

# Fremdstoffe in biogenen Abfällen

## Im Auftrag von Biomasse Suisse

### Projektbericht



Abbildung 1: KEWU AG (KEWU AG)

Dokumentname:	Projektbericht
Auftraggeber:	Annelies Uebersax, Biomasse Suisse
Projektleiter:	Lukas Moser
Projektteam:	Robin Tschan, Hansjörg Temperli, Michelle Leber
Projektcoach:	Prof. Dr. Petar Mandaliev, FHNW
Modulverantwortliche:	Irene Wegmann, FHNW
Studiengang:	Energie- und Umwelttechnik
Version:	24.06.2024
Abgabedatum:	24.06.2024

## Management Summary

### Ausgangslage

Als "biogene Abfälle" werden Abfälle pflanzlicher, tierischer oder mikrobieller Herkunft bezeichnet. Sie werden gesammelt, um die darin enthaltenen Rohstoffe zu recyceln und Energie daraus zu gewinnen. Ob beim Sammeln dieser biogenen Abfälle Compobags, das sind Säcke aus biologisch abbaubaren Werkstoffen, verwendet werden dürfen, wird in der Schweiz unterschiedlich gehandhabt. Diese Compobags können verwendet werden, um darin Rüst- und Küchenabfälle zu sammeln. Für Nutzer und Nutzerinnen haben sie den Vorteil, dass diese Abfälle, ohne zu saften oder ohne Geruchsemissionen gesammelt und zum Grüngutcontainer ausserhalb des Hauses transportiert werden können. Es besteht die Hypothese, dass dank diesen Compobags mehr biogene Abfälle gesammelt werden, welche ansonsten im normalen Kehricht entsorgt würden.

Etliche Gemeinden oder Betriebe in der Grüngutverwertungsbranche verbieten jedoch Compobags, da sie der Meinung sind, dass sie einen negativen Einfluss auf die Sauberkeit des biogenen Abfalls haben. Es wird befürchtet, dass Compobags für die Entsorgung von artfremdem Abfall missbraucht werden oder dass sie mit Plastiksäcken aus nicht biologisch abbaubaren Werkstoffen verwechselt werden. Ziel dieser Projektarbeit war es, herauszufinden, ob diese Befürchtungen zutreffen oder nicht.

### Vorgehen

Um den Einfluss von Compobags auf die Menge von artfremdem Abfall im Grüngut zu untersuchen, wurden reale Daten in Gemeinden erhoben. Das geschah, indem auf mehreren Sammeltouren in verschiedenen Gemeinden die Art und Menge der enthaltenen Fremdstoffe im eingesammelten biogenen Abfall gezählt und ausgewertet wurde. Es wurde erarbeitet, worauf bei der Auswahl der Gemeinden und Sammeltouren zu achten ist, damit die so gewonnenen Daten aussagekräftig und vergleichbar sind. Ausschlaggebend ist dabei der Gemeindetypus gemäss Definition vom Bundesamt für Statistik, sowie welche Arten von biogenen Abfällen das Gemeindereglement erlaubt. Basierend auf statistischen Daten wurden für die ausgewählten Gemeinden, mit einem KI-gestützten Regressionsverfahren, Prognosekarten erstellt. Auf diesen wurde sichtbar, in welchen Quartieren mit erhöhtem Fremdstoffanteil zu rechnen ist. Diese Prognosen konnten nach der Auswertung der gesammelten Daten mit dem tatsächlichen Fremdstoffanteil verglichen werden.

Die gesammelten Daten wurden anhand der «Satom-Methode» ausgewertet. Diese basiert im Wesentlichen darauf, dass für bestimmte Fremdstoffe eine zuvor festgelegte Anzahl Kontaminationspunkte vergeben werden. Anschliessend wird der Verschmutzungsgradgrad in Kontaminationseinheiten pro Tonne angegeben.

### Hauptergebnisse

Zwischen den Gemeinden welche Compobags verbieten und den Gemeinden welche Compobags erlauben, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Aufgrund der in dieser Projektarbeit erhobenen Daten kann deshalb kein Zusammenhang zwischen Compobags und der Menge von artfremdem Abfall im Grüngut hergestellt werden. Dieses Erkenntnis stützt sich massgebend auf die Ergebnisse des eingesammelten und von Hand durchsuchten biogenen Abfalls, da diese Art des Auswertens erstens genauer ist, und zweitens so die grössere Menge ausgewertet werden konnte. Von allen Containern, welche auf einer Sammeltour fotografisch erfasst wurden, wurde zusätzlich eine Handauslese gemacht. Darüber hinaus wurden noch weitere Container mittels Handauslese beprobt. Der Vergleich ist jedoch nur bedingt aussagekräftig, da die fotografierten Touren nicht separat geleert und beprobt wurden.

Auffallend war, dass in den gesamten 40.4 Tonnen biogenen Abfalls, welche von Hand durchsucht wurden, nur gerade zwei Compobags gefunden wurden, welche artfremden Abfall enthalten haben. Das ist ein starkes Indiz dafür, dass Compobags in aller Regel nicht für die Entsorgung von artfremdem Abfall missbraucht werden.

Kunststoffsäcke aus nicht biologisch abbaubarem Material, welche in Form und Grösse den Compobags ähnlich sind und biogenen Abfall enthalten haben, wurden total 67 Stück gefunden. Es kann jedoch keine Aussage darüber gemacht werden, ob diese mit Absicht oder aus Versehen benutzt worden sind, und ob diese überhaupt im Zusammenhang mit den Compobags stehen.

Das Auswerten der Fotos ist zwar weniger genau, doch dafür lassen sich mit dieser Methode Rückschlüsse darauf ziehen, woher der artfremde Abfall stammt. So konnte herausgefunden werden, dass nur wenige, aber stark verschmutzte Container für den grössten Anteil an artfremdem Abfall und der daraus resultierenden Kontamination verantwortlich waren.

Anhand der Fotos konnten auch die vorgängig erstellten Prognosekarten validiert werden. Dabei hat sich gezeigt, dass in den Quartieren, für welche die Prognose ein erhöhtes Risiko für artfremden Abfall angezeigt hat, auch tatsächlich mehr artfremder Abfall gefunden wurde.

## **Empfehlungen**

Das Projektteam empfiehlt, das Projekt weiter zu verfolgen und insbesondere mehr Daten zu sammeln. Damit ein klarer Zusammenhang zwischen Compobags und artfremdem Abfall im Grüngut erkannt oder widerlegt werden kann, sind umfangreichere Daten notwendig. Das Projektteam empfiehlt, die Datenakquise auch auf andere Regionen der Schweiz und verschiedene Jahreszeiten auszudehnen.

Bei der Auswertung des gesammelten biogenen Abfalls hat sich gezeigt, dass die Zählmethode nach Satom grundsätzlich funktioniert und geeignet ist, um Vergleiche anzustellen. Das Projektteam empfiehlt jedoch, dass jede Gemeinde anhand ihrer Ausgangslage sich eigene Ziele setzt und eigenhändig festlegt, welches Mass an Kontamination für sie tolerierbar ist. Das hängt nicht zuletzt davon ab, wie der biogene Abfall weiterverarbeitet wird.

Die Auswertung hat weiter gezeigt, dass jeweils einige wenige und offensichtlich verschmutzte Container für einen grossen Teil der Kontaminationspunkte verantwortlich sind. Diese wären bei einer normalen Sammlung nicht entleert, sondern stehen gelassen worden. Das Projektteam empfiehlt den Gemeinden und Sammelunternehmen, das weiterhin so zu praktizieren, da das eine sehr effiziente und wirkungsvolle Methode darstellt, die artfremden Abfälle im weiter zu verarbeitenden Grüngut zu verringern.

# Inhaltsverzeichnis

	Management Summary	2
1	Ausgangslage	5
2	Methodik	6
3	Auswahl der Gemeinden für die Datenerhebung	8
4	Erstellen der Prognosekarte	14
5	Erwarteter Fremdstoffanteil anhand der Prognosekarten	16
5.1	Prognosekarte Zollikofen	17
5.2	Prognosekarte Urtenen	19
5.3	Prognosekarte Worb	21
6	Datenakquise	23
6.1	Bestimmung der Qualität von biogenem Abfall	23
6.2	Testlauf in Moosseedorf	24
6.3	Methode zur Datenauswertung	26
7	Ergebnisse	30
7.1	Auswertung der Fotos	30
7.2	Auswertung der Handauslesung	37
8	Hypothesenprüfung und Diskussion	39
9	Empfehlungen	40
10	Danksagung	42
11	Verzeichnisse	43
11.1	Literaturverzeichnis	43
11.2	Abbildungsverzeichnis	44
11.3	Tabellenverzeichnis	44
	Unterschriften / Ehrlichkeitsvereinbarung	45
	Anhang	46

## 1 Ausgangslage

In der Schweiz werden von den Gemeinden rund 650'000t biogene Abfälle gesammelt. Diese werden weiterverwertet, um hochwertigen organischen Recyclingdünger herzustellen. Nebst dem dienen die biogenen Abfälle auch als Grundlage für Biogase. Die gesetzlichen Qualitätsanforderungen an organischen Recyclingdünger werden strenger. Ein wesentliches Kriterium dabei ist die Minimierung des Fremdstoffanteils. Die Minimierung wurde in der Vergangenheit auf verschiedene Art und Weisen angegangen, gemäss Mandaliev & Billeter (2024) z.B. durch gezielte Informationskampagnen und manuelle oder automatische Aussortierung von Fremdstoffen.

Compobags wurden mit dem Ziel eingeführt, mehr Küchenabfälle und Speisereste sammeln zu können. Diese biogenen Abfälle sind besonders energiereich, was insbesondere bei der Vergärung von biogenem Abfall von Vorteil ist. Der Verband Biomasse Suisse hat jedoch festgestellt, dass mittlerweile die Anzahl der Gemeinden, welche Compobags verwenden, rückläufig ist. In der Grüngutverwertungsbranche gibt es viele Betriebe, die Compobags nicht mehr akzeptieren, weil sie der Meinung sind, dass diese einen negativen Einfluss auf die Sauberkeit der Grünabfälle haben.

Das Problem der Fremdstoffe besitzt grosse Bedeutung, da nicht biologisch abbaubare Materialien im biogenen Abfall die Qualität des kompostierten Endprodukts beeinträchtigen und zu Umweltproblemen führen können. Es ist jedoch unklar, ob die Verwendung von Compobags zu einer Verringerung oder Erhöhung von Fremdstoffen im Abfall führt. Dies liegt zum einen daran, dass sie mit nicht abbaubaren Säcken verwechselt werden könnten. Andererseits ist es aber auch möglich, dass unsensible Menschen die Säcke zur unsachgemässen Entsorgung von Plastik und anderem Müll missbrauchen.

Laut Andreas Utiger, Geschäftsführer des Grüngutverwerter KEWU AG, dauert die Diskussion um Vor- und Nachteile der Compobags an. Eine Untersuchung, ob die Verwendung zur Erhöhung des Fremdstoffanteils beiträgt bzw. welche positiven Einflüsse Compobags ggf. haben, ist bisher nicht durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen die Grundlage für eine Empfehlung, den Einsatz von Compobags zu fördern oder einzuschränken, bilden.

Sowohl die Auftraggeberschaft, Biomasse Suisse, als auch die Grüngutverwerter wie die KEWU AG sind an Grüngut von möglichst hoher Qualität interessiert. Ihr Ziel ist es, herauszufinden, ob eine grösseren und energiereichere Grüngutmenge mit einem Qualitätsverlust erkaufte wird oder nicht.

Auf Basis eines früheren Projekts hat das Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz (IBRE) der FHNW eine Prognosekarte entwickelt. Diese stellt, anhand der Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur, eine Prognose auf, in welchen Quartieren mit starken Verunreinigungen der Grünabfälle zu rechnen ist.

Der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist, ob der Parameter „Compobags“ einen nennenswerten Einfluss auf Verunreinigungen hat.

## 2 Methodik

### Auswahl der Gemeinden

In den drei Gemeinden Worb, Urtenen und Zollikofen der Agglomeration Bern wird ausgewertet, wie hoch der Fremdstoffanteil im Grüngut ist. Die drei Gemeinden sind allesamt an der KEWU AG, dem lokalen Grüngutverwertungsunternehmen, beteiligt. Damit die Gemeinden vergleichbar sind, sollen ihre Gemeindetypologien möglichst ähnlich sein. Zollikofen und Urtenen entsprechen dabei gemäss Bundesamt für Statistik (BFS) dem Gemeindetyp 112 («Städtische Arbeitsplatzgemeinde einer grossen Agglomeration»). Die Gemeinde Worb entspricht dem Gemeindetyp 217 («Periurbane Dienstleistungsgemeinde hoher Dichte»). Da beide Gemeindetypen, 112 und 217, eine hohe Bevölkerungsdichte aufweisen, ist der Vergleich dieser drei Gemeinden zulässig. Dabei haben zwei der Gemeinden, Worb und Zollikofen, die Verwendung von Compobags untersagt. Es bestehen Hinweise, dass Zollikofen dieses Verbot nicht konsequent umsetzt. In Urtenen sind Compobags erlaubt.

### Datenbeschaffung

Für das Prognosetool der FHNW müssen sensible Daten beim Bundesamt für Statistik bestellt werden. Dies wird mit einem Vertrag geregelt. Die zu beschaffenden Daten sind die Daten aus der Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP) 2021 und Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) 2021.

### Prognosekarte Version 1

Basierend auf den angefragten statistischen Daten des Bundesamts für Statistik wird mittels Softwaretool «Green Waste Analysis Tool» der FHNW und künstlicher Intelligenz eine Prognosekarte über den erwarteten Fremdstoffanteil der einzelnen Quartiere der Gemeinden erstellt. Dabei wird ein Raster über die Gemeinde gelegt, welches Quadrate von 100m Seitenlänge aufweist. Die Prognose wird pro Quadrat abgegeben und ist nicht an Grundstücksgrenzen oder Quartiere gebunden. Die Prognosekarte ist in Kapitel 5 näher erläutert.

