bericht zum Projekt Fremdstoffuntersuchung im Grüngut, Jahr 2001	34
5.1.4	Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen.....	35
5.1.5	Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen	36
5.1.6	Problem Kunststoffe/Fremdstoffe in Bioabfall und Kompost	37
5.1.7	COSEDEC	38
5.1.8	Bericht zu Fremdstoffsortierungen 1. Halbjahr 20.....	39
5.2	Wissenschaftliche Publikationen	40
5.2.1	Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia.....	40
5.2.2	Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste.....	41
5.3	Statistische Analyse der Daten des Grüngutscanners	43
5.3.1	Messunsicherheiten	43
5.3.2	Datenauswertung Kanton Zug.....	45
5.3.3	Datenauswertung Murten, Kanton Freiburg.....	55
5.3.4	Zusammenfassung der statistischen Analyse.....	56
5.4	Zusammenführung der Resultate	57
5.4.1	Relevanz der Einflussfaktoren.....	58
5.4.2	Detaillierte Angaben über Einflussfaktoren.....	60
6	Schlussfolgerung.....	64
7	Empfehlung.....	65
8	Danksagung.....	66
9	Verzeichnisse.....	67
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	67

9.2	Tabellenverzeichnis.....	70
9.3	Literaturverzeichnis	70
10	Ehrlichkeitserklärung.....	75
11	Anhang.....	76
11.1	Datenauswertung Kanton Zug.....	76
11.1.1	Grüngutscanner	76
11.1.2	Punktediagramme einzelne Faktoren	77
11.1.3	Punktediagramme alle Faktoren.....	79
11.1.4	Korrelationen.....	80
11.2	Datenauswertung Murten, Kanton Freiburg.....	86
11.2.1	Grüngutscanner	86

2 Definitionen & Abkürzungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Definitionen und Abkürzungen erläutert, welche in dieser Arbeit verwendet werden. Die Definitionen sind in der ersten Tabelle ersichtlich, die Abkürzungen in einer zweiten.

Tabelle 1: Definitionen der verwendeten Fachbegriffe

Begriff	Definition
Abfälle	«Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Inhaber entledigt, oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse steht.» Definition nach Art. 7, Abs. 6 USG (Fedlex, 2022b)
Biogene Abfälle	«Als "biogene Abfälle" werden Abfälle pflanzlicher, tierischer oder mikrobieller Herkunft bezeichnet. Der Begriff "biogene Abfälle" umfasst eine Vielzahl von Abfällen, welche verschiedene Wirtschaftsbereiche und Branchen wie beispielsweise die Landwirtschaft, die Lebensmittelindustrie, den privaten Konsum und die Energieproduktion betreffen. Diese breite Palette zeigt, dass der Begriff "biogene Abfälle" auch im Zusammenhang mit zahlreichen Aktivitäten und entsprechend vielen Akteuren steht.» (Bundesamt für Umwelt, 2019a)
Bioabfälle	«Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können, einschliesslich Abfälle zur Verwertung mit hohem organischen Anteil tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder an Pilzmaterialien, Bodenmaterial ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen gehört nicht zu den Bioabfällen; Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben, sind keine Bioabfälle.» (Bundesamt für Justiz, 2022b)
nativ organischer Abfall	Identische Bezeichnung für Bioabfall. (Bundesamt für Justiz, 2022b)
Grünabfälle	«Als Grünabfälle werden pflanzliche Abfälle bezeichnet, die im Wesentlichen aus Gemeinden, privaten Haushalten und der Landwirtschaft stammen. Zu den Grünabfällen zählen beispielsweise Baum-, Strauch- und Rasenschnitt oder Abfälle aus der Pflege von Strassenrändern und Parks.» (Bundesamt für Umwelt, 2019b)
Grüngut	Identische Bezeichnung für Grünabfälle. (Bundesamt für Umwelt, 2019c)
Kerngebiet	«Kerngebiete dienen vorwiegend der Unterbringung von Handelsbetrieben sowie der zentralen Einrichtungen der Wirtschaft, der Verwaltung und der Kultur.» (Bundesamt für Justiz, 2022a)
Charge	«Eine Fahrzeugladung Biogut (biogene Abfälle) wird als 'Charge' bezeichnet.» (Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2017)

Gärgut flüssig	«Gärgut flüssig entsteht aus gewerblichen Biogasanlagen, die nach dem Vergärvorgang eine Trennung von festem und flüssigen Gärrest vornehmen. Das Gärgut flüssig hat einen relativ hohen Gehalt an schnell wirksamem Stickstoff, der den Pflanzen kurzfristig einen Wachstumsschub verleiht.» (Biomasse Suisse, 2022)
Gärgut fest	«Gärgut flüssig entsteht aus gewerblichen Biogasanlagen, die nach dem Vergärvorgang eine Trennung von festem und flüssigen Gärrest vornehmen. Es hat eine gute Aufbauwirkung für Humus im Boden.» (Biomasse Suisse, 2022)
Gärmist	«Gärmist entsteht, wenn Feststoffe aus der Gärgülle entfernt werden. Es hat ähnliche Eigenschaften wie Gärgut fest.» (Biomasse Suisse, 2022)

Tabelle 2: Definitionen der verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Definition
BAW	Biologisch abbaubare Werkstoffe, Zertifizierung nach EN 13432 oder DIN 54900 (Bundesamt für Umwelt et al., 2008)
Zeba	Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (Schweizerischer Bundesrat, 2016a)
BHKWs	Blockheizkraftwerke
ARAs	Abwasserreinigungsanlagen
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage

3 Ausgangslage

3.1 Problemstellung

Um die Kreislaufwirtschaft zu fördern ist es gesetzlich gefordert, biogene Abfälle separat zu sammeln zu verwerten. Jährlich fallen in der Schweiz ca. 1'400'000 t biogene Abfälle an, welche einer Verwertungsart zugeführt werden. Die Verwertungsmethoden sind durch Kompostierung oder Vergärung gegeben. Mehr als die Hälfte von diesen Abfällen kommen aus den Separatsammlungen der Gemeinden (ca. 750'000 t) (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022). Durch die Vergärung kann aus biogenen Abfällen erneuerbare Energie gewonnen werden. Blockheizkraftwerke (BHKWs) wandeln das gewonnene Gas zu Strom um oder das Gas kann aufbereitet und ins bestehende Gasnetz eingespeist werden. Als Produkt der Vergärung und Kompostierung fällt zusätzlich hochwertiger organischer Recyclingdünger an, welcher im Bereich Landwirtschaft und Gartenbau zum Einsatz kommt. Neben der Hauptaufgabe der Versorgung der Pflanzen, besitzt der Dünger auch die Eigenschaft durch den organischen Anteil Humus aufzubauen. Dadurch wird die Bodenbeschaffenheit verbessert und die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöht und es werden Erosionen und Krankheiten an Pflanzen verhindert und Rekultivierungen gefördert. Es existiert eine Reihe von Qualitätsvorschriften für die Herstellung von Düngern, die gemäss Anhang 2.6 der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) in Bezug auf Grenzwerte für Schadstoffe und Fremdstoffe eingehalten werden müssen. Nur unter diesen Bedingungen dürfen Dünger in den Handel gebracht und angewendet werden. Auch die ursprünglichen Stoffe für die Herstellung der Dünger dürfen keinen negativen Einfluss auf die Qualität des Endproduktes haben. (Uebersax, 2022)

Der grösste Teil der Produkte findet seine Verwendung in der Landwirtschaft in Form von Dünger und Bodenverbesserer. Dabei werden die Stoffe grossflächig im Boden verteilt. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig eine möglichst hohe Qualität der Recyclingprodukte zu gewährleisten, um die Böden vor Fremd- und Schadstoffen zu schützen. (Uebersax, 2022)

Somit muss bereits bei den gesammelten biogenen Abfällen darauf geachtet werden, dass der Fremdstoffanteil möglichst niedrig gehalten werden kann. So wird die Qualität der wiederverwerteten Produkte gesichert. Obwohl vielerorts durch maschinelle oder visuelle Verlesung Fremdstoffe aus dem Inputmaterial, Kompost und den Vergärungsprodukten entfernt werden, ergeben zahlreiche Fremdstoffanalysen, dass ein gewisser Restfremdstoffgehalt in den meisten Prozessprodukten nicht umgangen werden kann. Um eine bessere Qualität des Komposts und Düngers zu erzielen ist deshalb eine möglichst reine, separate Sammlung von biogenen Abfällen eine Notwendigkeit. Die Kundschaft der Anlagenbetreibern aus dem Landwirtschafts- und Gartenbaubereich, wie auch Privatpersonen, sind auf ertragsreiche und saubere Böden angewiesen. Genau aus diesem Grund pflegt die ganze Kompostier- und Vergärbranche grosses Interesse an einer möglichst fremdstoffarmen Sammlung von Grüngut aus Haushalten. (Uebersax, 2022)

3.2 Einflussfaktoren

Die folgende Tabelle ist eine Vereinfachung der aktuellen Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von separat gesammeltem Grüngut aus Haushalten gemäss heutigem Wissens- und Erfahrungsstand. Die Faktoren wurden aus der Projektskizze resp. Projektauftrag übernommen. Um die aktuelle Problematik von Fremdstoffeinträgen im Grüngut zu verkleinern, muss

einerseits mehr Wissen zum Thema verfügbar sein. Andererseits muss die Relevanz zu den aufgeführten Einflussfaktoren abgeschätzt werden. (Uebersax, 2022)

Tabelle 3: Aktuelle Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von separat gesammeltem Grüngut aus Haushalten, Quelle: Eigene Darstellung nach Liste Projektauftrag, Uebersax, 2022, S. 2 & 3

Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt
Bevölkerungsdichte
Populationsdichte
Bruttoeinkommen
Bevölkerungsart
Siedlungsstruktur
Art der biogenen Abfälle
Grünabfälle (Laub, Stauch- oder Rasenschnitt)
Speisereste
Rüstabfälle
BAW-Säcke
Sammelart
Private Container
Sammelstelle
Kontrollen
Öffentlichkeitsarbeit
Technische Detektionen Fremdstoffe
Gebühren
Jahreszeit

3.3 Kompostierung & Vergärung

3.3.1 Geschichtlicher Hintergrund

Das Verfahren der Kompostierung ist schon seit Jahrtausenden bekannt. Als die Bevölkerung der Erde sesshaft wurde, hat man durch das Bewirtschaften von Boden und Tier erkannt, dass Mist und Abfälle die Ernteerträge steigern können. Im Römischen Reich nutzte man bereits Pflanzen- und Tierabfälle, um den Boden wieder mit mehr Nährstoffen zu versorgen. Das Wissen über die Technik der Kompostierung blieb über mehrere hundert Jahre erhalten. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts wurde der Vorgang der Kompostierung durch mineralische Dünger überwiegend abgelöst, im 20. Jahrhundert jedoch durch die Kompostierung in Grossanlagen wieder zum Leben erweckt. Die erste Kompostieranlage in Europa wurde im Jahr 1932 in Holland eröffnet. Die Einführung einer Sammlung für biogene Abfälle liess jedoch noch ein paar Jahre auf sich warten. Mitte des 20. Jahrhunderts beschäftigte sich die Wissenschaft regelmässig mit der Thematik und es konnten vermehrt Grossanlagen in Betrieb genommen werden. Durch den Platzbedarf und die erkannten Gefahren der unkontrollierten Gasproduktion, erkannte man die Kompostierung als gemachte Alternative zur Deponierung an. Mitte der Neunziger Jahre wurden die Getrenntsammlung von biogenen Abfällen in den meisten europäischen Ländern vorgeschrieben und somit weiter durchgeführt. (Wagner & Illmer, 2004)

Das Verfahren der Vergärung wurde Ende des 19. Jahrhunderts entdeckt, als Wissenschaftler den anaeroben Vorgang nutzten, um Abwasser der Kanalisation aufzubereiten. Anfang des

20. Jahrhunderts entstanden so die ersten Abwasserreinigungsanlagen (ARAs), welche mit Fermentern ausgerüstet waren. Das gewonnene Gas wurde anfangs jedoch noch als Abfall betrachtet und in die Luft abgegeben. Vor dem Ende des ersten Weltkrieges wurde den Anlagenbetreibern der positive Effekt ihrer Handlungen bewusst und das Gas konnte in das bestehende Gasnetz eingespeist werden. Nach dem zweiten Weltkrieg befassten sich die ersten Landwirte mit dieser Verwertungsart, da der benötigte Klärschlamm in den ARAs den Abfällen auf dem Bauernhof sehr ähnlich war. In diesen Jahren wurden die ersten landwirtschaftlichen Vergärungen von Gülle und Mist durchgeführt. Da jedoch parallel dazu der Erdölboom erfolgte, waren solche Anlagen schnell nicht mehr konkurrenzfähig. Die Entwicklung stagnierte bis zur Energiekrise im Jahr 1973. Durch die sehr hohen Ölpreise wurde die Biogasgewinnung plötzlich wieder interessanter. Das Zeitalter der heutigen Vergärungsanlagen begann so Anfangs der Neunzigerjahre. (BIO POWER GmbH, 2022)

Seit 1979 nimmt die Anzahl von Vergärungs- und Kompostieranlagen in der Schweiz kontinuierlich zu. Kompostieranlagen machen mit rund 70 % den grössten Teil aus, gefolgt von Co-Vergärungsanlagen mit 20 %. Die Entwicklung ist in Abbildung 1 visuell dargestellt.

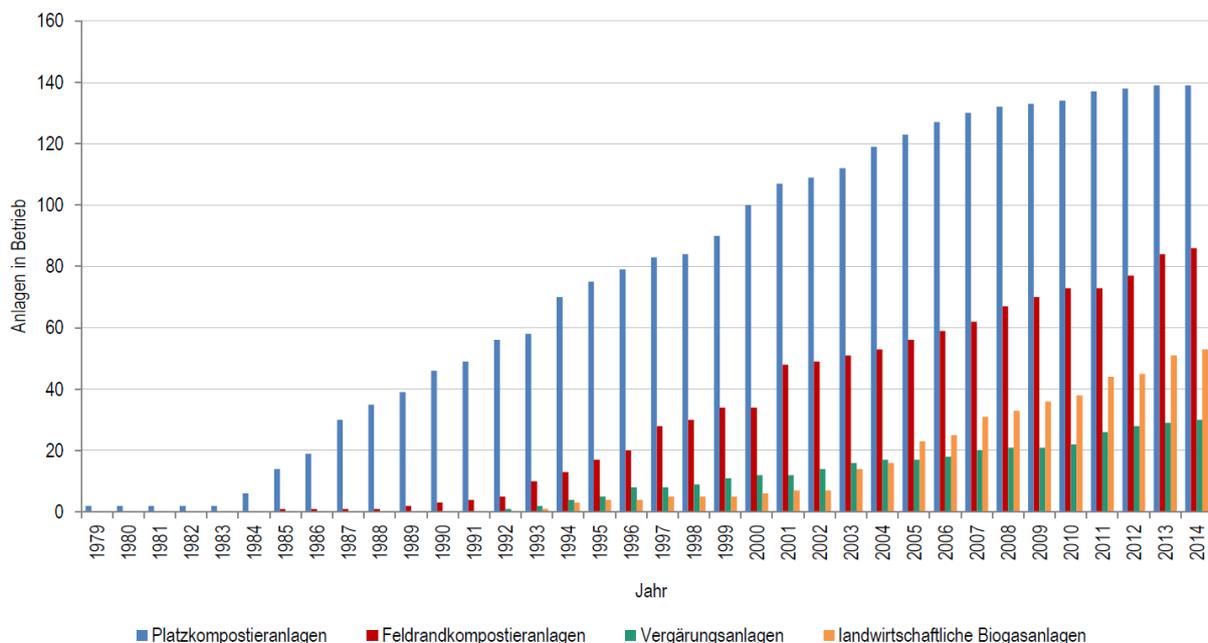


Abbildung 1: Übersicht der Anlagen-Inbetriebnahme nach Anlagentyp (von 1979 bis 2014),
Quelle: Mandaliev & Schleiss, 2016, S. 21

3.3.2 Kompostier- und Vergärungsverfahren

Als Definition des Kompostierverfahrens gilt die aerobe Behandlung von biogenen Abfällen. Das Ziel dabei ist die Umsetzung des organischen Materials in wiederverwendbaren Kompost oder Dünger. Beim Verfahren entsteht ein Rotteverlust von ca. 60 %, die verlorenen Festmasse finden sich in der Luft als Wasserdampf und Kohlendioxid wieder. (EPEA Internationale Umweltforschung GmbH, 2008)

Unter dem Begriff der Vergärung wird der Abbau von organischem Material durch mikroskopisch kleine Organismen verstanden. Der natürliche biologische Vorgang erfolgt im anaeroben Zustand (ohne Sauerstoff). Der Unterschied zum Kompostierverfahren ist die Freisetzung von Gasen, welche in einem zweiten Schritt energetisch genutzt werden können. Das gewonnene Biogas kann aufbereitet werden und ins bestehende Gasnetz eingespeist werden.

3.3.3 Anlagentypen

3.3.3.1 Sammel- und Umschlagplätze

Auf den Sammel- und Umschlagplätzen erfolgt hauptsächlich die erste Annahme von biogenen Abfällen. Sie werden dabei ein erstes Mal sortiert und bei Bedarf zerkleinert. Während der Lagerung erfolgt eine erste Gewichtsabnahme durch abfließendes Wasser und der Trocknung. Danach wird das Material zur weiteren Verarbeitung weggeführt. Auf Sammel- oder Umschlagplätzen erfolgt noch kein kontrollierter, biologischer Abbauprozess. (Mandaliev & Schleiss, 2016)

3.3.3.2 Feldrandkompostierung

In einem ersten Schritt wird für die Auslegung der biogenen Abfälle an Feldrändern eine Zerkleinerung durchgeführt. Ein Grüngutschredder zerschlägt das anfallende Material ein erstes Mal mit beweglichen Hämmern, um eine ausreichende Belüftung des Komposts zu gewährleisten. Anschliessend wird das Material verteilt. An landwirtschaftlichen Feldrändern werden Hügel, sogenannte Mieten angelegt. Mit einem Traktor muss der Kompost regelmässig umgesetzt werden, um eine ausreichende Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten. Fremdstoffe werden dabei mehrmals nach dem Umsetzen von Hand entfernt. (Mandaliev & Schleiss, 2016)

3.3.3.3 Platzkompostierung

Die Platzkompostierung ist die häufigste Variante der Kompostierverfahren. Eine offene Fläche ist unterteilt in mehrere Bereiche: Anliefer-, Zerkleinerungs-, Rotte- und Lagebereich. Auf einem wasserdichten Untergrund findet das kontrollierte, biologische Verfahren der Kompostierung statt (Mandaliev & Schleiss, 2016). Vor der Abgabe der finalen Produkte wie Kompost oder Flüssigdünger ist in den meisten Fällen eine Siebung üblich. (Bösch, 2021)

3.3.3.4 Hallen- und Boxenkompostierung

Als Hallen- oder Boxenkompostierung wird die bedeckte Kompostierung von biogenen Abfällen verstanden. In der Schweiz und Lichtenstein sind komplett bedachte Kompostieranlagen eher selten, meistens haben die Anlagen ein gedecktes Lager, welches für Fertigprodukte oder einzelne Fraktionen genutzt wird. Dabei sind die Umschlagplätze nicht bedeckt. Produkte wie Kompost für den Gartenbau oder gedeckten Anbau benötigen jedoch grosse überdachte Flächen. (Mandaliev & Schleiss, 2016)

3.3.3.5 Vergärung (industriell-gewerblich)

Die meisten Vergärungsanlagen verwenden einen gleichartigen Ansatz für die Verarbeitung von biogenen Abfällen. Sie unterscheiden sich jedoch in gewissen Parametern, welche für die Definition der Verfahren verantwortlich sind. Es gibt Flüssigvergärungsanlagen, welche darauf ausgelegt sind, Input mit einem Feststoffgehalt von maximal 15 % zu verarbeiten. Die Feststoffvergärungsanlagen verwerten Gemische mit einem Trockenanteil von bis zu 45 %. Es gibt auch diverse Anlagen, welche eine Kombination der beiden Verfahren anwenden. Aktuell sind in der Schweiz das Feststoffvergärungsverfahren (Verfahren Kompogas), das siloartige Fermenter System (DRANCO-Verfahren, Verfahren Velorga) und die Boxenvergärung (BEKON-Verfahren) relevant. (Mandaliev & Schleiss, 2016)

3.3.3.6 Co-Vergärung

Zur Herstellung von Biogas verwenden Co-Vergärungsanlagen flüssige Substrate, welche mit zerstückelten, festen biogenen Abfällen vermisch werden. Die Co-Vergärungsanlagen sind in der Schweiz weit verbreitet und sind auch unter landwirtschaftlichen Biogasanlagen bekannt. Je nach Inputmaterial entstehen unterschiedliche Produkte wie Hofdünger oder Recyclingdünger. (Mandaliev & Schleiss, 2016)

3.4 Herkunft der biogenen Abfälle

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) veröffentlichte im Jahr 2016 eine Studie über Kompostier- und Vergärungsanlagen (Mandaliev & Schleiss, 2016). Darin wurde eine Erhebung zur aktuellen Situation zur Herkunft der biogenen Abfälle in der Schweiz und Lichtenstein vollzogen. Als grösster Input der biogenen Abfälle werden wie in Abbildung 2 gezeigt, die kommunalen Sammeldienste angegeben, dichtgefolgt von Hofdünger. Die Grünabfälle aus dem Gartenbau machen knapp 20 % aus. Die biogenen Abfälle aus der Industrie machen nur 14 % aus. Durch diese Anteile wird ersichtlich, dass der Entsorgung per kommunale Sammeldienste grosse Beachtung geschenkt werden sollte, da dieser Sparte über ein Drittel der totalen biogenen Abfälle zugeschrieben werden.

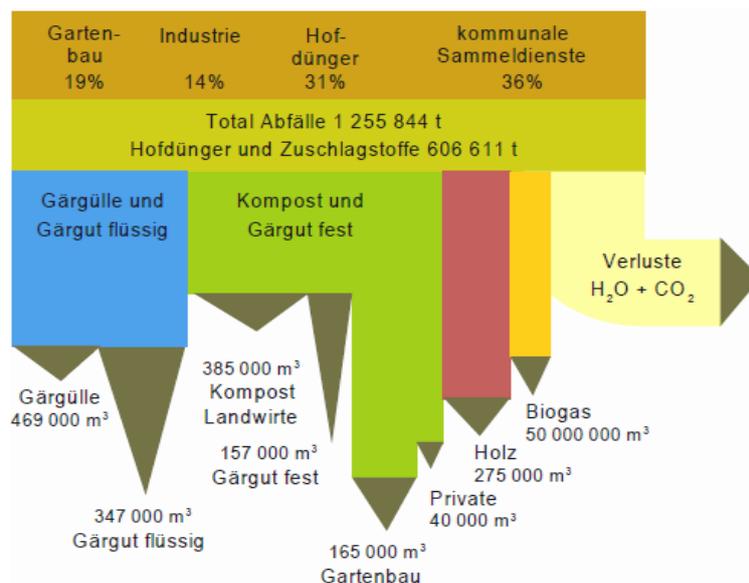


Abbildung 2: Generisches Massenflussdiagramm über die Herkunft von Abfällen und Hofdünger sowie Verwertung der Produkte
Quelle: Mandaliev & Schleiss, 2016, S. 22

3.5 Qualitätsvorschriften für Abfälle & Produkte

Seit es den Prozess der anthropogenen Kompostierung und Vergärung gibt, beschäftigen sich verantwortliche Personen mit dem Thema der Qualität des Sekundärstoffs. Ein Grossteil davon wird als hochwertiger organischer Recyclingdünger im Gartenbau und in der Landwirtschaft verwendet. Für die Verbesserung der Qualität von Kompost und Dünger wurden im Laufe der Zeit diverse Qualitätsvorschriften erlassen. Diese Vorschriften werden in Europa fortwährend kontrolliert, ergänzt und verschärft. Die Auflagen sind immer auf das Sekundärprodukt ausgerichtet, also das Output-Material, welches nach dem Verfahren der

Kompostierung oder Vergärung weiterverwendet wird. In den folgenden Abschnitten werden sowohl die Bodenschutzgesetzgebung als auch die Gesetzgebung für Kompost vorgestellt.

3.5.1 Schweiz

In der Schweiz sind verschiedene Verordnungen für die Aussprache von Qualitätsvorschriften von Produkten aus biogenen Abfällen zuständig. Für Anlagenbetreiber sind die Qualitätsanforderungen nach Anhang 2.6 der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) für das Endprodukt aktuell sehr relevant, nicht zuletzt wegen der definierten Anforderungen für Fremdstoffe im Kompost oder Gärgut (Siehe Kapitel 3.5.1.4, Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)).

3.5.1.1 Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBo)

Um gegen Belastungen im Erdreich vorzugehen und die langfristige Erhaltung des Bodens zu gewährleisten, wurde im Jahr 1998 die Verordnung über die Belastung des Bodens verabschiedet (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003). Sie definiert allgemeine Ziele zum Bodenschutz wie auch konkrete Handlungsanweisungen für Sanierungen und Überwachungen von Böden. Für Schwermetalle und organische Schadstoffe sind darin Richtwerte definiert. Die Verordnung wurde zuletzt am 12. April 2016 überarbeitet. (Schweizerischer Bundesrat, 2016b)

3.5.1.2 Stoffverordnung (StoV)

Die Grenzwerte für Schwermetalle im Kompost wurden am 09. Juni 1986 in der Stoffverordnung definiert. Des Weiteren waren Richtwerte für Kongenere (Dioxine, Furane etc.) notiert. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003)

Die Stoffverordnung wurde am 01. August 2005 aufgehoben und durch die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) (Siehe Kapitel 3.5.1.4) abgelöst. (Fedlex, 2022a)

3.5.1.3 Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (DüV)

In der Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (auch Düngerbuchverordnung (DüBV)), werden die Schadstoffgehalte von Düngern definiert. Es werden darin verschiedene Grenzwerte festgelegt. Für die Erarbeitung der DüBV wurden bereits Gespräche über eine einheitliche Regelung der Schadstoffbegrenzungen in einem gemeinsamen Dokument geführt. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003). In der Verordnung werden die verschiedenen Recyclingdünger Kompost, festes und flüssiges Gärgut, unverrottetes pflanzliches Material und Klärschlamm definiert (Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung, 2019). Das letzte Update erfolgte im Januar 2019. (Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung, 2019)

3.5.1.4 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)

In der Schweiz werden die Auflagen für den Fremdstoffgehalt in fertigen Produkten aus Kompostierung und Vergärung in der ChemRRV vorgegeben. Die Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen wurde im Jahr 2016 neu überarbeitet. Durch die Neuverfassung der

Abfallverordnung (VVEA) wurden die Grenzwerte in der ChemRRV angepasst und verschärft. Die ursprüngliche Auflage trat am 18. Mai 2005 in Kraft.

Die Ziffer 2.2 «Qualitätsanforderungen» präsentiert Vorgaben für organische Dünger, Recyclingdünger und Hofdünger:

Für Kompost und Gärgut gelten zusätzlich folgende Anforderungen für Fremdstoffe:

- a. Fremdstoffe (Metall, Glas, Altpapier, Karton usw.) dürfen höchstens 0,4 Prozent des Gewichts der Trockensubstanz betragen;
- b. der Gehalt an Alufolie und Kunststoffen darf höchstens 0,1 Prozent des Gewichts der Trockensubstanz betragen;
- c. der Gehalt an Steinen mit mehr als 5 mm Durchmesser soll möglichst niedrig sein, sodass die Qualität eines Düngers nicht beeinträchtigt wird.

(Schweizerischer Bundesrat, 2016, S.88)

Somit dürfen aktuell nur 0.5 % der Trockensubstanz in Kompost und Gärgut Fremd- und Kunststoffe sein. Ebenfalls ist der Gehalt an Aluminiumfolien und Kunststoffen auf max. 0.1 % der Trockenmasse zu begrenzen. Bis zur Einführung der Verschärfungen galt als Untergrenze für Fremdstoffe 2 mm, diese wurde aufgegeben und somit gilt es auch kleinere Fremdstoffe in die Analysen und Kontrollen aufzunehmen. (Schleiss, 2017)

3.5.2 Deutschland

3.5.2.1 Qualitätsvorschrift Kompost

Der Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V (ANS), veröffentlichte im November 1989 erstmals eine Qualitätsvorschrift für Produkte aus Kompostierung und Vergärung von separat gesammelten organischen Abfällen (Pfirter, S. 240). Darin wird eine sogenannte Grundqualität definiert, welche für Reb-, Acker- und Obstbau wie auch für Garten- und Landschaftsbau oder Baumschulen verwendet werden soll. Die Höchstqualität wird in einer separaten Qualitätsvorschrift präsentiert, welche für Kulturen unter Glas sowie Kultursubstrate angestrebt werden muss. Die Vorschriften beziehen sich auf (Pfirter, 1989, S. 241 bis 244):

- a) Hygiene
- b) In grösseren Konzentrationen unerwünschte Inhaltsstoffe
 - a. Ballaststoffe (unerwünschte Hart- und Weichstoffe wie Glas oder Plastik inkl. Metalle)
 - b. Schwermetalle
- c) Reife, Pflanzenverträglichkeit
- d) Reife Nitratnachweis
- e) Aktueller Wassergehalt
- f) pH-Wert
- g) Organische Masse
- h) Körnung
- i) Pflanzennährstoffe

Es wird ersichtlich, dass in diesen Jahren die Fremdstoffe im Grüngut noch unter Ballaststoffen bekannt waren. Im selben Band werden auch Qualitätskriterien definiert, welche die folgenden Punkte beachten (Pfirter, 1989, S. 243 bis 246):

1. Seuchenhygiene, Freiheit von keimfähigen Samen und Pflanzenteilen
2. Verunreinigungen
3. Steine
4. Pflanzenverträglichkeit
5. Rottegrad
6. Wassergehalt
7. Organische Substanz als Glühverlust
8. Sonstige Inhaltstoffe (Richtwerte für Schwermetalle und organische Umweltchemikalien)
9. Deklarationspflichtige Parameter
10. Umfang und Häufigkeit von Untersuchungen

Bei den Qualitätskriterien wird bereits der Gesamtgehalt an Verunreinigungen angesprochen. Der Kompost muss von «wahrnehmbaren Verunreinigungen» frei sein und darf höchstens 0.5 % der Trockensubstanz mit Verunreinigungen von > 2 mm beladen sein. Ebenfalls wird für Steine ein Limit definiert: Maximal 5 Gewichtsprozente. (Pfirter, 1989)

3.5.2.2 Bodenschutzgesetz (BBodSchG)

Für die Gesetzgebung Boden ist in Deutschland das Bodenschutzgesetz verantwortlich. Es wurde erstellt, um schädliche Bodenveränderungen zu minimieren und die Sanierung von Altlasten zu gewährleisten. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003)

3.5.2.3 Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)

Alle konkreten Handlungs- und Durchführungsbestimmungen des Bodenschutzgesetzes sind in der Bodenschutzverordnung notiert. In diesem Dekret werden Vorgaben für Metalle und organische Schadstoffe vorgegeben, ebenfalls werden auch Angaben über maximale Schadstofffrachten erlassen. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003)

3.5.2.4 Bioabfallverordnung (BioAbfV)

In Deutschland wurde die Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung) vom Gesetzgeber im Jahre 1998 eingeführt. Sie wurde mehrmals überarbeitet. (Umweltbundesamt, 2021)

Nach Artikel 4 (§ 4) in der Bioabfallverordnung (BioAbfV) ist im Absatz 4 der Anteil Fremdstoffe an der Trockenmasse vorgegeben:

«Der Anteil an Fremdstoffen, insbesondere Glas, Kunststoff, Metall, mit einem Siebdurchgang von mehr als 2 Millimetern darf einen Höchstwert von 0,5 von Hundert, bezogen auf die Trockenmasse des aufzubringenden Materials, nicht überschreiten.» (Bundesamt für Justiz, 1998, S. 7)

Novelle

Im Jahr 2021 wurde ein Entwurf «Novelle der Bioabfallverordnung» vom Bundesumweltministerium diversen Verbänden und Fachkreisen zur Vorschau vorgelegt. Die Stellungnahme der

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. enthält realistische Anpassungen, welche anhand des folgenden Texts vorgestellt werden.

In Abbildung 3 sind verschiedene Werte zur Qualitätsprüfung ersichtlich. Direkt bei der Anlieferung der biogenen Abfälle wird ein Schwellenwert definiert. Dieser darf nach Vorschlag nur 3 % Fremdstoffe enthalten mit Partikelgrösse über 2 mm in der Frischmasse. Für die Aufnahme dieser Werte können Sichtkontrollen wie auch Chargenanalysen durchgeführt werden. Wenn der Schwellenwert nicht eingehalten werden kann, hat das Verarbeitungsunternehmen ein Recht auf Rückgabe. Der Kontrollwert wird auf Stufe Aufbereitung aufgenommen. Dabei sollte die Frischmasse den Wert von 1 % Kunststoff nicht überschreiten. Als Grenzwert wird anschliessend die Kontrolle des Endproduktes benannt.

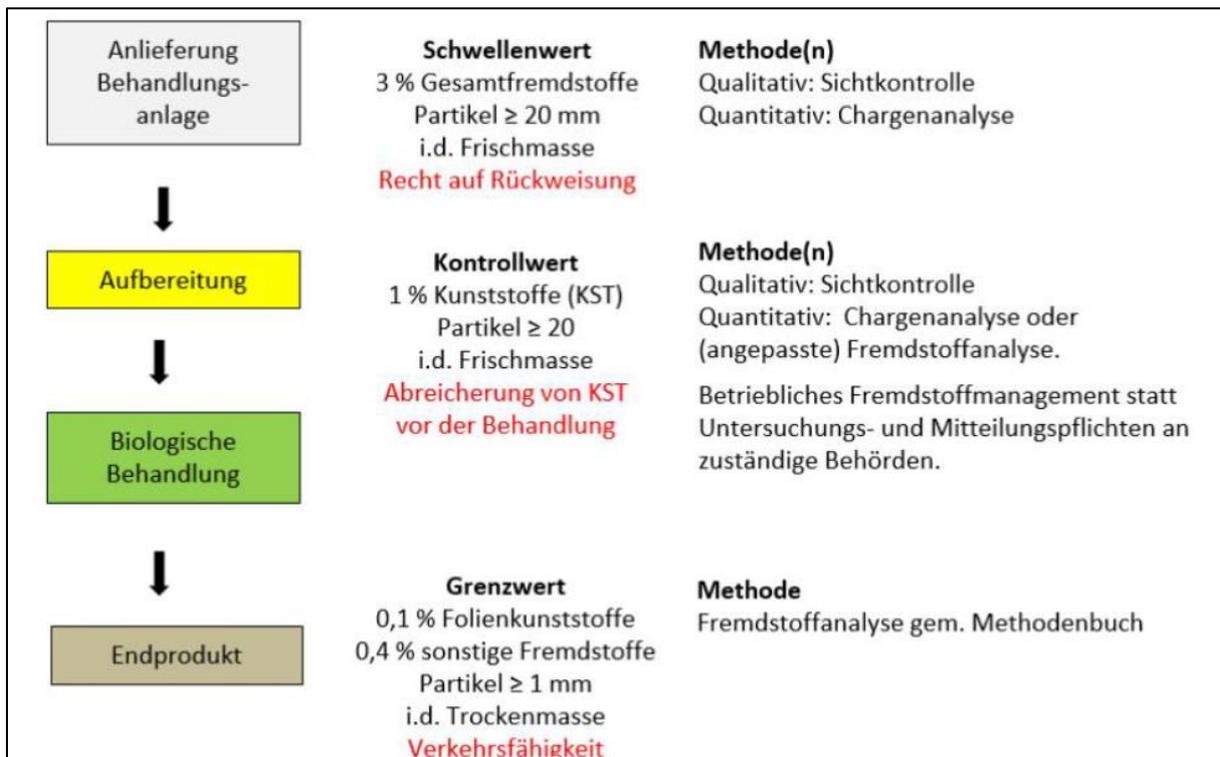


Abbildung 3: Empfehlung der BGK für feste Bioabfälle, insbesondere Biotonneninhalte und Grüngut, Quelle: Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2021, S. 5, Abb. 1

Für die definitive Fassung der Novelle wurden einige kleinere Anpassungen vorgenommen. Es ist anzumerken, dass im neuen Teil der Verordnung, § 2a Absatz 3, das erste Mal Vorgaben für Kunststoffgehalte im Inputmaterial der Vergärungs- und Kompostieranlagen gemacht wurden. Ein Maximalwert von 1 % Kunststoffe grösser als 20 mm in der Frischmasse wurde so für Biogut definiert. Dieser Kontrollwert variiert je nach Konsistenz und Herkunft von biogenen Abfällen. Ebenfalls wurde ein Rückweisungsrecht für Biogut erlassen. Auf diese Weise können Chargen, welche einen Gesamtfremdstoffanteil von 3 % Frischmasse überschreiten, zurückgewiesen werden. Die Sichtkontrolle bei der Anlieferung ist für alle festen Bioabfälle obligatorisch. (Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2022)

Der Beschluss der definitiven Anpassung der Bioabfallverordnung wurde von der Bundesregierung Ende 2021 beschlossen. Die Ratifizierung der Novelle erfolgte im Februar dieses Jahres. Die neuen Richtlinien sollten ab 2023 gestuft Inkrafttreten. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022)

3.5.3 Österreich

3.5.3.1 Bodenschutz

Nach dem Mandat Mindestqualität von Kompost (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003) werden in Österreich die Bodenschutzrichtlinien von den jeweiligen Bundesländern vorgegeben.