### Auswahl Sammeltouren

Basierend auf dieser Prognosekarte werden die einzelnen Beprobungsorte gewählt. Von besonderem Interesse sind dabei die Orte, bei welchen ein hoher Fremdstoffanteil erwartet wird. Die Proben werden durch die regulären Grünguttransportunternehmen der jeweiligen Gemeinden entnommen und die Beprobung findet im Rahmen einer regulären Grüngutsammlung statt.

### Quantisierung Fremdstoffanteil

Der Fremdstoffanteil wird dreimal erfasst:

Begleitet werden die Sammeltouren von einem Mitarbeiter des IBRE. Dieser fotografiert die Proben zweimal: Ein erstes Mal vor dem Einsammeln und ein zweites Mal nach dem Auskippen im LKW. So soll sichergestellt werden, dass auch Fremdstoffe, welche nicht zuoberst im Container liegen, erkannt werden.

Nach dem Ende der Tour wird der gesamte Inhalt der Sammelfahrzeuge ausgekippt und von Hand sortiert. Dabei wird die Menge der Fremdstoffe sowie deren Art bestimmt. Durch die Handsortierung wird auch der Fremdstoffanteil in den Compobags erfasst. Darüber hinaus können die Fotos auf ihre Plausibilität überprüft werden.

Die bei der Sammlung aufgenommenen Bilder werden manuell ausgewertet, die verschiedenen Fremdstoffe kategorisiert und nach einem Punktesystem gewertet. Sowohl Kategorien als auch das Punktesystem sind vom bereits bewährten System der Satom SA übernommen.

Aufgrund der Anzahl der Kontaminationseinheiten soll analysiert werden, wo die Fremdstoffanteile am höchsten bzw. am niedrigsten sind. Dabei werden die Quartiere mit der Prognosekarte der FHNW abgeglichen. Ebenfalls sollen die Gemeinden mit und ohne Compobags verglichen werden, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob die Compobags einen Einfluss auf den Fremdstoffanteil haben.

### 3 Auswahl der Gemeinden für die Datenerhebung

Damit die gesammelten Daten über den Fremdstoffanteil in biogenem Abfall vergleichbar sind, ist es wichtig, dass sie in Gemeinden und Quartieren erhoben werden, welche sich ähnlich sind.

#### Einflussfaktor Abfallreglement

Jede Gemeinde besitzt ein eigenes Abfallkonzept, welches festlegt, welche Arten von organischem Abfall in welchen Gebinden abgeholt werden und ob Gebühren erhoben werden. Diese Konzepte werden jeweils in eigenen Reglementen festgehalten und haben einen grossen Einfluss auf die Zusammensetzung und Menge des gesammelten organischen Abfalls. Verbietet beispielsweise eine Gemeinde, Rüstabfälle und Speisereste in den Tonnen für organischen Abfall zu entsorgen, so benötigen in Quartieren mit Wohnüberbauungen nur Liegenschaftsverwaltungen oder Hausmeister Zugriff auf diese Tonnen. Ihr Inhalt wird dementsprechend hauptsächlich geschnittenen Rasen, Laub oder Schnittgut umfassen. Ein grosser Teil der Bevölkerung wird keinen Zugang zu den Tonnen benötigen und dementsprechend auch keine Gelegenheit haben, artfremden Abfall in diesen zu entsorgen. Ist das Entsorgen von Rüstabfällen hingegen erlaubt, so muss auch jeder Haushalt Zugang zu einer Grünguttonne erhalten. Um den Einfluss der Compobags bestimmen zu können, ist es wichtig, dass Küchenabfälle erlaubt sind.

#### Einflussfaktor Gemeindetyp

Damit die erhobenen Daten aussagekräftig und vergleichbar werden, muss darauf geachtet werden, dass die Zusammensetzung des gesammelten und ausgewerteten organischen Abfalls möglichst ähnlich ist. Das soll erreicht werden, indem in Gemeinden gesammelt wird, welche einerseits ein ähnliches Abfallreglement besitzen, und andererseits dem gleichen oder zumindest ähnlichen Gemeindetypus zugeordnet wurden.

Das Bundesamt für Statistik (BFS) unterscheidet verschiedene Gemeindetypen nach bestimmten Kriterien (vgl. Tabelle 1 weiter unten). In einem ersten Schritt werden die Gemeinden unterteilt in städtische, intermediäre (beziehungsweise periurbane) und ländliche Gemeinden. Anschliessend wird die Unterteilung verfeinert und es folgen je drei Unterkategorien, welche auf Dichte, Grösse und Erreichbarkeitskriterien beruhen. Nachfolgende Abbildung zeigt einen Kartenausschnitt mit diesen neun Kategorien aus der Region Bern, sowie die dazu passende Legende.

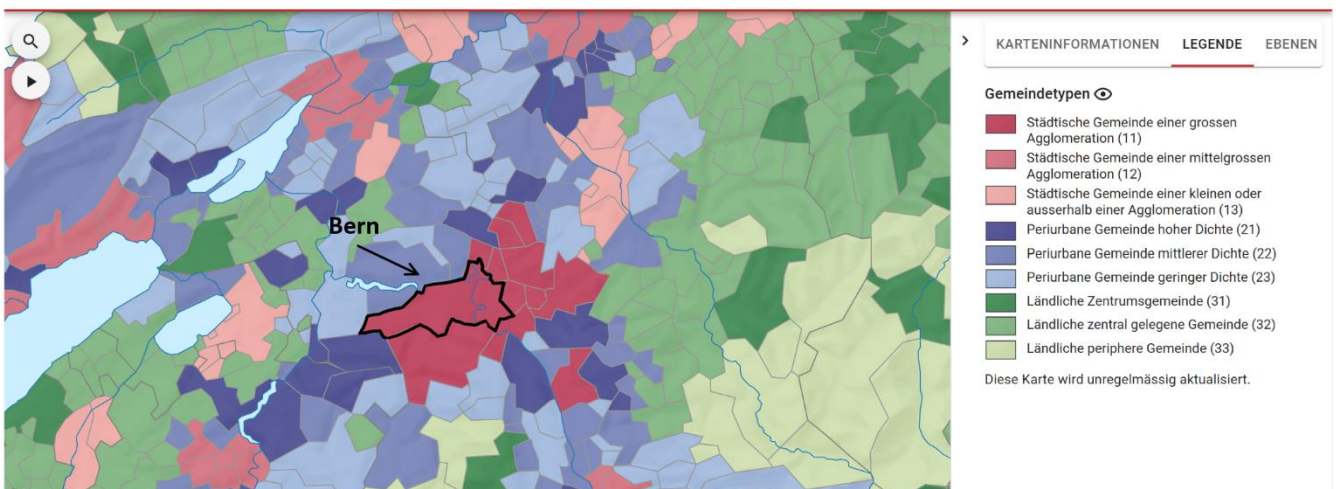


Abbildung 2: Kartenausschnitt Region Bern mit 9 Gemeindetypen und Legende (Bundesamt für Statistik, 2024a)

Diese neun Kategorien eignen sich gut, um Gemeinden miteinander zu vergleichen und Ähnlichkeiten festzustellen. In städtischen Gemeinden beispielsweise, dominieren grosse Wohnüberbauungen und von Verwaltungen unterhaltene Spielplätze und Parks. In ländlichen Gebieten sind öfter Mehrfamilien- und Einfamilienhäuser anzutreffen, deren Umschwung von den Bewohnenden selbst unterhalten werden. Dementsprechend sind auch unterschiedliche Zusammensetzungen des organischen Abfalles zu erwarten.

Noch feiner unterschieden werden die Gemeinden in weitere acht Unterkategorien nach sozioökonomischen Kriterien. Das sind beispielsweise die allgemeine Ausbildung, die berufliche Stellung, das Einkommen oder die allgemeinen Lebensverhältnisse. Daraus folgen total 25 verschiedene Typen von Gemeinden. Nachfolgende Abbildung zeigt denselben Kartenausschnitt der Region Bern und die dazugehörige Legende.

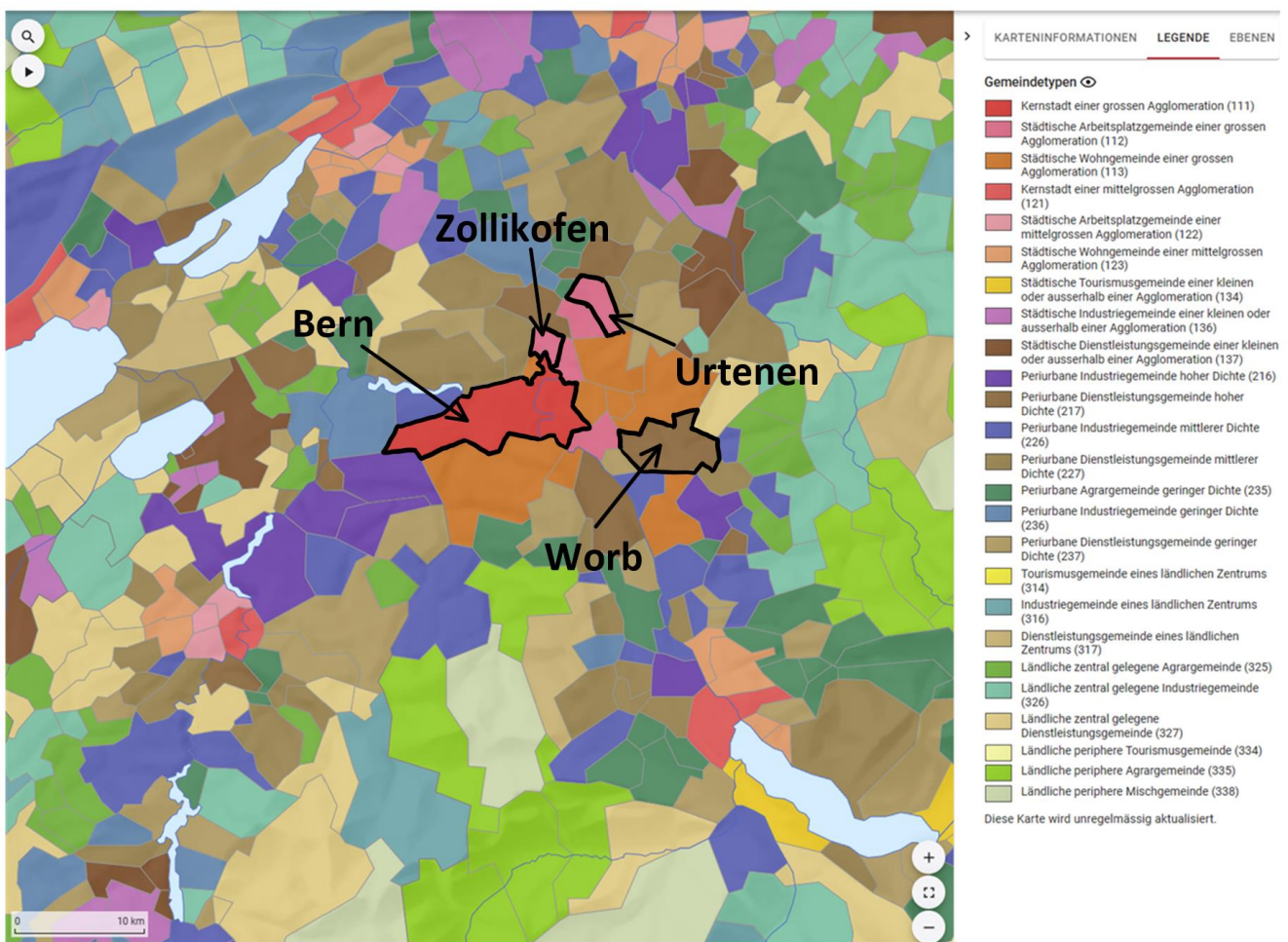


Abbildung 3: Kartenausschnitt Region Bern mit 25 Gemeindetypen und Legende (Bundesamt für Statistik, 2024b)

In der Legende der Abbildung 3 ist ersichtlich, welchen Gemeindetypen die drei beprobten Gemeinden zugeteilt werden. Die erste Ziffer gibt Auskunft über die drei Kriterien städtisch, periurban und ländlich. Die zweite Ziffer bezeichnet die erste Unterkategorie nach Grösse, Dichte und Erreichbarkeit. Die dritte Ziffer schliesslich bezeichnet die Zugehörigkeit anhand der sozioökonomischen Kriterien. Es werden dabei acht sozioökonomische Charaktere von Gemeinden unterschieden. Die Nachfolgende Tabelle ermöglicht eine bessere Übersicht über die Einteilung der Gemeindetypen.

Ziffer	Einteilung / Bedeutung
<b>1. Unterteilung nach städtischem Charakter</b>	
(1..)	Städtisch
(2..)	Intermediäre / periurban
(3..)	Ländlich
<b>2. Unterteilung nach Dichte, Grösse, Erreichbarkeit</b>	
(.1.)	Gross / hohe Dichte / Zentrum
(.2.)	Mittelgross / mittlere Dichte / zentral gelegen
(.3.)	Klein / geringe Dichte / peripher
<b>3. Unterteilung nach sozioökonomischen Kriterien</b>	
(..1)	Kernstadt
(..2)	Arbeitsplatzgemeinde
(..3)	Wohngemeinde
(..4)	Tourismusgemeinde
(..5)	Agrargemeinde
(..6)	Industriegemeinde
(..7)	Dienstleistungsgemeinde
(..8)	Mischgemeinde
Lesebeispiele:	
(226)	Periurbane Gemeinde, mittelgross, beziehungsweise mit mittlerer Dichte und vorwiegend Industrie.
(112)	Gemeinde mit städtischem Charakter, hoher Dichte und vielen Arbeitsplätzen

Tabelle 1 Übersicht Einteilung in Gemeindetypen (Bundesamt für Statistik, 2024b)

## Entscheidungsprozess bei der Auswahl der Gemeinden

Es standen 13 Gemeinden zur Auswahl, welche allesamt in der Region Bern liegen und deren organischer Abfall von der KEWU AG verwertet wird. Nachfolgende Tabelle 2, welche dem Projektteam zur Verfügung gestellt wurde, listet diese Gemeinden auf, sowie deren relevantesten Kenngrössen und Bestimmungen aus dem Abfallreglement.

*Nachträglicher Kommentar vom Projektteam: Im weiteren Verlauf des Projektes hat sich gezeigt, dass in der Tabelle 2, welche das Projektteam für die Auswahl der Gemeinden erhalten hat, sich missverständliche oder falsche Angaben befunden haben. Zu diesem Zeitpunkt war das Projekt jedoch so weit fortgeschritten, dass eine erneute und möglicherweise andere Auswahl nicht mehr möglich war. Die Auswahl der Gemeinden ist deswegen aber nicht falsch und die gesammelten Daten können uneingeschränkt verwendet werden.*

Gemeinde	Gemeindetyp (2024)	Einwohner (2015)	Abfallmenge in Tonnen (2022)	Gebühren	Küchenrüstabfälle erlaubt	Speisereste erlaubt	Compobags erlaubt	Bereitstellungsart
Biglen	226	1'872	258	Nein	Nein	Ja	Ja	Lose
Bolligen	113	6'404	862	Nein	Ja	Ja	Ja	Lose
Ittigen	112	11'369	1056	Nein	Nein	Ja	Ja	Beides
Krauchthal	237	2'392	233	Ja	Ja	Ja	Ja	Container
Moosseedorf	112	4'121	478	Nein	Ja	Ja	Ja	Container
Münchenbuchsee	217	10'241	1'131	Nein	Ja	Ja	Ja	Beides
Muri	112	13'234	1'132	Ja	Ja	Ja	Ja	Beides
Ostermundigen	113	17'834	1'306	Ja	Nein	Ja	Ja	Container
Stettlen	113	3'329	436	Nein	Ja	Ja	Ja	Container
Urtenen	112	6'401	471	Ja	Ja	Ja	Ja	Container
Vechingen	113	5'619	428	Ja	Ja	Ja	Ja	Lose
Worb	217	11'583	1'364	Nein	Ja	Ja	Nein	Container
Zollikofen	112	10'825	1'201	Nein	Ja	Ja	Nein	Container

Tabelle 2 Zur Auswahl stehende Gemeinden mit Gemeindetyp und den relevantesten Informationen (KEWU AG)

Gemeinden, welche eine oder mehrere zentrale Sammelstellen für organischen Abfall betreiben, an welche das Material lose abgegeben werden kann, sind für die Datenakquise nicht geeignet. Einerseits ist zu erwarten, dass die Möglichkeit, beim Entsorgen beobachtet zu werden, sicherlich einen Einfluss auf Art und Menge der artfremden Abfälle hat. Und andererseits werden solche zentralen Sammelstellen oft mit grossen Mulden für LKWs betrieben, welche durch ihre Grösse und Menge an Inhalt nicht mehr auf die gleiche Art auf Fremdstoffe beprobt werden können wie beispielsweise eine Tonne mit 240 Liter Inhalt. Damit fallen die Gemeinden Biglen, Bolligen und Vechingen weg.

Sind Küchenrüstabfälle oder Speisereste verboten, ist eine deutlich andere Zusammensetzung des organischen Abfalls zu erwarten. In diesen Fällen werden die Bewohnenden von grossen Wohnüberbauungen kaum eigenen organischen Abfall haben und dementsprechend auch keinen Zugang zu einer Grünguttonne benötigen. Der somit eingesammelte organische Abfall wird mehrheitlich entweder von Ein- oder Mehrfamilienhäusern stammen oder von Liegenschaftsverwaltungen. Damit alle gesammelten Daten möglichst identische Voraussetzungen haben, fallen deshalb zusätzlich die Gemeinden Ittigen und Ostermundigen weg.

Von den verbliebenen Gemeinden unterscheidet sich Krauchthal mit dem Gemeindetypus 237 (Periurbane Dienstleistungsgemeinde mit geringer Dichte) deutlich von den übrigen noch zur Verfügung stehenden Gemeinden. Diese besitzen alle entweder den Typ 112 (Städtische Arbeitsplatzgemeinde einer grossen Agglomeration), 217 (Periurbane Dienstleistungsgemeinde mit hoher Dichte) oder 113 (Städtische Wohngemeinde einer grossen Agglomeration). Deshalb fällt Krauchthal ebenfalls weg. Die sieben verbleibenden Gemeinden sind in untenstehender Tabelle ersichtlich.

Gemeinde	Gemeindetyp (2024)	Einwohner (2015)	Abfallmenge in Tonnen (2022)	Gebühren	Compobags erlaubt
Moosseedorf	112	4'121	478	Nein	Ja
Münchenbuchsee	217	10'241	1'131	Nein	Ja
Muri	112	13'234	1'132	Ja	Ja
Stettlen	113	3'329	436	Nein	Ja
Urtenen	112	6'401	471	Ja	Ja
Worb	217	11'583	1'364	Nein	Nein
Zollikofen	112	10'825	1'201	Nein	Nein

Tabelle 3 Sieben verbleibende Gemeinden die nach Ausschlussverfahren noch in Frage kommen (KEWU AG)

Um eine genügend grosse Anzahl von Daten zu erhalten, wird beschlossen, in drei Gemeinden Daten zu erheben. Es wird erwartet, mit drei Gemeinden ungefähr 500 Datenpunkte zu erhalten. Diese Menge

sollte ausreichen, um eine Aussage treffen zu können, aber nicht zu viel sein, um die Mitarbeiter, welche die Daten erheben, übermässig zu beanspruchen. Eine dieser drei Gemeinden sollte dabei die Compobags nicht erlaubt haben, damit ein Vergleich gemacht werden kann. Ein weiteres Kriterium ist die Sammelfrequenz und der übliche Sammeltag, welche ebenfalls im Abfallreglement ersichtlich sind. Die Menge des organischen Abfalls ist stark saisonal und hängt auch vom aktuellen Wetter ab. Wächst beispielsweise der Rasen stark, so ist mit viel geschnittenem Rasen im organischen Abfall zu rechnen und der Transportlastwagen muss mehrere Male entleert werden, bis eine ganze Gemeinde abgefertigt ist. Im umgekehrten Fall wird das Transportfahrzeug gar nicht ganz gefüllt und es befindet sich im Verhältnis zur gesamten Menge viel mehr Küchenabfälle im organischen Abfall. Für das Vergleichen der Daten ist es deshalb optimal, wenn alle Daten innerhalb einer Woche gesammelt werden können. Der Sammeltag darf jedoch nicht am gleichen Tag sein, da das Sammeln von Daten in mehreren Gemeinden am gleichen Tag technisch nicht möglich ist.

Aus all diesen Gründen ist die beste Wahl, die drei Gemeinden Muri, Urtenen und Zollikofen für die Datenakquise zu berücksichtigen. Alle drei haben den identischen Gemeindetypus 112 und werden in denselben Wochen, aber nicht am selben Tag abgefertigt. Die Gemeinde Zollikofen verbietet Compobags und kann damit als Vergleichsbasis herangezogen werden.

Bei ersten Gesprächen mit den für diese Gemeinden zuständigen Transportfirmen und dem Verwertungsunternehmen stellte sich heraus, dass das Verbot von Compobags teilweise nicht konsequent durchgesetzt wird, sondern diese zum Teil toleriert werden. Deshalb wird beschlossen, den Keis der Gemeinden auf vier zu erhöhen und die Gemeinde Worb trotz leicht abweichendem Gemeindetyp ebenfalls zu berücksichtigen. So werden zwei Gemeinden welche Compobags erlauben mit zwei Gemeinden welche Compobags nicht erlauben verglichen.

Nach weiteren Gesprächen mit zuständigen Transportfirmen und Gemeindevertretern hat sich die Gemeinde Muri dazu entschlossen, nicht an der Studie teilzunehmen. Beweggründe dazu waren einerseits Datenschutzbedenken und andererseits wurde geltend gemacht, dass in dieser Gemeinde Grünguttonnen mit artfremdem Abfall konsequent stehen gelassen werden. Es wurde befürchtet, dass damit die Daten verfälscht werden.

Somit verbleiben die Gemeinden Urtenen, Worb und Zollikofen für die Datenakquise.

## 4 Erstellen der Prognosekarte

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie mit Hilfe künstlicher Intelligenz eine Prognosekarte für die Gemeinden erstellt werden kann. Diese kann den Gemeinden bei der Identifikation und Lösung von Problemzonen unterstützen.

Diese Projektarbeit bezieht sich auf das „Green Waste Analysis Tool“, welches im Herbstsemester 2023 ein Studierendenprojekt der FHNW war. Es wertet statistische Daten mit Hilfe von künstlicher Intelligenz aus und erstellt daraus eine Prognosekarte. Der grosse Nutzen für die Gemeinden besteht darin, dass anhand der Prognosekarte mögliche Problemzonen und deren Ursache erkannt und gezielt sensibilisiert oder unterstützt werden kann. Auch können Sammeltouren effizienzsteigernd angepasst werden. So kann eine Verringerung der Fremdstoffe im biogenen Abfall und letztlich eine Verbesserung des Endproduktes wie beispielsweise Kompost erzielt werden (Mandaliev & Billeter, 2024).

Die dafür notwendigen statistischen Daten können beim Bundesamt für Statistik (BFS) bestellt werden. Konkret bestehen diese aus den Daten der Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP) 2021 und der Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) 2021. Diese Daten sind der Kategorie «OPEN-BY-ASK» zugeteilt. Das bedeutet, dass diese Daten grundsätzlich für nicht kommerzielle Nutzung frei verwendbar sind. Für eine kommerzielle Nutzung muss eine Bewilligung des Datenlieferanten eingeholt werden (Bundesamt für Statistik, 2024c). Für die Lieferung dieser Daten wird dann ein entsprechender Vertrag mit dem BFS erstellt, der die Nutzung und Deklarationspflicht regelt. Dieser Vertrag trägt den Titel «Vertrag über die einmalige Lieferung und Verwendung von Einzeldaten (Ohne Personenbezeichnung) im Inland», und musste von der FHNW unterzeichnet werden (Bundesamt für Statistik, 2017).

Inhalt der Daten:

- Daten aus der Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP) 2021  
Diese Daten sind ein Teil des eidgenössischen Volkszählungssystems. Darin wird der Bestand und die Struktur der Wohnbevölkerung am Ende eines Jahres beschrieben. Ebenfalls stellen diese Daten die Bevölkerungsbewegungen während des Jahres dar. Zusammen mit der Strukturerhebung bilden diese Daten die Grundlage der Haushaltsstatistik (Bundesamt für Statistik, 2019).
- Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) 2021  
Diese Daten beschreiben die Wohnverhältnisse der Bevölkerung, sowie auch die Struktur des gesamten Gebäude- und Wohnungsparks. Diese Statistik wird auf Grund von folgenden Daten erstellt: eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister (GWR), Statistik der Bevölkerung und Haushalte (STATPOP) und der Strukturerhebung (SE) aus der Volkszählung. Die alle zehn Jahre stattfindende Gebäude- und Wohnungserhebung wurde durch diese Gebäude- und Wohnungsstatistik ersetzt (Bundesamt für Statistik, 2023).

Aus den Daten des BFS, welche aus 21 Parametern bestehen, werden 102 Einflusskriterien gebildet.

Für dieses Projekt wurde eine KI nach der Methode «Random Forest» erstellt. Dabei werden aus zufälligen Teilmengen der Trainingsdaten verschiedene Entscheidungsbäume mit jeweils randomisierten Astgabelungen. Diese einzelnen Bäume werden anschliessend zu einem «Wald» zusammengefügt, der die Gemeinsamkeiten der einzelnen Bäume zusammenfasst. Anhand dieser Zusammenfassung, welche einer Gewichtung der verschiedenen Einflusskriterien entspricht, kann eine Prognose für die Grün- gutqualität erstellt werden. Als Kompromiss zwischen Genauigkeit und Datenschutz wurde festgelegt, dass das zu untersuchende Gebiet in Quadrate mit einer Seitenlänge von 100 Meter unterteilt wird. Für jedes Gebiet kann die zu erwartende Qualität des Grüngutes in den Kategorien «gut», «mittel» oder «schlecht» prognostiziert werden.

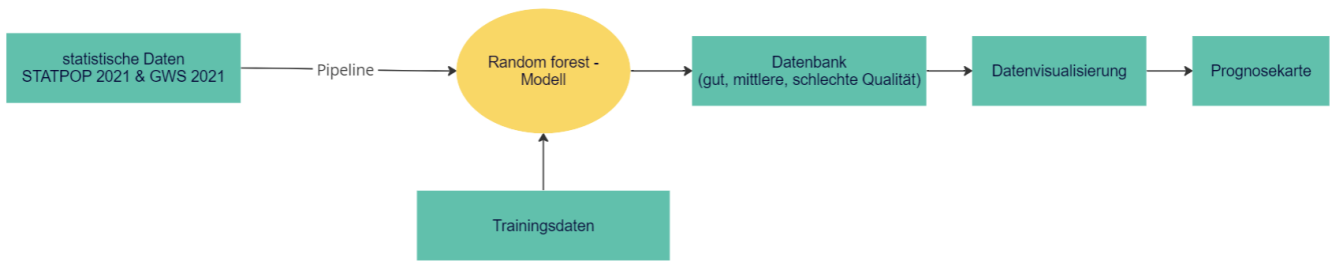


Abbildung 4: Prozess Green Waste Analysis Tool

## 5 Erwarteter Fremdstoffanteil anhand der Prognosekarten

In diesem Kapitel wird erläutert worauf bei der Auswahl von Quartieren zur Beprobung zu achten ist. Ebenso werden die erstellten Prognosekarten vorgestellt und konkrete Quartiere zur Beprobung vorgeschlagen.