3.5.3.2 Kompostverordnung

Für die Definition von Grenzwerten im Kompost ist die Kompostverordnung zuständig. Die Bestimmungen wurden zuletzt am 14.07.2022 angepasst (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2022) und regeln die Aufbereitung von biogenen Abfällen. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 2003)

3.6 Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von biogenen Abfällen

«Gestützt auf die Bestimmungen in Art. 30c Abs. 3 sowie auch Art. 30d Bst. a des Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01) vom 7. Oktober 1983 sieht Art. 14 Abs. 1 der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600) vor, dass biogene Abfälle rein stofflich oder durch Vergären zu verwerten sind, sofern sie sich aufgrund ihrer Eigenschaften, insbesondere ihrer Nährstoff- und Schadstoffgehalte, dafür eignen, separat gesammelt wurden und die Verwertung nicht durch andere Vorschriften des Bundesrechts untersagt ist. Des Weiteren sieht Art. 34 Abs. 1 VVEA vor, dass in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen, die jährlich mehr als 100 t Abfälle annehmen, nur biogene Abfälle verrottet oder vergärt werden dürfen, die sich aufgrund ihrer Eigenschaften für das entsprechende Verfahren und für die Verwertung als Dünger im Sinne von Art. 5 DüV eignen. Ausgenommen vom Erfordernis der Eignung als Dünger sind Abfälle, die in Anlagen zur Co-Vergärung in Abwasserreinigungsanlagen vergärt werden.» (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, 28. Juni 2022)

3.7 Fremdstoffarten

Fremdstoffe in biogenen Abfällen bestehen aus vielen verschiedenen Materialien. Jedoch wurde bereits in der Fremdstoffuntersuchung im Grüngut (Schleiss, 2001), brennbare Abfälle als grösster Anteil angeben. Damit sind vor allem konventionelle Plastiksäcke und Verbundmaterialien gemeint. Der zweitgrösste Teil im Bericht machten Steine und metallische Fremdstoffe aus. Ebenfalls ist im wissenschaftlichen Paper aus Katalonien (Puig-Ventosa et al., 2013, S. 512) ein Kuchendiagramm zu sehen, bei dem rund ein Drittel der Fremdstoffe aus Plastik bestehen (Siehe Abbildung 13). Andere Verunreinigungen wie Glas, Papier oder Karton sind bei Fremdstoffuntersuchungen vielfach ebenfalls präsent.

3.8 Fremdstoffquellen

Es gibt verschiedene Gründe für die Anhäufung von Fremdstoffen in den biogenen Abfällen. Im Folgenden wird versucht, die wichtigsten davon zu nennen.

3.8.1 Gartenbau und Landschaftspflege

Beim Unterhalt von öffentlichen Rasenflächen, Waldabschnitten und Gärtenflächen fällt allerlei Strauch- und Rasenschnitt an. Durch Littering können diese Materialien mit Fremdstoffen verschmutzt sein. Die Kreislaufwirtschaft fördert die Wiederaufbereitung dieser biogenen Abfälle und so belastet deren Entsorgung in einer Kompostier- oder Vergärungsanlage ebenfalls die Endprodukte. Es werden auch Fremdstoffe durch die Entsorgung von verschiedenen Pflanzenmaterialien in Gartenzentren oder Gartenbauunternehmen mit den biogenen Abfällen vermischt. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

3.8.2 Industrie und Gewerbe

In der Industrie fallen viele Fremdstoffe durch das Entfernen von Verpackungsmaterialien an. Dieser Vorgang wird meist maschinell durchgeführt. Durch das Entpacken der abgelaufenen Nahrungsmittel durch die Hammermühlen sieht der biogene Abfall meist sauber aus, kann jedoch kleine Teile von Kunststoffen enthalten (Schleiss, 2018). Zusätzlich können Fremdstoffe durch Gastronomieabfälle in Form von Verpackungs- und Nahrungsmittelresten eingeführt werden. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

3.8.3 Landwirtschaftliche Quellen

Die landwirtschaftlichen Quellen für Fremdstoffe sind einerseits verschmutztes Mähgut von Flächen, welche durch Littering belastet wurden (dieselbe Problematik wie im Gartenbau). Andererseits kommen die Entsorgungen von Siloballen hinzu, welche aufgrund von Fehlgärungen in den biogenen Abfall geleitet werden. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

3.8.4 Kommunale Sammelstellen und Sammlungen

Es ist bekannt, dass ein Grossteil der Fremdstoffe im Grüngut aus dem privaten Haushalt stammt. Verschmutzungen können durch Säcke oder Verpackungen von Lebensmittel entstehen. Auch Etiketten landen durch Gemüse oder Früchte (z. B. Bananenschale) häufig im Kompost. Aufgrund von praktischen und hygienischen Gründen werden nebst den erlaubten BAW-Säcken (biologisch abbaubare Werkstoffe) auch normale Plastiksäcke für die Sammlung von biogenen Abfällen benutzt. Es werden auch immer wieder illegale Abfallentsorgungen in öffentlichen Grüngutcontainern festgestellt. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

3.8.4.1 Fehlwürfe

Die Eintragung von Fremdstoffen in biogene Abfälle ist auch unter dem Namen «Fehlwürfe» bekannt. Fehlwürfe treten in der Bevölkerung aufgrund verschiedenster Ursachen auf. Zum einen sind sie absichtlich bedingt oder entstehen aus Bequemlichkeit. Dafür spricht der persönliche Mehraufwand für eine fachgerechte Entsorgung oder das fehlende Umweltbewusstsein der verantwortlichen Personen. Zum anderen können sie versehentlich aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit oder Wissenslücken entstehen. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

3.9 Detektion

Bis heute werden die Fremdstoffe im Grüngut hauptsächlich per Hand aus den Anlieferungen der Entsorgungsfahrzeuge ausgelesen. Dieser Arbeitsschritt ist mit einem höheren Zeitaufwand für die zuständigen Kompostier- oder Biogasanlagen verbunden. Die Entfernung der Fremdstoffe zwischen Haushalt und Verwertung ist jedoch unumgänglich, insbesondere um die Zerkleinerung der Fremdstoffe zu vermeiden und um «Hot-Spots» in den Entsorgungsrouten ausfindig zu machen. Im Weiteren werden Systeme untersucht, welche Fremdstoffe an der besagten Stelle ausfindig machen sollen.

3.9.1 Detektionssysteme

3.9.1.1 Wirbelstrom-Detektoren

Mit dem Detektionssystem DS 2010-2 sollen Fremdstofferkennungen bei der Bioabfall- und Altpapier-Sammlung durchgeführt werden. Ebenfalls spezialisierte sich die Firma Maier & Fabris GmbH auf die Wertstoff-Erkennung bei der Restmüllsammlung. Das Grundprinzip dabei ist die Detektion von Metall, da Verschmutzer, welche viel Metall falsch entsorgen, ebenfalls auch häufige Fehlwürfe mit Kunststoff oder Glas abwickeln. Mit der Einführung des Systems versprach das Unternehmen eine Fremdstoff- und Kostenreduktion. (Maier & Fabris GmbH, 2018)

Die Technologie wurde vom Unternehmen patentiert. Die Firma Maier & Fabris wurde jedoch im Jahr 2021 vom Unternehmen ZÖLLER-KIPPER GmbH übernommen, welches heute mit der Gründung von SCANTEC GmbH die digitale Stör- und Wertstofferkennung von verschiedenen Abfällen weiter vorantreibt (ZOELLER KIRCHHOF GRUPPE, 2021). Die Technologie des «Wertstoffscanners», welche der Vorreiter der digitalen Grüntonnen war, basiert ebenfalls auf demselben Prinzip. Ein wissenschaftlicher Bericht über die Korrelation von metallischen Wertstoffen und sonstigen Verunreinigungen wurde von einem unabhängigen Institut bereits durchgeführt. Die Resultate sollten in absehbarer Zeit veröffentlicht werden. (Patzig, 2022)

3.9.1.2 DeSort

Das Projekt DeSort möchte Fremdstoffe, hauptsächlich aus Kunststoffen, in biogenen Abfällen aus Haushalten vermindern. Im Band 2 des Buches «Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung» des Witzenhausen-Instituts werden Massnahmen zur Reduzierung und Erkennungen der Störstoffe diskutiert. (Lichtl, 2019)

Das Prinzip der Fremdstoffdetektion in Österreich erfolgt nach Wellacher et al. (2019) mit der nahinfraroten Erkennung (NIR) in einem Wellenlängenbereich von 900 und 1700 nm. Dieselbe Methode wird von der digitalen Grünguttonne verwendet. Mit farbigen Bildern wird das «Machine Learning» des Scanners trainiert und detektiert mit einer automatisierten Bildererkennung die Fremdstoffe. Die Präzision der Flächenaufnahmen steigt mit der Zeit. Die automatisierte Bildererkennung und das NIR-Verfahren werden mit menschlichen, visuellen Erkenntnissen kombiniert. (Wellacher et al., 2019)

3.9.1.3 Kamerasystem Cortexia

Cortexia SA bietet Lösungen an, um Reinigungsunternehmen etc. zu digitalisieren. Ein aktuelles Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit vier Instituten der FHNW Brugg-Windisch und der EPFL wurde bei Innosuisse mit Erfolg eingegeben. Die langjährige Erfahrung mit Edge

Computing, Computer Vision, und KI wird dabei dem Ziel dienen, Fremdstoffe bei der Grünabfuhr zu überwachen. Ebenfalls soll es möglich werden, die Fremdstoffe zu quantifizieren. Das Kick-Off-Meeting wird Ende August 2022 stattfinden. (J. Dupont, persönliche Kommunikation, 19. Juli 2022)

Eigenen Überlegungen zu Folge könnte ein solches System auch zur Detektion von Fremdstoffen in Grünguttonnen aus Haushalten eingesetzt werden. Die Hardware könnte identisch zum Grüngutscanner direkt am Sammelfahrzeug angebracht werden.

3.9.1.4 Grüngutscanner

Im anschliessenden Kapitel wird die Funktion des Grüngutscanners vorgestellt. Da die relevanten Daten für die statistischen Auswertungen dieses Projekts hauptsächlich von einem Grüngutscanner stammen, werden Erläuterungen zur Funktion als relevant betrachtet.

Funktion

Der Grüngutscanner wurde in Zusammenarbeit der Firma Saubermacher und Contena-Ochsner im Auftrag von Biomasse Suisse entwickelt. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützte das Projekt finanziell. Ursprünglich war die Technologie als Wertstoffscanner für Fehlwürfe im Abfallsektor bekannt. Diese wurde von der Firma Saubermacher entwickelt und ist in Österreich in Betrieb. Die Funktion wurde in der Schweiz für die Fremdstoffproblematik im Grüngut weiterentwickelt. (Uhlmann, 2021)

Das Detektionssystem ermöglicht es, Fremdstoffe im Grüngut zu analysieren. Jeder Grüngutcontainer wird dabei durchleuchtet und die Fremdstoffe können direkt den Verursachern zugeteilt werden. Der Scanner kann vier verschiedene Fraktionen unterscheiden: Grüngut, Fremdstoffe, abbaubarer Sack und sonstiger Sack. Unter «Grüngut» werden biogene Abfälle wie Speisereste oder Grünabfälle aus dem Haushalt eingeteilt. Ebenfalls werden die «abbaubaren Säcke» detektiert, welche im Fachjargon unter BAW-Säcken bekannt sind (Bundesamt für Umwelt et al., 2008). Die Kategorie «Fremdstoffe» bezeichnet alle Arten von erdölbasierten Kunststoffen etc., unter «sonstiger Sack» sind normale Plastiksäcke zu verstehen. (Uhlmann, 2021)

Definitionen Datensätze

Für die Untersuchungen dieser Projektarbeit wurden Datensätze des Zweckverbands der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (Zeba) verwendet. Die Rohdaten stammen von einer Software der Firma Saubermacher und sind dementsprechend auch von Saubermacher benannt worden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausdrucksweisen in der Schweiz und in Österreich waren die weiteroben beschriebenen Begriffe z. T. anders formuliert. Die Definitionsunterschiede der verschiedenen Länder werden im Folgenden erläutert.

Als erstes wird in den Datensätzen von Zeba der Begriff «Biomüll» verwendet, welcher in Österreich als Grüngut verstanden wird. Das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie Österreich (2022) bezeichnet biogener Abfall als Bioabfall, Biomüll bedeutet demgemäss dasselbe. Als zweites wird im ursprünglichen Excelfile «Fehlwürfe» für Materialien verwendet, welche nicht in der Grüntonne entsorgt werden können. Ebenfalls gibt es eine Spalte mit «Restmüll». Die Begriffe Fehlwürfe und Restmüll bedeuten hier dasselbe und die Klasse wurde während des Projektverlaufs in «Fremdstoffe»

umbenannt. Die Werte in den Unterteilungen «abbaubarer Sack» und «sonstiger Sack» sind selbsterklärend und wurden aufgrund dessen auf den ursprünglichen Definitionen belassen.

Messung

Der Grüngutscanner verwendet für die Analyse des biogenen Abfalls zwei Stereokameras, die den biogenen Abfall dreidimensional erfassen können. Mit einer Multispektralkamera sorgt der Scanner für eine Spektralanalyse und kann die auftretenden Fraktionen des Guts erfassen. Die eine Stereokamera besteht aus einer RGB-Kamera, welche die Grundfarben Rot, Grün und Blau verwendet. Laut Contena-Ochsner wird damit jedem Punkt im aufgenommenen Raster ein Farbwert zugeteilt. Als Produkt wird eine rechteckige Bildmatrix erstellt. Die andere Stereokamera ist für die dreidimensionale Aufnahme des Grünguts zuständig und kann damit das Volumen des Abfalls abschätzen. (Uhlmann, 2021)

Aussen ist das Kamerasystem mit einem Gehäuse umgeben, welches die Geräte vor Wasser und mechanischen Einflüssen schützt. Darin sind verschiedene Leuchten angebracht, welche das benötigte Licht für die Spektralanalyse liefern. Philipp Uhlmann der FHNW Brugg-Windisch hat beobachtet, dass die Beleuchtung aus Halogenspots besteht, welche ein grosses Strahlenspektrum besitzen (2021). Dieses reicht bis in den Infrarotbereich und ist damit für die Spektralanalyse passend. Zusätzlich sind im Gehäuse alle elektronischen Komponenten zur Verarbeitung und Weiterleitung der Rohdaten montiert. Die Box mit den verantwortlichen Apparaturen zur Messung der Fremdstoffe im Grüngut wird beim Sammelfahrzeug beim Heck an die Decke montiert. Auf diese Weise befinden sich die Kameras direkt über der Fläche, wo das Schüttgut aus dem Container entleert wird. Das Grüngut kann somit nach der Entleerung des Containers optimal gescannt werden. Danach wird der biogene Abfall durch eine Presse in den Laderaum des Sammelfahrzeuges geführt. Damit die Detektion optimal verläuft, muss der Vorgang von externen Lichtquellen geschützt werden. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, wird aus diesem Grund ein schwarzer Vorhang über den Prozess gezogen.

Dieser Abschnitt enthält eine Beschreibung des Messvorgangs, welche der Bachelorthesis von Philipp Uhlmann entnommen wurde: «Der Entleer- und Scannvorgang wird über eine Kontrollbox hinten rechts am Fahrzeug gestartet. Der Container wird nun durch die hydraulische Hebevorrichtung angehoben, gekippt und in die Vorkammer (entspricht der Schütte), des Sammelwagens entleert. Der Container wird von der Hebevorrichtung wieder auf den Boden gestellt und der schwarze Vorhang auf der Rückseite schliesst sich. Der Scannvorgang startet nun automatisch. Die sechs Halogenlampen des Scanners schalten sich ein und beleuchten das Grüngut in der Vorkammer. Die Kameras des Scanners nehmen die Bilder im sichtbaren und NIR-Bereich auf. Damit ist der physische Scann-Prozess beendet. Das Grüngut wird jetzt von der Vorkammer in die Hauptkammer (entspricht dem Laderaum) gepresst. Es bleiben Rückstände in der Vorkammer zurück». (Uhlmann, 2021, S. 27)

Für die Datenverarbeitung ist eine künstliche Intelligenz (KI) verantwortlich. Dabei werden die einzelnen Aufnahmen der Kamerasysteme zusammengefügt und mathematisch aufgeschichtet. Ebenfalls können neben den Bilddaten auch GPS-Koordinaten erfasst werden. (Uhlmann, 2021)

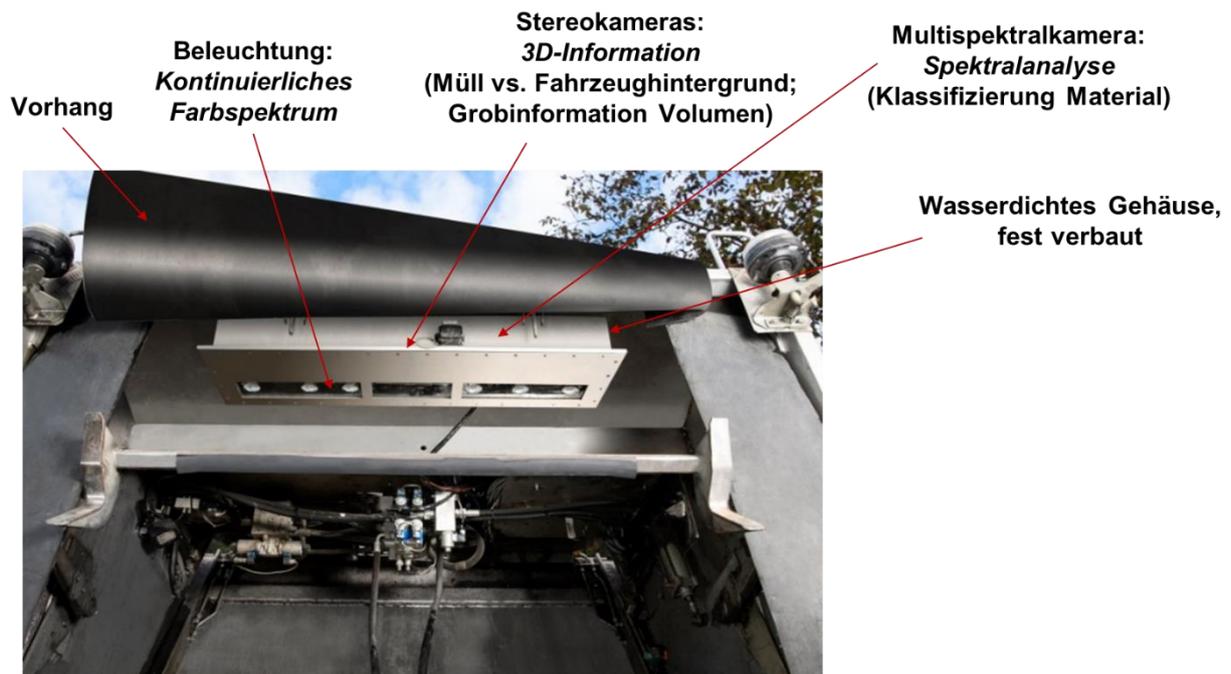


Abbildung 4: Hardware des Grüngutscanners, Quelle: Contena-Ochsner & Biomasse Suisse, 2019, PowerPoint-Präsentation Grüngutscanner, S. 4

Zeba hat im Kanton Zug bereits ein Pilotprojekt mit diesem Verfahren durchgeführt. Das Ident-System sollte die Zuordnung zu den einzelnen Haushalten der Grüngutcontainer vereinfachen. Die aufgenommenen Standortangaben bei den Fremdstoffmessungen hat in der Vergangenheit keine genauen Resultate erzielt und besonders bei Mehrfamilien- oder Reihenhäusern war die Aufteilung nach Haushalten nicht möglich. Aus diesem Grund hat Zeba das System aufgestockt und mit der RFID-Technologie erweitert. Somit wird ein Chip direkt bei der Entleerung ausgelesen und das Grüngut wird direkt einer Adresse zugeteilt. (A. Wetter, persönliche Kommunikation, 20. April 2022)

Auf diese Weise könnten sehr einfach Belohnungen oder Sanktionen (Bonus-Malus-System) ausgesprochen werden (Uhlmann, 2021). Da bei diesem Messverfahren auch nur die Oberfläche des eingekippten Grünguts gescannt werden kann, sind die Resultate eher als qualitativ zu bewerten. Dies sollte bei der Datenauswertung beachtet werden. (Uhlmann, 2021)

3.9.2 Auswertung der Detektionen

3.9.2.1 Kartensystem

Im Main-Tauber-Kreis im Nordosten von Baden-Württemberg wurden neben der breiten Öffentlichkeitsarbeit, Entsorgungsfahrzeuge für biogene Abfälle mit einem Scanner ausgestattet (Scheckenback, 2019). Nach der Einführung im April 2018 wurde bei unsauberen Biotonnen eine gelbe Karte als Verwarnung ausgehändigt, die Tonne wurde in der ersten Phase jedoch noch entleert. In der Zweitphase wurden nach dem Scanvorgang mit Sichtkontrolle auch rote Karten verteilt und die Biotonne stehen gelassen. Die Beanstandungslisten werden danach dem Landeskreis ausgehändigt. Wenn eine Verschmutzung desselben Containers mehrmals auftritt, wird das Gespräch durch die Abfallberater gesucht. Bei extremen Fällen kann die Tonne sogar eingezogen werden.

3.9.2.2 Ampelsystem

Das Ampelsystem funktioniert nach demselben Ansatz. Wenn die Einwohnerinnen und Einwohner ihr Grüngut sauber an die Strasse stellen, wird ein grüner Kleber mit der Aufschrift «sauberes Grüngut» angebracht. Auf dem Kleber kann zusätzlich ein lachender Smiley aufgetragen werden, um die Bevölkerung zu motivieren. Wenn die Grünguttonne ein erstes Mal mit Fremdstoffen beladen vorgefunden wird, kann das Entsorgungsunternehmen die Tonne mit einem orangenen Kleber beschriften. Dabei lacht der Smiley nicht mehr und die Aufschrift «Bitte keine Fremdstoffe!» kann aufgeklebt werden. Wenn dieselbe Tonne ein weiteres Mal verschmutzt wird, wird ein roter Kleber angebracht und das Grüngut stehen gelassen. Andernfalls kann es auch kostenpflichtig in der KVA entsorgt werden. Bei Massnahmen solcher Art ist es jedenfalls wichtig, dass die Bevölkerung transparent informiert und aufgeklärt wird. (P. Mandaliev, persönliche Kommunikation, Mai 2022)

Die Hufschmid Grüngutverwertung GmbH hat durch Eigeninitiative eine Kampagne «Grüngut ist nur grün gut» im Jahr 2016 lanciert, um die Fremdstoffe im Grüngut zu reduzieren. In einer ersten Phase wurde eine Bestandaufnahme aller Grüngutlieferungen der Gemeinden durchgeführt. Dabei ging eine Korrelation der Fremdstoffanteile mit Grösse der Gemeinden einher. Nach einer regionalen Öffentlichkeitsarbeit wurden während den Entsorgungsfahrten die Container einer optischen Sichtung unterzogen und danach die passenden Aufkleber verteilt. Der Bevölkerung wurde nach dem Projekt als Dankeschön saubere Gartenkompost kostenlos zur Verfügung gestellt. In den betroffenen Regionen konnten die Fremdstoffe um ca. 50 % verringert werden. Insgesamt wurde das Projekt als Erfolg angesehen und auch in den Anliefergemeinden stiess es auf positive Resonanz. Für eine längere, positive Entwicklung reichen die temporären Massnahmen jedoch nicht aus. Um alle Einwohnerinnen und Einwohner ansprechen zu können, sind dauerhafte Bemühungen nötig. (Hofmann & Kanton Aargau, 2017)

3.10 Qualitätskontrollen bei biogenen Abfällen

3.10.1 Kategorisierung und Klassifizierung von Fremdstoffen

Für die Einteilung der Grüngutqualität benutzt SATOM SA eine besondere Art von Klassifizierung der Verschmutzungen. Dem Bericht Fremdstoffsortierungen 1. Halbjahr 20 zufolge, wurde für verschiedene Verschmutzungsarten in Grünabfällen ein Gewichtsraster erstellt (Schleiss & Trachsel, 2020). Bei diesem Ansatz wird eine Probe auf einer Fläche ausgebreitet und fotografiert. Ein Arbeiter der zuständigen Biogas- oder Kompostieranlage verteilt mit einem Radlader die biogenen Abfälle auf dem Boden, ca. 20 cm hoch. Danach analysiert er die Oberfläche und klassiert die sichtbaren Fremdstoffe. Für die verschiedenen Fremdstoffarten wird jeweils eine Kontaminationseinheit in einer Tabelle angegeben (Siehe Tabelle 4). Daraus resultiert eine Summe von Kontaminationseinheiten, welche etwas über die Verschmutzung des ausgeteilten Grünguts aussagt.

Das Beispiel in Abbildung 5 zeigt eine Berechnung der Fremdstofffracht auf. Die gewogene Menge von biogenen Abfällen wird auf einer abgemessenen Fläche ausgelegt. Im Beispiel mit einer Schütthöhe von 0.2 m, einer Fläche von 3 m² und einem Volumengewicht von 500 kg/m³ ergibt dies 300 kg Bioabfall (0.2 m * 3 m² * 500 kg/m³ = 300 kg). Die Fremdstofffracht resultiert aus der Summe der Beschriftungen im Bild nach Kontaminationseinheiten, geteilt durch das Gewicht der Abfälle. Auf dem Bild wird der grosse H&M Sack als Abfallsack 17l gefüllt mit Kehricht gewertet, welcher 150 Kontaminationseinheiten ausmacht. Zusätzlich kommen drei kleinere Plastiksäcke dazu. Das Resultat ergibt sich somit aus der Rechnung (150+1+1+1) / 0.3 t = 510 Kontaminationseinheiten/t. (Schleiss & Trachsel, 2020)

Tabelle 4: Mittleres Gewicht des einzelnen Fremdstoffs nach Art und Kontaminationseinheit, Quelle: in Anlehnung an Schleiss & Trachsel, 2020, S.11

Art des Fremdstoffs	Gewicht g pro Einheit	Kontaminationseinheit
Plastiksack, Kaffeekapsel, eingepacktes Gemüse oder verpackte Frucht; Verpackte Nahrungsmittel	10	1
Blumentopf aus Hartplastik	80	8
PET-Flasche 0.5l	15	1
PET-Flasche	32	3
Alubüchse	13.5	1
Katzensand	200	15
Windel	200	15
Abfallsack 17l gefüllt mit Kehricht	2130	150
Abfallsack 35l gefüllt mit Kehricht	3880	300
Abfallsack 65l gefüllt mit Kehricht	5590	500
Plastikplane	170	15

Wenn die Einheiten bestimmt worden sind, kann das finale Resultat der Verschmutzung aus einer weiteren Tabelle ausgelesen werden. In Tabelle 5 kann eingesehen werden, dass SA-TOM SA dabei vier verschiedene Kategorien bestimmt hat. (Schleiss & Trachsel, 2020)

Tabelle 5: Kategorisierung anhand der gefundenen Kontaminationen bezogen auf eine Tonne biogener Abfälle, Quelle: in Anlehnung an Schleiss & Trachsel, 2020, S. 12

Sauber, normal verschmutzt	< 80 Kontaminationseinheiten
Leicht verschmutzt	> 80 bis < 160 Kontaminationseinheiten
Stark verschmutzt	> 160 bis < 300 Kontaminationseinheiten
Inakzeptabel verschmutzt	> 300 Kontaminationseinheiten

Das System braucht laut dem Bericht von Umweco GmbH noch einige Detailarbeiten. Im Ganzen erleichtert der Ansatz jedoch die grossen Detektivarbeiten der Gewichtsaufnahme und der manuellen Sortierung zum grössten Teil. Es ist aber auch darauf aufmerksam zu machen, dass bei der Sortierung und Wägung grosse Messunsicherheiten entstehen können. Wie festgestellt haftet Wasser oder feuchte Biomasse immer an den Kunststoffteilen und kann so zu Unsicherheiten führen. (Schleiss & Trachsel, 2020)



Abbildung 5: Beispielberechnung einer Fremdstoffanalyse nach SATOM SA, Quelle: Schleiss & Trachsel, 2020, S.12

3.10.2 Chargenanalyse

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. stellt im Magazin H&K aktuell eine standardisierte Methode vor, wie die Anlieferungen von biogenen Abfällen nach deren Fremdstoffgehalt untersucht werden können (2017). Aus dieser Chargenanalyse können diverse Streitpunkte in der Branche angeschaut und verbessert werden. Zum einen dient eine einheitliche Qualitätskontrolle als Ausgangspunkt für Gespräche zwischen den Behörden und Entsorgern wie auch als Entscheidungsgrundlage für Zurückweisungen von Grüngut. Zum anderen können Vergärungs- oder Kompostieranlagen ihren höheren Aufwand zur Aussortierung belegen. Der Vorgang kann entweder durch betriebseigenes Personal oder durch Beauftragung einer unabhängigen Untersuchungsstelle durchgeführt werden. Die Chargenanalyse besitzt ihren Namen aufgrund der Untersuchung der Charge (Fahrzeugladung). Es werden pro Ladung je zwei Stichprobeneinheiten von mindestens 1 m³ oder 250 kg abgenommen. Die Einheiten werden nach Fremdstoffen aussortiert und deren Gehalt auf die gesamte Chargenmenge hochgerechnet. Zusätzlich werden die Stichprobeneinheiten fotografiert. Die Methodenvorschrift enthält auch die Vorgabe eines Ergebnisprotokolls, welches durch eine Standardisierung untereinander verglichen werden kann. Auf diesem Wege können verschiedene Sammeltouren oder auch ganze Anlagen gegenübergestellt werden. (Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2017)

3.11 Informationskampagnen

3.11.1 Stop Plastic

Die Kampagne Stop Plastic hat das Ziel, die Bevölkerung zu sensibilisieren, damit Fremdstoffe im Grüngut möglichst ausgeschlossen werden können. Hochwertiger und qualitativ guter Dünger kann nur aus biogenen Abfällen gewonnen werden, welche nicht verschmutzt sind. Somit möchte die Initiative die Entsorgung und Weiterverarbeitung von Grüngut fördern und die Fremdstoffe dabei möglichst reduzieren. Die Kampagne wird von Sammeldiensten, Gemeinden und Kantone unterstützt, ebenfalls ist KEWU AG daran beteiligt. (KEWU AG, 2020)

Auf der Website von Stop Plastic wird eine Empfehlung abgegeben, was in die Grünabfuhr gehört und was nicht. Zusätzlich werden die gemeindespezifischen Entsorgungsaufgaben verlinkt. Die Initiative betreibt Social-Media-Kanäle und macht Werbung mithilfe verschiedener Informationsvideos. Für die eigenen Massnahmen von Gemeinden, Grüngutverwertungen und Sammelstellen sind auch diverse Informationsmaterialien verfügbar. (KEWU AG, 2020)

3.11.2 Aktion Biotonne Deutschland

Das bundesweite Kommunikations-Konzept für die Förderung vom Bioabfällen in Deutschland verbindet verschiedene relevante Akteure der Abfallwirtschaft. In der Schrift Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung 2 wird die Aktion von Martin Lichtl präsentiert (2019). Die Initiative verfolgt die Ziele Steigerung der Bioabfallmengen, Reduktion der Fremdstoffe und Gewinnung neuer Bürgerinnen und Bürger für die Entsorgung von Grüngut. Viele Akteure der Abfallwirtschaft, Naturschutz und Fachverbände der Kompostierungs- und Vergärungsbranche sowie 145 Kommunen sind Teil dieser Aktion. Ebenfalls ist das Bundesumweltministerium beteiligt. Der einzigartige Ansatz der Aktion Biotonne Deutschland ist die Verbindung von Lokal- wie auch Nationalakteuren, welche alle dieselbe Absicht haben. Durch die Verbindung von zentraler und dezentraler Kommunikation wird es möglich, Kampagnen durch die Vergrößerung von personellen und werblichen Ressourcen breitere Aufmerksamkeit in der Gesellschaft zu schenken. So wird die lokale Öffentlichkeitsarbeit von verschiedenen Akteuren durch Bundesweite Aktivitäten ergänzt, was dazu führt, dass der Kommunikationsdruck und die Kosteneffizienz gesteigert werden können. (Lichtl, 2019)

Die Gründung der Aktion basiert auf dem Ergebnis einer Studie des Witzenhausen-Instituts, welche in Gebieten mit einer Sammlung von biogenen Abfällen über mehrere Jahre noch bis zu 40 % dieser Abfälle im Restmüll fand. Ausserdem war der Fremdstoffanteil in der Biotonne sehr hoch. Aktion Biotonne Deutschland wurde nach einem Pilotprojekt das erste Mal 2017 auf Bundesebene eingeführt. (Lichtl, 2019)

3.12 Systeme zur Sammlung von Speiseresten

3.12.1 GastroVert

Die SATOM SA betreibt seit mehreren Jahren eine Biogasanlage und Kompostierwerk in Villeneuve im Kanton Wallis. Das Unternehmen übernahm im Jahr 2007 die kleinere Kompostier- und Vergärungsanlage vom Gemeinschaftsprojekt mehrerer Walliser- und Waadtländer Gemeinden und erweiterte so das Einzugsgebiet. Daraus entstand die aktuelle Anlage mit einer erhöhten Kapazitätsgrenze von ca. 35 000 t Biomasse pro Jahr. Neben der Energieproduktion in Form von elektrischem Strom liefert die Anlage auch Wärme ins Fernwärmenetz CAD HAUT LAC für die anliegenden Gemeinden. Für die Qualitätssteigerung des Komposts entwickelte

SATOM «GastroVert». Das clevere Sammelsystem ermöglicht es den Gemeinden, eine Sammelstelle für Lebensmittelabfälle zu installieren. Das Label wurde von SATOM AG initiiert und trägt unter anderem zu den hohen Sammelmengen in den betroffenen Gemeinden bei. Das System ist in zwei verschiedenen Formen verfügbar: Einmal für private Nutzer und einmal für Gastronomieunternehmen, Militär und andere Verpflegungsdienste. (SATOM AG & Biomasse Suisse, 2019)

Am Projekt sind 30 Gemeinden beteiligt mit insgesamt etwa 300 Sammelstellen. Aktuell werden ca. 3500 t Speisereste pro Jahr gesammelt, welche der Biogasanlage weitergegeben werden. (SATOM SA Monthey, 2022)

3.12.1.1 GastroVert Pro

Der Service GastroVert Pro wurde als Sammelsystem im Jahr 2011 von der SATOM AG eingeführt. Die intelligente Sammlung von Lebensmittelabfällen ist für Grossküchen gedacht. Hotels, Restaurants, Lebensmittelgeschäfte oder Militär- und Zivilschutzeinrichtungen können ihre Abfälle direkt in die vorgesehenen Container abgeben. Der Füllstand der Behälter wird laufend überprüft. Wenn die Container voll sind, werden sie vom Entsorgungsunternehmen abgeholt und mit gereinigten ersetzt.



Abbildung 6: System GastroVert private, Quelle: Keystone/Patrick Hürlimann, 2018, Titelbild des Onlinebericht «La récolte de déchets verts cartonne dans le Chablais»

3.12.1.2 GastroVert Private

Das System GastroVert Private wurde für Nahrungsmittelabfälle der Bevölkerung entwickelt. Ein Bild dazu ist in Abbildung 6 ersichtlich. In den öffentlichen Containern können alle Speisereste entsorgt werden, welche frei von unerwünschten Stoffen sind. Mithilfe einer personalisierten Karte können die Abfälle den verantwortlichen Personen zugeordnet werden. Auf diesem Wege möchte GastroVert eine gute Qualität der Anlieferungen an die Vergärungs- und Kompostieranlagen gewährleisten und den Fremdstoffanteil möglichst ausschliessen. Die

Speisereste müssen mit zertifizierten BAW-Säcken entsorgt werden, welche gratis von SATOM AG zur Verfügung gestellt werden. Das Entsorgen von Gartenabfällen ist in den Private-Containern nicht erlaubt. GastroVert verspricht sich durch die Container verschiedene positive Einflüsse auf die Grüngutsammlung in den betroffenen Gemeinden: Einerseits sollte der Verbrauch der Kehrriechsäcke minimiert werden, da ca. 30 % der Inhalte Speisereste sind. Ebenfalls sollte die Füllung der Kehrriechsäcke mehr ausgenutzt werden, da durch die separate Sammlung von Speiseresten unangenehme Gerüche vermieden werden können. (SATOM SA Monthey, 2021)

4 Methodik

4.1 Daten-Triangulation

Für die Erarbeitung der Projektziele Untersuchung der Relevanz der Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt, Wirksamkeit der Massnahmen zur Reduktion von Fremdstoffen und eine Aussprache einer Empfehlung, wurde das Verfahren der Daten-Triangulation verwendet. Der Begriff Triangulation beschreibt ein Vorgehen, welches seinen Ursprung in den Sozialwissenschaften hat. Das Verfahren soll ermöglichen, dass ein grundlegendes und umfangreiches Verständnis eines Forschungsthemas aufgenommen werden kann. (Mey et al., 2022)

Im vorliegenden Projekt wurde das Verfahren angewendet, um aus diversen Datenquellen auf Ergebnisse zu stossen, die den Fremdstoffgehalt im Grüngut aus Haushalten minimieren können. Für die Triangulation wurde einerseits Literatur wie Berichte und wissenschaftliche Publikationen eingesetzt. Andererseits wurde eine statistische Analyse mit Messdaten eines Grüngutscanners im Kanton Zug durchgeführt. Die Ergebnisse daraus wurden miteinander verglichen und führten zur Schlussfolgerung.

4.1.1 Berichte

Die ausgewählten Berichte stammen zu einem grossen Teil aus wissenschaftlicher Literatur, welche in Buchform vorliegt. Für die Abschätzungen der Relevanz der Literatur wurde mit Dr. Konrad Schleiss ein Meeting abgehalten. (Schleiss, 2022)

4.1.2 Wissenschaftliche Publikationen

Mit der Suchmaschine ScienceDirect (www.sciencedirect.com) wurde nach wissenschaftlichen Publikationen gesucht, welche die Fremdstoffanteile im Grüngut aus Haushalten bereits untersuchten. Die wissenschaftliche Online-Datenbank ist eine weltweit führende Plattform, welche eine grosse Anzahl von Journalen und Büchern zur Ansicht anbietet. Die Datenbank verfügt über Schriften aus Wissenschaft und Technik wie auch über gesundheitsbezogene Themen. Sie wird in englischer Sprache präsentiert. (Elsevier, 2022)

Es wurden Wörter (Keywords) definiert, welche bei der Suche verwendet werden sollten. Die Keywords beinhalteten Begriffe wie biowaste, impurities, foreign materials in biowaste, plastic in biowaste, biowaste composition, domestic waste oder foreign substances in biowaste. Damit konnten bereits interessante Paper ausfindig gemacht werden.

4.1.3 Datenauswertung des Grüngutscanners

Als Grundlage für die statistische Analyse wurde die Exceldatei von Zeba verwendet (A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022). In diesem File sind alle Messwerte des Grüngutscanners in einer Tabelle aufgelistet. Darin werden Angaben über den Zeitpunkt der Messung, den Standort, die gemessenen Fraktionen im Grüngut wie auch eine Klassifizierung gemacht. Unter den Fraktionen sind Prozentsätze zu Grüngut, abbaubaren Säcken (BAW), Fremdstoffen und sonstigen Säcken (Kunststoff) verfügbar. Die Begriffe wurden für die Analyse angepasst (Siehe Kapitel 3.9.1.4).

In den Datensätzen waren teils doppelte oder dreifache Messwerte für einen einzelnen Standort aufgetragen, da die Personen während den Leerungen der Grüngutcontainer die Ergebnisse direkt interpretierten und bei unlogischen Werten die Messung wiederholten. Solche

«doppelten Werte» wurden für die weitere Bearbeitung entfernt. Insgesamt sind im Excelfile 23'727 Messwerte aufgetragen, nach der Korrektur waren es noch 22'543 Werte. Für jede einzelne Messung ist zusätzlich eine .pdf-Datei verfügbar, welche ebenfalls von Zeba zur Verfügung gestellt wurde.

4.1.4 Statistische Analyse der Daten des Grüngutscanners

Aus der Literaturrecherche im Projektverlauf ging hervor, dass eine saisonal fluktuierende Menge an Grüngut gegeben ist. Aus Analysen der Inputmengen von Kompostier- und Vergärungsanlagen wurde zusätzlich erwähnt, dass der grössere Fremdstoffanteil in den Wintermonaten durch die ausfallenden Gartenabfälle entsteht (das Verhältnis Gartenabfälle zu Fremdstoffen ist kleiner). Daraus liess sich die These für die Untersuchungen im vorliegenden Bericht ableiten. Es sollte untersucht werden, ob die Daten vom Grüngutscanner ein realistisches Bild ergeben und ob Korrelationen zwischen Fremdstoffen und anderen Fraktionen festgestellt werden können.

Die Analyse der Daten erfolgte mit der kostenpflichtigen Software OriginPro (www.origin-lab.com). Das Programm ist geeignet für umfangreiche Datenanalysen und visuelle Darstellungen. Der Zugang zur Software konnte über das Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz der Hochschule für Technik, FHNW Brugg-Windisch gewährleistet werden.

5 Resultate & Diskussion

5.1 Berichte

5.1.1 Kompostierung – Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung

Das Buch Kompostierung – Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung (Krogmann, 1994) beschreibt die Bio- und Restmüllmengen wie auch die Biomüllzusammensetzung in Abhängigkeit von verschiedenen Siedlungsstrukturen. Die Beschaffenheit und die Menge des anfallenden Bio- und Restmülls musste bestimmt werden, um die Auswirkungen der getrennten Biomüllsammlung und -kompostierung auf die Abfallwirtschaft zu untersuchen. Als «Restmüll» wird der graue Müllbehälter verstanden, welcher mit normalem Hausmüll gefüllt ist. «Biomüll» oder der «nativ organische Abfall» ist der heutige biogene Abfall.

Die Analysen wurden in Harburg, südlich von Hamburg durchgeführt (Hamburg-Harburg). Die Bestimmung der Restmüll und Biomüllzusammensetzung wurde in den Jahren 1986 bis 1988 erhoben. Für die verschiedenen Siedlungsstrukturen wurden fünf Kategorien beachtet (Krogmann, 1994, S. 56):

- i. Einzelhaus
- ii. Reihenhaushaus
- iii. Kerngebiet (Handelsbetriebe, zentralen Einrichtungen der Wirtschaft, Verwaltung und Kultur)
- iv. Mehrgeschossige Bebauung
- v. Hochhaus

Eine wichtige Erkenntnis dieser wissenschaftlichen Untersuchungen ist die saisonal fluktuierende Menge des anfallenden Grünguts. In Abbildung 7 ist ersichtlich, dass in den Sommermonaten die Menge der biogenen Abfälle steigt. Besonders im Frühling und Herbst werden die Menge der anfallenden Abfälle vervielfacht. Dies ist unter anderem auf den hohen Schnittgutanteil im Frühling und die Laubabfälle im Herbst zurückzuführen. (Krogmann, 1994)

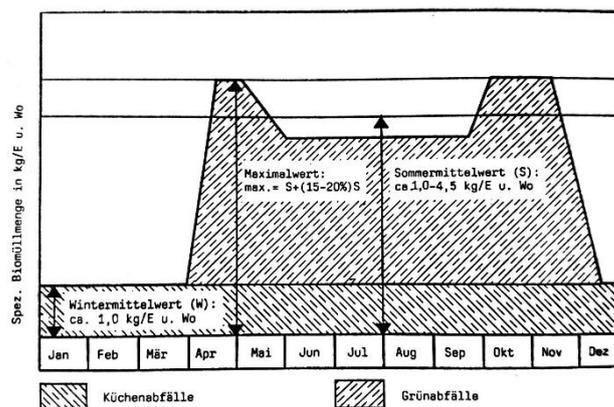


Abbildung 7: Saisonale fluktuierende Grünabfallmenge,
Quelle: Krogmann, 1994, S. 46

Ein weiteres Fazit der Betrachtungen war, dass der Anteil an Fremdstoffen in biogenen Abfällen mit der Grösse der Überbauungen (Siedlungsstruktur) zunimmt. Es zeigte sich, dass die Bewohner und Bewohnerinnen von mehrgeschossigen Bebauungen und Hochhausgebieten

den Biomüll am meisten verschmutzen. Die Datenlage dabei war allerdings nicht konstant, da die Sammlung der Bioabfälle in den untersuchten Gebieten nicht vorgeschrieben war und somit viele grössere Überbauungen und Wohnsiedlungen das Angebot nicht nutzten. Die Resultate variierten auch nach Standort. Die genannten Fremdstoffe im Biomüll waren bei den Untersuchungen von Krogmann meistens «ganz normale Hausabfälle». (1994)

Die Kategorie «Sortierbare Wertstoffe im Restmüll» beinhalten bereits Kunststoffe. Der durchschnittliche prozentuale Anteil davon liegt je nach Überbauungssituationen zwischen 2.94 und 5.34 Gewichtsprozenten [%]. (Krogmann, 1994)

Eine Verminderung der gesamten Fremdstoffproblematik durch PR-Arbeiten (Public Relations, Öffentlichkeitsarbeit) war in den Ergebnissen nicht ersichtlich. Als Einflussfaktoren nach damaligem Wissensstand für die anfallende Menge von Grüngut nennt Uta Krogmann jedoch «die Intensität der Öffentlichkeitsarbeit, das spezifische Behältervolumen, die Gartengrösse, die Verbreitung der Eigenkompostierung etc.» (1994, S. 45).

Die resultierenden Einflussfaktoren auf den Fremdstoffanteil im Grüngut des Berichtes von Krogmann, können mit aktuellen Einflussfaktoren verglichen werden. Besonders die Unterschiede in den gesammelten Mengen aufgrund der saisonalen Schwankungen sind heute immer noch aktuell. Die genauen Ergebnisse aus dem Bericht sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen die Entsorgung der biogenen Abfälle noch nicht etabliert war und die Sammlungen auch nicht überall verfügbar resp. genutzt wurden.

5.1.2 Bioabfallkompostierung – Verfahren und Verwertung

In der Schrift Bioabfallkompostierung – Verfahren und Verwertung vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (Gronauer et al., 1997) werden Fremdstoffe im Grüngut als Störstoffe benannt. Diese Stoffe sind einerseits potenzielle Quellen für Schwermetalle und organische Umweltbelastungen, andererseits haben sie auch visuell einen negativen Effekt auf das Endprodukt. (Gronauer et al., 1997)

Bei der Begutachtung von verschiedenen Landeskreisen in Deutschland, wurden die Fremdstoffanteile eines dezentralen Sammelsystems mit zwei zentralen Sammelsystemen verglichen. In Ebersberg funktionierte das Konzept lokal, in Freising und Erding dezentral. Für den Vergleich wurden jeweils Proben aus ländlichen wie auch städtischen Siedlungsstrukturen verwendet. (Gronauer et al., 1997)

Die Resultate der Untersuchungen unterscheiden sich zwischen dem zentralen und dezentralen Konzept signifikant. Die Fremdstoffanteile lagen beim dezentralen System bei ca. einem Gewichtprozent [%]. Beim zentralen Konzept hingegen, nahmen die Störstoffgehalte einen grösseren Teil von vier bis sechs Gewichtprozenten ein. Ebenfalls gibt es bei dieser Art von Sammlung Unterschiede von einem Gewichtprozent bezüglich der Siedlungsstruktur. Wie bekannt, waren die Fremdstoffe in städtischen Gebieten höher.

Als Begründung der variierenden Unterschiede im Fremdstoffgehalt zwischen den beiden zentralen Konzepten bleibt den Autoren nur die unterschiedliche Informations- und Aufklärungsarbeit in den betroffenen Siedlungen. Einerseits steht in jeder Kommune der Region Ebersberg ein ehrenamtlicher Abfallberater bereit. Andererseits wurde bereits ein Jahr vor Einführung der Grünguttonne mit der Informations- und Aufklärungsarbeit begonnen. Als Fazit wird erläutert, dass durch eine umfangreiche Informations- und Aufklärungsarbeit der Fremdstoffgehalt im Inputmaterial auf ein akzeptables Niveau gesenkt werden kann. (Gronauer et al., 1997)

Die Resultate der deutschen Studie können in der heutigen Zeit immer noch als zutreffend bewertet werden. Einerseits hat die Siedlungsstruktur einen Einfluss auf den Fremdstoffanteil. Dies muss andererseits jedoch mit der Tatsache veranschaulicht werden, dass die unterschiedlichen Siedlungsstrukturen auch differenzierte Arten der Grüngutsammlung unterhalten. Bei grossen Überbauungen kann z. B. aufgrund des fehlenden, persönlichen Gartens die Menge von Gartenabfällen ausfallen und so wird der Fremdstoffanteil im Jahresverlauf automatisch grösser. Die Begründung der Unterschiede in der Öffentlichkeitsarbeit der zwei identischen Sammelsysteme ist in der heutigen Zeit ebenfalls sehr wichtig und kann den Fremdstoffanteil stark beeinflussen.

5.1.3 Bericht zum Projekt Fremdstoffuntersuchung im Grüngut, Jahr 2001

Der Bericht zum Projekt Fremdstoffuntersuchung im Grüngut (Schleiss, 2001) zeigt auf, dass die Saisonalität der Grüngutsammlung einen markanten Einfluss auf die Grüngutmenge hat. Ebenfalls unterscheidet sich der Fremdstoffanteil zwischen Sommer und Winter drastisch. Die Analyse wurde in verschiedenen Kompostierwerken und Vergärungsanlagen in der Schweiz durchgeführt, um Siedlungsstrukturen oder unterschiedliche Sammelsysteme in die Resultate einfließen zu lassen. Zusätzlich wurde im Bericht, die im Jahr 2000 noch neue Einführung der BAW-Säcke untersucht. Es sollte aufgezeigt werden, ob die Verwendung der kompostierbaren Säcke den Fremdstoffgehalt im Grüngut beeinflussen.

Die Messungen wurden an zehn Erhebungstagen durchgeführt. Pro Anlage und Jahreszeit gab es somit einen Erhebungstag, einmal im August 2000 und einmal im Januar/Februar 2001. Ebenfalls wurde eine Umfrage bei den Betreibern von 85 Anlagen durchgeführt. Abgefragt wurden dabei die Verarbeitungsmengen und entsorgte Fremdstoffmengen über die letzten fünf Jahre. (Schleiss, 2001)

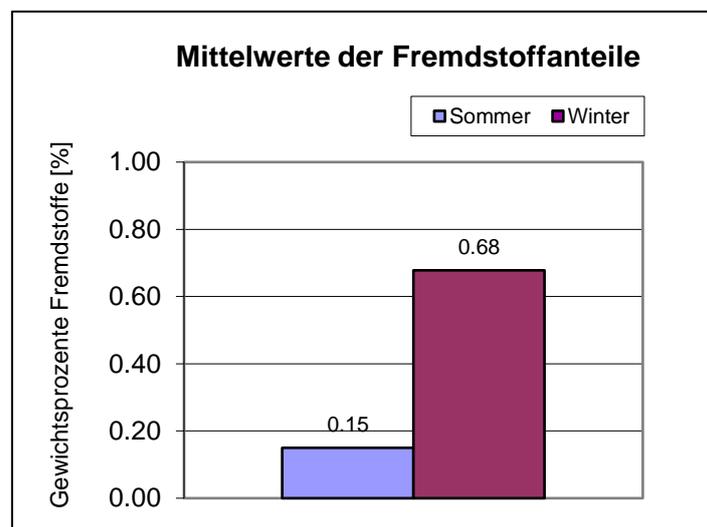


Abbildung 8: Mittelwerte der Fremdstoffanteile Sommer und Winter, Quelle: Konrad Schleiss, 2001, Excel-Datei «Zusamm01_1»

In Abbildung 8 wird ersichtlich, dass sich in den Sommermonaten ein durchschnittlicher Fremdstoffanteil von 0.15 % ergibt. Im Winter ist dieser mit 0.68 % rund 4.5-mal grösser. Die Differenzen werden dabei hauptsächlich mit der abweichenden Gesamtmenge der untersuchten Fraktionen begründet. Im Sommer waren durch Rasenschnitte etc. die Mengen des durchwühlten Grünguts viel grösser. Im Durchschnitt wurden dabei pro Sortiertag 62 Tonnen

bearbeitet. Im Winter gingen die Gartenabfälle gegen Null und somit erfolgte die Sortierung nur für 25 Tonnen Grüngut. Daraus resultierte das Ergebnis, dass mit einem höheren Anteil von Küchenabfällen der Fremdstoffanteil im Grüngut stark zunimmt. In Abbildung 9 sind die einzelnen Fremdstoffanteile der untersuchten Anlagen zu sehen.

Der grösste Teil der Fremdstoffe bestand aus brennbaren Abfällen wie Plastiktüten und Verbundmaterialien. Die BAW-Säcke waren vielfach frei von Fremdstoffen. Jedoch zeigte sich in den Sommermonaten der Trend, dass etwa jeder zehnte abbaubarere Sack mit einem nicht abbaubaren Sack ausgekleidet war. Während der Winteruntersuchungen war dies deutlich seltener der Fall.

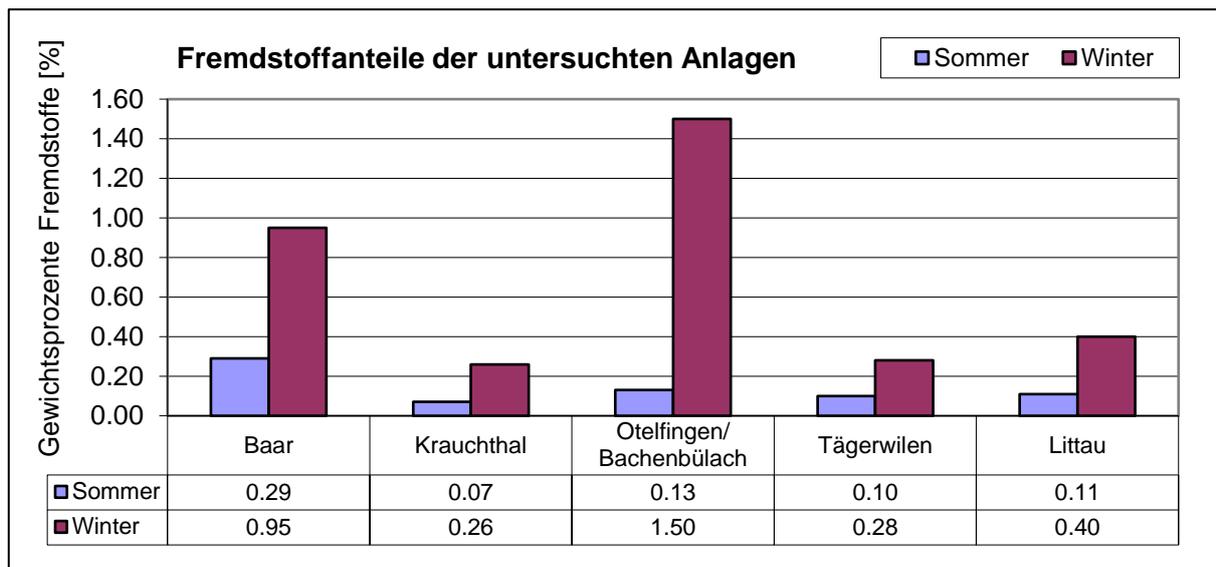


Abbildung 9: Fremdstoffanteile der untersuchten Anlagen, Quelle: Konrad Schleiss, 2001, S. 4

Die Fremdstoffuntersuchungen im Inputmaterial aus dem Jahr 2001 sind in der Kompostier- und Vergärbranche einzigartig. Die Resultate sagen sehr viel über das Entsorgungsverhalten der Bevölkerung aus. Es ist wichtig, dass der Fremdstoffproblematik in biogenen Abfällen vor der Verwertung Beachtung geschenkt wird, da dies die Schnittstelle ist, wo die Fremdstoffe noch am einfachsten herausgelesen werden können. Die Resultate der BAW-Säcke sind ebenfalls spannend, jedoch muss beachtet werden, dass der Zeitpunkt der Untersuchungen in der ersten Phase der Verwendung dieser Säcke entstanden ist. Das Verhalten der Bevölkerung kann sich mit der Kommerzialisierung stark verändern, sowohl mit positiven als auch mit negativen Einflüssen auf die Fremdstoffproblematik.

5.1.4 Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen

Im ersten Kapitel «die Getrenntsammlung und Verwertung von Bioabfällen – Bestandsaufnahme 2003» im Buch des 64. Informationsgesprächs des ANS e.V. (Arbeitskreises zur Nutzung von Sekundärrohstoffen und für Klimaschutz), wird die aktuelle Situation in Deutschland durch diverse Umfragen zur Bioabfallsammlung und -kompostierung aufgezeigt. Der aktuelle Stand bezieht sich auf das Jahr 2003, die vergangenen Befragungen bis zu diesem Zeitpunkt reichen bis ins Jahr 1988 zurück. Ebenfalls wird dabei die Qualität der Bioabfälle angeschaut. Als Fremdstoffe wird dort auch der Begriff Störstoffe verwendet. (Fricke et al., 2003)

Es konnte festgestellt werden, dass in den Wintermonaten eine höhere Fraktion an Störstoffen in Grünabfällen auftaucht. Dies ist ebenso den saisonal unterschiedlichen Mengen an Küchen- und Gartenabfällen zuzuschreiben. In verdichteten Wohnzonen tritt dieser Effekt abgeschwächt auf, da durch diese Bauweise weniger persönliche Gärten unterhalten werden. (Fricke et al., 2003, S. 43)

Nach dem Buch konnte bei Bioabfallsortierungen festgestellt werden, dass bereits damals die häufigste Art der Fremdstoffe Plastiksäcke waren, die von der Bevölkerung als Sammelbehälter für ihr Grüngut dienten. Die Ergebnisse der Befragungen der Institute in diversen Verwaltungseinheiten von biogenen Abfällen decken sich mit den Sortierungsergebnissen. Es konnte ebenfalls eine klare Korrelation zwischen dem Fremdstoffgehalt und der Siedlungsstruktur der Innenstadt festgestellt werden. Der Eintrag von Störstoffen aus dörflichen oder schwach besiedelten Gebieten wurde bei den Umfragen als irrelevant angeschaut. Als weiterer Grund für die Problematik wird von den Teilnehmenden die nachlassende Akzeptanz angegeben. Ausserdem werden zu kleine Restmüllgefässe oder die Einführung einer Restmüllverwiegung als potenzieller Störstoffinput genannt. Des Weiteren kann die Änderung oder Anpassung des Gebührensystems den Fremdstoffgehalt beeinflussen. (Fricke et al., 2003)

Als grösster Einflussfaktor zur Senkung der Fremdstoffe der biogenen Abfälle wird die Öffentlichkeitsarbeit genannt. Als Beispiel sind Kontrollen der Behälter, das Verteilen von roten Karten, das Stehenlassen der Grünguttonne, eine komplette Behälterentfernung an problematischen Zonen sowie die Einführung eines Detektionssystems aufgeführt. (Fricke et al., 2003, S. 40)

Die aktuelle Situation wurde bei den Verwaltungseinheiten auch sekundärseitig abgefragt. Als Hauptproblem für die Einhaltung von Qualitätsanforderungen werden Fremdstoffe angegeben. Zu diesem Zeitpunkt waren die Richtlinien der Bundesgütegemeinschaft Kompost in Kraft. (Fricke et al., 2003, S. 44 und 45)

Auch in diesem Bericht ist die Saisonalität für die anfallenden, schwankenden Mengen an Grüngut verantwortlich. Dies ist in der heutigen Zeit ebenfalls noch relevant. Ein Unterschied zur heutigen Zeit könnte jedoch die Akzeptanz der Entsorgung sein. Durch die Umweltprobleme in den letzten Jahren, wie auch durch Bewegungen wie «Fridays for Future» hat sich die Meinung und die Akzeptanz zu nachhaltigeren Lebensstilen verändert. Im Bericht wird ein weiteres Mal in einer umfangreichen Untersuchung die Öffentlichkeitsarbeit als grosser Einflussfaktor genannt. Diese Tatsache stimmt immer noch, es kann jedoch sein, dass die Bevölkerung empfänglicher für Massnahmen geworden ist, welche z. B. die Abfallproblematik verbessern können.

5.1.5 Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. veröffentlichte im Jahr 2017 ebenfalls den Abschlussbericht über das Projekt «Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen» (Kehres et al.). Darin werden Methoden zur Feststellung der Sortenreinheit der biogenen Abfälle aus Haushalten vorgestellt. Die Standardmethoden sollten in Deutschland die Untersuchungen des Fremdstoffgehaltes vereinheitlichen, die Vergleichbarkeit fördern und betroffene Unternehmen und Gemeinden zur Durchführung solcher Analysen veranlassen. Für die Entwicklung der Methoden war es nötig, verschiedene Einflussfaktoren der Fremdstoffproblematik im Grüngut aus Haushalten zu untersuchen. Die Datenlage für die Empfehlung erfolgte aus insgesamt 22 Projekten zur Sortierung von Grüngut.

Ein interessanter Punkt aus den Untersuchungen ist der Einfluss der Saisonalität und Siedlungsstruktur. Ebenfalls wird in Abbildung 10 die These von steigendem Fremdstoffanteil mit steigenden Küchenabfällen bestätigt. Die Abhängigkeit der Siedlungsstruktur ist in drei Kategorien aufgeteilt. In grösseren Überbauungen im Stadtzentrum (Grosswohnanlage) ist der Anteil von Küchenabfällen am grössten, da die meisten Anwohner keine eigenen Gärten besitzen. Die Gartenabfälle auf dem Land sind ein wenig kleiner als in städtischen Regionen, dies wird der häufigeren Eigenkompostierung auf dem Lande zugeschrieben. Die fluktuierende Menge an Grünabfällen bezüglich der Jahreszeiten ist aus der Grafik ebenfalls ersichtlich. (Kehres et al., 2017)

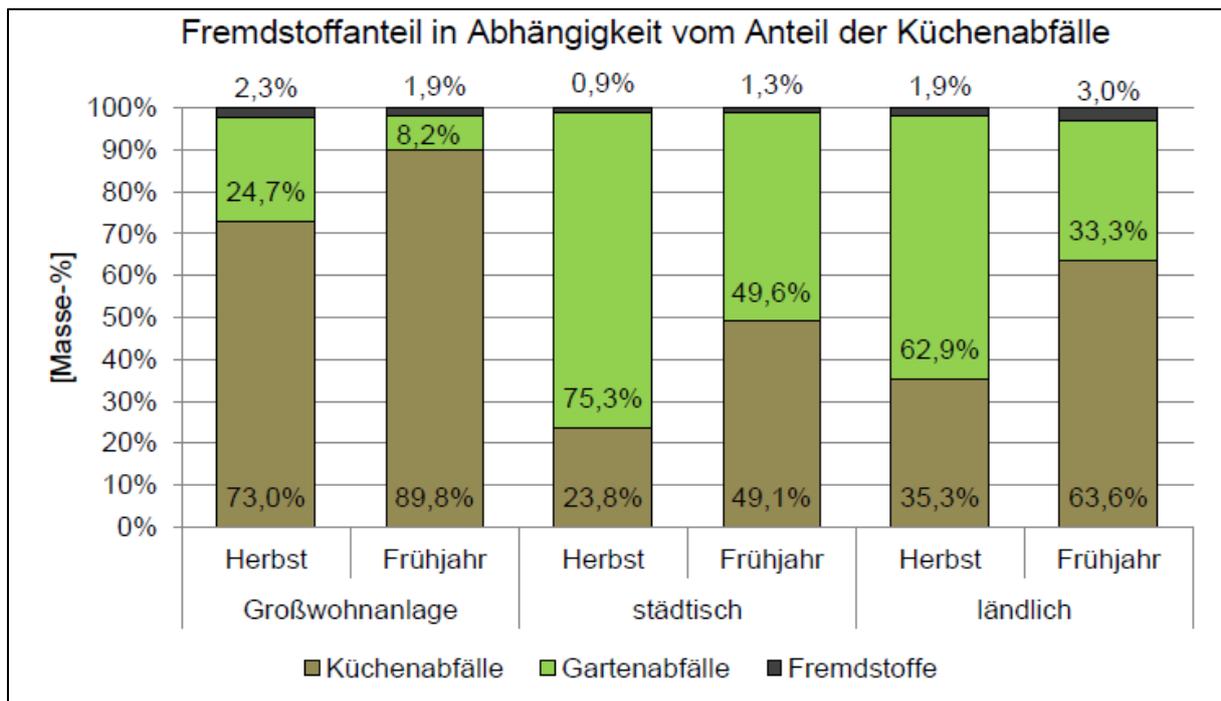


Abbildung 10: Anteile von Küchenabfällen, Grünschnitt und Fremdstoffe im Biogut im Frühjahr und Herbst in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur, Quelle: Kehres et al., 2017, S. 10

Bei den Untersuchungen werden die typischen Einflussfaktoren belegt. Die Vergrößerung des Fremdstoffanteils korreliert jeweils mit der Steigerung der Küchenabfälle. Bei der Kategorie der Grosswohnanlage stimmt diese Erkenntnis jedoch nicht. Dies kann verschiedenen Gründe haben. Da es Grosswohnanlagen sind, kann es sein, dass der Anteil von Gartenabfällen eher kleiner ist und somit der Mengenunterschied pro Saison gering ausfällt. In dieser Kategorie ist auch besonders, dass im Herbst mehr Gartenabfälle anfallen als im Frühling. Ev. kann dies mit höheren Laubabfällen im Herbst zusammenhängen.

5.1.6 Problem Kunststoffe/Fremdstoffe in Bioabfall und Kompost

Im Buch «Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung» wird von Konrad Schleiss (2018) erklärt, dass in der Schweiz bisher keine grossflächigen Erhebungen zu Fremdstoffgehalten in biogenen Abfällen realisiert wurden. Grössere Mengen an Inputmaterial wurde in den Jahren 2001 und 2002 das letzte Mal untersucht (Siehe Kapitel 5.1.3). Die Fremdstoffe wurden in den letzten Jahren höchstens auf der Sekundärseite analysiert, da auch die gesetzlichen Auflagen nur diesen Teil behandeln. Biomasse Suisse führte im Jahr 2015 eine Untersuchung von Kompost- und Vergärungsprodukten durch. Die meisten Produkte erfüllten zu diesem Zeitpunkt die

Auflagen, jedoch wurde im Jahr 2016 die ChemRRV verschärft. Die Fremdstoffgehalte sollten wiederholend nach den neuen Anforderungen untersucht werden.

Die Resultate zeigten, dass vor allem die flüssigen Produkte die strengeren Anforderungen einhalten konnten. Beim festen Gärgut konnten jedoch nur die Hälfte der Proben die Vorgaben erfüllen. Ebenfalls waren 5 der 22 Kompostproben zu stark mit Fremdstoffen verschmutzt. (Schleiss, 2018)

Die Diskussion über diese Problematik wurde in einer weiteren Untersuchung 2017 fortgeführt. Insgesamt wurden dabei 139 Proben in Kompost und Gärprodukten erhoben. Die Ergebnisse der Gärmistuntersuchungen zeigten auf, dass 1 von 9 Proben die Forderungen der ChemRRV bezüglich Kunststoffgehalt nicht einhalten. Jedoch liegt kein Ergebnis über der Norm für Fremdstoffe. (Schleiss, 2018)

In Abbildung 11 ist zu sehen, dass 17 von 39 Proben von festem Gärgut die Anforderungen an den Kunststoffgehalt (0.1 %) nicht erfüllen. Zusätzlich überschreiten dabei zwei Proben die Gesetzgebung zum gesamten Fremdstoffgehalt (0.5 %). Die Untersuchungen für Komposte für die Landwirtschaft und Gartenbau zeigen tiefere Fremdstoffanteile. Bei Komposten für die Landwirtschaft gibt es nur eine Probe, welche den Gesamtgehalt für Fremdstoffe aus der ChemRRV übertrifft. Sechs von 51 Proben übertreffen die Limite für den Kunststoffgehalt. (Schleiss, 2018)

Die Anpassungen der ChemRRV hatten grosse Auswirkungen auf die Betrachtung der Produkte aus Kompostierungs- und Vergärungsanlagen. Es ist hervorzuheben, dass es sinnvoll wäre, ebenfalls Auflagen für das Inputmaterial zu definieren. Nur so kann unabhängig von der verantwortlichen Anlage gewährleistet werden, dass die Produkte ebenfalls alle Richtlinien einhalten.