### Entscheidungskriterien für die Auswahl von Quartieren zur Beprobung

Um die Frage, ob Compobags einen Einfluss auf den Fremdstoffanteil im Grüngut haben, zu beantworten, ist grundsätzlich der Vergleich zwischen den Gemeinden von Interesse. Denn um eine Aussage bezüglich des Einflusses von Compobags auf die Qualität des Grüngutabfalls zu treffen, spielen die Beprobungsorte innerhalb der Gemeinden keine Rolle. Die Compobags fließen nicht als Parameter in die Prognose ein, weshalb nicht gesagt werden kann, wo Compobags eingesetzt werden bzw. und ob es dabei eine Korrelation zur prognostizierten Grüngutqualität beobachtet werden kann.

Um eine spätere Validierung des Prognosetools zu ermöglichen, soll die Beprobung in Quadraten aller erwarteten Qualitäten stattfinden. Da die meisten Quadrate als «Gut» eingestuft werden, sind die von angeblich mittlerer und schlechter Qualität von besonderer Bedeutung. Diese sollen miteinbezogen werden, um möglichst viele Daten über die prognostizierte Kategorie zu erhalten.

Zukünftig soll bei der Prognose der Fremdstoffanteile nicht mehr nur auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden können. Daher wird voraussichtlich in einem kommenden Projekt die erhobenen Daten ins Green Waste Analysis Tool integriert. Ebenfalls soll in dem kommenden Projekt die Auswertung der Bilder über eine künstliche Intelligenz erstellt werden.

## 5.1 Prognosekarte Zollikofen

In untenstehender Abbildung 5 ist die mit dem Green Waste Analysis Tool erstellte Prognosekarte für die Gemeinde Zollikofen zu sehen. Die Prognose «Gut» wird 214 Mal vergeben (88.8%), die Prognose «Mittel» 23 Mal (9.5%) und die Prognose «Schlecht» 4 Mal (1.7%). Insgesamt werden 241 Quadrate mit Prognosen ausgewiesen. Die Quadrate haben dabei eine Seitenlänge von 100 Metern.

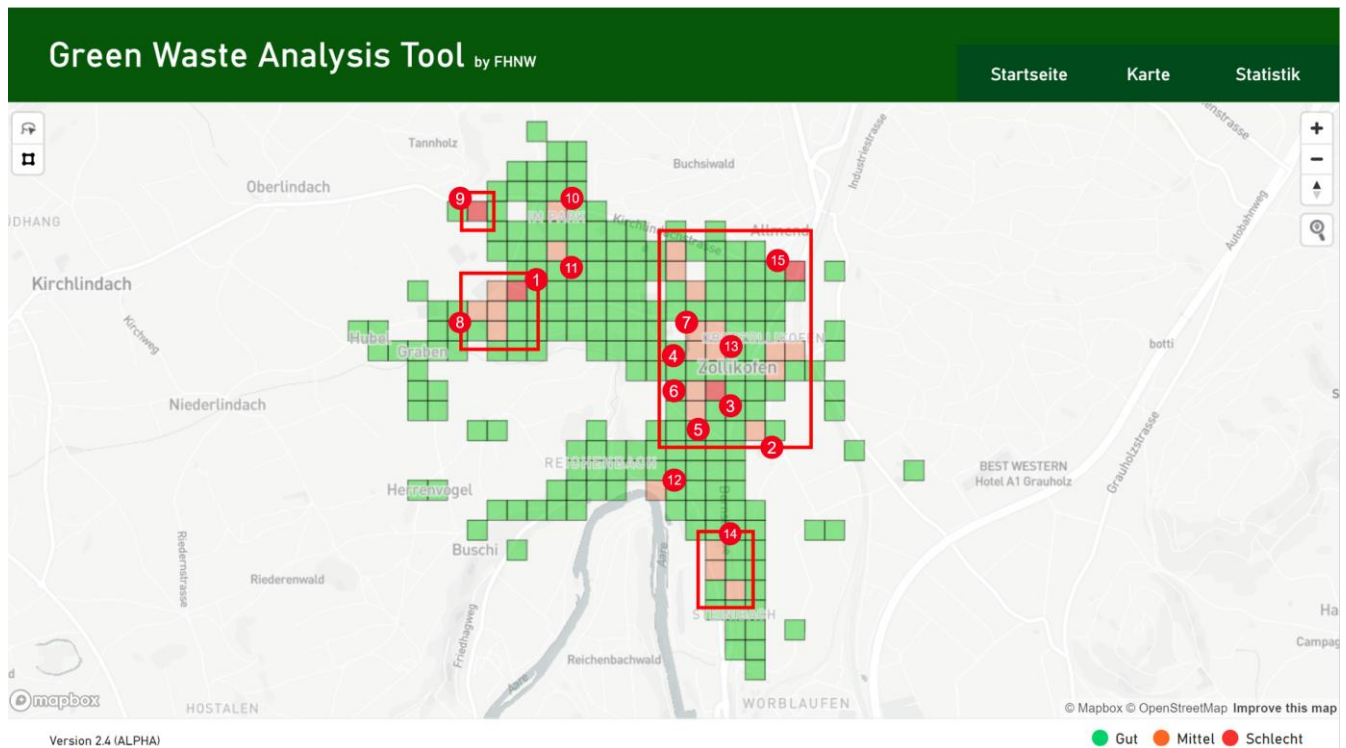


Abbildung 5 Prognosekarte Gemeinde Zollikofen

An Punkt Nr. 9, der Webergutstrasse, ist ein Gewerbegebiet zu finden. Es wird davon ausgegangen, dass dort kein Grüngut gesammelt wird und die Prognose «Schlecht» deshalb fehlerhaft ist.

Generell fassen die Nummern in der Abbildung 5 bis Abbildung 7 jeweils mehrere Prognosequadrate einer Qualität zusammen, falls diese nicht für sich alleinstehen. Liegen Prognosequadrate unterschiedlicher Qualitäten nahe beisammen, werden diese mit unterschiedlichen Nummern versehen.

Die Nachfolgende Tabelle 4 listet die Quartiere auf, welche aufgrund ihrer Prognose bei der Beprobung mitberücksichtigt werden sollten.

Nr	Quartier	Strasse	Qualität	Bemerkung
1	Oberzollikofen	Kirchlindachstrasse	Schlecht	
2	Ziegelei	Dreieck Rüttistrasse/Schützenstrasse/Kreuzstrasse	Mittel	
3	Walacher	Fellenbergstrasse	Schlecht	
4	Walacher	Kirchweg	Schlecht	
5	Walacher	Zelgweg	Schlecht	
6	Walacher	Häberlimatteweg	Mittel	
7	Landgarbe	Landgarbenstrasse	Hoch	
8	Landgarbe	Alpenstrasse	Mittel	
9	Geisshubel	Webergutstrasse	Schlecht	False Positive weil Industriegebiet?
10	Schwizerhubel	Im Park	Mittel	
11	Schwizerhubel	Uf dr Höchi	Mittel	
12	Steinibach- matte	Aarhaldestrasse	Mittel	
13	Hübeli	Bernstrasse	Mittel	
14	Hübeli	Hübeliweg	Mittel	
15	Widacher	Stämpfli/Wydacker/Fichte/Blumenstrasse	Schlecht	

*Tabelle 4 Sammelorte Gemeinde Zollikofen*

Von Interesse für die Sammelorte sind vorwiegend die Quartiere mit den Prognosen Mittel und Schlecht. Je grösser der bei der Beprobung eingesammelte Fremdstoffanteil ist, desto eher können Aussagen über den Einfluss von Compobags gemacht werden.

## 5.2 Prognosekarte Urtenen

In Abbildung 6 ist die Prognosekarte der Gemeinde Urtenen zu sehen. Die Prognose «Gut» wird 134 Mal vergeben (83.75%), die Prognose «Mittel» 22 Mal (13.75%) und die Prognose «Schlecht» 4 Mal (2.5%). Insgesamt werden 160 Quadrate mit Prognosen ausgewiesen. Die Quadrate haben dabei eine Seitenlänge von 100 Metern.

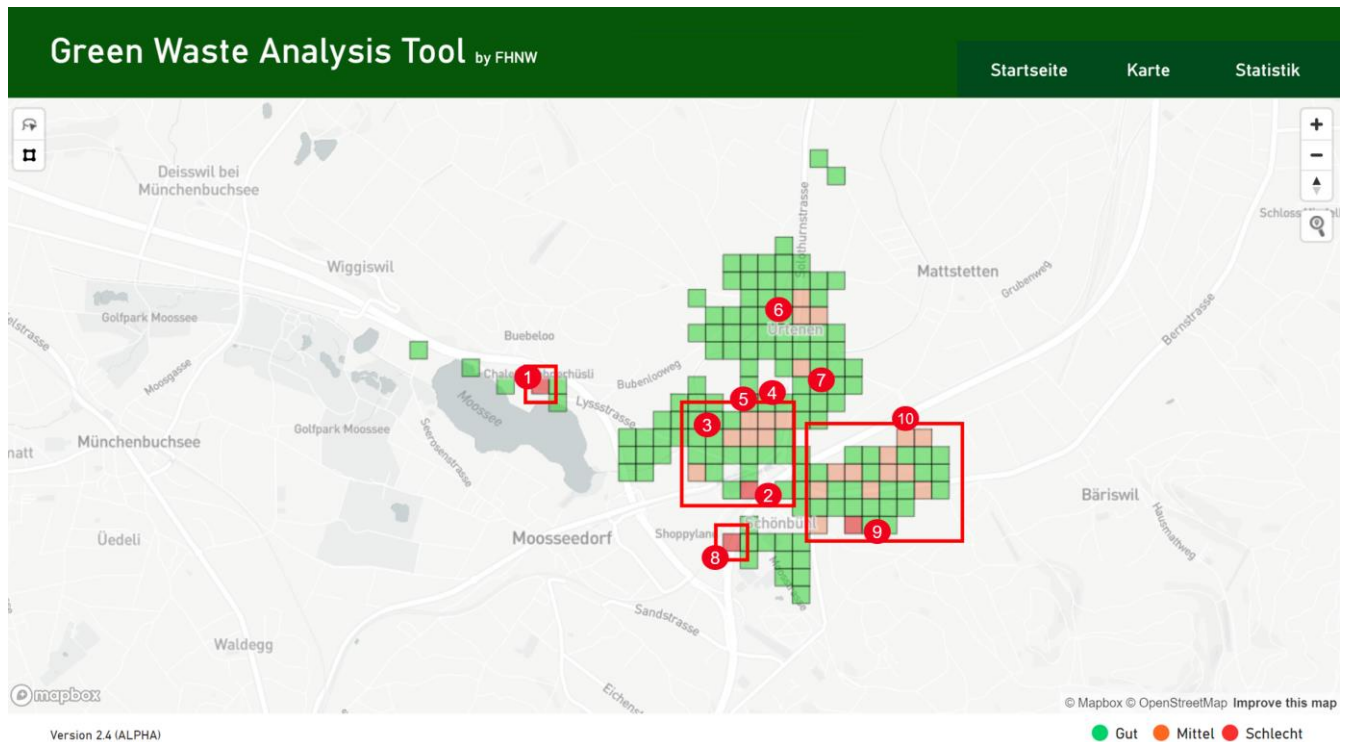


Abbildung 6 Prognosekarte Gemeinde Urtenen

An Punkt Nr. 1, liegt ein Bauernhof. Es darf davon ausgegangen werden, dass dieser sein Grüngut selbst verwertet und die Prognose «Schlecht» deshalb falsch sein muss.

Am Punkt Nr. 2, an der Moosstrasse, liegt ein Gewerbegebiet. Es wird davon ausgegangen, dass dort ebenfalls kein Grüngut gesammelt wird und die Prognose «Schlecht» deshalb ebenfalls fehlerhaft ist.

Die Prognose «Schlecht» wird insgesamt vier Mal vergeben, wobei bei zweien der Verdacht besteht, dass die Vergabe fehlerhaft ist.

Die Nachfolgende Tabelle 5 listet die Quartiere auf, welche aufgrund ihrer Prognose bei der Beprobung mitberücksichtigt werden sollten.

Nr.	Quartier	Strasse	Qualität	Bemerkung
1	Seehof	Lyssstrasse	Schlecht	False Positive, weil abgelegener Hof?
2	Moos	Moosstrasse	Schlecht	False Positive, weil Gewerbegebäude?
3	Gmeinmatt	Gmeinmatt	Mittel	
4	Holzgass	Holzgasse	Mittel	
5	Holzgass	Badstrasse	Mittel	
6	Etmatt	Solothurn- strasse	Mittel	
7	Etmatt	Etzmattrain	Mittel	
8	Plantane / Waldegg	Sandstrasse	Schlecht	
9	Feldegg	Feldeggstrasse	Schlecht	
10	Gurenmoos / Ho- rainacher	Hohr- ainstrasse	Mittel	Gesamtes Quartier zwischen Hindelbankstrasse und Autobahn

*Tabelle 5 Sammelorte Gemeinde Urtenen*

Die Punkte Nr. 1 und Nr. 2 wurden als wahrscheinlich fehlerhaft identifiziert.