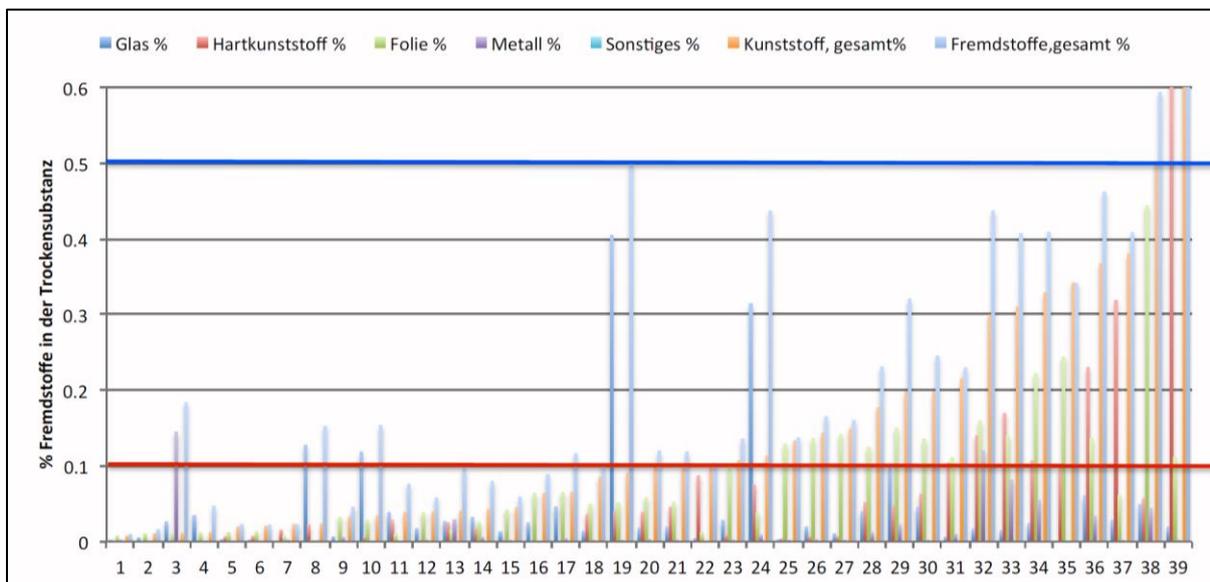


Abbildung 11: Ergebnisse zu festem Gärgut bezogen auf die Anforderung der ChemRRV, Quelle: Konrad Schleiss, 2018, S.235

5.1.7 COSEDEC

COSEDEC, das Kompetenzzentrum für Information, Sensibilisierung und Pädagogik, verfolgt das Ziel einen verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen und Abfällen zu fördern. Die Genossenschaft hat im Jahr 2020 eine Umfrage in der Westschweiz durchgeführt, um den

Wissensstand der Bevölkerung zum Thema Entsorgung von biogenen Abfällen abzuholen. In der Romandie besteht dieselbe Problematik mit vielen Fremdstoffen im Grüngut.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigten grossen Mangel an Wissen über den Recyclingkreislauf von biogenen Abfällen. Ein Drittel der Personen wissen nicht was mit den entsorgten biogenen Abfällen passiert, rund 50 % wissen es nur vage. Ebenfalls behaupteten rund 25 % der Teilnehmer, dass die Abfälle vor der Verwertung sortiert werden. (COSEDEC, 2020)

Die Umfrage sagt aus, dass rund die Hälfte der Bevölkerung in der Westschweiz nicht weiss, wie biogene Abfälle verwertet werden. So kennen sie auch die Problematik der Fremdstoffe nicht, die das Thema mit sich bringt. Für Gemeinden oder Verwertungsanlagen ist es so auch schwierig, den betroffenen Personen einen Vorwurf zu machen. Auch in der Westschweiz wird so das Thema der Öffentlichkeitsarbeit unumgänglich und sollte auch von Kantonen oder sogar vom Bund unterstützt werden. Nach Möglichkeit könnte sich ein kantonübergreifendes Konzept realisieren lassen, um finanzielle Mittel einzusparen und die Informationen zu vereinheitlichen.

5.1.8 Bericht zu Fremdstoffsortierungen 1. Halbjahr 20

Der Bericht zu den Praxisuntersuchungen zu Fremdstoffen als Basis für die Eigenkontrolle und die darin enthaltenen Resultate der Sortierungen im ersten Halbjahr 2020, benennen die Sammeldienste auf Gemeindeebene unter anderem als «Hot Spot» in der Fremdstoffproblematik (Schleiss & Trachsel, 2020). Ziel der Studie war die Untersuchung der Kunststoffverschmutzungen mithilfe von Praxismessungen in Vergärungsanlagen im Kanton Zürich. An den untersuchten Standorten der Biogasanlagen Bachenbülach, Ottenbach und Zürich sind über die letzten Jahre zunehmende Verschmutzungen in festen Gärprodukten festgestellt worden. Als Ergebnisse sollte ein Modell für die betriebsinterne Eigenkontrolle erstellt werden, um die Einhaltung der ChemRRV-Auflagen in den kantonalen Betriebsbewilligungen zu gewährleisten.

Die Untersuchungen fixieren sich auf Kunststoffe in Form von Hart- und Folienkunststoffen, andere Verschmutzungen wie Glas oder Metall haben dabei keine Priorität. Da Verschmutzungen hauptsächlich in festen Gärgutprodukten zu finden sind, wird im Bericht den flüssigen Produkten ebenfalls keine grosse Beachtung geschenkt. (Schleiss & Trachsel, 2020)

Im vorliegenden Text wurden für die Forschungen drei Verwertungsanlagen ausgewählt, welche in über der Hälfte ihres Sammelgebiets Grüngut mit Speiseresten einsammeln. Damit können die Fremdstoffe in den Speiseresten besser bewertet werden. Konrad Schleiss und Daniel Trachsel bewerten die saisonale Diskrepanz der Fremdstoffe in ihrem Bericht als gegeben. Durch die grössere Fracht an Grünabfällen im Sommer durch Rasenschnitte etc. wird der Fremdstoffanteil kleiner, da im Verhältnis weniger Speisereste auftreten. (Schleiss & Trachsel, 2020)

Ein wichtiges Fazit dieser Praxisuntersuchung ist die Tatsache, dass es sinnvoll ist, die Verschmutzungen (Fremdstoffe) bereits auf der Primärseite ausfindig zu machen, um eine mögliche Zerkleinerung der Plastikstücke zu vermeiden. Auf diese Weise kann der Aufwand der Auslesung der Fremdstoffe minimiert werden (Schleiss & Trachsel, 2020). Diese Erkenntnis kann für alle weiteren Verwertungswege von biogenen Abfällen übernommen werden. Die Ergebnisse der Analyse der Fremdstoffuntersuchungen in diesem Kapitel lassen sich auch mit den Messresultaten des Grüngutscanners vergleichen. Die Resultate der ersten Verlesung der Trockensubstanz beim Ablad auf den Anlagen betreffen dieselbe Schnittstelle wie die Detektionen des Grüngutscanners vor dem Fahrzeugeintritt. Die Vergleiche werden bei den

Resultaten des Grüngutscanners in Kapitel 5.3.4 mit genauen Werten vollzogen. Die Diskussion wird dort weitergeführt.

5.2 Wissenschaftliche Publikationen

5.2.1 Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia

Die Studie von M. D. Alvarez et al. befasst sich mit der Zusammensetzung der Verschmutzung von Bioabfall in Katalonien und deren Zusammenhang mit sozioökonomischen und demografischen Faktoren (2007). Dafür wurden zwischen Oktober und Dezember 2004 insgesamt 350 Proben aus 193 Städten in Katalonien, Spanien untersucht. Die meisten Daten stammen von grossen Bioabfalltonnen, eine kleinere Anzahl von privaten Containern im Tür-zu-Tür Sammelsystem. Es wurden jeweils Städte unterschiedlicher Grösse und Einwohnerzahl ausgewählt.

In den Resultaten sind die durchschnittlichen Verschmutzungen des Grünguts ersichtlich. Der Modalwert des Fremdstoffanteils der untersuchten Städte lag zwischen 10 und 20 %, die maximale Verschmutzung sogar bei 50 %. Diese Werte lassen sich nicht mit deutschsprachigen Ländern vergleichen, es werden demnach hauptsächlich die Einflussfaktoren auf die Fremdstoffe angeschaut. Die Fremdstoffe wurden im Bericht anhand der Faktoren Sammelsystem, Populationsdichte, Bruttoeinkommen pro Kopf und Jahr und Personen in Heimarbeit untersucht. (Alvarez et al., 2007)

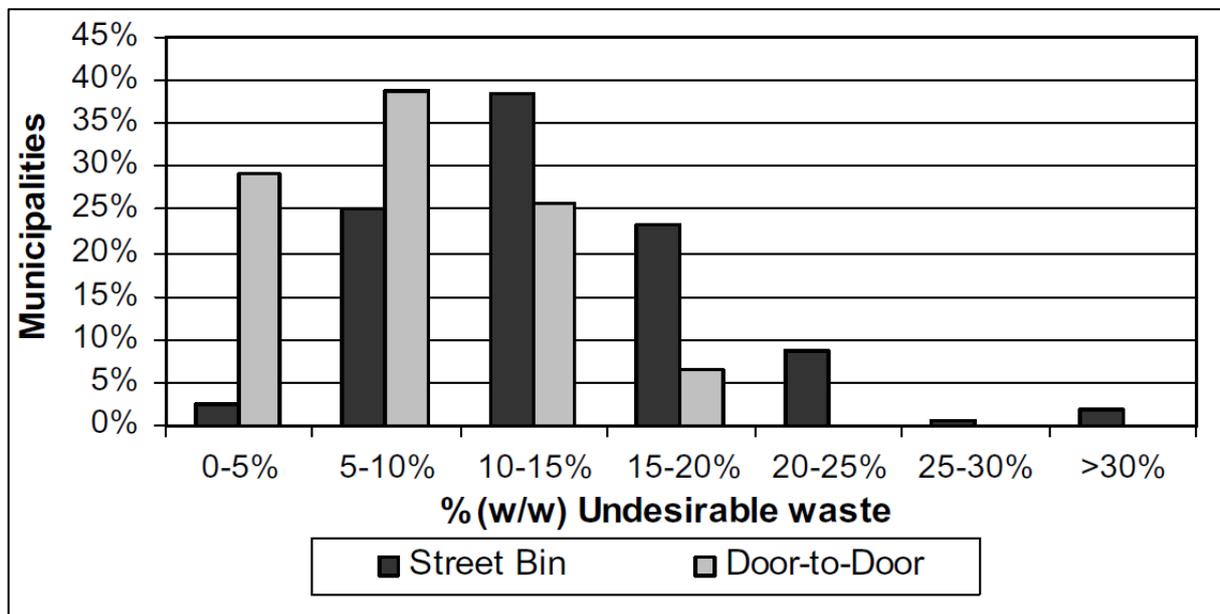


Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der untersuchten Städte nach der Qualität der biogenen Abfälle, Quelle: Alvarez et al., 2007, S. 362

Das Tür-zu-Tür Sammelsystem zeigte insgesamt bessere Qualitätsniveaus als das Bring-System (siehe Abbildung 12). Das Maximum der Verschmutzung beim Tür-zu-Tür-System betrug 20 %, das Bring-System hatte z. T. einen Fremdstoffanteil von über 20 %. Die Verfasser vermuten, dass die Resultate aus dem stärkeren Überwachungsgefühl und dem grösseren Umweltbewusstsein bei Inhabern von privaten Containern resultieren. (Alvarez et al., 2007)

Der Faktor Bevölkerungsdichte wurde nur in Bezug auf das Bring-System analysiert. Es ergab sich eine logarithmische positive Korrelation zwischen Populationsdichte und Fremdstoffen. Wenn die Verschmutzung nur bis 30 % betrachtet wurde, ergab sich sogar eine praktisch lineare Korrelation zwischen Verschmutzung und Population. (Alvarez et al., 2007)

Beim Bruttoeinkommen pro Kopf und Jahr (gross disposable household income (GDHI)) zeigte sich eine negative lineare Korrelation zwischen dem Einkommen und den Fremdstoffen. Ein höheres Bildungsniveau geht mit höherem Einkommen, eine Region mit höherer Arbeitslosigkeit mit einem kleineren Einkommen einher. Somit ergaben sich sowohl positive lineare Korrelationen zwischen hohem Bildungsniveau und besserer Bioabfall-Qualität als auch zwischen höherem Anteil an Analphabetismus und Verschmutzung. Ebenfalls wird ein positiver Zusammenhang zwischen Arbeitslosigkeit und Verschmutzungsgrad im Grüngut grafisch dargestellt. (Alvarez et al., 2007)

Als letztes wurde das Entsorgungsverhalten von Personen in Heimarbeit untersucht. In Katalonien gibt es eine beträchtliche Anzahl nichtarbeitender Leute, die grossen Wert auf das Eigenheim und Heimarbeit legen. Entgegen der Erwartung der Verfasser wurde mehr Verschmutzung in Grüngutcontainern festgestellt, welche sich in Gebieten mit einem höheren Anteil solcher Personen befanden. (Alvarez et al., 2007)

Es ist anzumerken, dass sich die Werte der Fremdstoffanteile nicht direkt mit der Schweiz, Deutschland oder Österreich vergleichen lassen. Die durchschnittliche Verschmutzung der biogenen Abfälle ist in Katalonien knapp um einen Faktor 10 höher als in der Schweiz. Dies lässt sich mit der grundverschiedenen Abfallwirtschaft in Spanien erklären. Jedoch lassen sich einzelne Einflussfaktoren der Publikation auf die mitteleuropäischen Länder übertragen. Der Punkt, dass sich die Fremdstoffanteile in Hol- und Bringsystemen unterscheiden, macht den psychologischen Aspekt des stärkeren Überwachungsgefühls bei der Bevölkerung deutlich.

5.2.2 Determining factors for the presence of impurities in selectively collected bio-waste

Im wissenschaftlichen Paper von Puig-Ventosa et al. wurde neben unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Qualität der biogenen Abfälle auch die Zusammensetzung der Fremdstoffe untersucht (2013). Die Studie wurde in Katalonien, Spanien mit Daten aus den Jahren 2006, 2007 und 2008 durchgeführt. Die erhobenen Daten waren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung weltweit einzigartig aufgrund der Ausführlichkeit und Ausdehnung.

In Abbildung 13 ist die Zusammensetzung der Fremdstoffe abgebildet. Über alle untersuchten Jahre hinweg machten Plastik, Plastiktüten und Papier/Karton den grössten Teil der Verschmutzungen aus. Die Gesamtverschmutzung zwischen 2006 und 2008 betrug im Durchschnitt 11.38 %. Dieser Wert ist mit mitteleuropäischen Ländern wiederholend nicht vergleichbar und somit wird des Weiteren auf die Einflussfaktoren eingegangen. (Puig-Ventosa et al., 2013)

Die relevanten Sammelsysteme in Katalonien sind «Bringsysteme» mit öffentlichen Containern und «Tür-zu-Tür-Systeme», bei denen das Grüngut direkt zu Hause abgeholt wird. Von den untersuchten Daten stammten 88.84 % der Abfälle von Bringsystemen und 11.64 % von Tür-zu-Tür-Systemen. Insgesamt ergab die Analyse weniger Verschmutzung für die Tür-Systeme als für die «Bring-Systeme». Ebenfalls wurde mitberücksichtigt, dass es bei den Tür-zu-Tür-Systemen unterschiedlich viele Fraktionierungen gibt. Entgegen den Erwartungen gab es mehr Verschmutzungen in den Systemen mit fünf Fraktionierungen. Auch bei den Bring-

Systemen wurde unterschieden zwischen verschiedenen Container-Arten: Single, two-fraction und underground. In den Single-Containers wurden weniger Fremdstoffe gefunden. (Puig-Ventosa et al., 2013)

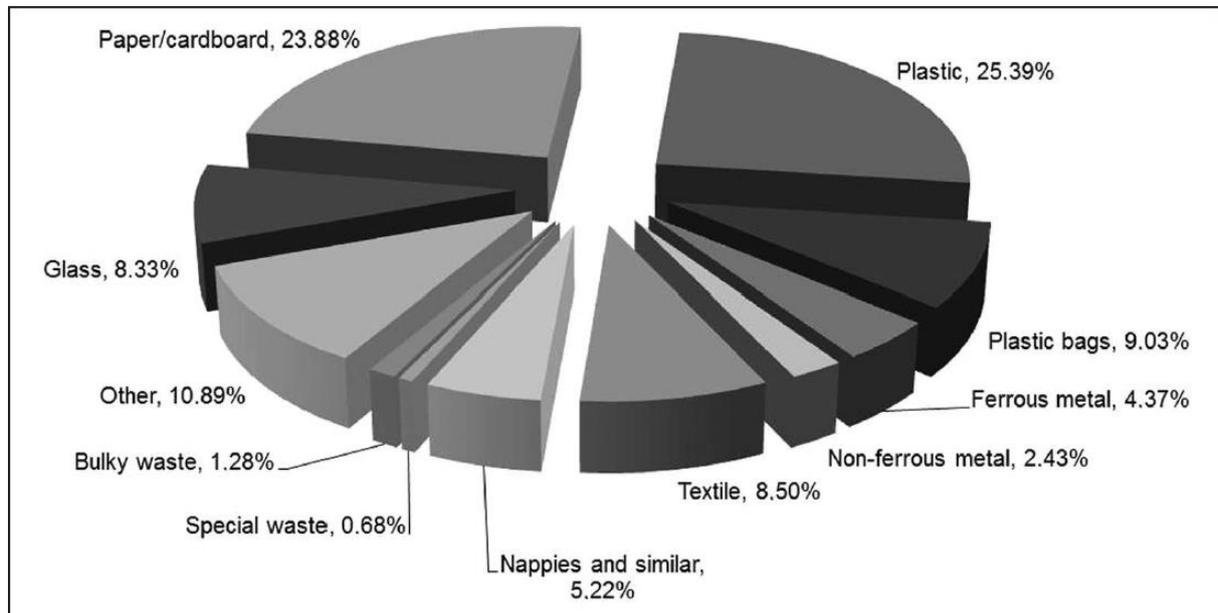


Abbildung 13: Zusammensetzung der Fremdstoffe in biogenen Abfällen aus katalanischen Gemeinden, 2006-2008 (Prozentsätze auf Gewichtsgrundlage), Quelle: Puig-Ventosa et al., 2013, S. 512

Bei der Untersuchung des Einflusses von kompostierbaren Entsorgungssäcken (BAW-Säcke in der Schweiz) auf die Grüngutqualität wurden die Daten nach Regionen aufgeteilt, in denen kompostierbare Abfallsäcke obligatorisch, empfohlen oder weder noch sind. Die Resultate ergaben die geringste Verschmutzung in den Regionen, in denen kompostierbare Säcke obligatorisch sind. Danach kamen Regionen mit der Sack-Empfehlung. Die meisten Fremdstoffe befanden sich im Grüngut der Regionen, bei denen es keine Empfehlung für abbaubare Säcke gab. Die Verfasser vermuten einen Zusammenhang mit der Transparenz der Säcke; wenn bei der Sichtkontrolle zu viele Fremdstoffe im Grüngut gefunden werden, wird der Sack vom Entsorgungsunternehmen nicht mitgenommen. Ebenfalls gehen sie davon aus, dass in den Regionen, in denen BAW-Säcke obligatorisch sind, mehr Öffentlichkeitsarbeit betrieben wird und somit das Umweltbewusstsein der Bevölkerung höher ist. (Puig-Ventosa et al., 2013)

Im zweiten Teil der Studie von Puig-Ventosa et al. (2013) wurde anhand einer Regressionsanalyse versucht, die Gründe hinter den Verschmutzungen genauer zu erfassen. Dabei ergab sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Grüngut-Entleerung und der Qualität des Grünguts. Ebenfalls fanden die Autoren mehr Verschmutzung in Haushalten mit höherem Einkommen, was sie in Zusammenhang mit einer älteren Generation und mehr Verpackungsabfällen verbinden. Sie fanden ebenfalls auch mehr Fremdstoffe in Regionen mit höherer Einwohnerdichte. Diese Tatsache konnte allerdings nicht begründet werden. (Puig-Ventosa et al., 2013)

Als Fazit kann unterstrichen werden, dass door-to-door-Systeme und abbaubare Säcke einen positiven Einfluss auf den Fremdstoffgehalt in biogenen Abfällen in Katalonien haben. Ausserdem unterstützt eine höhere Entleerungsfrequenz die Grüngutqualität zusätzlich. (Puig-Ventosa et al., 2013)

Die aufgeführte Studie macht wieder deutlich, dass sich die Fremdstoffanteile in den biogenen Abfällen je nach Sammelart unterscheiden. Die Container, welche vor der eigenen Haustüre geleert werden, sind fremdstoffärmer. Die Resultate der Fremdstoffzusammensetzungen scheinen auch sehr realistisch, wenn man diese hingegen mit anderen Ländern vergleichen möchte, ist Vorsicht geboten. Die Entsorgungssysteme in Spanien funktionieren auf eine andere Art und Weise und dementsprechend können die aufkommenden Fremdstoffmaterialien in den biogenen Abfällen abweichen. Die Erkenntnisse über die biologisch abbaubaren Säcke (BAW) sind auch hervorzuheben, da die Regionen nach drei verschiedenen Auflagen eingeteilt wurden. In der Schweiz tritt aktuell eine ähnliche Situation auf, da die Gemeinden oder Anlagenbetreiber unterschiedliche Einstellungen zu den BAW-Säcken haben. Mit der genauen Interpretation sollte man jedoch aufpassen, da die Untersuchung wie beim «Bericht zum Projekt Fremdstoffuntersuchung im Grüngut, Jahr 2001» zu einer Zeit durchgeführt wurde, als die Säcke noch eher neu auf dem Markt waren. Aber der Aspekt, dass eine Fremdstoffreduktion in Regionen erreicht wurde, in denen die BAW-Säcke vorgeschrieben sind, lässt wieder auf eine gute Öffentlichkeitsarbeit schliessen, welche mit einem erhöhten Umweltbewusstsein einher geht. In den mitteleuropäischen Ländern wäre eine solche Vorgehensweise ebenfalls angebracht.

5.3 Statistische Analyse der Daten des Grüngutscanners

5.3.1 Messunsicherheiten

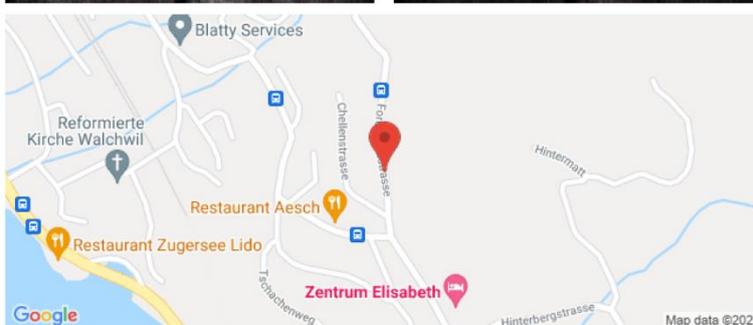
Schlechte & Mittlere Bewertungen im Zeitraum von 29.02.2020 bis 31.03.2020.

23.März 2020 10:35



Schlecht

Fraktion	Anteil
Restmüll	100 %



Forchwaldstrasse 102
6318 Walchwil

ZEBA: Zug

GPS: 47.0967 | 8.52278

Abbildung 14: Auswertung des Grüngutscanners von einer inkorrekten Messung in Walchwil, Quelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Bei den Messdaten des Grüngutscanners gibt es klare Fälle von Messfehlern. Im Datensatz 2020 von Zeba tauchen zwei Messwerte auf, welche sehr unrealistisch erscheinen. In beiden Fällen ist der Anteil der Fremdstoffe 100 %, die restlichen Werte Null. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Sensoren die gesamte Fläche als «Restmüll» definieren. In Abbildung 14 ist ersichtlich, dass während der Messung die Linse des Sensors angelaufen oder verschmutzt war. Somit detektiert der Grüngutscanner die gesamte Messung als «Restmüll», also als Fremdstoffe.

Schlechte & Mittlere Bewertungen im Zeitraum von 29.02.2020 bis 31.03.2020.

12.März 2020 15:15



Schlecht

Fraktion	Anteil
Restmüll	100 %



Am Büel 1
6345 Neuheim

ZEBA: Zug

GPS: 47.2034 | 8.58028

Abbildung 15: Auswertung des Grüngutscanners von einer inkorrekten Messung in Neuheim, Quelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Ebenfalls trat ein weiteres Ergebnis mit einer hundertprozentigen Verschmutzung auf (Siehe Abbildung 15). Dabei konnte der Sensor keine Materialien erkennen und detektierte so fälschlicherweise alles als Restmüll, was in diesem Fall als 100 % Fremdstoffe gedeutet wird.

Insgesamt konnten nur diese zwei unrealistischen Fremdstoffanteile ausfindig gemacht werden. Es wurde diskutiert, ob allenfalls noch andere «falsche» Messungen im Datensatz auftauchen. Aufgrund der Datenlage konnte jedoch nicht beurteilt werden, ab wann eine Detektion als falsch bezeichnet werden soll. Statistische Berechnungen zu Ausreisser etc. wurden ebenfalls als nutzlos erachtet. Die Datenanalyse wurde mit allen 22'543 Messwerten weitergeführt.

5.3.2 Datenauswertung Kanton Zug

5.3.2.1 Punktediagramme aller Fraktionen

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind alle prozentualen Anteile der detektierten Fraktionen des Grünguts aus Haushalten gegenüber dem Jahr (nach Monaten) aufgetragen. Die Messungen wurden im Kanton Zug durchgeführt und es ist jeweils ein ganzes Jahr pro Grafik aufgetragen. Der Anteil «Grüngut» hat die Farbe Grün. «Für abbaubare Säcke» (BAW) wird Hellgrün verwendet. «Fremdstoffe» sind rot markiert und die «sonstigen Säcke» (meist Plastiksäcke) sind grau gezeichnet. Durch die Farbverteilungen wird klar, welcher Anteil der Detektionen den grössten Teil der Prozentsätze ausmachen: Grüngut und abbaubare Säcke (BAW). Es wird auch schnell ersichtlich, dass im Jahr 2020 mehr Messungen durchgeführt wurden. Zudem wurden jeweils im Frühling mehr Messwerte in einem kürzeren Zeitintervall aufgenommen.

In Abbildung 16, links oben, sind ebenso zwei Ausreisser ersichtlich. Die zwei roten Punkte repräsentieren zwei Messungen des Grüngutscanners, welche beide einen Fremdstoffanteil von 100 % anzeigten. Auf diese zwei Ausreisser wurde im vorherigen Kapitel 5.3.1 bereits eingegangen und die visuellen Bilder dazu präsentiert.

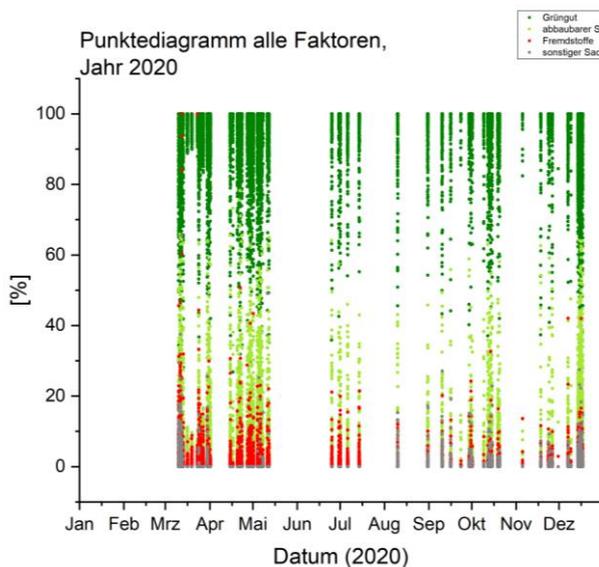


Abbildung 16: Messwerte Grüngutscanner, alle Fraktionen nach Datum, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

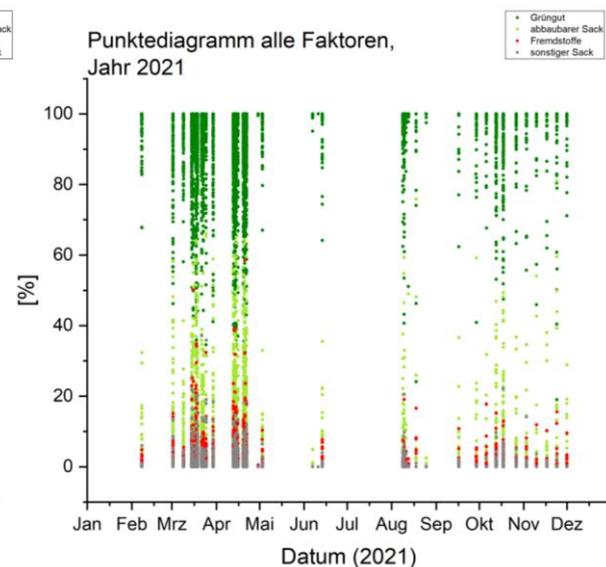


Abbildung 17: Messwerte Grüngutscanner, alle Fraktionen nach Datum, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Auf den beiden Punktediagrammen, auf denen alle Fraktionen aufgetragen sind, erkennt man direkt, dass die zeitliche Verteilung der Messungen grossen Schwankungen unterlegen ist. Dies macht eine Interpretation schwierig und man sollte sich dessen bewusst sein.

Um die zeitlichen Veränderungen der Abfallaufkommen im Grüngut durch COVID-19 zu beachten, wurden die Ferien, Feiertage und die Homeofficezeiten im Kanton Zug angeschaut (Kanton Zug, 2022). Die unterrichtsfreie Zeit der Schule wurde mit der Farbe Violett hinterlegt (Siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). So kommt zum Vorschein, dass das erste Messintervall im Frühling 2020 genau während des ersten Lockdowns aufgenommen wurde. Danach normalisierte sich die Situation in den Schulen wieder und die unterrichtsfreie Zeit kann mit anderen Jahren verglichen werden.

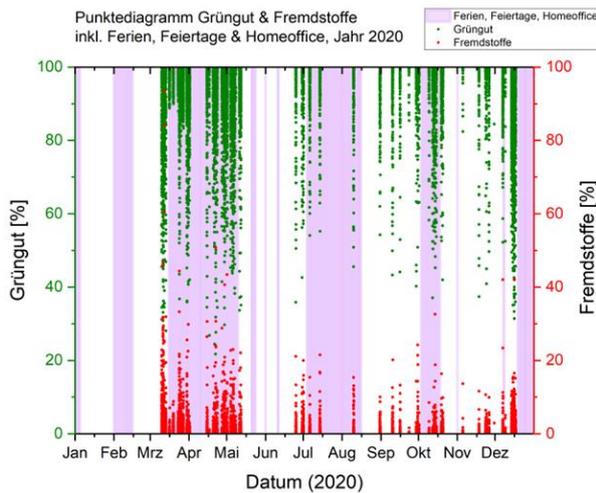


Abbildung 18: Messwerte Grüngutscanner, Grüngut & Fremdstoffe inkl. Ferien, Feiertage & Homeoffice nach Datum, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

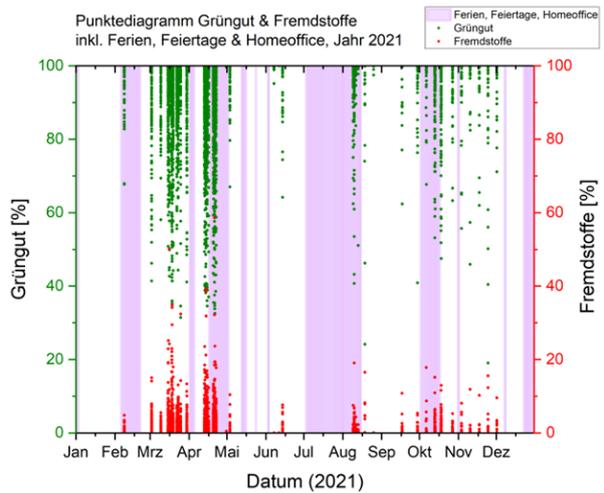


Abbildung 19: Messwerte Grüngutscanner, Grüngut & Fremdstoffe inkl. Ferien, Feiertage & Homeoffice, nach Datum, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Bevölkerung ihr Reiseverhalten in dieser Zeit angepasst hat und sich eine Differenz im Abfallaufkommen zu anderen Jahren gebildet haben könnte.

5.3.2.2 Korrelationen nach Fraktionen

Während der Datenanalyse wurden für das Feststellen von Korrelationen alle gemessene Fraktionen des Grüngutscanners gegeneinander aufgetragen (Regressionsanalyse). Alle erstellten Grafiken sind im Anhang 11.1.4 abgebildet. Es ergab sich nur eine Kombination von Fraktionen, welche einen signifikanten Zusammenhang ergab, nämlich Grüngut zu abbaubarem Sack. In Abbildung 20 und Abbildung 21 sind jeweils die gesamten Jahre abgebildet. Die Korrelation ist negativ und die Messpunkte befinden sich eher im Teil oben links. In der Tabelle von beiden Grafiken ist der Wert «Pearson's r» ersichtlich, welcher den Pearson-Korrelationskoeffizient zeigt. Der Korrelationskoeffizient zeigt hier den linearen Zusammenhang zwischen den Fraktionen Grüngut und abbaubarem Sack an. In beiden Jahren beträgt dieser gut -94%, im Jahr 2020 -94.3 % und im Jahr 2021 -94.5 %. Ebenfalls ist der Wert «Adj. R-Square» (Bestimmtheitsmass) herauszulesen. Dieser Wert erklärt den Prozentsatz der Variationen der Punkte, also wie viel Prozent der Punkte die Anpassung der roten Linie definieren. In beiden Jahren sind dies ca. 89 %. Aus diesen beiden Werten geht hervor, dass eine lineare Beziehung zwischen Grüngut und abbaubaren Säcken besteht. Die Analyse der Daten zeigte zwar eine klare negative Korrelation zwischen dem Gehalt an BAW-

Stoffen und der Grüngutmenge, die allerdings mit Bedacht zu verwenden ist, da die Software des Grüngutscanners die Menge aller gemessenen Fraktionen auf 100 % normiert. (ArcGIS Pro, 2022)

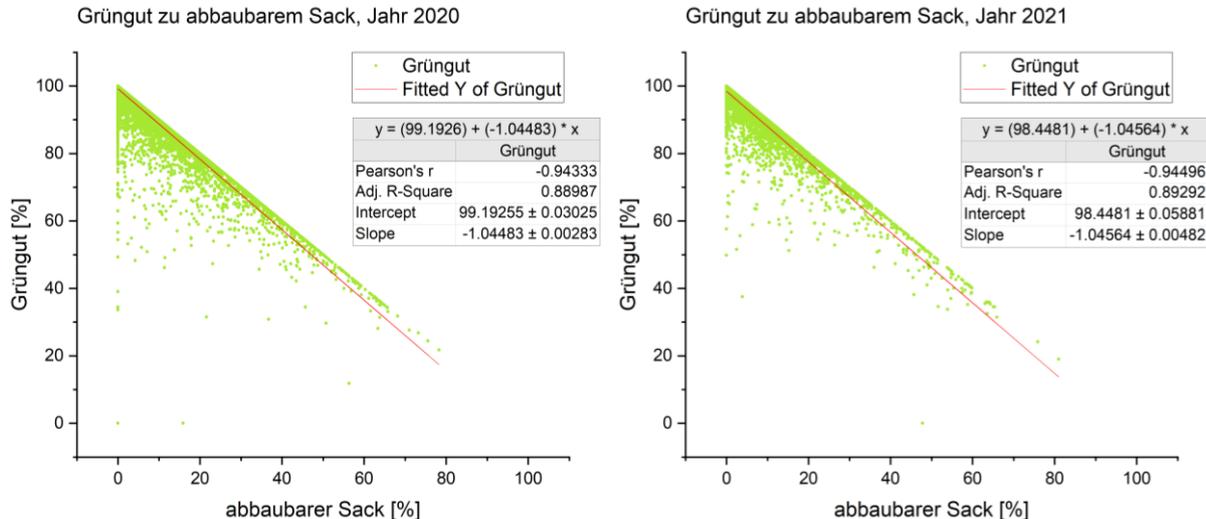


Abbildung 20: Korrelation Grüngut zu abbaubarem Sack, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Abbildung 21: Korrelation Grüngut zu abbaubarem Sack, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Ebenfalls gibt es verschiedene Korrelationen für die Messdaten in Murten, Kanton Freiburg. Dies ist jedoch nicht erstaunlich, da dieser Datensatz aus nur 191 Messwerten besteht. Die Zusammenhänge dabei beziehen sich auf Fremdstoffe zu Grüngut, Fremdstoffe zu sonstigem Sack, Grüngut zu abbaubarem Sack und Grüngut zu sonstigem Sack. Alle erstellten Diagramme können in Anhang 11.2 eingesehen werden.

5.3.2.3 Mittelwerte nach Jahreszeiten

Abbildung 22 zeigt die Mittelwerte der Messergebnisse des Grüngutscanners nach Jahreszeiten an. Für die Grafik wurden alle verfügbaren Daten von Zeba im Kanton Zug verwendet. Aufgrund der Datenlage mussten Anpassungen der Saisonalitäten gemacht werden, da die Detektionen des Grüngutscanners willkürlich erfolgten. Anfangs Jahr 2020 wurden die ersten Messungen am 10. März durchgeführt. Im Jahr 2021 gab es einen einzelnen Messtag am 8. Februar, danach ab dem 02.03 in regelmässigeren Abständen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde beschlossen, die Saison «Frühling» von Anfangs März bis Ende Mai zu definieren. Im Sommer erfolgten aus verschiedenen Gründen wie Schulferien etc. weniger Messungen und somit wurde Juni, Juli und August zu «Sommer». Der «Herbst» wurde anfangs ab dem astronomischen Herbstanfang angeschaut, jedoch aufgrund der Datenlage im Projektverlauf auf Anfangs September verschoben. Grund dafür war die Wintersaison: Im Winter sind jeweils nur Daten bis 17.12.2020 bzw. 01.12.2021 verfügbar. So wurde die Saison «Winter» in den Monaten November und Dezember definiert.

Es wird ersichtlich, dass sich die Resultate zwischen den Jahren beachtlich unterscheiden. Es ist anzumerken, dass die Y-Achse zur besseren Übersicht nur den Teil von 75 % bis 100 % der Mittelwerte abbildet. Die Projektteilnehmer definierten, dass im Frühling am meisten Grünabfälle aufkommen sollten, da viel Rasenschnitt etc. von den Haushalten entsorgt wird. Dort

sollte somit der Fremdstoffanteil am geringsten sein. Die definierte These, welche auch vielfach in der Literatur bestätigt wurde, trifft hier nur zu einem gewissen Teil im Jahr 2020 zu.

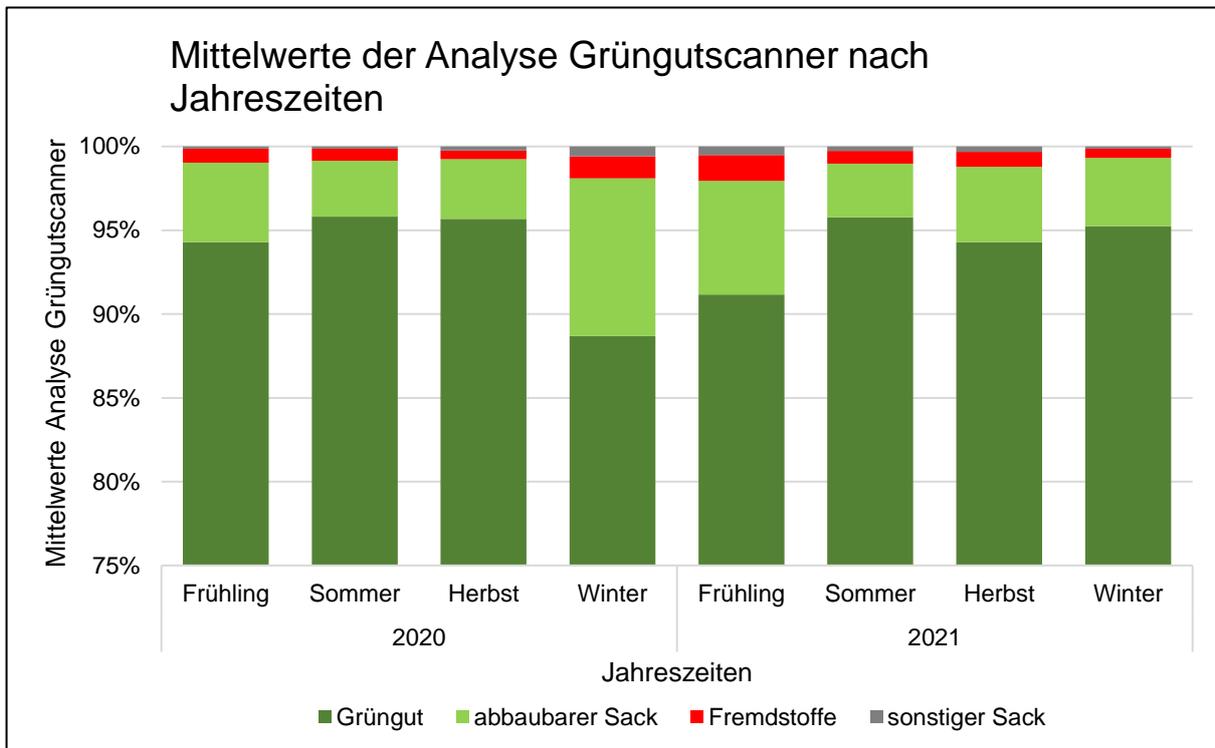


Abbildung 22: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Jahreszeiten im Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Die Diskrepanz zwischen den Messwerten 2020 und 2021 könnte nach Alex Vanek von Contena-Ochsner auch auf die Entwicklung der KI zurückzuführen sein. Das Prinzip dabei sollte sich mit der Zeit optimieren, somit kann es gut sein, dass das System im Folgejahr bereits genauer detektiert hat (A. Vanek, persönliche Kommunikation, 23. Mai 2022).

Wenn man die nächste Abbildung 23 betrachtet, sieht man die zusammengeführten Mittelwerte des Grüngutscanners. Zur besseren Übersicht wurden zwei gemeinsame Kategorien definiert: Grüngut inkl. abbaubare Säcke und Fremdstoffe inkl. sonstige Säcke. Somit ist der dunkelgrüne Teil Abfall, welcher biologisch abbaubar ist, der rote Teil sind die gesamten Fremdstoffe. Im Jahresverlauf 2020 unterscheiden sich die ersten drei Werte Frühling Sommer und Herbst nur minim. Beachtlich ist jedoch der Mittelwert der Fremdstoffwerte im Winter mit 1.9 % der gemessenen Fläche. Im Jahr 2021 verläuft der Wert der Fremdstoffe jedoch entgegengesetzt der definierten These. Im Frühling sind die Verschmutzungen mit 2.06 % am höchsten, im Sommer mit 0.69 % am kleinsten.

Diese markanten Jahresunterschiede lassen darauf schliessen, dass die Detektionen nicht konstant durchgeführt wurden. Bei den Datensätzen von Zeba ist dies eine Tatsache, da im Jahr 2020 ca. 17'000, ein Jahr später nur noch ca. 5'500 Messungen durchgeführt wurden. Zusätzlich sind die Standorte der Detektionen nach Saison verschieden.

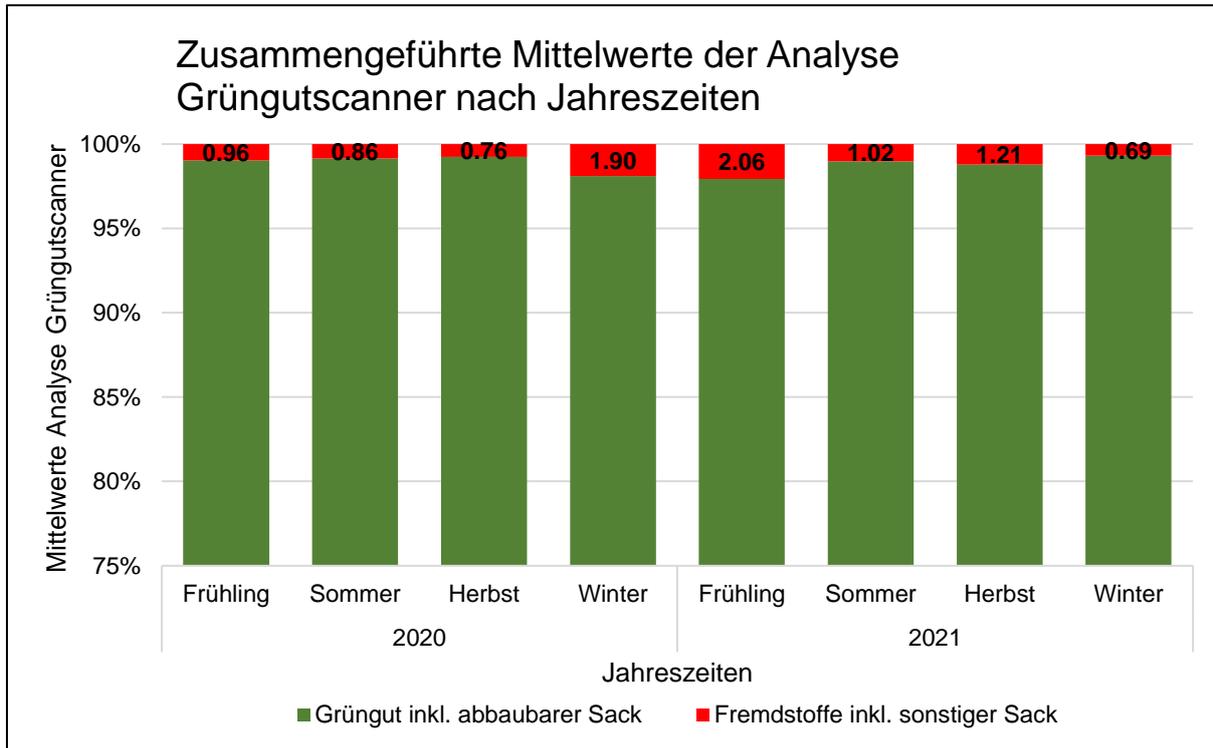


Abbildung 23: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Jahreszeiten im Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Somit wird es schwierig aus diesen Ergebnissen eine Schlussfolgerung zu ziehen. Das Jahr stellt zwar einen plausiblen Jahresverlauf der Fremdstoffe dar, jedoch befand sich in der ersten Messperiode die Gesellschaft aufgrund der COVID-19 Pandemie im Lockdown. Die Ergebnisse aus dem zweiten Jahr machen nach der verfügbaren Literatur weniger Sinn. Einerseits ist der Mittelwert der Messwerte im Winter eher zu klein, dies wird auf die fehlenden Messdaten im Monat Dezember 2021 zurückgeführt. Ebenfalls war im Fröhling dieses Jahres die aussergewöhnliche Situation immer noch aktuell und z. B. Studentinnen und Studenten arbeiteten alle von zu Hause aus. Viele Jobs wurden ebenfalls von zu Hause aus betrieben. Dieses Verhalten kann auch die Abfallsituation verändern. Es kann spekuliert werden, dass in dieser Zeit durch den höheren Nahrungskonsum zuhause auch die Nahrungsmittelreste aus Haushalten grösser wurde mitsamt auch der beinhalteten Fremdstoffe.

5.3.2.4 Mittelwerte nach Gemeinden

In einem weiteren Schritt wurden die Messwerte im Kanton Zug nach den Gemeinden sortiert. Das gestapelte Säulendiagramm in Abbildung 25 ist nach steigendem Fremdstoffgehalt eingeteilt. Risch-Rotkreuz hat somit den grössten Anteil an Fremdstoffen im Grüngut aus Haushalten. Es ist zusätzlich zu sehen, dass der Anteil von abbaubaren Säcken ebenfalls mit den Fremdstoffanteilen zunimmt. Die zusammengeführten Werte sind in Abbildung 24 ersichtlich. Die Zahl über dem Fremdstoffanteil stellt die Flächenprozentage von Fremdstoffen inkl. die sonstigen Säcke dar. Die Fremdstoffanteile in den Gemeinden variieren zwischen 0.58 und 2.99 %.

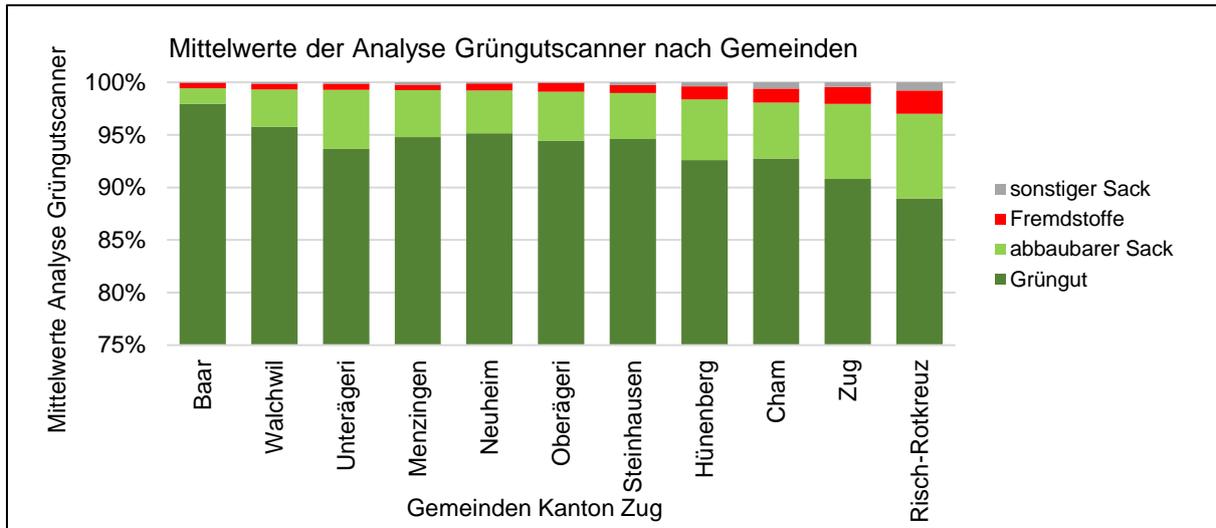


Abbildung 25: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

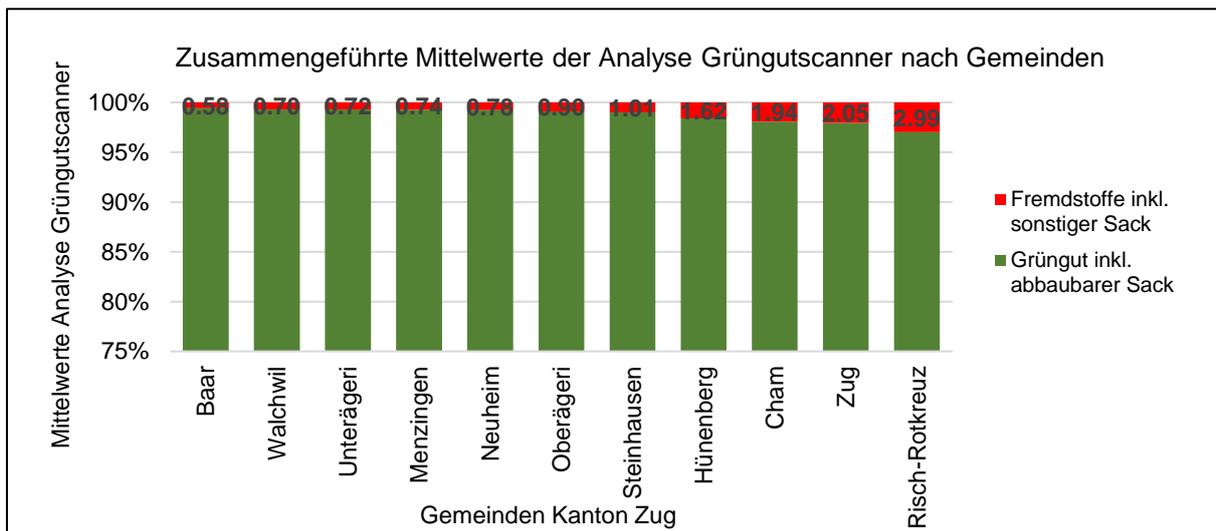


Abbildung 24: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation,

Die Ergebnisse der Mittelwerte nach Gemeinden zeigen ein realistisches Bild. Wenn man die prozentualen Flächenanteile mit Gewichtsprozenten vergleichen würde, so hätten sechs der elf untersuchten Gemeinden die neuen Anforderungen für Inputmaterial der Bioabfallverordnung in Deutschland bestanden. Jedoch kann man durch eine Flächenmessung nicht direkt auf das Gewicht schliessen. Die Grössenordnung der Messwerte des Grüngutscanners lassen sich jedoch mit bekannten Fremdstoffanteilen im Grüngut vergleichen (Siehe Bericht Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen, Kapitel 5.1.5).

5.3.2.5 Mittelwerte nach Gemeinden inkl. Einwohnende

Im Anschluss wurde aufgrund von Erkenntnissen aus der Literaturrecherche die Einwohnerzahlen der verschiedenen Gemeinden im Kanton Zug aufgetragen (Siehe Abbildung 26). Die Einwohnerzahlen erstrecken sich von ca. 2'000 in Neuheim bis 30'000 in Zug. (Bundesamt für Statistik, 2021)

Der erste Eindruck ergibt einen Zusammenhang zwischen dem Fremdstoffanteil in rot und der Einwohnerzahlen in Gelb. Wenn man die zwei «Ausreisser» Baar und Risch-Rotkreuz weglassen würde, ist eine Korrelation ab der Gemeinde Neuheim mit einem Fremdstoffgehalt von 0.78 % gegeben. Der Fremdstoffanteil ist in Baar mit 0.58 % am kleinsten, in Risch-Rotkreuz mit 2.99 % beachtlich gross. Über alle verfügbaren Messwerte ist somit ein Zusammenhang zwischen den Einwohnerzahlen und dem Fremdstoffanteil zu erkennen.

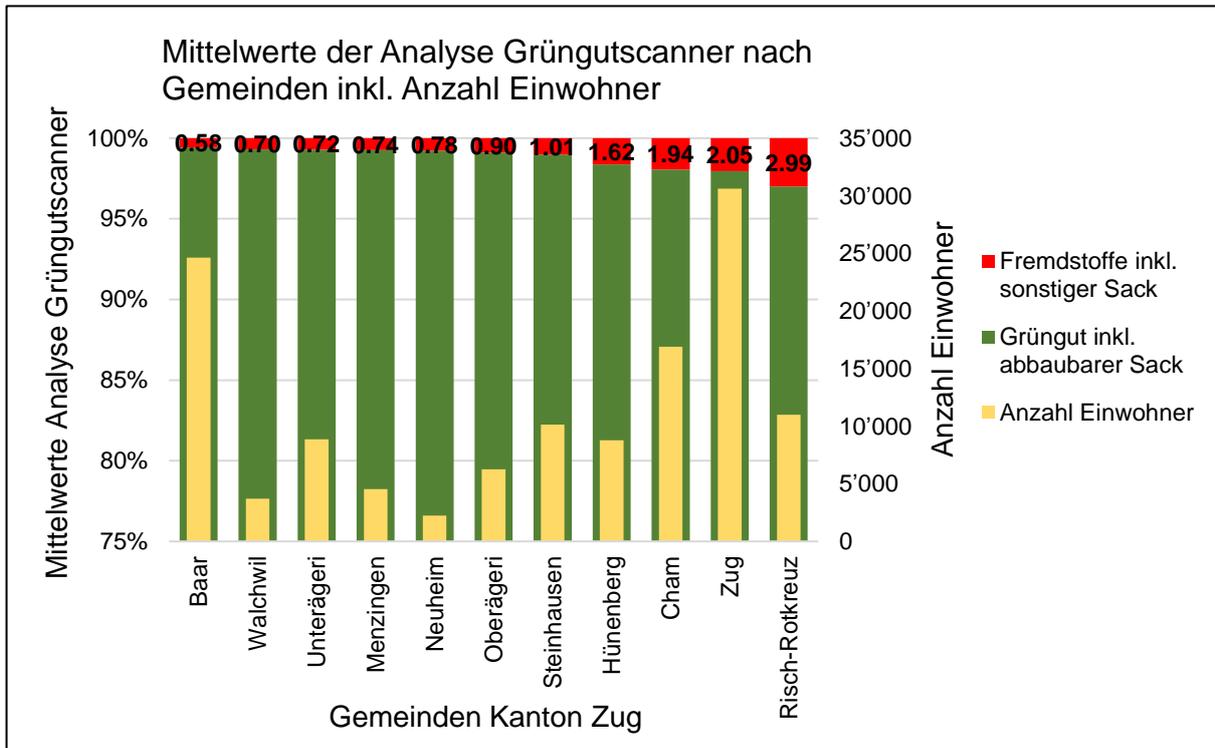


Abbildung 26: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner inkl. Anzahl Einwohnende der Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik

5.3.2.6 Mittelwerte nach Gemeinden inkl. Gemeindetypologie

Um neben den Einwohnerinnen und Einwohner auch die Überbauungsstrukturen mit einzubeziehen, wurde anstelle der Balken für die Einwohneranzahl die Gemeindetypologien aufgetragen. Das Bundesamt für Statistik bietet für jede Gemeinde in der Schweiz eine Kategorisierung nach Raumtypologie an. Die geografischen Einheiten werden in der Gemeindetypologie 2012 in drei verschiedene Kategorien gemäss «Raum mit städtischem Charakter 2012» eingeteilt. Diese werden wiederum in neun Unterkategorien weitergeteilt, welche die Agglomerationen nach Dichte, Grösse und Erreichbarkeit kategorisieren. Danach werden die Typologien noch weiter mit sozioökonomischen Kriterien ergänzt. Da die Gemeinden im Kanton Zug alle eine ähnliche Struktur haben, wurde entschieden die Gemeindetypologie mit 25 Kategorien für die Analyse zu verwenden. (Bundesamt für Statistik, 2017)

In Abbildung 27 sind die Gemeindetypologien auf der Sekundärachse angegeben. Die betroffenen Gemeinden teilen sich auf 5 verschiedenen Typologien auf. Zur besseren Übersicht wurde jedem Typ eine Nummer zugeteilt. Die Einteilung dazu ist in Tabelle 6 ersichtlich. Die Nummern nehmen mit der Grösse der Art von Gemeindetypologie zu.

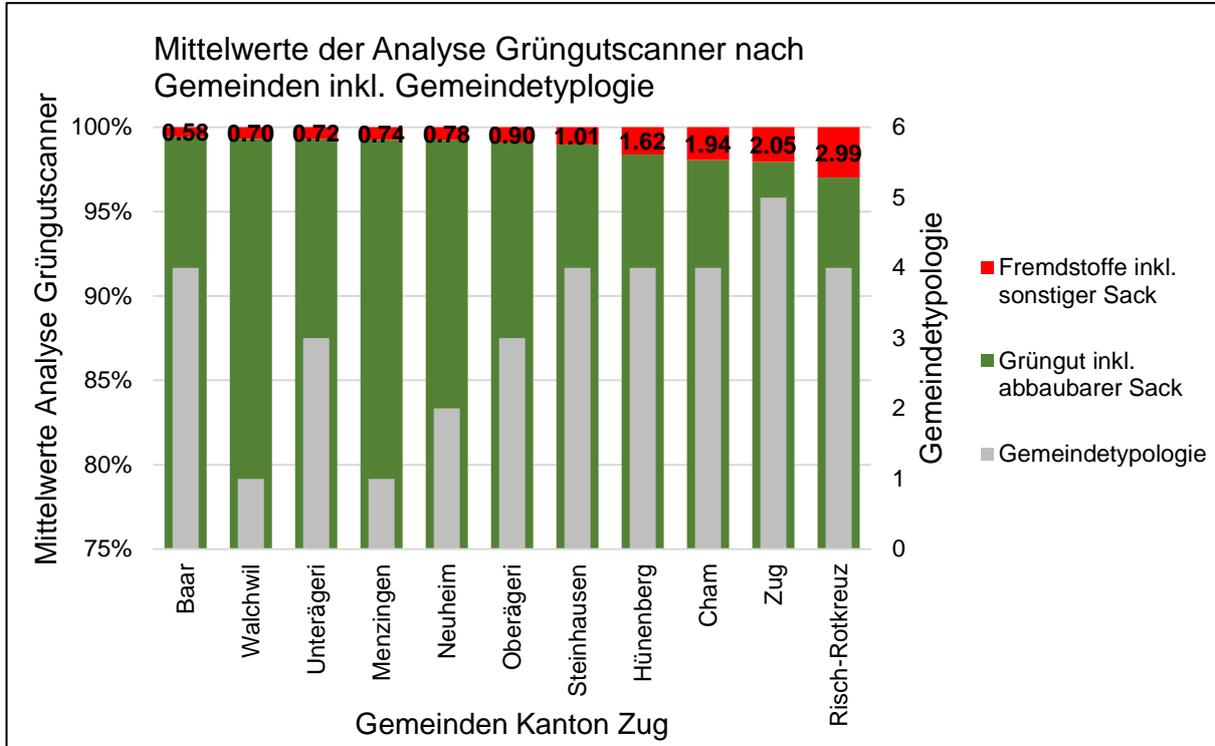


Abbildung 27: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner inkl. Gemeindetypologie der Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik

Der Grossteil der Gemeinden im Kanton Zug sind der Kategorie 4, «Städtische Arbeitsplatzgemeinde einer mittelgrossen Agglomeration», zuzuteilen. Zug ist die einzige Gemeinde, welche in Kategorie «Kernstadt einer mittelgrossen Agglomeration» eingeteilt wird. Ebenfalls sind auch zwei «Städtische Wohngemeinde einer mittelgrossen Agglomeration» und zwei «Periurbane Dienstleistungsgemeinde mittlerer Dichte» vorhanden.

Tabelle 6: Einteilung der Nummern nach Gemeindetypologien, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: Bundesamt für Statistik, 2021

Nr.	Gemeindetypologie
1	Periurbane Dienstleistungsgemeinde mittlerer Dichte
2	Periurbane Industriegemeinde mittlerer Dichte
3	Städtische Wohngemeinde einer mittelgrossen Agglomeration
4	Städtische Arbeitsplatzgemeinde einer mittelgrossen Agglomeration
5	Kernstadt einer mittelgrossen Agglomeration

Die Korrelation zu den Fremdstoffanteilen verfolgt über die gesamten Messwerte einen ähnlichen Trend wie die Bevölkerungszahlen. Leider sind die meisten Gemeinden mit grossem

Anteil Fremdstoffen in derselben Kategorie. Der Fremdstoffgehalt in Zug «Kernstadt einer mittelgrossen Agglomeration» ergibt aufgrund der Literaturrecherche ebenfalls Sinn, da grössere Agglomerationen meist auch grössere Fremdstoffanteile im Grüngut haben.

5.3.2.7 Mittelwerte nach Gemeinden und Jahr

In der folgenden Abbildung 28 sind die Mittelwerte aller Gemeinden aufgetragen. Sie sind identisch zu den anderen Abbildungen nach Fremdstoffanteilen sortiert. Die Datenlage macht einen Vergleich schwierig, da nur einzelne Gemeinden (4 Stk.) in beiden Jahren gemessen wurden.

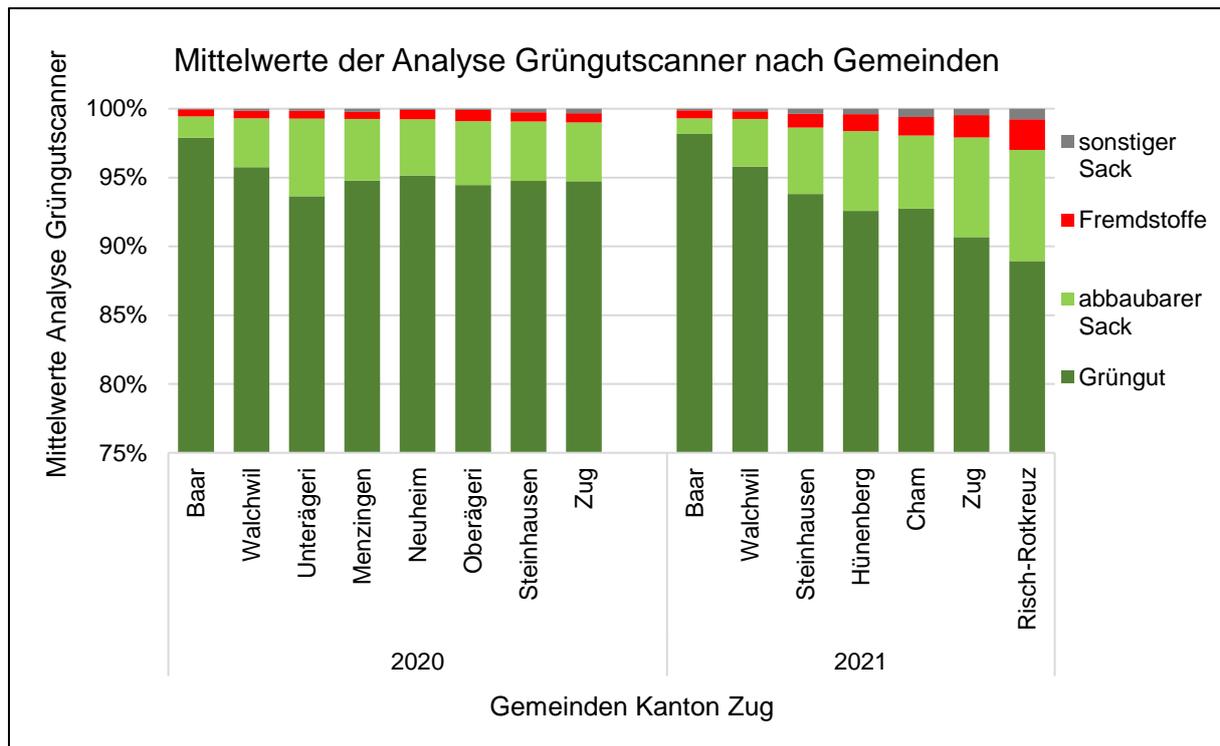


Abbildung 28: Mittelwerte der einzelnen Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Der Anteil von Grüngut verläuft im Jahr 2020 ziemlich gleichmässig. Es gibt kleinere Unterschiede in Baar, Walchwil und Unterägeri, insgesamt bewegt sich der Grüngutanteil um 95 % herum. Der Verlauf der abbaubaren Säcke ist ebenfalls ähnlich von min. 1.6 % in Baar bis zu 5.6 % in Unterägeri. Im Jahr 2021 kann ein Zusammenhang zwischen der Zunahme von Fremdstoffen und dem Anteil abbaubarer Säcke erkannt werden. In Baar wird der kleinste Anteil an BAW-Säcken mit 1.1 % festgestellt, in Risch-Rotkreuz der grösste mit 8.1 %. Somit ist ein klarer Trend zu erkennen.

Eine Korrelation von den steigenden Fremdstoffanteilen und der Zunahme der BAW-Säcke ist nach Abbildung 28 gegeben. Die Zunahme von beiden Fraktionen ist jedoch schwer zu begründen, da es auch in der Literatur verschiedene Ansichten gibt. Die Steigung der Fremdstoffe mit der grösseren Verwendung von BAW-Säcken lässt darauf schliessen, dass zum einen nichtinformierte Personen z. B. durch den Sackgebrauch der Nachbarn, normale Säcke als Sammelbehälter benutzen. Zum anderen kann es auch sein, dass gewisse Personen die

BAW-Säcke aus hygienischen Massnahmen zusätzlich mit normalen Säcken verstärken (Siehe Kapitel 5.1.3).

5.3.2.8 Mittelwerte nach Gemeinden und Jahr inkl. Einwohner

Weiter wurde die Analyse mit den Bevölkerungszahlen fortgeführt. In Abbildung 29 sind wieder die zusammengeführten Mittelwerte der Fraktionen zu sehen. Wie zuvor wurden die Kategorien Fremdstoffe inkl. sonstiger Sack und Grüngut inkl. abbaubarer Sack gewählt. Darüber hinaus wurden die Einwohnerzahlen der einzelnen Gemeinden aufgetragen.

Im Jahr 2020 machen die Fremdstoffanteile eher geringe Werte aus. In Baar werden die kleinsten Verschmutzungen detektiert, in Zug die grössten. Die Flächenprozentanteile verteilen sich von 0.55 bis 1 %. Zudem wird eine Zunahme der Einwohnerzahlen der Gemeinden nach rechts festgestellt. Baar kann in dieser Beziehung wieder als Ausreiser gesehen werden. Ergänzend fallen Unterägeri und Neuheim aus der Reihenfolge.

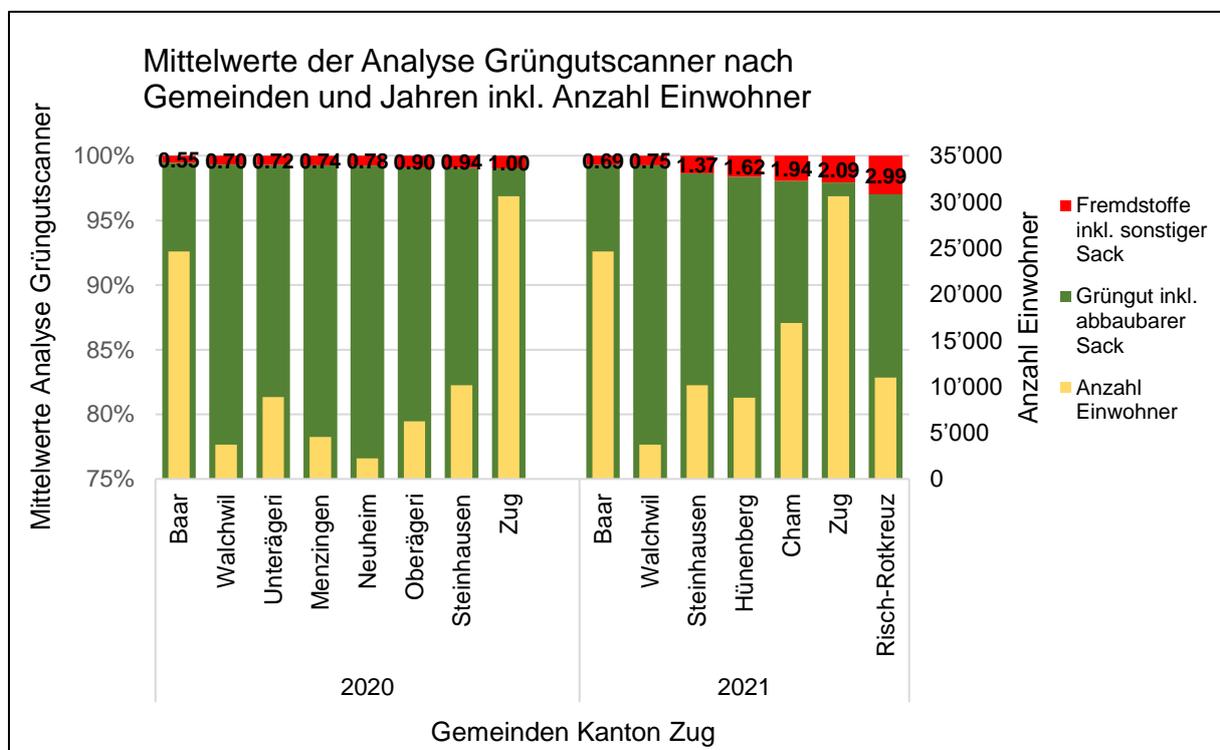


Abbildung 29: Mittelwerte Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren inkl. Anzahl Einwohner, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik, 2021

Der Trend wird im Jahr 2021 verdeutlicht. Die Mittelwerte der Gemeinden bezüglich Fremdstoffe inkl. sonstiger Sack nehmen nach rechts stark zu. Das Spektrum reicht von 0.69 % bis knapp 3 %. Ausserdem geht diese Zunahme mit der Steigerung der Einwohnerzahlen einher. Ohne die Gemeinden Baar, Hünenberg und Risch-Rotkreuz würde eine ideale lineare Korrelation entstehen.