### 5.3 Prognosekarte Worb

In Abbildung 7 ist die Prognosekarte der Gemeinde Worb zu sehen. Die Prognose «Gut» wird 457 Mal vergeben (97.8%), die Prognose «Mittel» 6 Mal (1.3%) und die Prognose «Schlecht» 4 Mal (0.9%). Insgesamt werden 467 Quadrate mit Prognosen ausgewiesen. Die Quadrate haben dabei eine Seitenlänge von 100 Metern.

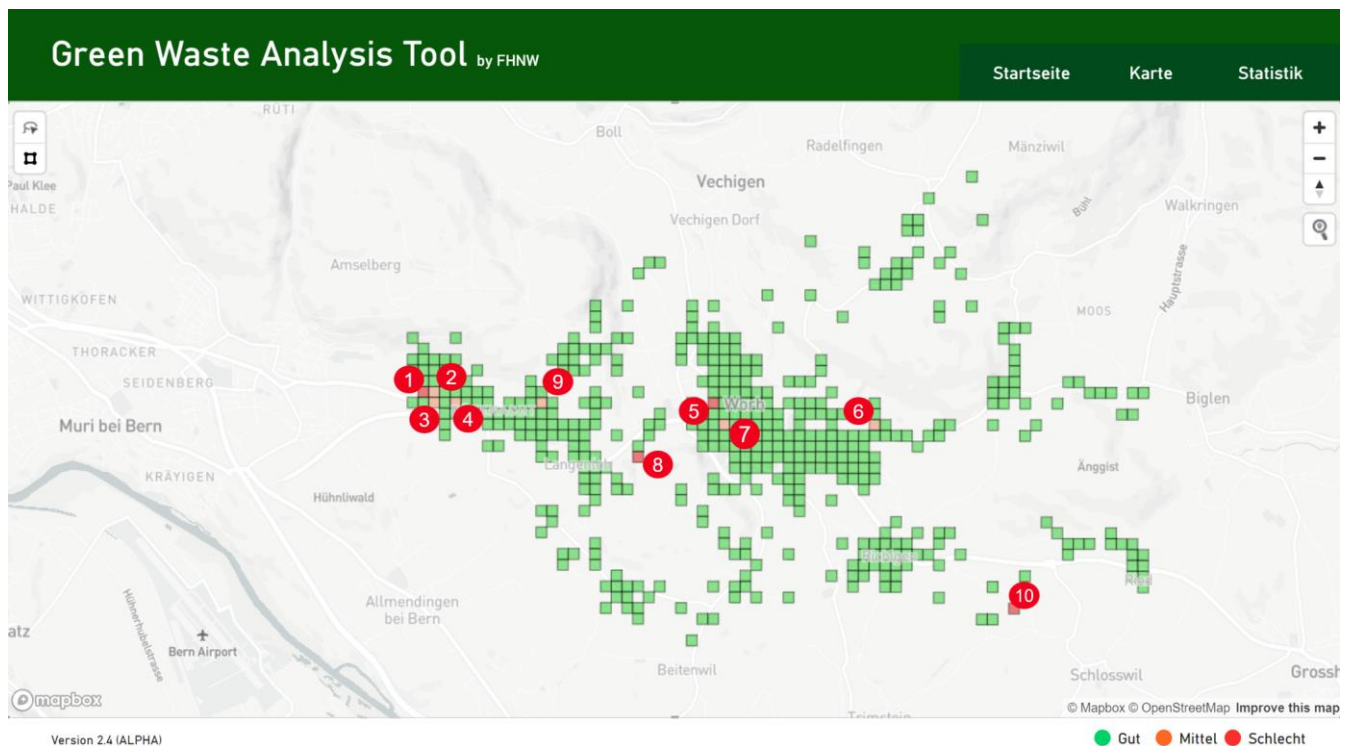


Abbildung 7 Prognosekarte Gemeinde Worb

An Punkt Nr. 8, liegt ein Bauernhof. Auch hier darf davon ausgegangen werden, dass dieser sein Grün-gut selbst verwertet und die Prognose «Schlecht» falsch ist.

Punkt Nr. 10 liegt nicht auf dem Gemeindegebiet von Worb, weshalb diese Prognose vernachlässigt wird.

Die Nachfolgende Tabelle 6 listet die Quartiere auf, welche aufgrund ihrer Prognose bei der Beprobung mitberücksichtigt werden sollten.

Nr	Quartier	Strasse	Qualität	Bemerkung
1	Rüfenach	Scheyenholzstrasse	Schlecht	
2	Rüfenach	Alte Bernstrase	Mittel	
3	Rüfenach	Mittelweg	Mittel	
4	Rüfenach	Schlössliweg	Mittel	
5	Worb	Hauptstrasse	Schlecht	
6	Worb	Schützenhausstrasse	Mittel	
7	Rohrmoos	Mühlestrasse	Mittel	
8		Hof Wislenboden	Schlecht	False Positive weil Bauernhof?
9		Industriestrasse	Mittel	Friedhof
10	Richigen	Mühlestrasse	Schlecht	Liegt nicht auf dem Gemeindegebiet von Worb

*Tabelle 6 Sammelorte Gemeinde Worb*

Die Punkte Nr.8 und Nr.10 wurden als wahrscheinlich fehlerhaft identifiziert. Dies einerseits, da es sich um einen Bauernhof handelt und andererseits da Punkt Nr.10 ausserhalb des Gemeindegebietes liegt.

## 6 Datenakquise

Damit die erhobenen Daten verglichen und weiterverarbeitet werden können, müssen die gefundenen Fremdstoffe im biogenen Abfall einheitlich gewichtet werden. In diesem Projekt wird das mit Hilfe der Methode der Firma Satom SA gemacht. Zusätzlich wurde vor der Datenakquise ein Testdurchlauf durchgeführt, um erste Erfahrungen zu sammeln und offene Fragen zu klären. Anschliessend wird festgelegt, wie die gewonnenen Daten weiterverarbeitet werden.

### 6.1 Bestimmung der Qualität von biogenem Abfall

Die Firma Satom SA mit Sitz in Monthey sammelt und verwertet biogenen Abfall. Um dessen Qualität einfach und effizient zu beurteilen, wurde ein System entwickelt, welches auf Sichtung anstatt auf Aus-sortieren und Wägen basiert. Dazu wird der zu analysierenden biogenen Abfall ausgebreitet und die sichtbaren Fremdstoffe werden gezählt. Anhand der Werte aus der nachfolgenden Tabelle 7 und dem Wägen oder Schätzen der Masse der Probe kann so die Anzahl Kontaminationseinheiten pro Tonne Masse bestimmt werden.

Abfallart	Gewicht pro Einheit (in g)	Kontaminationseinheiten pro Tonne
Plastiksack, Kaffee kapsel, eingepacktes Gemüse, verpackte Frucht	10	1
Blumentopf aus Hartplastik	80	8
PET-Flasche 0.5l	15	1
PET-Flasche	32	3
Glasflasche	500	1
Alubüchse	14	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

*Tabelle 7: Kontaminationseinheiten gemäss Satom SA (Verein Inspektorat, 2020)*

Satom SA unterteilt den analysierten biogenen Abfall dann entsprechend Tabelle 8 in vier Kategorien. Diese sind in nachfolgender Tabelle 8 ersichtlich.

Klassierung	Grenzwerte
Sauber, normal verschmutzt	< 80 Kontaminationseinheiten pro Tonne
Leicht verschmutzt	> 80 bis < 160 Kontaminationseinheiten pro Tonne
Stark verschmutzt	> 160 bis < 300 Kontaminationseinheiten pro Tonne
Inakzeptabel verschmutzt	> 300 Kontaminationseinheiten pro Tonne

*Tabelle 8: Kategorisierung gemäss Satom SA (Verein Inspektorat, 2020)*

Das IBRE verfolgt einen Ansatz zur Erfassung der Qualität des biogenen Abfalls, der auf dem System von Satom SA basiert. Dazu werden die Sammelcontainer direkt vor dem Leeren fotografiert, sodass die sichtbaren Kontaminationen gemäss Tabelle 7 beurteilt werden können und der Füllstand des Containers geschätzt werden kann. Nach dem Leeren wird ein weiteres Foto von der Ladefläche, auf der der Containerinhalt nun ausgebreitet ist, gemacht. Damit können auch im Container überdeckte Kontaminationen erfasst werden. Mit diesem einfachen, optischen Verfahren kann so für jeden Container den Verschmutzungsgrad bestimmt werden. Die Masse pro Container kann entweder bei entsprechend ausgerüsteten Fahrzeugen direkt gemessen werden oder anhand Containergrösse, Füllstand und der beim Abladen erfassten Gesamtmasse approximiert werden.

Das Erstellen dieser Aufnahmen ist beim IBRE noch nicht automatisiert, daher werden die Sammeltouren, auf denen Daten erhoben werden sollen, von einem Mitarbeiter des IBRE begleitet. Um diese Art der Datenerfassung zu plausibilisieren, wird der gesamte Inhalt des Sammelfahrzeuges beim Grüngutverwerter nachsortiert. Bei der Anlieferung wird die Gesamtmasse gewogen, danach werden sämtliche Fremdstoffe von Hand aussortiert. Damit können auch Container geleert und damit beprobt werden, welche im Regelbetrieb stehen gelassen würden, weil sie zu verschmutzt sind. Die gefundenen Fremdstoffe werden gemäss Tabelle 7 erfasst und so kann zusammen mit der Gesamtmasse wiederum der relative Verschmutzungsgrad bestimmt werden.

(Verein Inspektorat, 2020)

## 6.2 Testlauf in Moosseedorf

Bevor mit der eigentlichen Datenakquise in den ausgewählten drei Gemeinden begonnen wurde, hat der Mitarbeiter des IBRE einen Testdurchlauf in einer vierten Gemeinde, Moosseedorf, durchgeführt. Dank diesem Testdurchlauf konnte festgestellt werden, welche Kamera sich gut für die Datenakquise eignet. Aber auch praktische Erkenntnisse konnten gewonnen werden: Wo wird die Kamera am besten platziert, damit der gesamte notwendige Bildausschnitt auf dem Foto erkennbar ist? Sind die Lichtverhältnisse genügend? Können Fremdstoffe gut erkannt werden? Wie schnell wird ein Container in das Sammelfahrzeug gekippt und reicht diese Zeit für ein gutes Bild? Mit welchem zusätzlichen Zeitaufwand während der Tour muss für das Erstellen der Bilder gerechnet werden? Wie muss sich der Mitarbeiter von IBRE während der Sammeltour verhalten, damit seine Sicherheit, und die der übrigen Mitarbeiter jederzeit gewährleistet ist?

Nebst diesen praktischen Erfahrungen konnten weitere nützliche Erkenntnisse für die spätere Auswertung der Daten gewonnen werden. So hat sich gezeigt, dass das maschinelle Auswerten der Bilder mit einer künstlichen Intelligenz (KI) beim IBRE noch nicht möglich ist. Die Auswertung der Bilder aus den drei Gemeinden für dieses Projekt muss jedoch von Hand gemacht werden. Dazu muss jemand die Bilder einzeln sichten und auf Fremdstoffe absuchen damit diese gezählt werden können. Das ist sehr aufwändig und es muss darauf geachtet werden, dass dabei einerseits alle Fremdstoffe erfasst werden. Andererseits ist es aber auch ebenso wichtig, dass bestimmte Fremdstoffe nicht doppelt erfasst werden. Diese Gefahr besteht, wenn ein Fremdstoff im Bild vom noch ungelehrten Container erkannt wird und derselbe Fremdstoff nach dem Kippen in das Sammelfahrzeug wieder sichtbar ist, jedoch von einer anderen Seite. Ohne entsprechende Erfahrung kann es schnell passieren, dass dabei dieser identische Fremdstoff auf dem zweiten Bild fälschlicherweise ein zweites Mal mitgezählt wird. Die beiden nachfolgenden Bilder aus dem Testlauf in Moosseedorf verdeutlichen das. Sie zeigen den Inhalt eines Containers vor und nach dem Kippen in den Müllwagen. Die Fremdstoffe wurden blau eingekreist. Vor dem Kippen sind zwei Kaffeekapseln, sowie ein eingepacktes Gemüse sichtbar. Nach dem Kippen ist nur noch eine der Kaffeekapseln sichtbar. Die zweite Kaffeekapsel, sowie das eingepackte Gemüse sind jetzt unten und werden vom anderen biogenen Abfall verdeckt. Dafür wird jetzt zusätzlich Katzensand sichtbar. Damit diese Fehler minimiert und der Prozess überprüft werden kann, wurde beschlossen, den Inhalt der Sammelfahrzeuge zusätzlich nach der Tour nochmals zu kontrollieren. Dazu wird der gesamte

Inhalt nach der Sammeltour auf einen Platz gekippt und der Inhalt von Hand sortiert und die Fremdstoffe gezählt.



Abbildung 8 Inhalt eines Containers vor dem Kippen (Testlauf Moosseedorf)



Abbildung 9 Inhalt des Containers nach dem Kippen im Müllwagen (Testlauf Moosseedorf)

Weiter konnte untersucht werden, wie die Daten für die weitere Verarbeitung am besten erfasst und dargestellt werden. Damit später das Zuordnen der einzelnen Bilder einfach ist, und ein Vergleich zwischen der Prognosekarte und dem tatsächlichen Fremdstoffgehalt möglich ist, müssen zu jedem Bild der genaue Standort miterfasst werden. Das geschieht am einfachsten mit dem automatischen Erfassen der jeweiligen GPS-Koordinaten. Ebenso werden das Aufnahmedatum und die exakte Zeit in den Metadaten der Bilder gespeichert und können später einfach ausgelesen werden. Für die Auswertung und Bilanzierung der Fremdstoffe, bezogen auf die Menge biogenen Abfalls ist es wichtig, dass auch erfasst wird, wie voll ein Container vor dem Entleeren ist. Werden die Gebühren für das Sammeln pauschal erhoben, und nicht pro Containerentleerung, so werden auch viele Container gesammelt, welche nur

halb oder zu einem Viertel gefüllt sind. Für das spätere Hochrechnen in Kontaminationseinheiten pro Tonne biogenen Abfalls ist diese Information unerlässlich.