Die Mittelwerte nach Gemeinden und Jahr inkl. Einwohner lässt die Vermutung aufkommen, dass die Verschmutzungen im Grüngut mit der Anzahl Einwohner zusammenhängen. Es ist jedoch zu vermerken, dass die Unterschiede im Fremdstoffanteil im Jahr 2020 sehr klein sind. Im Jahr 2021 sind sie um einiges grösser, die gesamte Kategorie Fremdstoffe inkl. sonstiger Sack vergrössert sich dabei um mehr als einen Faktor 4. Die Gründe dafür können

verschiedene Ursachen haben, das Jahr 2021 war wie bereits erwähnt weit weg von der Norm. Um genauere Schlüsse zu ziehen, müsste die Datenlage ergänzt und mit weiteren Jahren verglichen werden.

5.3.2.9 Mittelwerte nach Gemeinden und Jahr inkl. Gemeindetypologien

Die Abbildung 30 mit den Gemeindetypologien ergibt ein ähnliches Bild wie die Mittelwerte inkl. Einwohner in Abbildung 29. Im Jahr 2020 ist einen Zusammenhang von grösser werdenden Gemeindetypologien mit Zunahme der Fremdstoffe im Grüngut aus Haushalten zu erkennen. Ab der Gemeinde Menzingen ist die Korrelation linear. In Baar herrscht nach wie vor eine Ausnahmesituation mit geringem Fremdstoffanteil. Im Folgejahr kann praktisch keine Korrelation festgestellt werden, da fünf der untersuchten Gemeinden dieselbe Gemeindetypologie haben.

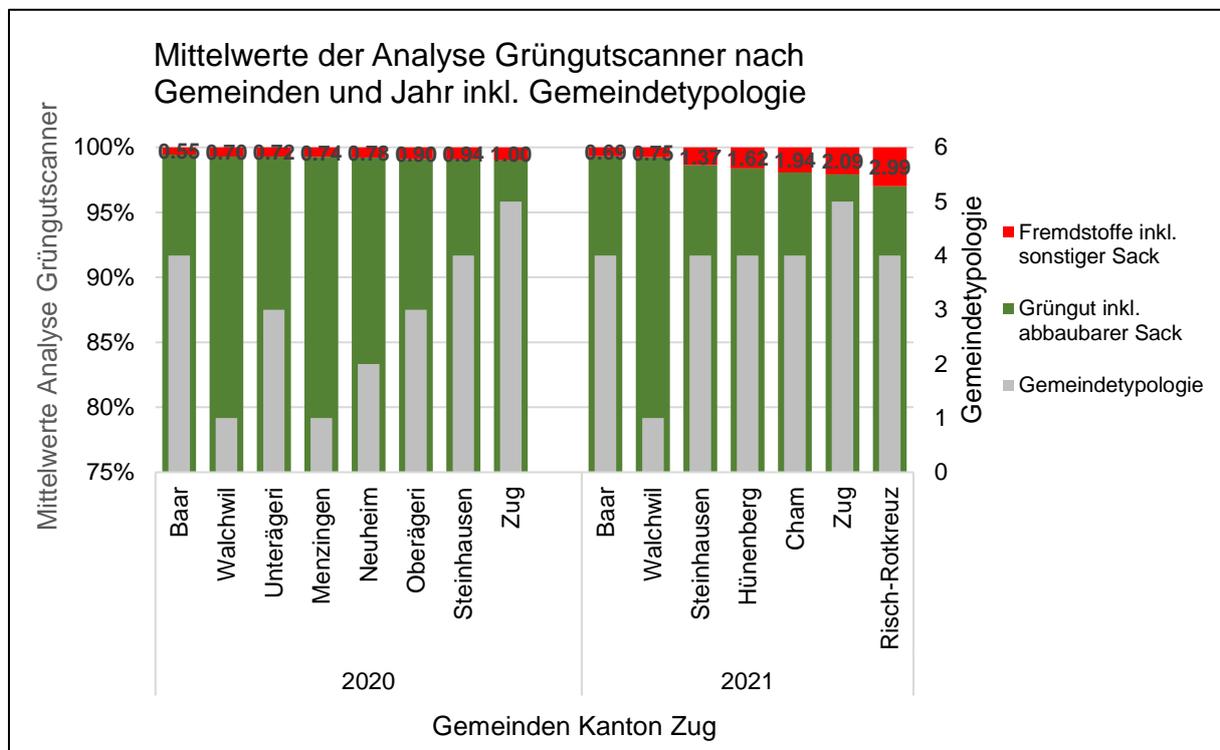


Abbildung 30: Mittelwerte Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren inkl. Gemeindetypologie, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik, 2021

Die Bewertung dieser Grafik ist aufgrund der Datenlage schwierig auszusprechen. Die Jahresunterschiede sind hierbei auch gross. Der Vergleich der beiden Jahre kann von neuem nicht durchgeführt werden, da wiederum unterschiedliche Gemeinden vorkommen. Das Jahr 2020 könnte jedoch sehr gut die Realität abbilden. Für eine überzeugende Interpretation müssten allenfalls weitere Messwerte detektiert werden.

5.3.3 Datenauswertung Murten, Kanton Freiburg

5.3.3.1 Mittelwerte gesamt

Die Messresultate von Murten wurden ebenfalls analysiert. Leider wurden diese Daten nur in einer einzelnen Woche im Dezember 2020 erhoben. Da es auch nur 191 Messwerte sind, lässt sich die Auswertung nicht mit den Resultaten aus Zug vergleichen.

Wie auf Abbildung 31 ersichtlich, ist der Fremdstoffanteil hier allerdings beachtlich gross. Es sind viele «sonstige Säcke» detektiert worden. Dies hat grossen Einfluss auf den gesamten Fremdstoffgehalt mit 6.5 %. Dieser Wert ist ev. eher zu hoch durch Messfehler etc., allerdings ist ein hoher Fremdstoffanteil im Winter durch die ausfallenden Gartenabfälle in der Literatur gegeben.

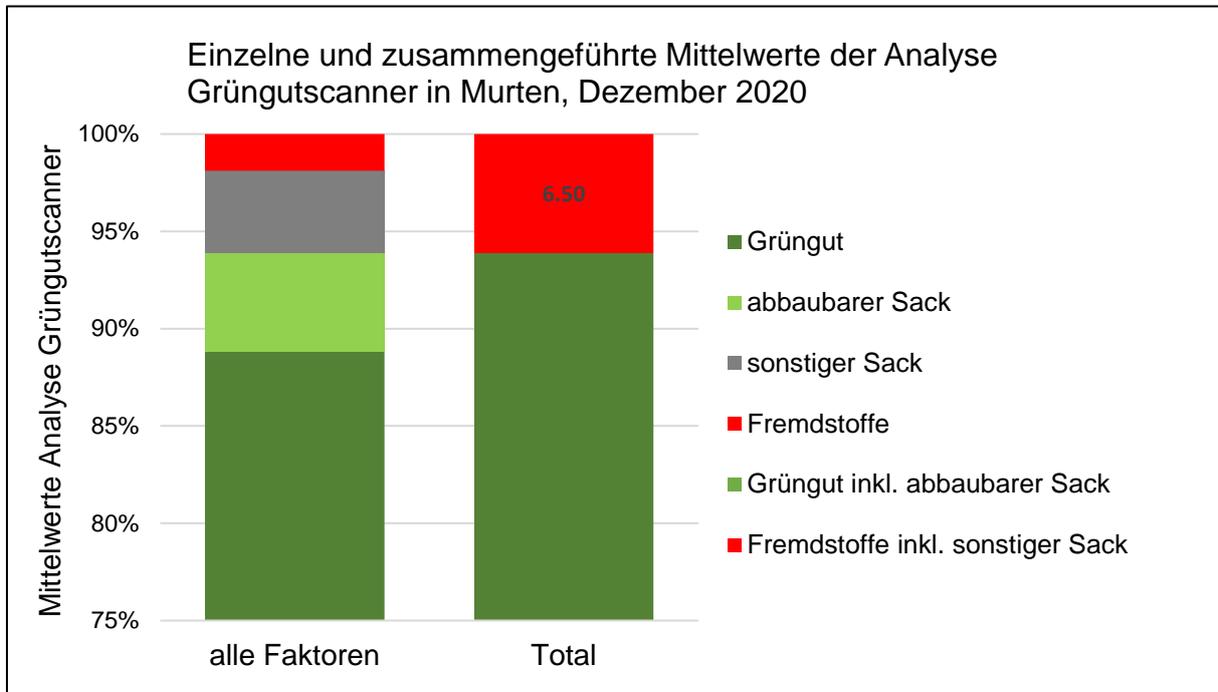


Abbildung 31: Mittelwerte einzelne und zusammengeführte Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner in Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Vanek, persönliche Kommunikation, 23. Mai 2022

5.3.4 Zusammenfassung der statistischen Analyse

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die gemessenen Fremdstoffanteile vom Grüngutscanner, im Vergleich zu bereits durchgeführten Analysen (Siehe Kapitel 5.1.3, 5.1.5 und 5.1.8), grundsätzlich plausible Werte im Hinblick auf eine saisonal fluktuierende Menge an Grüngut annehmen. Im Jahr 2020 wurden Fremdstoffanteile von 0.55 bis 1 % detektiert. Aus der Verteilung dieser Messwerte (Abbildung 23), kann eine saisonal fluktuierende Fremdstoffmenge in Zusammenhang mit der entsprechenden Grüngutfluktuation abgeleitet werden. Die Verteilung der Grüngutmengen und der Fremdstoffanteile im Jahr 2021 folgt jedoch nicht diesem Muster und verhält sich (zumindest teilweise) gegensätzlich. Im Frühling 2021 treten die grössten Fremdstoffanteile mit 2.06 % auf. Die Fremdstoffanteile nehmen im Jahresverlauf ab und sind im Winter mit 0.69 % am kleinsten.

Die Grössenordnung der Werte in den beiden gemessenen Jahren sind allerdings mit aktuellen Messwerten aus Kapitel 5.1.8. zu vergleichen. Dabei betreffen die Inputuntersuchungen im Jahr 2020 dieselbe Schnittstelle (welche den Übergang von biogenen Abfällen von Privatpersonen zu den Anlagenbetreibern beschreibt) im Entsorgungsprozess wie die detektierten Messungen des Grüngutscanners. Die analysierten Fremdstoffanteile im Bericht beziehen sich auf Kunststoffe, welche nach Konrad Schleiss und Daniel Trachsel den grössten Teil der Verschmutzungen ausmachen. Ebenfalls muss beachtet werden, dass die prozentualen Werte gewichtsbezogen sind. Als Beispiel können die Kunststoffanteile der Kompogas-Anlage in

Bachenbülach, Axpo Biomasse AG, betrachtet werden (Siehe Kapitel 5.1.8), die den höchsten Wert von allen drei untersuchten Anlagen aufweist (2.7 % der Trockensubstanz). Dieser Messwert entspricht dem höchsten Fremdstoffanteil (2.09 %) im Kanon Zug im Frühling 2021 in Abbildung 23. Die Kompogas-Anlage, Biogas Zürich AG ergab eine Fracht von 1.82 %, ähnlich dem Jahresverlauf der Messwerte im Jahr 2021 beim Grüngutscanners. Bei den Messungen Oekopower AG in Ottenbach, war der Plastikanteil 0.76 % der Trockensubstanz, dieser Wert entspricht dem kleinsten Zeba-Mittelwert nach der Saisonalität im Jahr 2020 (Abbildung 23).

Der Einfluss der BAW-Säcke kann aus Abbildung 22, 24 und 28 entnommen werden. Es wird ein Trend erkannt, dass mit steigendem Fremdstoffanteil auch die Menge an verwendeten BAW-Säcken grösser wird. Dieses Resultat ist jedoch nicht konstant über alle Auswertungen ersichtlich. Speziell in Abbildung 28 im Jahr 2020 verlaufen die BAW-Anteile nicht linear in Zusammenhang mit den Fremdstoffen. Nur im Jahr 2021 zeigt sich eine klare Korrelation von steigendem Fremdstoffanteil mit steigender Menge an abbaubaren Säcken. Der beschriebene Trend könnte aus der Literatur im Kapitel 5.1.3 mit dem hygienischen Verhalten der Bevölkerung der Auskleidung von BAW-Säcken mit normalen Kunststoffsäcken begründet werden. Jedoch sind die Messwerte des Grüngutscanners nicht in der Lage, den Inhalt der BAW-Säcke zu detektieren und nur die Fläche wird detektiert. Die Begründung wird deshalb mit Fehlwürfen aufgrund von Wissenslücken bekräftigt, bei denen die Bevölkerung zusätzlich zu den BAW-Säcken normale Kunststoffsäcke für die Grüngutsammlung verwendet.

Aus den Diagrammen in Abbildung 26 und 29 geht hervor, dass eine Zunahme des Fremdstoffanteils mit den grösser werdenden Einwohnerzahlen einher geht. Jedoch betrifft diese Beobachtung nicht alle Gemeinden und es tauchen zwei Ausreisser auf – Gemeinden Baar und Risch-Rotkreuz. Dabei kann spekuliert werden, ob die Bevölkerung dieser Gemeinden unterschiedlich informiert wurde oder ob die Öffentlichkeitsarbeit anders umgesetzt wird. Mit knapp 25'000 Einwohnerinnen und Einwohner ist Baar auch eher eine grössere Gemeinde und die Bevölkerung könnte an diesem Standort ein erhöhtes Umweltbewusstsein entwickelt haben.

Die Gebäudetopologien konnten aufgrund von ähnlichen Gemeindegrössen im Kanton Zug nur auf fünf verschiedene Kategorien aufgeteilt werden. Im Jahr 2020 ist eine Korrelation zwischen dem Anstieg des Fremdstoffanteils und der Veränderung der Gemeindetypologie von «periurbane Dienstleistungsgemeinde mittlerer Dichte» zu «Kernstadt einer mittelgrossen Agglomeration» ersichtlich. Im Jahr 2021 kann aufgrund mehrerer identischer Kategorien nichts bewertet werden.

Insgesamt kann ausgesagt werden, dass technische Detektionen im Stande sind, plausible Fremdstoffwerte auszugeben. Die erhobenen Daten im Kanton Zug sind jedoch unregelmässig verteilt und in zwei speziellen Jahren aufgenommen worden, die nicht dem langjährigen Mittel entsprechen. Es treten auch Datenlücken im Winter auf, insbesondere im Jahr 2021. Für ausschlaggebendere Interpretationen sind weitere Datenaufnahmen nötig. Die Daten sollten über mehrere Jahre hinweg, regelmässig nach Zeit und Standort aufgenommen werden.

5.4 Zusammenführung der Resultate

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Resultate aus den Berichten, den wissenschaftlichen Publikationen und der statistischen Analyse zusammengeführt. Das Kapitel soll die Auftraggeberin Annelies Uebersax bei der Ausarbeitung von Massnahmen unterstützen und

aussagen, welche Einflussfaktoren eine wichtige Rolle in der Fremdstoffproblematik einnehmen könnten.

5.4.1 Relevanz der Einflussfaktoren

Die Tabelle 9 bildet von Neuem die Einflussfaktoren ab, wie sie bereits bei Projektstart definiert wurden. Zusätzlich sind noch drei weitere Faktoren aus der Recherche dazugestossen: Häufigkeit der Entleerungen, Behältervolumen und Gartengrösse/Verbreitung der Eigenkompostierung. Die drei Arten von biogenen Abfällen Speisereste, Rüstabfälle und Grünabfälle wurden zur Bewertung separiert. Da in der Literatur keine expliziten Informationen über Speisereste und Rüstabfälle gefunden werden konnten, wurden daraus für die Auswertung zwei Kategorien definiert: Küchenabfälle und Grünabfälle.

Für alle Faktoren wurde die Relevanz berechnet. Einerseits wurde der Einfluss auf die Fremdstoffe definiert, jeweils mit Zahlen von 1 bis 4. Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Optimierungen abgeschätzt und ebenfalls mit einer Zahl zwischen 1 und 4 ergänzt. Durch die Multiplikation der beiden Zahlen, ähnlich einer Nutzwertanalyse, ergab sich demnach ein Ergebnis für die Relevanz der jeweiligen Einflussfaktoren.

Die Faktoren sind in Tabelle 9 nach der Relevanz geordnet, die Gewichtung wird in Tabelle 7 aufgezeigt. Des Weiteren sind drei Farben hinterlegt, um die Beweislast der jeweiligen Faktoren darzulegen (Tabelle 8). Die roten Faktoren sind eher subjektiv geprägt und es stehen keine direkten Beweise zur Verfügung. Die Farbe Orange wird für Faktoren benutzt, welche über Beweise in der bearbeiteten Literatur verfügen. Die Einflussfaktoren mit grünem Hintergrund sind mit Beweisen aus zwei verschiedenen Quellen behaftet, einerseits durch die Literaturrecherche wie auch durch die Datenanalyse des Grüngutscanners. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurde zusätzlich eine weitere Spalte mit dem Titel «Referenz Kapitel» erstellt. Darin werden die Kapitel aufgelistet, welche den jeweiligen Einflussfaktor behandeln. Nach diesen Informationen wurde auch die Bewertung des Einflusses auf die Fremdstoffe und der Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet.

Tabelle 7: Legende der Gewichtungen für Einfluss und Möglichkeit Optimierung in Tabelle 9, Quelle: Eigene Darstellung

Legende Gewichtung	
keine	1
gering	2
mittel	3
stark	4

Tabelle 8: Legende zu den benutzten Farben in Tabelle 9, Quelle: Eigene Darstellung

Legende Farben	
subjektiv geprägt (keine Beweise)	
Beweise in Literatur	
Beweise in Literatur und Eigenanalyse	

Tabelle 9: Gewichtete Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von Grüngut aus Haushalten, Quelle: Eigene Darstellung

Faktoren	Einfluss auf Fremdstoffe	Möglichkeit Optimierung	Relevanz	Referenz Kapitel
Öffentlichkeitsarbeit	● 4	● 4	16	5.1.2/5.1.4
Technische Detektionen Fremdstoffe	● 4	● 4	16	
Art der biogenen Abfälle:				5.1.5/5.1.8
Küchenabfälle	● 4	● 2	8	5.3.2.3
Sammelart: Private Container	● 4	● 2	8	5.1.2/5.2.1/5.2.2
Sammelart: Sammelstelle	● 4	● 2	8	5.1.2/5.2.1/5.2.2
Gebühren	● 4	● 2	8	5.1.4
Häufigkeit der Entleerungen	● 3	● 2	6	5.2.2
BAW-Säcke	● 3	● 2	6	5.1.3/5.2.2
Kontrollen	● 3	● 2	6	3.9.2.2
				5.2.1
Bevölkerungsdichte	● 4	○ 1	4	5.3.2.5
				5.1.1/5.1.2/5.1.4/5.1.5
Siedlungsstruktur	● 4	○ 1	4	5.3.2.6
				5.1.1/5.1.3/5.1.4/5.1.5
Jahreszeit	● 4	○ -	4	5.3.2.3
Behältervolumen	● 2	● 2	4	5.1.1
Gartengrösse/Verbreitung Eigenkompostierung	● 4	○ 1	4	5.1.1/5.1.5
Bevölkerungsart	● 3	○ 1	3	5.2.1
Bruttoeinkommen	● 2	○ 1	2	5.2.1/5.2.2
Art der biogenen Abfälle:				5.1.1/5.1.3/5.1.4/5.1.5
Grünabfälle (Laub, Stauch- oder Rasenschnitt)	○ 1	● 2	2	5.3.2.3

In der Tabelle 9 sind zwei Einflussfaktoren gegeben, welche nach der Bewertung von Einfluss auf den Fremdstoffgehalt und Möglichkeit zur Optimierung die volle Punktzahl von 16 Punkten erreichten. Einerseits schreiben verschiedene Literaturquellen der *Öffentlichkeitsarbeit* ein grosses Potential für Verbesserungen zu (Siehe Kapitel 5.1.2 und 5.1.4). Andererseits werden *technische Detektionssysteme* vor allem in Zukunft einen höheren Stellenwert haben und auch ihre Absichten erreichen. Der Einfluss auf die Fremdstoffe wird bei beiden Aspekten als stark definiert, ebenso die Möglichkeit der Optimierung. Die Beurteilung der technischen Detektionen basiert jedoch eher auf subjektiv geprägten Beweisen, da solche Systeme sehr neu sind und somit keine Erfahrungswerte vorliegen. Beide Einflussfaktoren sind mit hohen finanziellen Ausgaben verbunden. Als Kanton, Gemeinde oder Anlagenbetreiber muss man deshalb abschätzen und testen, ob die Ausgaben ihrem Zweck gerecht werden.

An dritter Stelle wird als Einflussfaktor die *Art der biogenen Abfälle, Küchenabfälle* notiert. Dieser Faktor ist der erste in der Tabelle, welcher durch zwei Arten von Beweisen gestützt wird. Im Datensatz von Zeba konnten die Messwerte des Jahres 2020 mit den Ergebnissen aus der Literatur (Kapitel 5.1.5, 5.1.8 und 5.3.2.3) bekräftigt werden. Es ist hier klar, dass ein Grossteil der Fremdstoffe aus Küchenabfällen stammt. Somit wird der Einfluss auf die Fremdstoffe mit 4 Punkten bewertet. Die Möglichkeit der Optimierung wird nur mit 2 Punkten beurteilt, da man die Küchenabfälle theoretisch verbieten könnte, was jedoch im Widerspruch zur rechtlich gegebenen Grundidee der Verwertung biogener Abfälle aufgrund ihrer Eigenschaften stehen würde.

Weiter mit 8 Punkten sind die *Sammelarten* vorzufinden. Beide Arten haben einen grossen Einfluss auf die Fremdstoffe, jedoch ist eine Änderung mit hohen technischen Aufwänden verbunden. Die Tatsache von der erschwerten Optimierungsmöglichkeit unterstützt die Vergabe von jeweils 2 Punkten.

Der Faktor *Gebühren* wurde identisch bewertet, da die Anpassung der Gebühren grossen Einfluss auf das Entsorgungsverhalten der Bevölkerung hätte, jedoch die Umsetzung von Gemeinde oder Anlagenbetreiber aufwändig ist.

Ebenso ist die Realisierung der Optimierung der *Häufigkeit der Entleerungen* aufwändig, hat aber nach Kapitel 5.2.2 einen vorhandenen Einfluss auf die Fremdstoffe. Dieser wird aber aufgrund der Ausführlichkeit in der Literatur nur mit 3 Punkten bewertet. Die Möglichkeit zur Optimierung ist durchführbar aber mit hohen Aufwänden verbunden, deshalb werden 2 Punkte verteilt.

Beim Faktor *BAW-Säcke* sind die Meinungen gespalten, dies macht eine Bewertung des Einflusses schwierig. Es gibt jedoch Quellen, die eine Einführung der BAW-Säcke mit dem steigenden Umweltbewusstsein der Bevölkerung verbinden. Aus diesem Grund werden 3 Punkte vergeben. Eine Anpassung der Sammlung von biogenen Abfällen, lediglich mit BAW-Säcken, müsste sehr gut betreut werden und ist ohne Öffentlichkeitsarbeit nicht umzusetzen. Deshalb wird der Möglichkeit der Optimierung 2 Punkt zugeteilt.

Nach der Literatur und der Eigenanalyse sind bei den Punkten *Bevölkerungsdichte und Siedlungsstruktur* der Einfluss auf den Fremdstoffgehalt eindeutig, so erreichen die Bewertungen des Einflusses je 4 Punkte. Dabei kommt jedoch der Aspekt dazu, dass dies durch Kantone, Gemeinden und verantwortliche Unternehmen nicht einfach geändert werden kann. Die Möglichkeit der Optimierung wird somit ausgeschlossen und die Resultate ergeben so auch nur 4 Punkte. Es ist aber anzumerken, dass sich die Bevölkerung wie auch die Siedlungsstruktur im zeitlichen Verlauf ändern können.

Die Abhängigkeit der Fremdstoffe zur *Jahreszeit* ist sowohl in der Literatur als auch in der eigenen Analyse zu sehen, daher werden 4 Punkte zugeteilt. Der Bindestrich bei der Möglichkeit der Optimierung symbolisiert die Tatsache, dass die Jahreszeit nicht angepasst werden kann.

Die Anpassung der *Behältervolumen* könnte theoretisch durchgeführt werden, ist jedoch mit grossen Aufwänden verbunden und somit wie bei den anderen aufwändigen Optimierungsfaktoren mit 2 Punkten belegt. Der Einfluss dabei erreicht nach der Bewertung ebenfalls 2 Punkte, da nur eine Literaturquelle dazu ausfindig gemacht werden konnte.

Die nächsten Punkte *Gartengrösse/Verbreitung Eigenkompostierung, Bevölkerungsart und Bruttoeinkommen* haben einen geringen bis starken Einfluss auf die Fremdstoffe, jedoch können sie nur schlecht bis gar nicht optimiert werden, ähnlich der Bevölkerungsdichte oder Siedlungsstruktur. Die Punkte in den Resultaten sind somit auch begrenzt.

Der letzte Punkt *Art der biogenen Abfälle: Grünabfälle* ist in der statistischen Analyse wie auch in der Literatur ersichtlich. Die Menge an Grüngut fluktuiert je nach Saison aufgrund der Anfallenden und Ausfallenden Grünabfälle. Die Fremdstoffe in den Gartenabfällen aus Haushalten sind jedoch begrenzt. Somit ist auch der Einfluss auf die Fremdstoffe trivial. Die Möglichkeit der Optimierung durch ein Verbot der Entsorgung wäre wieder möglich, macht aus ökologischer Sicht jedoch wenig Sinn.

5.4.2 Detaillierte Angaben über Einflussfaktoren

Im Folgenden wird eine ausführliche Tabelle vorgestellt, welche die jeweiligen Einflussfaktoren bespricht und die Einflussmöglichkeiten bewertet (Tabelle 10). Diese Tabelle soll eine detaillierte Erweiterung zur Tabelle 9 darstellen.

Tabelle 10: Detaillierte Angaben über die jeweiligen Einflussfaktoren zur Fremdstoffproblematik, Quelle: eigene Darstellung

Faktoren	Einfluss
Öffentlichkeitsarbeit	Aus verschiedenen Berichten geht hervor, dass die Öffentlichkeitsarbeit einen grossen Einfluss auf den Fremdstoffgehalt hat. Der Bericht «Bioabfallkompostierung» vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (Gronauer et al., 1997) erklärt sogar, dass mit einer umfangreichen Informations- und Aufklärungsarbeit der Fremdstoffgehalt im Inputmaterial auf ein akzeptables Niveau gesenkt werden kann.
Technische Detektionen Fremdstoffe	Die Detektionssysteme für Fremdstoffe in biogenen Abfällen sind an den meisten Orten noch in einer Testphase, deswegen ist eine Beurteilung schwierig. Die Implementierung solcher Systeme ist auch immer mit hohen Betriebs- und Anschaffungskosten verbunden. Durch das durchgeführte Projekt wurde allerdings klar, dass mit solchen Systemen sehr gut die Verursacher der Fremdstoffproblematik eruiert werden können. In Zukunft könnten diese Technologien ebenfalls für Sanktionen etc. eingesetzt werden.
Häufigkeit der Entleerungen	Aus der spanischen Studie «Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste», Kapitel 5.2.2, konnte eine positive Korrelation zwischen der Häufigkeit der Grüngut-Entleerung und der Qualität des Grünguts ausfindig gemacht werden. Dieses Resultat ist nicht 1 zu 1 auf die Schweiz übertragbar, bei grossen Containern könnte dieses Prinzip jedoch seine Wirkung ebenfalls entfalten.
Sammelart Private Container Sammelstelle	Ein grosser Einfluss auf den Fremdstoffgehalt wird in der Literatur dem Sammelsystem zugesprochen. Zentrale/Dezentrale aka. Bring/Hol Sammelsysteme unterscheiden sich in verschiedenen Studien signifikant. Durch ein «Überwachungsgefühl» bei dem privaten Container sind diese weniger verschmutzt. Ebenfalls stärkt laut Alvarez et al. (2007) der private Container das Umweltbewusstsein.
Gebühren	Änderungen oder Anpassungen des Gebührensystems können laut Fricke et al. (2003) den Fremdstoffanteil beeinflussen. Diverse Änderungen müssen aber transparent der Bevölkerung beigebracht werden.
BAW-Säcke	Das Verhalten der Bevölkerung bei der Grüngutentsorgung mit BAW-Säcken ist unterschiedlich. Im Jahr 2001 waren die Säcke meist frei von Fremdstoffen (Schleiss, 2001). Aus ev. hygienischen Gründen wurde in den Sommermonaten ca. jeder zehnte Sack mit einem nicht abbaubaren Sack ausgekleidet. Nach Konrad Schleiss werden Gartenabfälle ebenfalls weniger in Säcke verpackt. In der Studie von Puig-Ventosa et al. (2013) wurden die Daten nach Regionen aufgeteilt, in denen kompostierbare

	<p>Abfallsäcke obligatorisch, empfohlen oder weder noch sind. Die Resultate ergaben die geringste Verschmutzung in den Regionen, in denen kompostierbare Säcke obligatorisch sind. Danach kamen Regionen mit der Sack-Empfehlung. Die meisten Fremdstoffe befanden sich im Grüngut der Regionen, bei denen es keine Empfehlung für abbaubare Säcke gab.</p>
Kontrollen	<p>Sanktionen wurden bis anhin nur per visueller Betrachtung ausgesprochen. Dies hatte u.a. zur Folge, dass die Oberflächen der Container bearbeitet wurden.</p> <p>Sanktionen, welche anhand einer korrekten Messung ausgesprochen werden können, hätten nach eigenen Überlegungen einen positiven Einfluss auf die Fremdstoffproblematik. Die Messungen sind jedoch mit Zusatzkosten verbunden.</p>
Bevölkerungsdichte	<p>Der Einfluss der Bevölkerungsdichte auf den Fremdstoffgehalt ist in der Literatur gegeben. Je mehr Einwohner, desto höhere Fremdstoffanteile. Aus dem Bericht «Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia» geht eine logarithmische, positive Korrelation zwischen Bevölkerungsdichte und Verschmutzungen hervor. Diese Tatsache kann ebenfalls durch die eigene Analyse mit den Daten des Grüngutscanners Kanton Zug unterstützt werden. Mit wenigen Ausnahmen wirkt sich eine Zunahme der Einwohnerzahlen negativ auf den Fremdstoffanteil im Grüngut aus. Der Aspekt der Bevölkerungsdichte ist jedoch gegeben und kann nicht einfach so verändert werden. Von den verantwortlichen Organen ist ein passender Umgang mit dieser Situation gefragt.</p>
Siedlungsstruktur	<p>Der Fremdstoffanteil nimmt mit der Grösse der Überbauungen zu. Als Grund dafür wird meist die Anonymität der Entsorger in einem gemeinsamen Container angegeben.</p>
<p>Art der biogenen Abfälle</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Speisereste</i> – <i>Rüstabfälle</i> – <i>Grünabfälle (Laub, Stauch- oder Rasenschnitt)</i> 	<p><i>Speisereste</i></p> <p>Aus der Literatur und z. T. aus der statistischen Datenauswertung des Grüngutscanners, werden häufig Fremdstoffe in Speiseresten detektiert. Ein grosser Einfluss hätte somit das Verbot von diesen Speiseresten. Zu dieser Thematik wird aktuell ein Pilotprojekt in der Stadt Basel durchgeführt. In der Stadt Luzern sind Speisereste bereits verboten. Dieses spezielle Verfahren der Verwertung steht jedoch in der Diskrepanz zum USG; die Verwertung von biogenen Abfällen ist in der Schweiz rechtlich gefordert und macht aus ökologischen Gründen Sinn.</p> <p><i>Rüstabfälle</i></p> <p>In der Literatur werden Rüstabfälle nie allein behandelt. Meistens gehören die Rüstabfälle zu den Küchenabfällen, welche häufig mit Fremdstoffen beladen sind.</p>

	<p><i>Grünabfälle</i> Grünabfälle haben triviale Einflüsse auf die Fremdstoffanteile.</p>
Jahreszeit	<p>Die saisonale Fluktuation der biogenen Abfälle wurde im Jahr 1986 das erste Mal bewiesen (Kaptitel 5.1.1). Dies ist heute auch noch so aufgrund der Rasenschnitte etc. Die Saisonalität hat somit grossen Einfluss auf die Menge von biogenen Abfällen und somit auch auf das Verhältnis von Garten- und Küchenabfällen. Im Projekt «Fremdstoffuntersuchungen im Grüngut» (Schleiss, 2001) wird die Fremdstoffzunahme im Winter auch diesem Verhältnis zugeschrieben. Die Jahreszeit lässt sich jedoch nicht anpassen.</p>
Behältervolumen	<p>Das Behältervolumen kann auch einen Einfluss auf den Fremdstoffanteil haben, der Grund dafür ist jedoch derselbe wie bei der Sammelart (privat/Sammelstelle). Im Bericht Fricke et al. (2003) werden zu kleine Restmüllgefässe (Müll) als Fremdstoffeintrag genannt.</p>
Gartengrösse/Verbreitung Eigenkompostierung	<p>Die Gartengrösse kann auch einen Einfluss auf den Fremdstoffanteil haben, da bei einem grösseren Garten mehr Grünabfälle zu den Küchenabfällen hinzukommen. Dabei ist jedoch der Eigenkompostgebrauch zu beachten, dieser kann denn Effekt wieder rückgängig machen.</p>
Bevölkerungsart	<p>Im Bericht von Alvarez et al. (2007) zeigten sich positive lineare Korrelationen zwischen hohem Bildungsniveau und guter Qualität wie auch höherem Anteil an Analphabetismus und Verschmutzung im Grüngut.</p>
Bruttoeinkommen	<p>Das Bruttoeinkommen (gross disposable household income (GDHI)) geht in der Studie von Alvarez et al. (2007) mit einem höheren Bildungsniveau einher. Daraus resultieren weniger Fremdstoffe in den biogenen Abfällen. In Katalonien wurden jedoch höhere Fremdstoffanteile in Haushalten mit höherem Einkommen gefunden. Die Autoren gehen dabei vom höheren Alter der Bewohnerinnen und Bewohner aus, welche mehr Verpackungsabfälle falsch entsorgen.</p>

6 Schlussfolgerung

Die kommunalen Sammelstellen leiten den grössten Teil von biogenen Abfällen in die Verwertungen. Die Fremdstoffe in diesen Abfällen sind verantwortlich für die Verschmutzungen in den Outputprodukten der Kompostier- und Vergärungsanlagen.

Durch Küchenabfälle werden häufig Fremdstoffe in die biogenen Abfälle geleitet. Dieser Aspekt wurde in den verschiedenen wissenschaftlichen Quellen aufgrund der saisonal fluktuierenden Grünabfälle ermittelt. Der genannte Effekt ist zudem in der statistischen Analyse mit Daten aus dem Kanton Zug im Jahre 2020 belegt. Aus der Literatur geht zudem hervor, dass die relevante Einflussfaktoren auf den Fremdstoffanteil die Sammelart der biogenen Abfälle, Gebühren, Kontrollen, Häufigkeit der Entleerungen und BAW-Säcke sind. Einflussfaktoren wie Bevölkerungsdichte, Siedlungsstruktur oder die Jahreszeit sind ebenfalls durch die Literatur und Datenanalyse gegeben, jedoch können diese Faktoren nicht geändert werden. Von Behörden und verschiedenen Organisationen muss dazu der richtige Umgang gefunden werden.

Die wichtigsten Aspekte der Thematik sind die Öffentlichkeitsarbeit und die technische Detektion von Fremdstoffen. Diesen Faktoren ist grosse Beachtung zu schenken, sodass Dünger und Bodenverbesserer fremdstofffrei produziert werden können.

In Zukunft werden sich die Gerätschaften für die Detektionen von Fremdstoffen technisch weiterentwickeln. Insbesondere wenn der Preis für die Anschaffung und den Betrieb von einzelnen Gemeinden oder Anlagen bezahlt werden kann, wird sich eines Tages der Fremdstoffanteil in den biogenen Abfällen verringern.

7 Empfehlung

Den zusammengeführten Ergebnissen in Kapitel 5.3.4 dieser wissenschaftlichen Arbeit liegt die Daten-Triangulation von Berichten, wissenschaftlichen Papers und der statistischen Analyse zugrunde. Aufgrund dessen konnte die folgende Empfehlung erstellt werden:

In vielen Berichten wurde erwähnt, dass durch gute Public Relations der Fremdstoffanteil in biogenen Abfällen verkleinert werden kann. In der Schweiz gibt es bereits Ansätze, die ein solches Konzept verfolgen. Jedoch haben diese bis heute eine geringe Reichweite. Dies ev. auch, da die verschiedenen Kompostier- und Vergärungsanlagen je nach Gemeinde oder Kanton z. T. unterschiedliche Anforderungen an den zu entsorgenden biogenen Abfall haben. Die Fremdstoffproblematik betrifft jedoch alle gleich. Wenn man ein gesamtheitliches Informationssystem zur Förderung des Wissensstands der Bevölkerung zum Verwertungsprozess der biogenen Abfälle aufbauen würde, könnte man diverse Abläufe vereinfachen. Durch ein kantonsübergreifendes Konzept könnten die finanziellen Mittel durch eine Vereinheitlichung und Aufteilung beachtlich gesenkt werden. Aufwände wie der Druck von Werbematerialien und Informationsflyer oder der Unterhalt von Social-Media-Kanälen und des Internetauftritts könnten vereinheitlicht werden. Als Vorbild kann die Aktion Biotonne Deutschland angesehen werden. Bei diesem Unterfangen sind viele Akteure der Abfallwirtschaft, Fachverbände der Kompostierungs- und Vergärbranche sowie 145 Kommunen inkl. das Bundesumweltministerium mit dabei.

Für die Umsetzung kann wiederholend nach Deutschland geschaut werden. Aus dem Kapitel 3.5.2.4 zur Bioabfallverordnung geht hervor, dass in Deutschland das erste Mal Auflagen für die Inputmaterialien der Verwertungsanlagen von biogenen Abfällen definiert wurden. Ein solcher Ansatz wäre auch in der Schweiz denkbar. Insbesondere könnte dies national in der ChemRRV umgesetzt und direkt mit einer landesweiten Öffentlichkeitsarbeit verknüpft werden.

Das zweite Potential für die Reduzierung von Fremdstoffen in Grünabfällen geht aus der Digitalisierung hervor. Die Detektion von Fremdstoffen im Grüngut ist aktuell noch sehr teuer und erzielt noch nicht überall die gewünschten Resultate. Da in der Schweiz die Fremdstoffe aus einem beachtlich kleinen Teil der Bevölkerung stammen, könnte ein solcher Ansatz jedoch grosse Auswirkungen haben. Durch die Detektionen könnten die Hot-Spots ausfindig gemacht und Sanktionen ausgesprochen werden. Die Fehlwürfe würden so schnell verschwinden. Wenn man der technischen Entwicklung noch ein wenig Zeit lässt, können durch eine Häufung der durchgeführten Projekte wie Cortexia u. a. die finanziellen Aufwände reduziert werden. So können die Anschaffungs- und Betriebskosten auch von einzelnen Gemeinden oder Entsorgungsunternehmen getragen werden.

8 Danksagung

Der Autor dieser Projektarbeit bedankt sich in erster Linie bei der Auftraggeberin Annelies Uebersax. Im Namen der Hochschule für Technik, Fachhochschule Nordwestschweiz wird der CO-Geschäftsführerin von Biomasse Suisse für die Möglichkeit der Realisierung dieses Projekts herzlich gedankt.

Ebenso wurde die Unterstützung durch Projektcoach Prof. Petar Mandaliev sehr geschätzt. Allen offenen Fragen zur Methodik und zum aktuellen Wissensstand konnten jederzeit souverän beantwortet werden. Er unterstützte den Projektleiter zusätzlich in allen organisatorischen Fragen und stellte sicher, dass die definierten Termine immer eingehalten werden konnten.

Ein grosses Dankeschön geht ebenfalls an Projektextperte Andreas Utiger, Geschäftsführer von KEWU AG. Mit seinem Fachwissen konnte er den Projektverlauf jederzeit unterstützen und auf den richtigen Weg führen.

Als letztes wird ein grosser Dank an Dr. Konrad Schleiss weitergegeben. Sein Wissensstand in der bearbeiteten Thematik ist einzigartig und verhalf dem Projektleiter die relevanten Informationen in der Literaturrecherche ausfindig zu machen.

9 Verzeichnisse

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Anlagen-Inbetriebnahme nach Anlagentyp (von 1979 bis 2014), Quelle: Mandaliev & Schleiss, 2016, S. 21	11
Abbildung 2: Generisches Massenflussdiagramm über die Herkunft von Abfällen und Hofdünger sowie Verwertung der Produkte Quelle: Mandaliev & Schleiss, 2016, S. 22.....	13
Abbildung 3: Empfehlung der BGK für feste Bioabfälle, insbesondere Biotonneninhalte und Grüngut, Quelle: Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2021, S. 5, Abb.1.....	17
Abbildung 4: Hardware des Grüngutscanners, Quelle: Contena-Ochsner & Biomasse Suisse, 2019, PowerPoint-Präsentation Grüngutscanner, S. 4.....	23
Abbildung 5: Beispielberechnung einer Fremdstoffanalyse nach SATOM SA, Quelle: Schleiss & Trachsel, 2020, S.12.....	26
Abbildung 6: System GastoVert private, Quelle: Keystone/Patrick Hürlimann, 2018, Titelbild des Onlinebericht «La récolte de déchets verts cartonne dans le Chablais»	28
Abbildung 7: Saisonal fluktuierende Grünabfallmenge, Quelle: Krogmann, 1994, S. 46	32
Abbildung 8: Mittelwerte der Fremdstoffanteile Sommer und Winter, Quelle: Konrad Schleiss, 2001, Excel-Datei «Zusamm01_1».....	34
Abbildung 9: Fremdstoffanteile der untersuchten Anlagen, Quelle: Konrad Schleiss, 2001, S. 4.....	35
Abbildung 10: Anteile von Küchenabfällen, Grünschnitt und Fremdstoffe im Biogut im Frühjahr und Herbst in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur, Quelle: Kehres et al., 2017, S. 10	37
Abbildung 11: Ergebnisse zu festem Gärgut bezogen auf die Anforderung der ChemRRV, Quelle: Konrad Schleiss, 2018, S.235	38
Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der untersuchten Städte nach der Qualität der biogenen Abfälle, Quelle: Alvarez et al., 2007, S. 362	40
Abbildung 13: Zusammensetzung der Fremdstoffe in biogenene Abfällen aus katalanischen Gemeinden, 2006-2008 (Prozentsätze auf Gewichtsbasis), Quelle: Puig-Ventosa et al., 2013, S. 512.....	42
Abbildung 14: Auswertung des Grüngutscanner von einer inkorrekten Messung in Walchwil, Quelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	43
Abbildung 15: Auswertung des Grüngutscanner von einer inkorrekten Messung in Neuheim, Quelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	44
Abbildung 16: Messwerte Grüngutscanner, alle Fraktionen nach Datum, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022.....	45
Abbildung 17: Messwerte Grüngutscanner, alle Fraktionen nach Datum, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022.....	45

Abbildung 18: Messwerte Grüngutscanner, Grüngut & Fremdstoffe inkl. Ferien, Feiertage & Homeoffice nach Datum, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202246

Abbildung 19: Messwerte Grüngutscanner, Grüngut & Fremdstoffe inkl. Ferien, Feiertage & Homeoffice, nach Datum, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202246

Abbildung 20: Korrelation Grüngut zu abbaubarem Sack, Jahr 2020, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202247

Abbildung 21: Korrelation Grüngut zu abbaubarem Sack, Jahr 2021, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202247

Abbildung 22: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Jahreszeiten im Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202248

Abbildung 23: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Jahreszeiten im Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202249

Abbildung 24: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation,50

Abbildung 25: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202250

Abbildung 26: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner inkl. Anzahl Einwohnende der Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik51

Abbildung 27: Mittelwerte der zusammengeführten Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner inkl. Gemeindetypologie der Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020/2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik52

Abbildung 28: Mittelwerte der einzelnen Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 202253

Abbildung 29: Mittelwerte Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren inkl. Anzahl Einwohner, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik, 202154

Abbildung 30: Mittelwerte Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden und Jahren inkl. Gemeindetypologie, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022 & Bundesamt für Statistik, 202155

Abbildung 31: Mittelwerte einzelne und zusammengeführte Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner in Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Vanek, persönliche Kommunikation, 23. Mai 2022	56
Abbildung 32: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	76
Abbildung 33: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	76
Abbildung 34: Punktediagramm der einzelnen Fraktionen, private Grüngutsammlung Haushalte, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	77
Abbildung 35: Punktediagramme inkl. Ferien, Feiertage und Homeofficepflicht, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	78
Abbildung 36: Punktediagramm aller Fraktionen nach Datum, private Grüngutsammlung Haushalte, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	79
Abbildung 37: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu Grüngut, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	80
Abbildung 38: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu abbaubarem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	81
Abbildung 39: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	82
Abbildung 40: Korrelationsanalyse Grüngut zu abbaubarem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	83
Abbildung 41: Korrelationsanalyse Grüngut zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	84
Abbildung 42: Korrelationsanalyse abbaubarer Sack zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	85
Abbildung 43: Einzelne Fraktionen und Korrelationsanalysen, Gemeinde Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	86
Abbildung 44: Korrelationsanalysen, Gemeinde Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022	87

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen der verwendeten Fachbegriffe	7
Tabelle 2: Definitionen der verwendeten Abkürzungen.....	8
Tabelle 3: Aktuelle Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von separat gesammeltem Grüngut aus Haushalten, Quelle: Eigene Darstellung nach Liste Projektauftrag, Uebersax, 2022, S. 2 & 3	10
Tabelle 4: Mittleres Gewicht des einzelnen Fremdstoffs nach Art und Kontaminationseinheit, Quelle: in Anlehnung an Schleiss & Trachsel, 2020, S.11	25
Tabelle 5: Kategorisierung anhand der gefundenen Kontaminationen bezogen auf eine Tonne biogener Abfälle, Quelle: in Anlehnung an Schleiss & Trachsel, 2020, S. 12.....	25
Tabelle 6: Einteilung der Nummern nach Gemeindetypologien, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: Bundesamt für Statistik, 2021	52
Tabelle 7: Legende der Gewichtungen für Einfluss und Möglichkeit Optimierung in Tabelle 9, Quelle: Eigene Darstellung.....	58
Tabelle 8: Legende zu den benutzten Farben in Tabelle 9, Quelle: Eigene Darstellung	58
Tabelle 9: Gewichtete Einflussfaktoren auf den Fremdstoffgehalt von Grüngut aus Haushalten, Quelle: Eigene Darstellung	59
Tabelle 10: Detaillierte Angaben über die jeweiligen Einflussfaktoren zur Fremdstoffproblematik, Quelle: eigene Darstellung	61

9.3 Literaturverzeichnis

- Alvarez, M. D., Rans, R., Garrido, N., & Torres, A. (2007). *Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07000323>
- ArcGIS Pro. (2022). *Grundlagen zur Regressionsanalyse*.
- BIO POWER GmbH. (2022). *Biogas-Definition*. https://www.bio-power.ch/files/HBCWPTD/biogas_definition_und_geschichte.pdf
- Biomasse Suisse. (2022). *Definitionen Gärgut*. https://biomassesuisse.ch/g_rgut
- Bösch, M. (2021). *Abfallwirtschaft und Recycling—Verwertung biogener Abfälle* (Fachhochschule Nordwestschweiz FHWN, Hrsg.).
- Bundesamt für Justiz. (2022a). *Definition Kerngebiet*. https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/___7.html
- Bundesamt für Justiz. (2022b). *Bioabfallverordnung (BioAbfV)*. <http://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/BioAbfV.pdf>
- Bundesamt für Statistik. (2017, Mai 9). *Räumliche Typologien*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.html>
- Bundesamt für Statistik. (2021, März 26). *Regionalporträts 2021: Kennzahlen aller Gemeinden*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/regionalstatistik/regionale->

portraits-kennzahlen/gemeinden/daten-erlaeuterungen.html#accor-
dion1656493578283

Bundesamt für Umwelt. (2019a, Juni 21). *Definition biogene Abfälle*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallwegweiser-a-z/biogene-abfaelle.html>

Bundesamt für Umwelt. (2019b, Juni 21). *Definition Grünabfälle*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallwegweiser-a-z/biogene-abfaelle/abfallarten/gruenabfaelle.html>

Bundesamt für Umwelt. (2019c, Juni 21). *Definition Grüngut*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallglossar/gruenabfaelle-gruengut.html>

Bundesamt für Umwelt, BioApply, & Coop. (2008). *Konsens für die Bezeichnung von BAW-Produkten* (Runder Tisch BAW, Hrsg.).

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. (2022, Mai 31). *Definition Bioabfall Österreich*. https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/abfall/Bioabfall.html

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2022, Juli 14). *Kompostverordnung*. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001486>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2022). *Novelle Bioabfallverordnung 2022*. <https://www.bmuv.de/gesetz/verordnung-zur-aenderung-abfallrechtlicher-verordnungen>

COSEDEC. (2020, August 24). *Un Romand sur trois ignore ce que deviennent les déchets de cuisine après le tri*.

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau. (2003). *Mandat Mindestqualität von Kompost—Überprüfung des Anhangs 3 Düngerbuchverordnung (DüBV) – Vorschriften über die Mindestqualität und Produktionskontrolle von Kompost*.

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung. (2019, Januar 1). *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (DüBV)*. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2007/836/de>

Elsevier. (2022). *Website Sciencedirect*. <https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect>

EPEA Internationale Umweltforschung GmbH. (2008). *Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen*.

Fedlex. (2022a, Januar 1). [SR 814.013] *Verordnung vom 9. Juni 1986 über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV)*. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/1254_1254_1254/de

Fedlex. (2022b, Januar 1). *Bundesgesetz über den Umweltschutz*. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1984/1122_1122_1122/de

Fricke, K., Goedecke, H., & Einzmann Ursula. (2003). *Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen* (Bundesamt für Naturschutz, Ingenieurgesellschaft Witzenhausen, & Universität Kassel, Hrsg.).

Gronauer, A., Claassen, N., Ebertseder, T., Fischer, P., Gutser Reinhold, Helm, M., Popp, L., & Schön Hans. (1997). *Bioabfallkompostierung—Verfahren und Verwertung* (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Hrsg.).

- Hofmann, T., & Kanton Aargau. (2017, September). *Grüngut sammeln—Aber richtig!*
https://www.ag.ch/umwelt-aargau/pdf/UAG_75_23.pdf
- Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2017). *H&K (Humuswirtschaft & Kompost) aktuell—Bestimmung von Fremdstoffgehalten. Q4.*
https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/HUK_aktuell/2017/H_K-Q-4-2017.pdf
- Informationsdienst der BGK - Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2022). *H&K (Humuswirtschaft & Kompost) aktuell—Bioabfallverordnung verabschiedet. Q1.*
- Kanton Zug. (2022). *Kanton Zug—Feiertage und Schulferien.* <https://www.zg.ch/behoerden/direktion-fur-bildung-und-kultur/amt-fur-gemeindliche-schulen/inhalte-ags/schul-aufsicht/inhalte-schulaufsicht/schulferien>
- Kehres, B., Günther, M., & Baumann, J. (2017). *Methodenentwicklung zur Bestimmung der Sortenreinheit von Bioabfällen.*
- KEWU AG. (2020). *Stop Plastic.* <https://www.stop-plastic.ch/>
- Krogmann, U. (1994). *Kompostierung—Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung* (R. Stegmann, Hrsg.; Bd. 7).
- Lichtl, M. (2019). *Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung 2—Aktion Biotonne Deutschland* (1. Aufl., Bd. 2).
- Maier & Fabris GmbH. (2018). *Detektionssystem DS 2010-2.*
<https://docplayer.org/111386078-Umwelttechnik-zautomatische-stoerstoff-erkennung-bei-lembergstr-21.html>
- Mandaliev, P. (2022, Mai). *Interview Vollzugshilfe VVEA Fremdstoffe* [Persönliche Kommunikation].
- Mandaliev, P. (2022, Juni 28). *Interview Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von biogenen Abfälle* [Persönliche Kommunikation].
- Mandaliev, P., & Schleiss, K. (2016). *Kompostier- und Vergärungsanlagen—Erhebung in der Schweiz und Lichtenstein* (Nr. 1602; S. 32). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/uz-umwelt-zustand/kompostier-_und_vergaerungsanlagen.pdf.download.pdf/kompostier-_und_vergaerungsanlagen.pdf
- Mey, G., Ruppel, P. S., & Vock, R. (2022). *Triangulation und Mixed Methods.*
- Patzig, C. (2022, April 27). *Informationen SCANTEC GmbH und Wertstoffscanner.*
https://www.zoeller-kipper.de/wp-content/uploads/ZOeLLER-KIPPER_SCAN-TEC_Gruendung_Pressemitteilung.pdf
- Pfirter, A. (1989). *Vergärung fester organischer Abfälle—Möglichkeit und Grenzen der Biogasgewinnung* (Heft 16-42. Informationsgespräch; Info-Band).
- Puig-Ventosa, I., Jaume, F.-G., & Marta, J.-S. (2013). *Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste* (Journal Volume 31, Issue 5; Waste Management & Research, S. 8). International Solid Wastes and Public Cleansing Association; ETH Zürich. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242x13482030>

- SATOM AG, & Biomasse Suisse. (2019). *Energie dank smartem Grünabfall-Management*.
<https://mein.fairgate.ch/uploads/1357/content/1522ecff31c3cda527bacb6dbed15c04d88c6405388c4b92acaa0e1359e66376.pdf>
- SATOM SA Monthey. (2021). *GastroVert Private*. <https://satomsa.ch/page/121-gastrovert>
- SATOM SA Monthey. (2022). *Rapport Annuel 2021*. https://satomsa.ch/userfiles/fichier/Rapports-annuels/SAT-22---Rapport_Annuel-WEB.pdf
- Scheckenback, W. (2019). *Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung 2—Erfahrungen und Massnahmen zur Steigerung der Bioabfallqualität im MAin-Tauber-Kreis* (1. Aufl., Bd. 2).
- Schleiss, K. (2001). *Bericht zum Projekt Fremdstoffuntersuchungen im Grüngut*.
<https://www.yumpu.com/de/document/read/48027413/bericht-zum-projekt-fremdstoffuntersuchung-im-grungut-educompost>
- Schleiss, K. (2017). *Bericht zur Analyse von Fremdstoffen in Kompost und festem Gärgut der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz gemäss ChemRRV*.
- Schleiss, K. (2018). *Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung—Problem Kunststoffe/Fremdstoffe in Bioabfall und Kompost—Aktuelle Situation und Lösungsansätze in der Schweiz* (K. Wiemer, M. Kern, & T. Raussen, Hrsg.; 1. Aufl.).
- Schleiss, K. (2022). *Website Umweko GmbH*. <https://www.kschleiss.ch/de/ueberuns>
- Schleiss, K., & Trachsel, D. (2020). *Bericht zu Fremdstoffsartierung 1. Halbjahr 20*.
- Schweizerischer Bundesrat. (2016a). *Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)*.
- Schweizerischer Bundesrat. (2016b, April 12). *Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)*. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/1854_1854_1854/de
- Uebersax, A. (2022). *Projektskizze Studiengang Energie- und Umwelttechnik* (Biomasse Suisse & Fachhochschule Nordwestschweiz, Hrsg.).
- Uhlmann, P. (2021). *Bachelorthesis Grüngutscanner*.
- Umweltbundesamt. (2021). *Bioabfälle*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bioabfaelle#bioabfall-und-klimaschutz>
- Vanek, A. (2022, Mai 23). *KI Grüngutscanner* [Persönliche Kommunikation].
- Wagner, A., & Illmer, P. (2004). *Kompostierung—Neue Betrachtung einer alten Technik*.
https://www.zobodat.at/pdf/BERI_91_0293-0321.pdf
- Wellacher, M., Kaltenböck, H., & Pomberger, R. (2019). *Bioabfall- und stoffspezifische Verwertung 2—Automatische Erkennung von Kunststoffehlwürfen am Sammelfahrzeug und Massnahmen zur Reduzierung von Fehlwürfen* (1. Aufl., Bd. 2).
- Wetter, A. (2022, April 11). *Excellfile der Gesamtdaten Grüngutscanner Zeba, Kanton Zug* [Persönliche Kommunikation].
- Wetter, A. (2022, April 20). *Informationsgespräch Datensätze Zeba* (R. Dietiker) [Persönliche Kommunikation].

ZOELLER KIRCHHOF GRUPPE. (2021). *Presseinformation*. https://www.zoeller-kipper.de/wp-content/uploads/ZOeLLER-KIPPER_MF_Uebernahme_Pressemitteilung.pdf

10 Ehrlichkeitserklärung

«Hiermit erkläre ich, die vorliegende Projektarbeit P6 selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst zu haben. Die wörtlich oder inhaltlich aus den aufgeführten Quellen entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht. Diese Projektarbeit P6 ist noch nicht veröffentlicht worden. Sie ist somit weder anderen Interessierten zugänglich gemacht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.»

Aarau, 08. August 2022



Projektleiter
Raphael Dietiker

11 Anhang

11.1 Datenauswertung Kanton Zug

11.1.1 Grüngutscanner

11.1.1.1 Mittelwerte Jahreszeiten

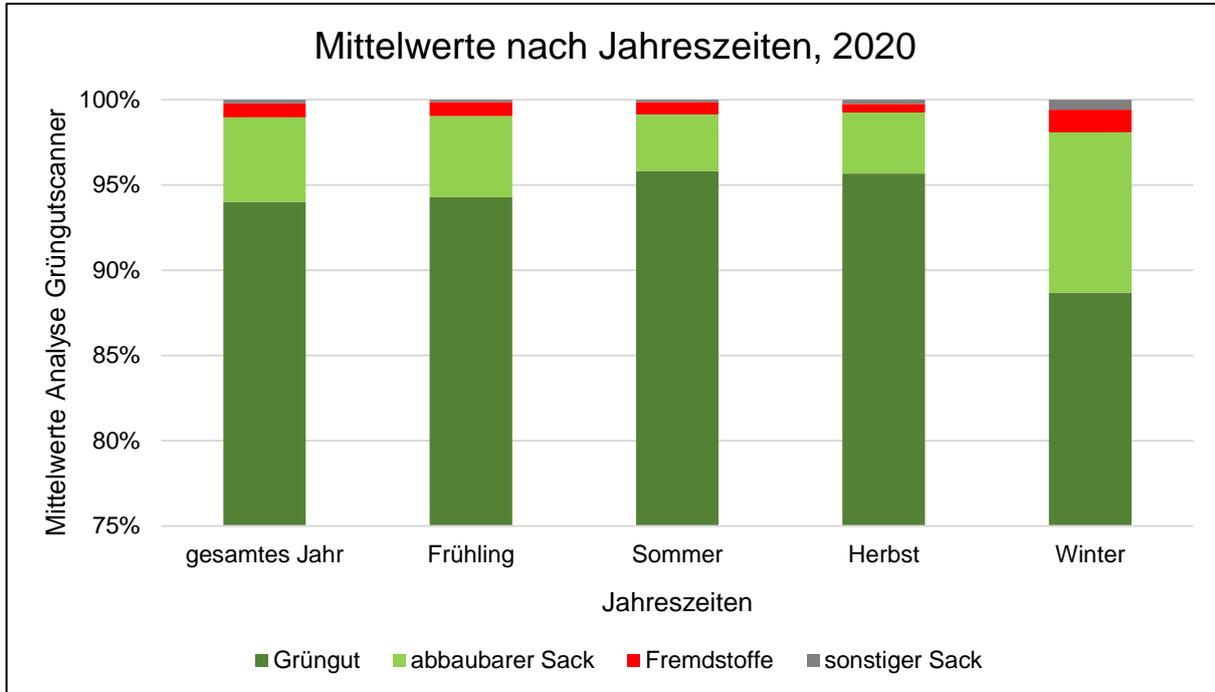


Abbildung 33: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2020, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

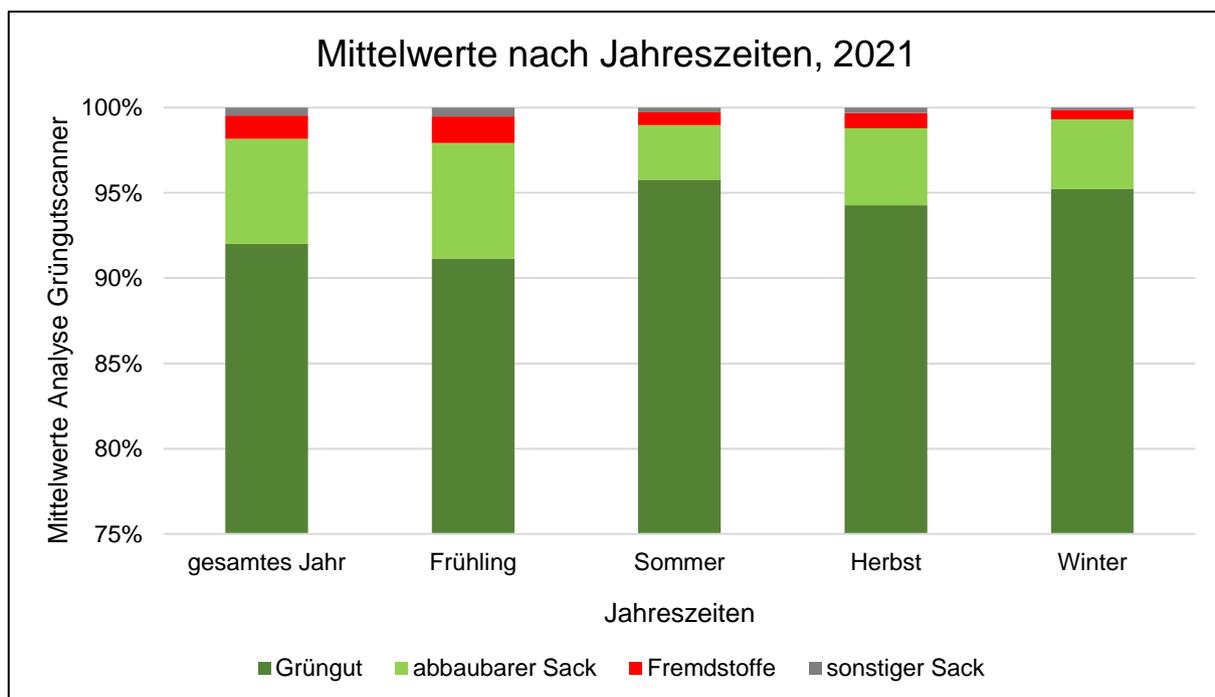


Abbildung 32: Mittelwerte aller Fraktionen zur Analyse Grüngutscanner nach Gemeinden im Kanton Zug, Jahr 2021, Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.2 Punktediagramme einzelne Faktoren

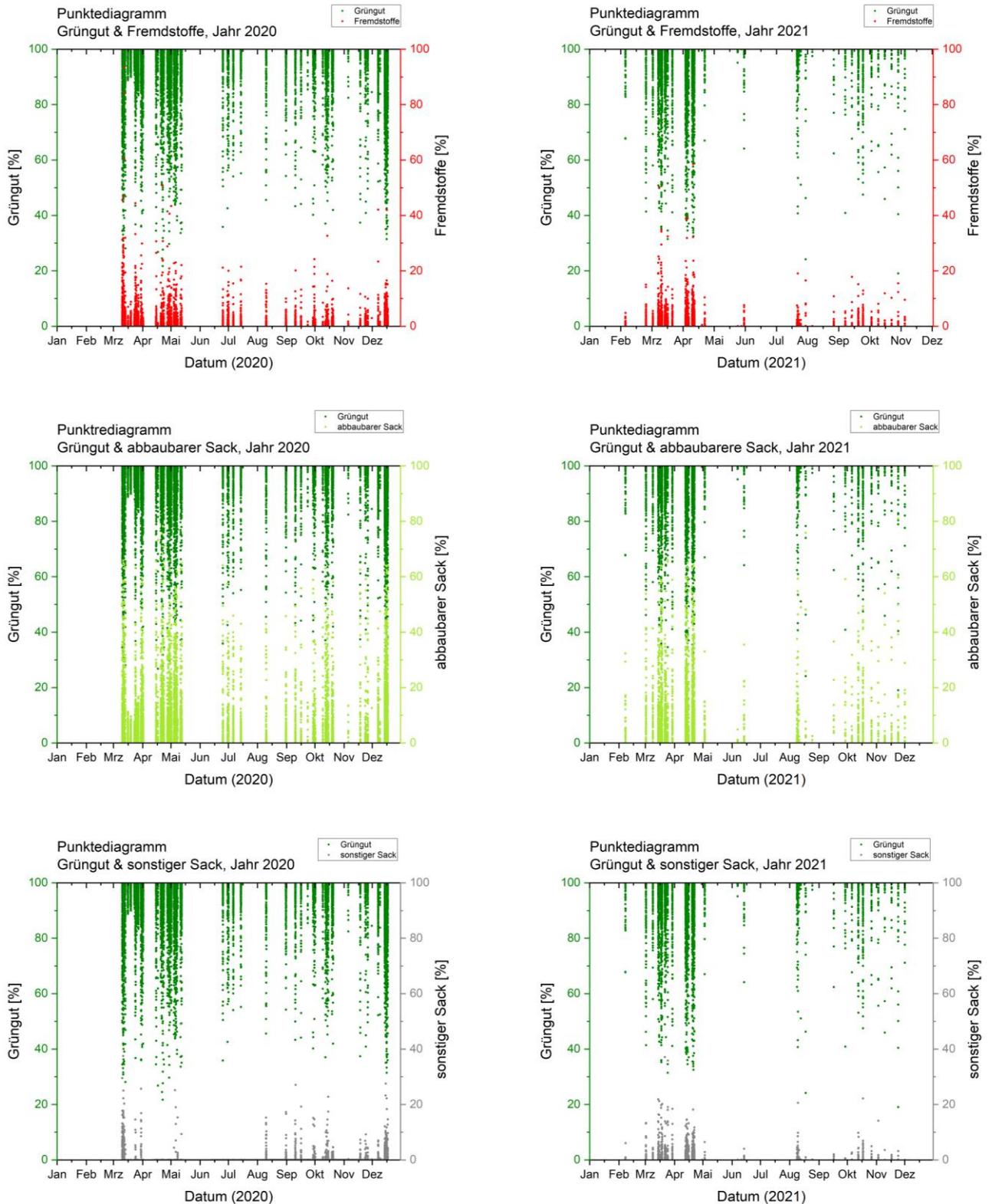


Abbildung 34: Punktediagramm der einzelnen Fraktionen, private Grüngutsammlung Haushalte, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.2.1 Ferien, Feiertage & Homeofficepflicht

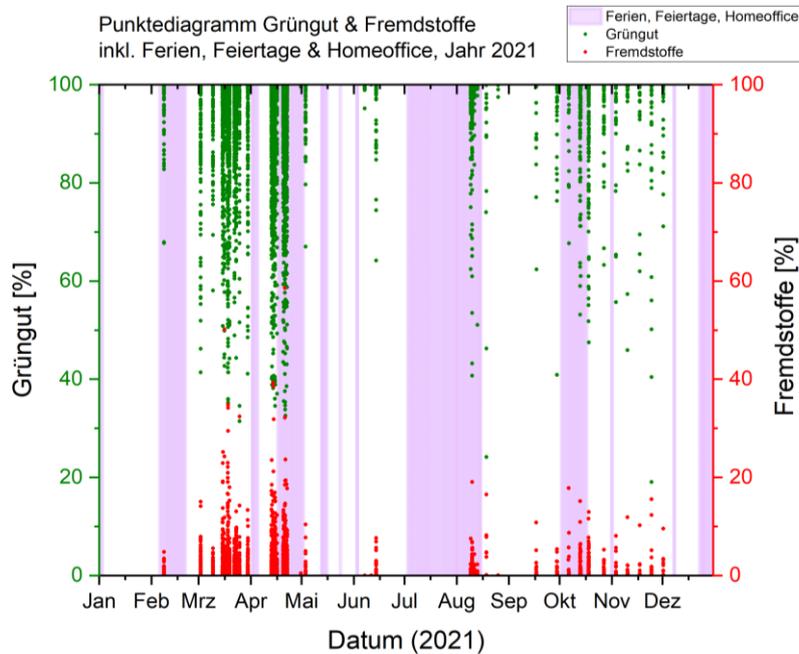
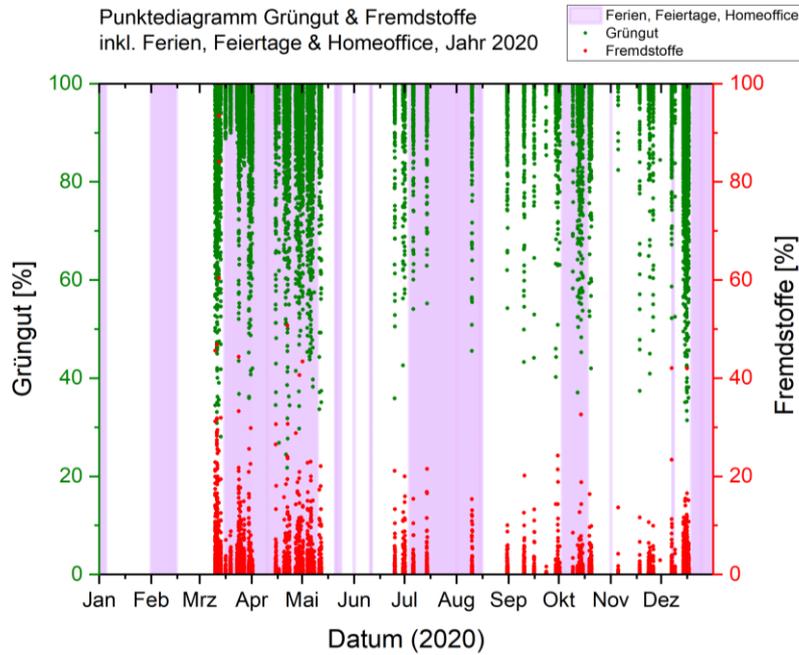