### 6.3 Methode zur Datenauswertung

Für jede Aufnahme werden folgende Parameter erfasst:

- Geolokation und Zeit
- Bildquelle: Container oder Ladefläche
- Bei Containern: Volumen und Füllgrad
- Anzahl der einzelnen Fremdstoffe gemäss Tabelle 7

Bei der Auszählung auf dem Areal der KEWU werden folgende Parameter erfasst:

- Gesamtmasse des gesammelten Grüngutes
- Anzahl der einzelnen Fremdstoffe gemäss Tabelle 7

Für jeden Container wird eine gemittelte Masse  $M_x$  berechnet.

$M$ : Gesamtmasse

$V$ : Containervolumen

$F$ : Füllgrad

$V_{tot}$ : Gesamtvolumen aller Container

$$M_x = \frac{M \cdot V_{x,eff}}{V_{tot}} = \frac{M \cdot V_x \cdot F_x}{\sum_i V_i F_i}$$

Das Sammelfahrzeug fährt vor und nach dem Abladen über die Waage auf dem KEWU-Areal, damit die Gesamtmasse des gesammelten Grüngutes bestimmt werden kann. Über die Gesamtmasse und das mit dem Füllgrad korrigierte Gesamtcontainervolumen wird die mittlere Dichte des Grüngutes bestimmt. Damit kann für jeden einzelnen Container eine gute Abschätzung gemacht werden, wie gross die darin enthaltene Masse des Grüngutes ist. Bei der Messung wurden allerdings nicht alle Container der gesamten Tour fotografiert, weshalb die Gesamtmasse der Container nur geschätzt werden konnte. Daher wurde für die Auswertung die tabellarische Dichte von Grüngut von  $500\text{kg/m}^3$  angenommen.



Abbildung 10: Container 27 von der Tour in Zollikofen mit einem Volumen von 240 Liter. Der Füllgrad wurde auf 5/6 geschätzt, was einem effektiven Volumen von 200 Liter und somit 100kg entspricht.

Für jeden Container werden die Kontaminationseinheiten  $K_{x,tot}$  berechnet:

$K_i$ : Gewichtung der verschiedenen Fremdstoffe gemäss Tabelle 7

$N_i$ : Anzahl der gefundenen Fremdstoffe dieser Art im Container

$$K_{x,tot} = \sum_i K_i \cdot N_i$$

Als Teil der Datenerfassung werden für alle Container die Art und die Menge der sichtbaren Kontaminationen gezählt und tabellarisch festgehalten. Daraus wird anhand Tabelle 7 die Anzahl der Kontaminationseinheiten bestimmt.



*Abbildung 11 Im Container 32 von der Tour in Urtenen können 8 Plastiksäcke erkannt werden, welche mit einer Einheit gewichtet sind. Der Container enthält somit 8 Kontaminationseinheiten.*

Damit kann für jeden Container die Anzahl der Kontaminatinseinheiten pro Tonne  $C_x$  bestimmt und somit gemäss Tabelle 8 kategorisiert werden.

$$C_x = \frac{K_{x,tot}}{M_x}$$

Die beiden so erhaltenen Werte werden verrechnet und ergeben dadurch für jeden Container eine spezifische Kontamination. Diese kann dann mit den Grenzwerten aus Tabelle 8 abgeglichen und entsprechend kategorisiert werden.



Abbildung 12 Container 17 von den Touren in Worb wird zu einem Drittel voll geschätzt und ist sehr stark kontaminiert. Die Berechnung ergibt 364 Kontaminationseinheiten pro Tonne, also «inakzeptabel verschmutzt».

Für den Vergleich der einzelnen Gemeinden werden die Anzahl der Kontaminationseinheiten pro Tonne  $C$  berechnet.

$K_{tot}$ : Kontaminationseinheiten

$(\sum_j N_j)_i$ : Summe aller gefunder Fremdstoffe dieser Art in der gesamten Gemeinde

$$C = \frac{K_{tot}}{M} = \frac{\sum_i (K_i \cdot (\sum_j N_j)_i)}{M}$$

Dieser Wert erlaubt es, bestimmte Gebiete oder Gemeinden miteinander zu vergleichen.

## 7 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die bei der Beprobung gesammelten Daten ersichtlich. Der Kontaminationsgrad wird dabei mit der Methode der Satom SA gemessen. Die Proben wurden auf zwei verschiedene Arten gesammelt.

Zur Bestimmung der Kontaminationsrate wurden die Container beim Sammeln zweimal fotografiert. Durch die auf den Sammeltouren entstandenen Fotos kann gesagt werden, in welchem Container wie viele Fremdstoffe zu finden sind. Dafür ist die Bestimmung des absoluten Fremdstoffgehalts dabei nicht so genau. Die Resultate aus der Beprobung sind in Kapitel 7.1 ersichtlich.

Anschliessend wurde das Sammelgut auf dem Vorplatz der KEWU AG ausgekippt und Fremdstoffe von Hand aussortiert und ausgezählt. Dabei wurden nicht nur die fotografierten Container, sondern das gesamte gesammelte Grüngut der drei Gemeinden untersucht. Aufgrund sowohl der höheren Menge als auch der Methode ist davon auszugehen, dass diese Methode für den Vergleich der verschiedenen Gemeinden besser geeignet ist. Die Resultate dieser Beprobung sind in Kapitel 7.2 ersichtlich.

Die Fotos wurden jeweils nur von einem Teil des gesammelten Grünguts von einer Tour gemacht. Bei der Handauslese wurden jeweils die Fremdstoffe einer ganzen Gemeinde, also mehrere Touren zusammen, ausgewertet. Eine Aufschlüsselung pro Tour wäre aber möglich. Daher kann die Methode der Auswertung mit Fotos nicht qualitativ beurteilt werden, da die Resultate der Handauslese nicht einem bestimmten Teil der Tour zuweisbar sind.

### 7.1 Auswertung der Fotos

#### Urtenen

In Abbildung 13 wurde die vom Green Waste Analysis Tool der FHNW erstellte Prognosekarte (vgl. Kapitel 5) mit den in der Beprobung gesammelten Daten überlagert. Dabei ist zu sehen, dass die stark kontaminierten Container ungefähr an den Orten zu sehen sind, an welchen auch ein hoher Fremdstoffgehalt erwartet wurde. Die Prognosekarte bezieht sich dabei auf den Standort der Wohneinheiten und nicht auf den Sammelort der zugehörigen Container. So kann es vorkommen, dass der zu einem orangenen Quadrat gehörende Container in einem benachbarten grünen Quadrat eingesammelt und markiert wurde.

Auf der Skala rechts im Bild ist zudem zu sehen, dass die höchste Kontaminationsrate ca. 400 Punkten pro Tonne beträgt. Die Skalierung richtet sich nach der höchsten gemessenen Kontaminationsrate der Gemeinde.

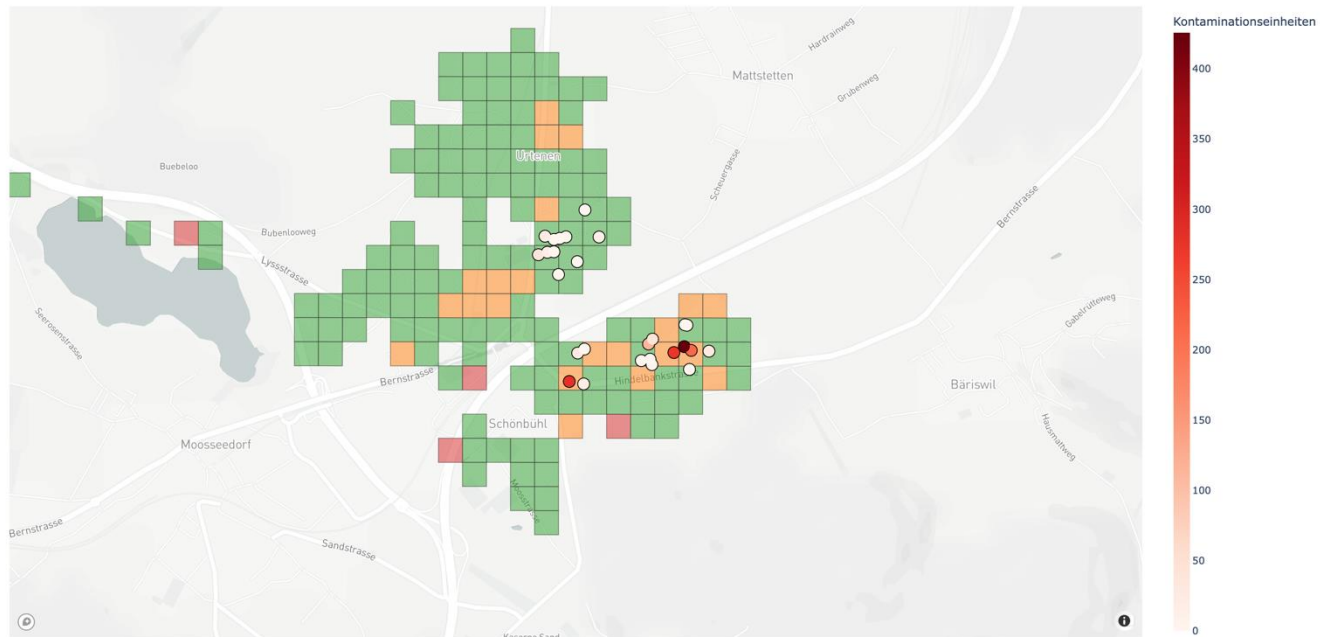


Abbildung 13: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Urtenen (Quelle: IBRE)

Ebenfalls ist in Abbildung 14 zu sehen, dass die meisten beprobten Container unter 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen.

Gemäss Tabelle 8 gilt Grüngut mit weniger als 80 Kontaminationseinheiten pro Tonne als sauber, wobei die Gemeinden selbst Grenzwerte festlegen sollen. Aufgrund der geringen Kontamination wurden die Klassenbreiten in Abbildung 14 mit 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne festgelegt.

Es konnte festgestellt werden, dass von den gesamt 33 beprobten Container 16 (48.5%) weniger als 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen. Hingegen sind 9 Container (27.7% der Proben) für ca. 95% der gesamten Kontamination verantwortlich. Dies kommt massgeblich dadurch zustande, dass gewisse Fremdkörper wie z.B. Windeln sehr stark gewichtet werden (vgl. Tabelle 7) und betreffende Container mit entsprechend vielen Kontaminationseinheiten bewertet werden.

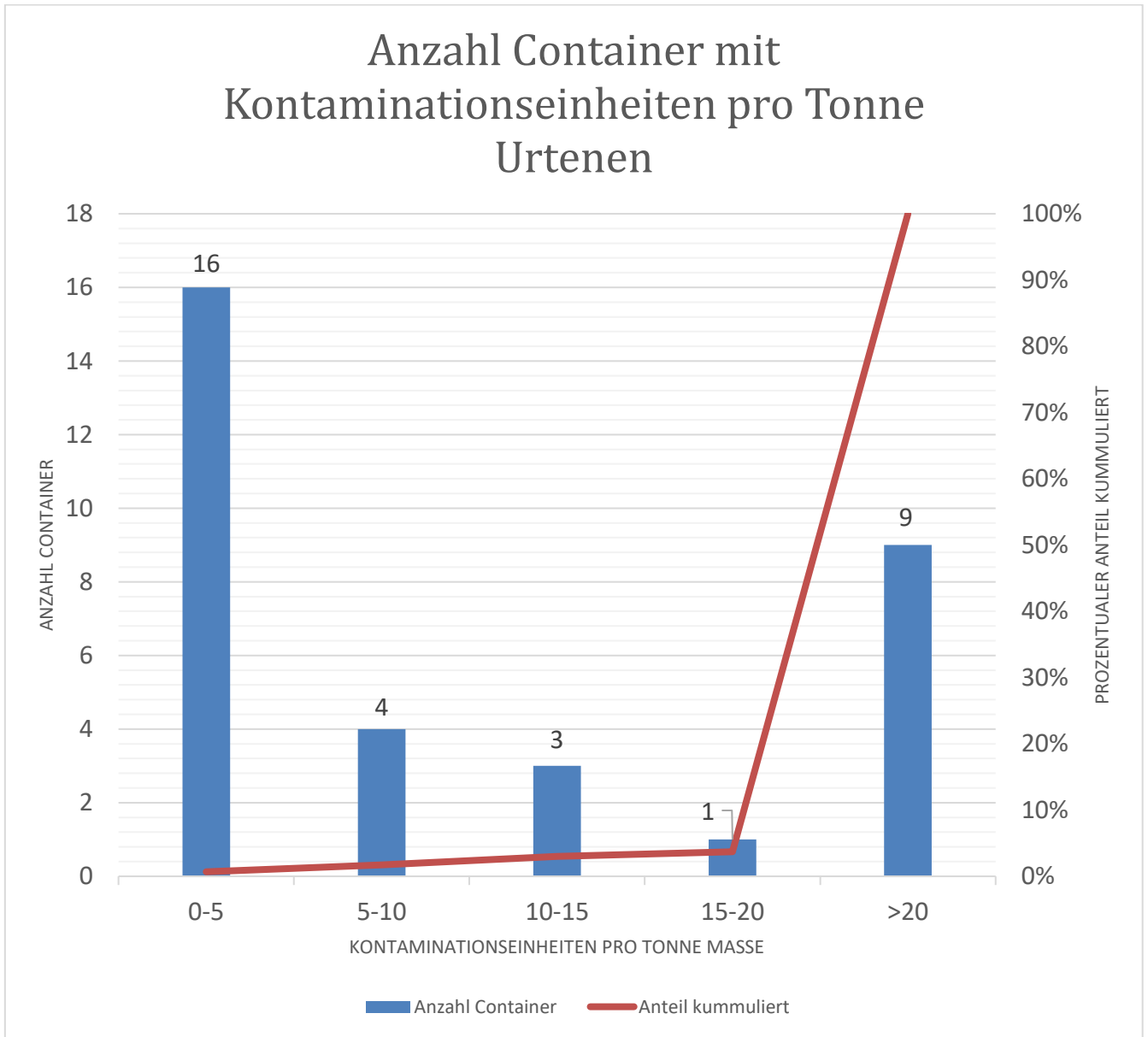


Abbildung 14: Auswertung der Container, Gemeinde Urtenen

## Worb

In Abbildung 15 wurde die vom Green Waste Analysis Tool der FHNW erstellte Prognosekarte (vgl. Kapitel 5) mit den in der Beprobung gesammelten Daten überlagert. Die Prognosekarte bezieht sich dabei auf den Standort der Wohneinheiten und nicht auf den Sammelort der zugehörigen Container. So kann es vorkommen, dass der zu einem orangenen Quadrat gehörende Container in einem benachbarten grünen Quadrat eingesammelt und markiert wurde.

Auf der Skala rechts im Bild ist zudem zu sehen, dass die höchste Kontaminationsrate ca. 350 Punkten pro Tonne beträgt. Die Skalierung richtet sich nach der höchsten gemessenen Kontaminationsrate der Gemeinde.

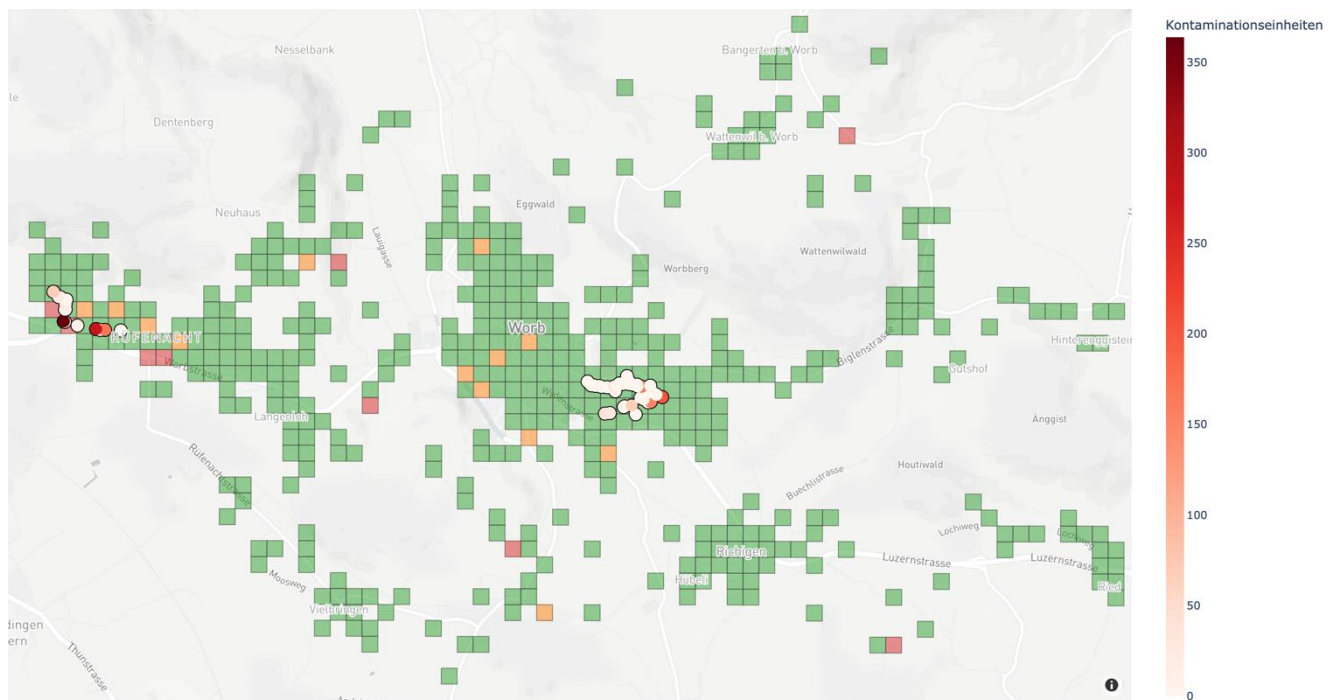


Abbildung 15: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Worb (Quelle: IBRE)

Ebenfalls ist in Abbildung 16 zu sehen, dass die meisten beprobten Container unter 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen.

Gemäss Tabelle 8 gilt Grüngut mit weniger als 80 Kontaminationseinheiten pro Tonne als sauber, wobei die Gemeinden selber Grenzwerte festlegen sollen. Aufgrund der geringen Kontamination wurden die Klassenbreiten in Abbildung 16 mit 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne festgelegt.

Es konnte festgestellt werden, dass von den gesamt 74 beprobten Container 69 (93.2%) weniger als 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen. Dagegen sind nur 2 Container (2.7% der Proben) für knapp 60% der gesamten Kontamination verantwortlich. Dies kommt massgeblich dadurch zustande, dass gewisse Fremdkörper wie z.B. Windeln sehr stark gewichtet werden (vgl. Tabelle 7) und betreffende Container mit entsprechend vielen Kontaminationseinheiten bewertet werden.

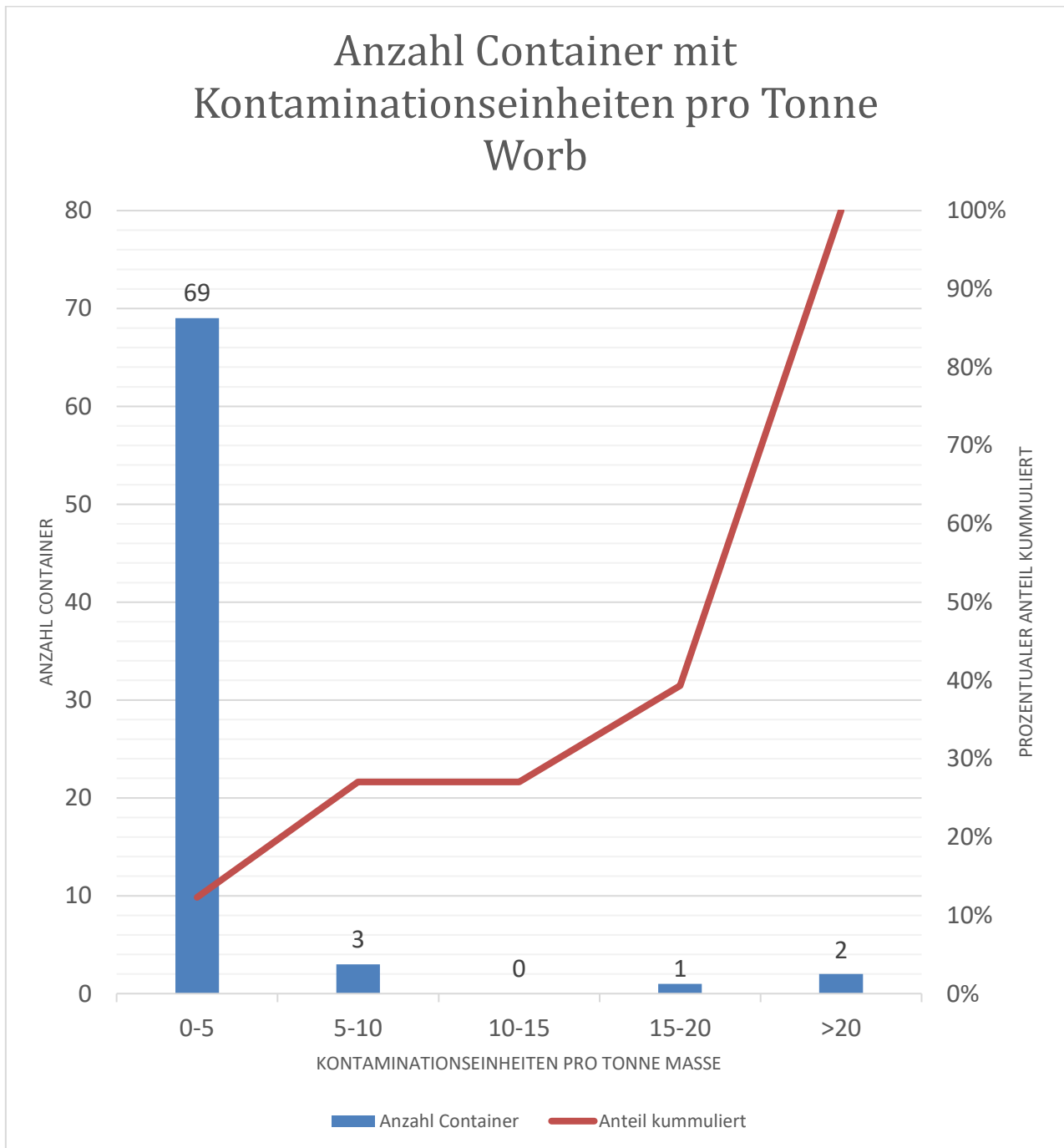


Abbildung 16: Auswertung der Container, Gemeinde Worb

### Zollikofen

In Abbildung 17 wurde die vom Green Waste Analysis Tool der FHNW erstellte Prognosekarte (vgl. Kapitel 5) mit den in der Beprobung gesammelten Daten überlagert. Dabei ist zu sehen, dass die stark kontaminierten Container ungefähr an den Orten zu sehen sind, an welchen auch ein hoher Fremdstoffgehalt erwartet wurde. Die Prognosekarte bezieht sich dabei auf den Standort der Wohneinheiten und nicht auf den Sammelort der zugehörigen Container. So kann es vorkommen, dass der zu einem

orangen Quadrat gehörende Container in einem benachbarten grünen Quadrat eingesammelt und markiert wurde.

Auf der Skala rechts im Bild ist zudem zu sehen, dass die höchste Kontaminationsrate ca. 40 Punkten pro Tonne beträgt. Die Skalierung richtet sich nach der höchsten gemessenen Kontaminationsrate der Gemeinde.

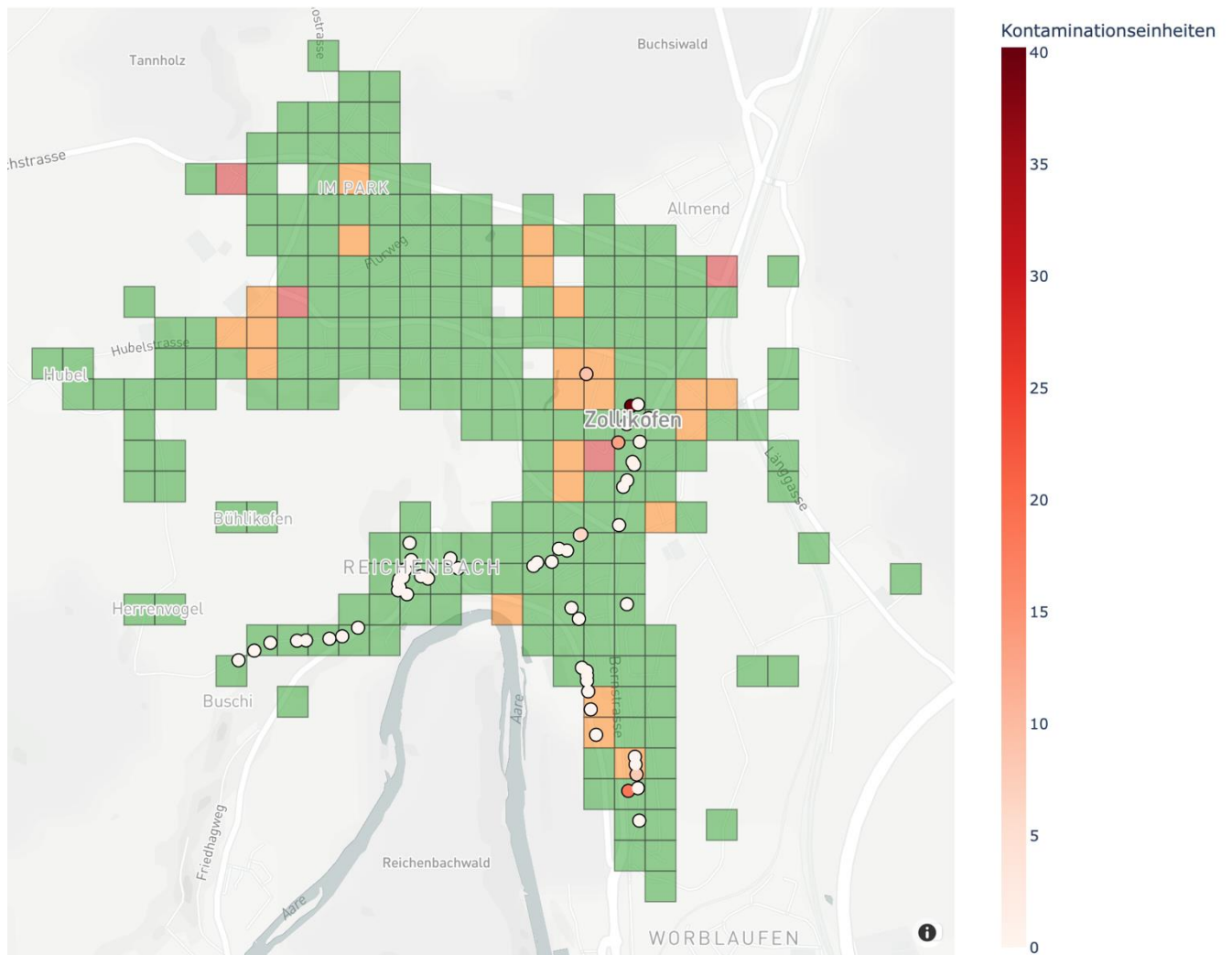


Abbildung 17: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Zolllikofen (Quelle: IBRE)

Ebenfalls ist in Abbildung 18 zu sehen, dass die meisten beprobten Container unter 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen.