Abbildung 35: Punktediagramme inkl. Ferien, Feiertage und Homeofficepflicht, Quelle: Eigene Darstellung Origin-Pro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.3 Punktediagramme alle Faktoren

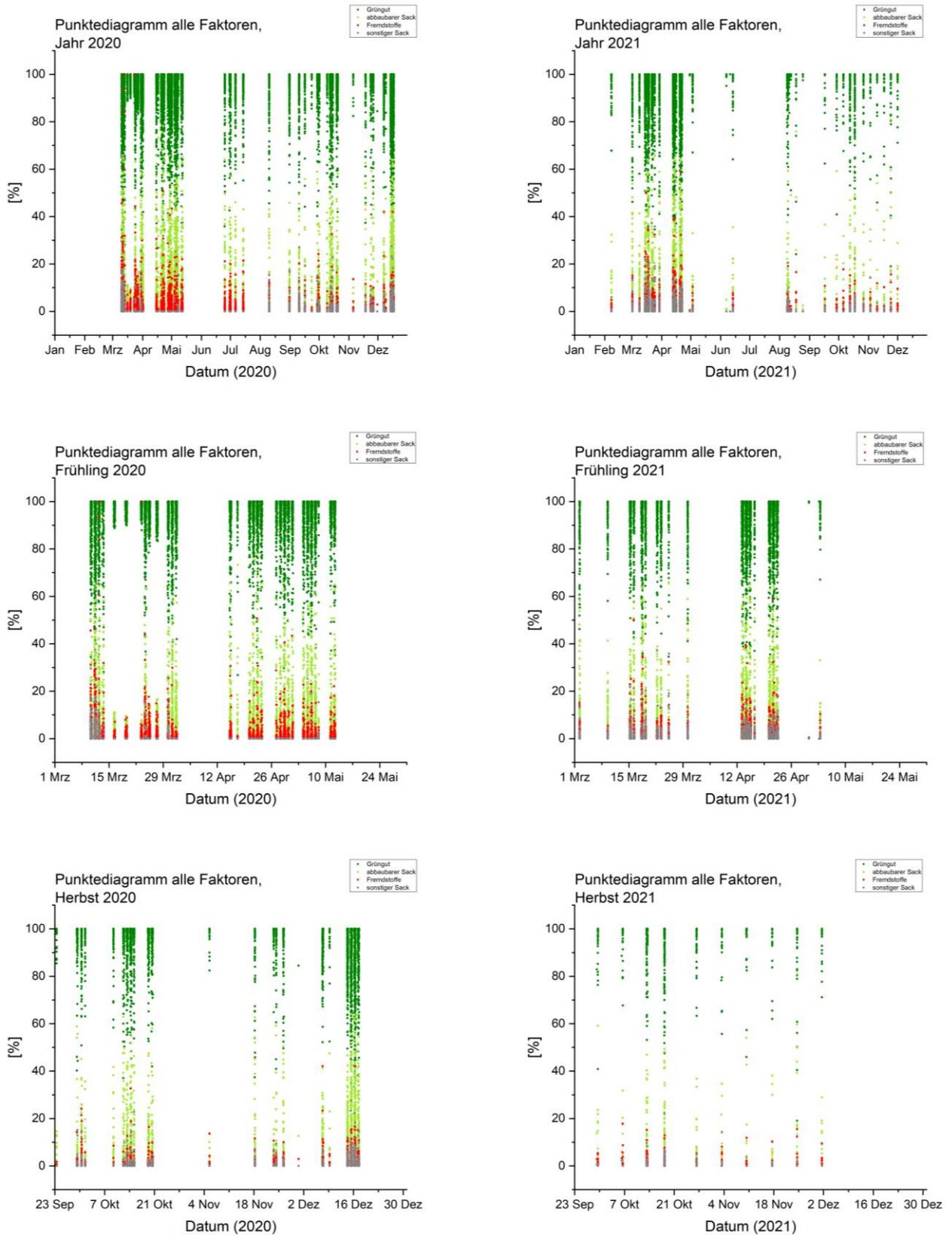


Abbildung 36: Punktediagramm aller Fraktionen nach Datum, private Grüngutsammlung Haushalte, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4 Korrelationen

11.1.4.1 Fremdstoffe zu Grüngut

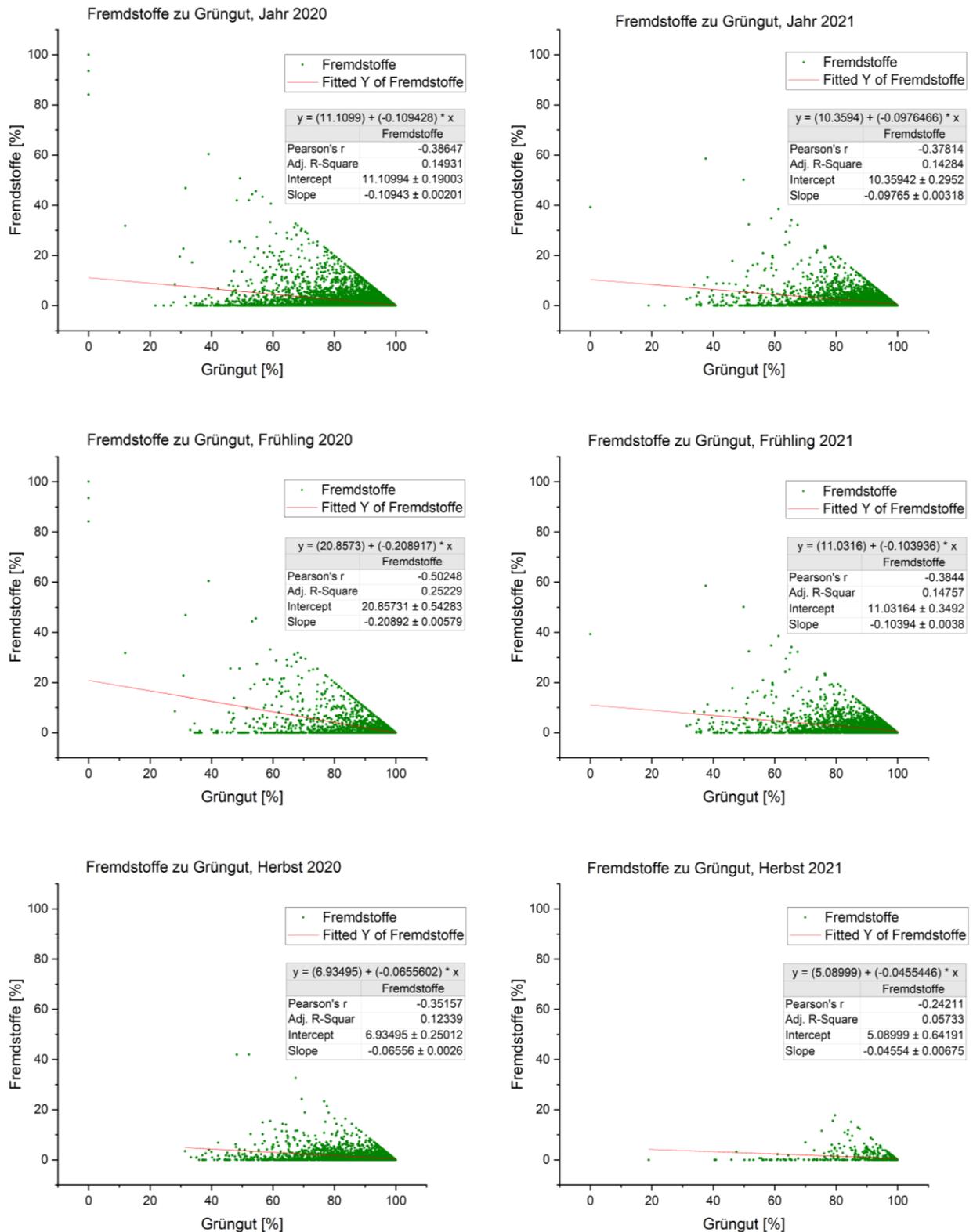


Abbildung 37: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu Grüngut, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4.2 Fremdstoffe zu abbaubarem Sack

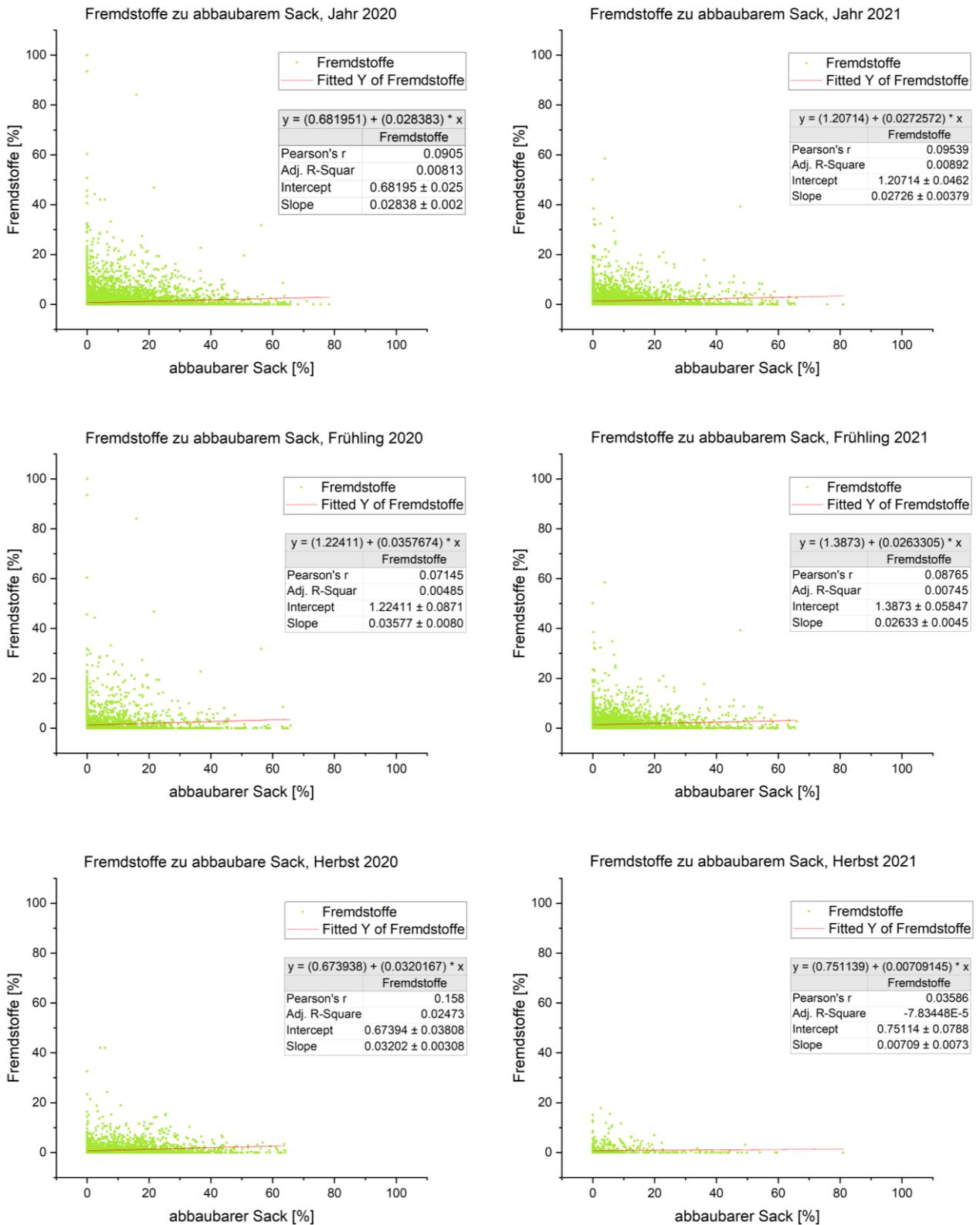


Abbildung 38: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu abbaubarem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung Origin-Pro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4.3 Fremdstoffe zu sonstigem Sack

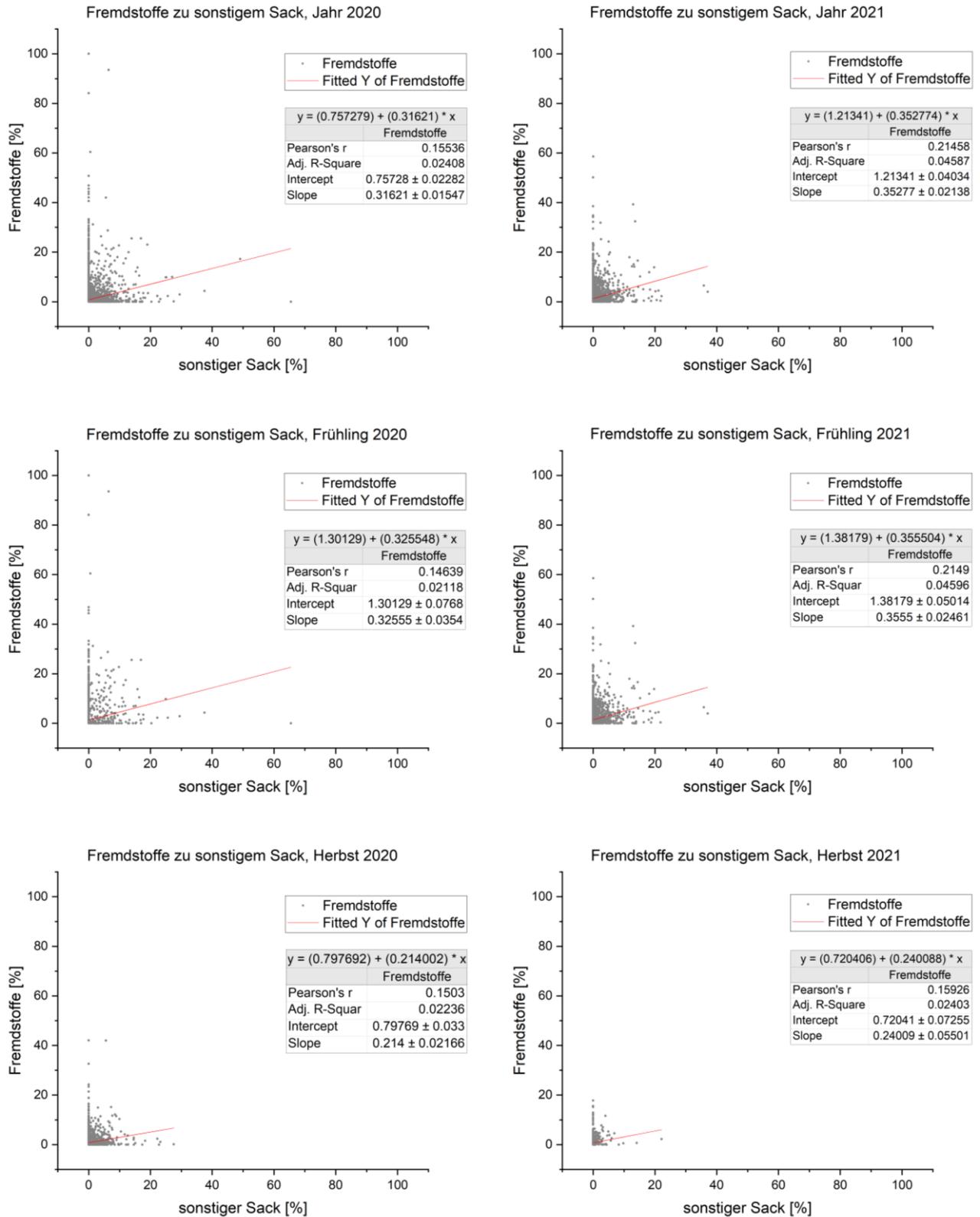


Abbildung 39: Korrelationsanalyse Fremdstoffe zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung Origin-Pro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4.4 Grüngut zu abbaubarem Sack

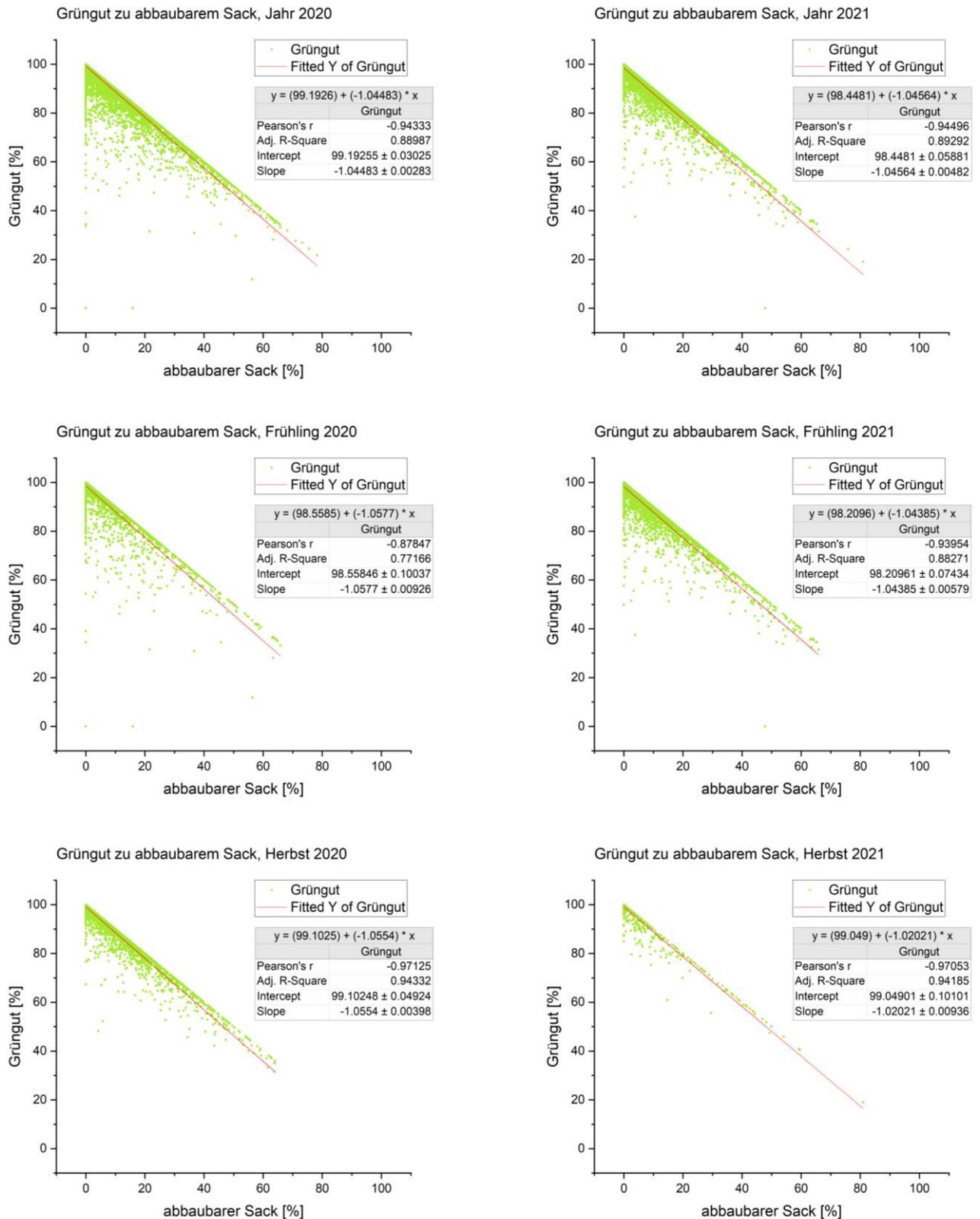


Abbildung 40: Korrelationsanalyse Grüngut zu abbaubarem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung Origin-Pro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4.5 Grüngut zu sonstigem Sack

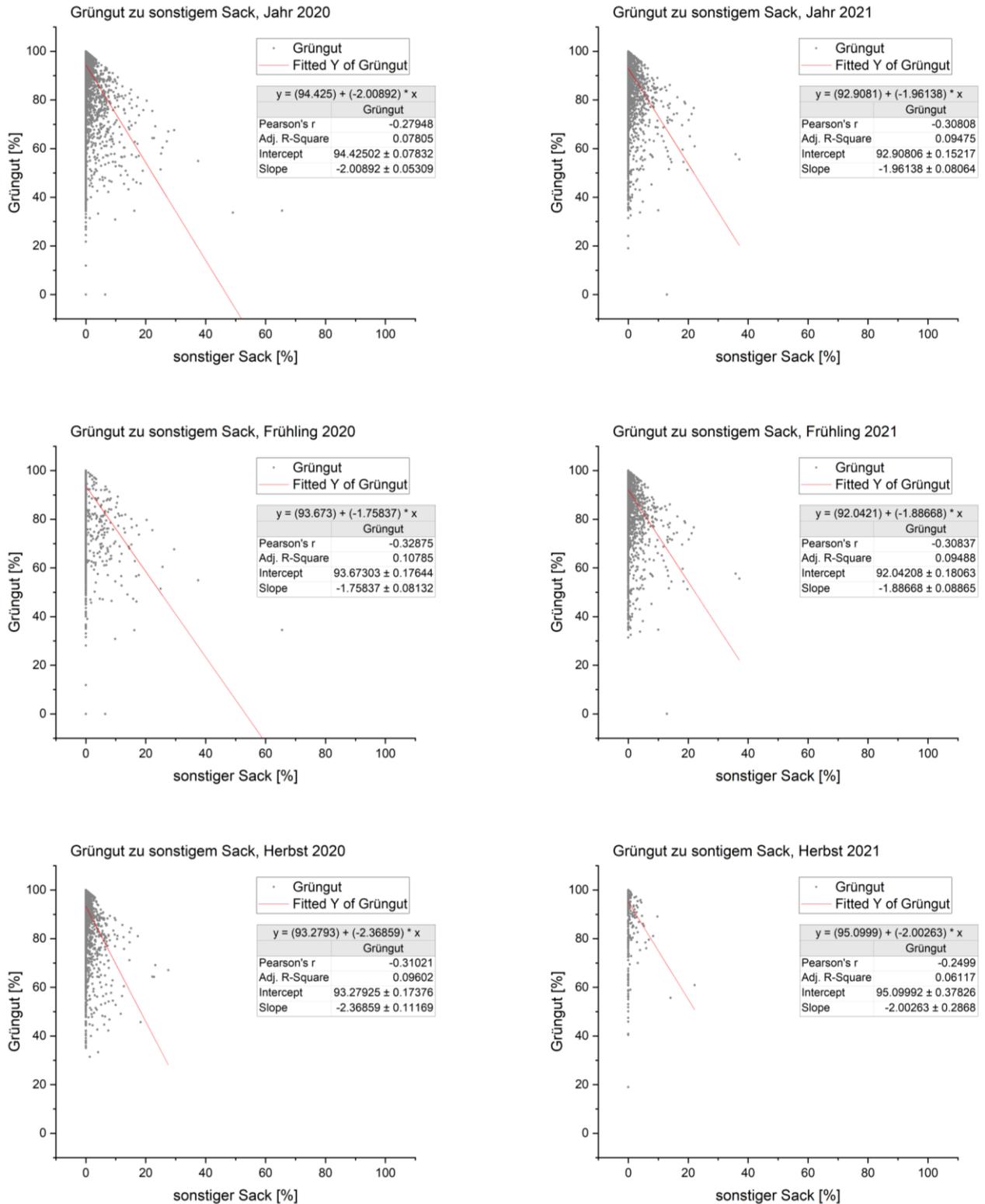


Abbildung 41: Korrelationsanalyse Grüngut zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.1.4.6 Abbaubarer Sack zu sonstigem Sack

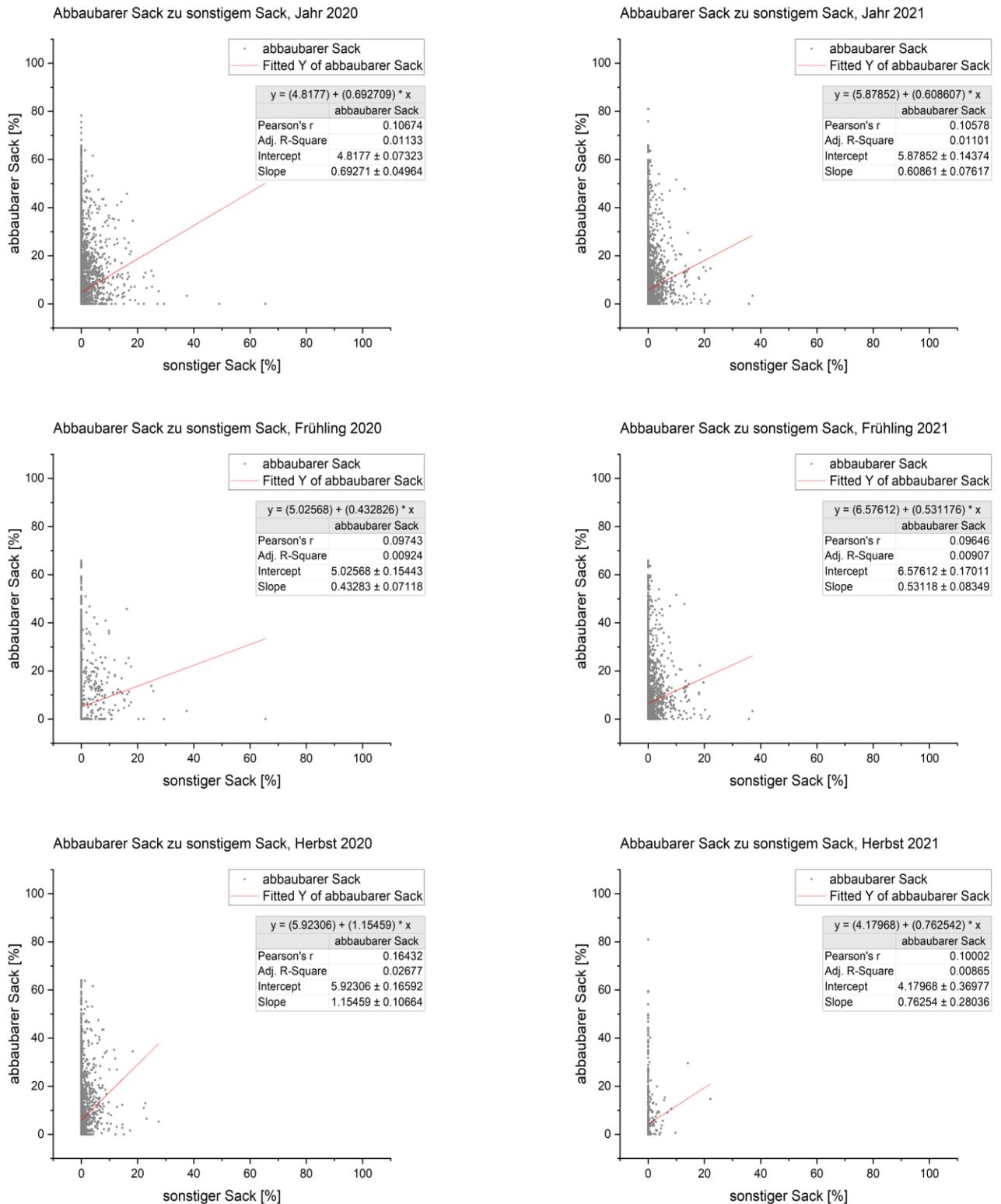


Abbildung 42: Korrelationsanalyse abbaubarer Sack zu sonstigem Sack, Kanton Zug, Quelle: Eigene Darstellung Origin-Pro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

11.2 Datenauswertung Murten, Kanton Freiburg

11.2.1 Grüngutscanner

11.2.1.1 Einzelne Fraktionen und Korrelationen

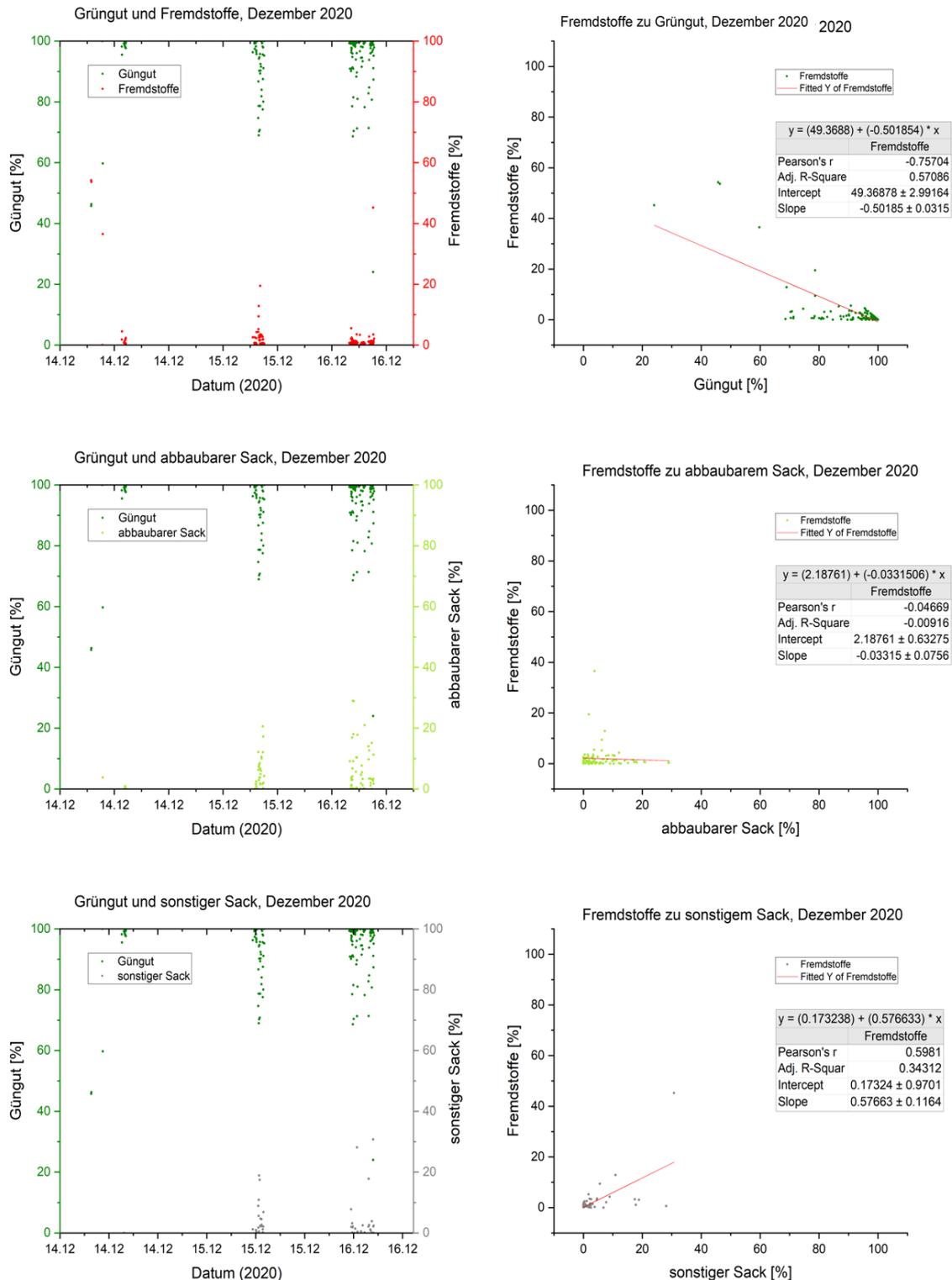
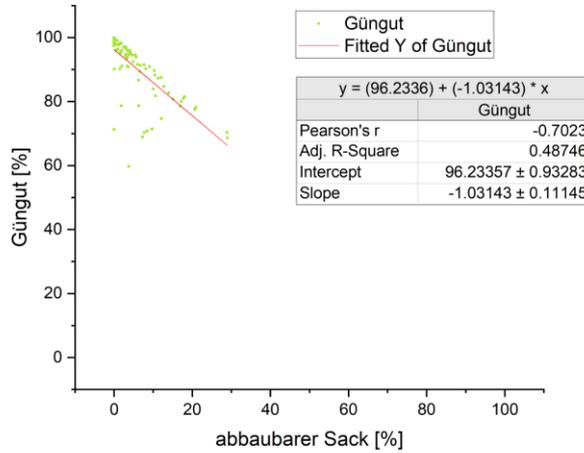
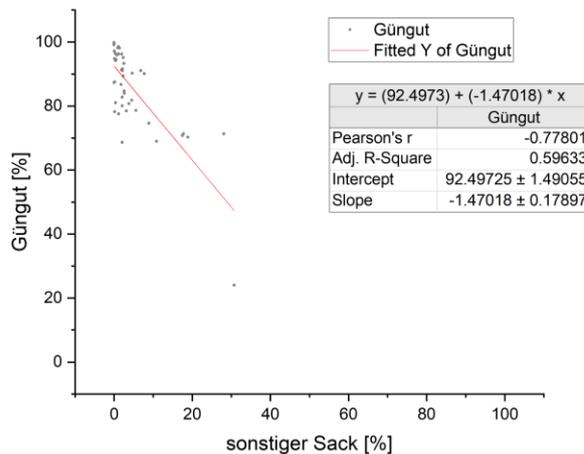


Abbildung 43: Einzelne Fraktionen und Korrelationsanalysen, Gemeinde Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

Grüngut zu abbaubarem Sack, Dezember 2020



Grüngut zu sonstigem Sack, Dezember 2020



Abbaubarer Sack zu sonstigem Sack, Dezember 2020

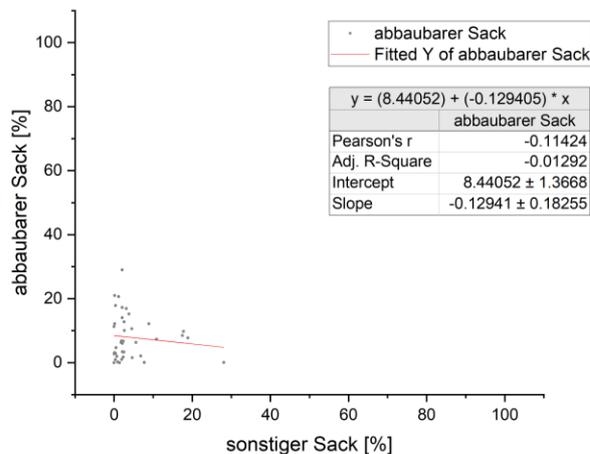


Abbildung 44: Korrelationsanalysen, Gemeinde Murten, Kanton Freiburg, Quelle: Eigene Darstellung OriginPro, Datenquelle: A. Wetter, persönliche Kommunikation, 11. April 2022

**Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit!**

BSc Energie- und Umwelttechnik

Aarau, 08. August 2022

Raphael Dietiker