Gemäss Tabelle 8 gilt Grüngut mit weniger als 80 Kontaminationseinheiten pro Tonne als sauber, wobei die Gemeinden selbst Grenzwerte festlegen sollen. Aufgrund der geringen Kontamination wurden die Klassenbreiten in Abbildung 18 mit 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne festgelegt.

Es konnte festgestellt werden, dass von den gesamt 93 beprobten Container 84 (90.3%) weniger als 5 Kontaminationseinheiten pro Tonne aufweisen. Dagegen sind nur 6 Container (6.5% der Proben) für ca. 88% der gesamten Kontamination verantwortlich. Dies kommt massgeblich dadurch zustande, dass gewisse Fremdkörper wie z.B. Windeln sehr stark gewichtet werden (vgl. Tabelle 7) und betreffende Container mit entsprechend vielen Kontaminationseinheiten bewertet werden.

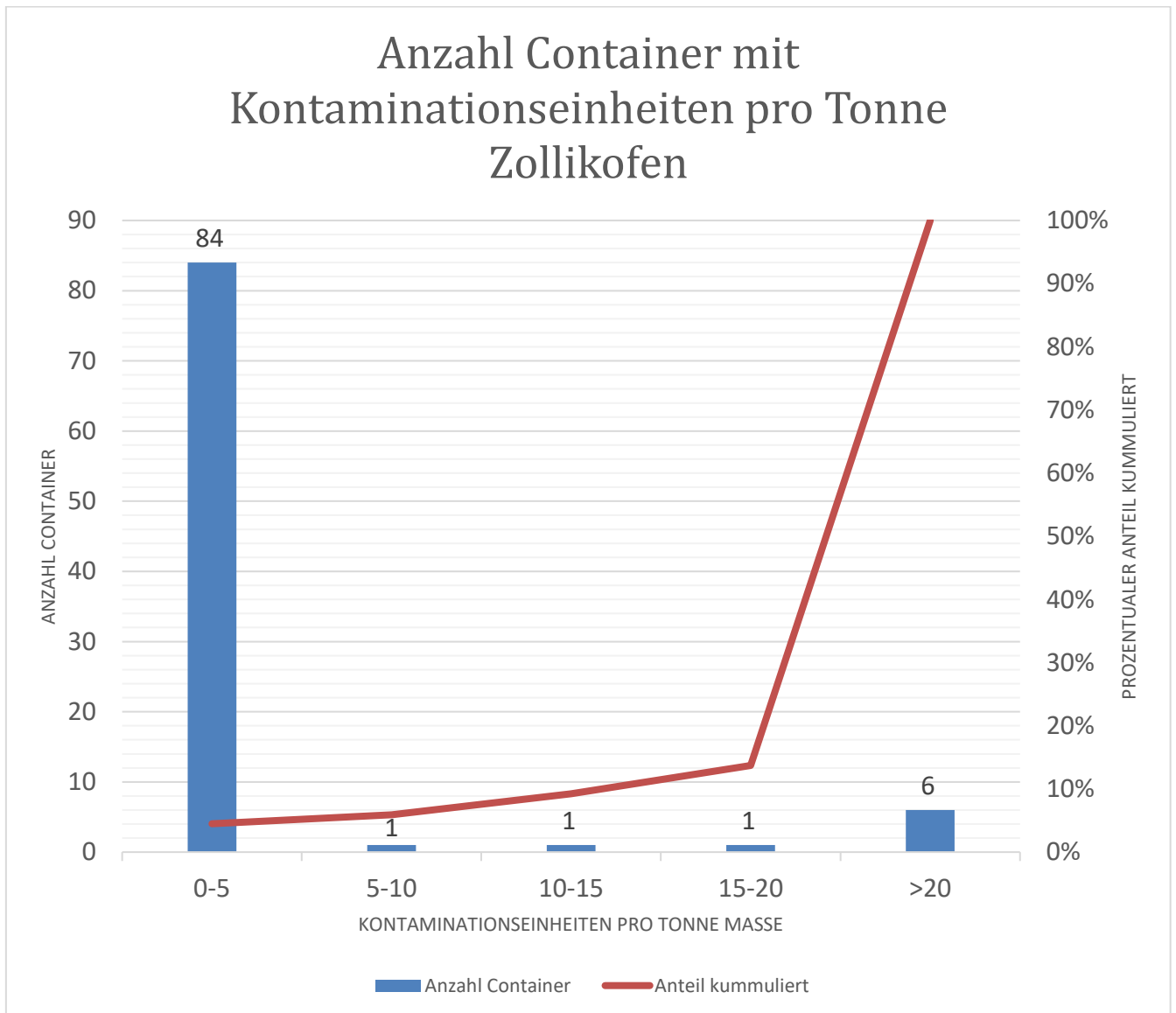


Abbildung 18: Auswertung der Container, Gemeinde Zollikofen

### Vergleichbarkeit der Gemeinden anhand der Fotoanalyse

Die Fotoanalyse ist eine Methode, deren Genauigkeit mit den uns zur Verfügung stehenden Daten nicht beurteilt werden kann, da die Datensätze der beiden Methoden nicht dieselbe Datengrundlage aufweisen. Trotzdem können die Daten der Fotoanalyse statistisch untersucht werden, um ein Bild über die Genauigkeit beider Methoden zu erhalten. Anhand der Berechnungsmethode aus Kapitel 6.3 wurde für jeden Container die Verschmutzung  $C_x$  bestimmt. Die Berechnung der Standardabweichung dieser Werte gibt ein Bild über deren Streuung, die, wie in Tabelle 9 ersichtlich ist, sehr hoch ist. Damit ist die Aussage aus den vorigen Kapiteln, dass wenige Container für einen grossen Teil der Kontamination verantwortlich sind, bestätigt.

Gemeinde	Urtenen	Worb	Zollikofen
C (Kont. pro t) nach Fotos	30.9	16.0	3.9
StdAbw. von C <sub>x</sub> pro Container nach Fotos	320.9	64.7	16.5
Abweichung in Prozent gemäss Fotos	±1023%	±402%	±418%

Tabelle 9: Standardabweichung von C<sub>x</sub>

Mit dieser grossen Abweichung in den Ursprungsdaten kann somit kein Vergleich der Gemeinden gemacht werden. Zudem weichen die gemessenen Werte für die Kontamination gemäss Tabelle 9 auch deutlich von den Resultaten der Handauslese ab.

## 7.2 Auswertung der Handauslesung

Anhand der Analyse auf dem Areal der KEWU wurden für die drei Gemeinden folgende Werte gemessen:

Gemeinde	Kontaminationseinheiten pro Tonne	Compobags erlaubt
Urtenen	46.6	Ja
Worb	57.9	Nein
Zollikofen	74.5	Nein

Tabelle 10: Verschmutzungsgrad des gesammelten Grüngutes der einzelnen Gemeinden

Die einzelnen Messwerte der Gemeinden liegen sehr nahe beieinander. In Abbildung 19 ist ersichtlich, dass bereits mit der einfachen Standardabweichung um den Mittelwert alle Messwerte im Fehlerband liegen.

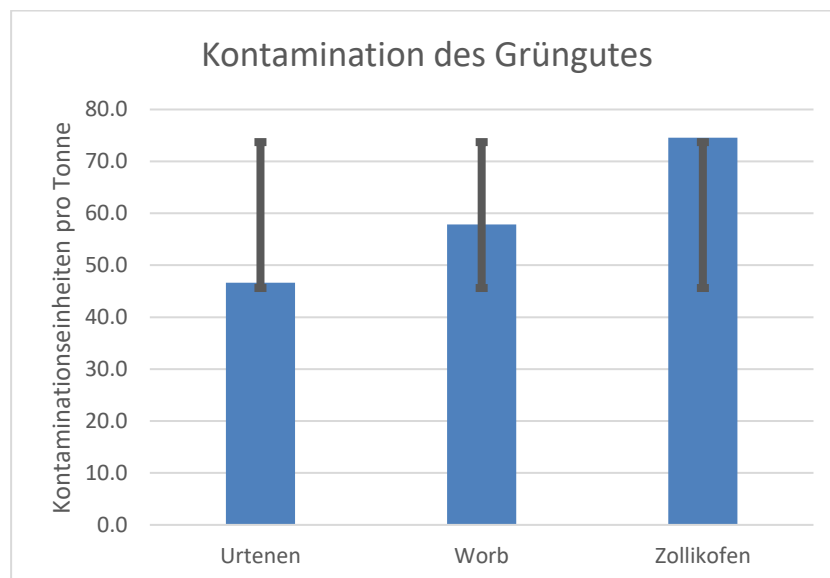


Abbildung 19: Resultate der Gemeinden mit einfachem Fehler der Standardabweichung um den Mittelwert

Die Analyse in Tabelle 9 zeigt eine sehr grosse Unsicherheit bei den einzelnen Containern von Faktor 4 und mehr, also wenige Ausreisser beeinflussen den Wert stark. Da die fotografierten Container ein Teil des Grüngutes der Handauslesung sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Unsicherheit der Werte in Tabelle 10 vergleichbar ist. Wird der Fehler der vorherigen Abbildung entsprechend angepasst, wird das Bild, wie in Abbildung 20 ersichtlich, noch deutlicher.

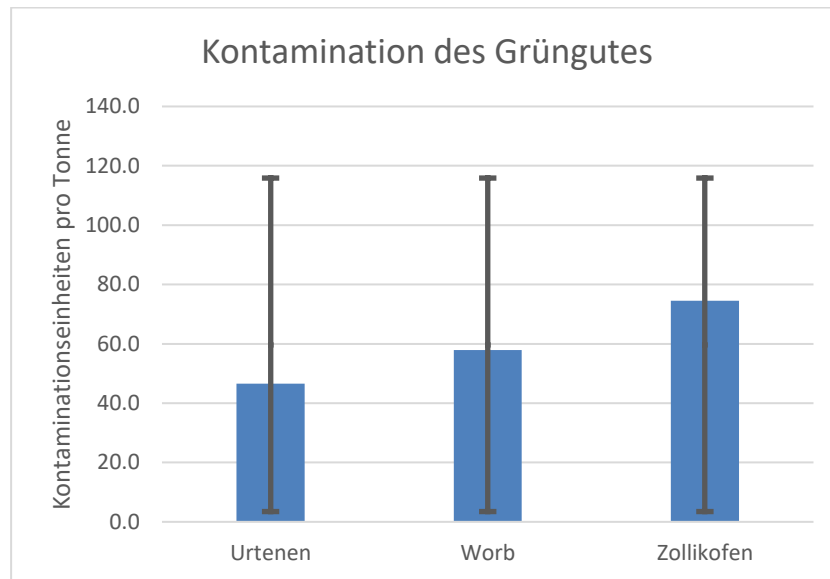


Abbildung 20: Resultate der Gemeinden mit vierfachem Fehler der Standardabweichung um den Mittelwert

Auch wenn diese Unsicherheit nicht direkt für die Handauslesung übernommen werden kann, so zeigt sie klar, dass auch die Messwerte in Tabelle 10 mit einer Unsicherheit behaftet sein müssen, denn wenige Ausreisser, also stark verschmutzte Container, beeinflussen den Wert stark. Es kann somit kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen einem Verbot von Compobags und der Verschmutzung des Grüngutes festgestellt werden.

Gemeinde	Urtenen	Worb	Zollikofen
Gesammeltes Grüngut in Tonnen	13.6	17.4	9.4
Compobags erlaubt?	Ja	Nein	Nein
Anz. Compobags total	90	22	78
Anz. Compobags pro Tonne	6.62	1.26	8.30
Anz. Compobags mit Fremdstoffen	1	1	0
Anz. Plastiksäcke mit Grüngut	9	34	24
Anz. Plastiksäcke mit Grüngut pro Tonne	0.66	1.95	2.55

Tabelle 11: Auswertung der Daten der Handauslese der einzelnen Gemeinden

Tabelle 11 zeigt, dass in allen Gemeinden, unabhängig von einem Verbot von Compobags, sowohl Compobags wie auch Plastiksäcke, die mit Grüngut gefüllt sind, in den Sammelcontainern landen.

Es kann klar festgestellt werden, dass der Inhalt der Compobags mehrheitlich frei von Fremdstoffen ist.

## 8 Hypothesenprüfung und Diskussion

Ziel dieser Projektarbeit ist die Hypothese zu prüfen, ob die Verwendung von Compobags einen signifikanten Einfluss auf die Menge und Art der Fremdstoffe hat, sowie eine Aussage zur Qualität des gesammelten Grünguts zu treffen.

Der Vergleich zwischen Gemeinden, die Compobags erlauben, und solchen, die sie verbieten, zeigt keine signifikanten Unterschiede. Die erhobenen Daten dieser Projektarbeit weisen keinen Zusammenhang zwischen der Verwendung von Compobags und der Menge von artfremdem Abfall im Grüngut auf.

Grundlage dieser Erkenntnisse sind, die von Hand durchsuchten, biogenen Abfälle. Auffällig war, dass in den gesamten 40.4 Tonnen biogenen Abfalls nur zwei Compobags gefunden wurden, die artfremden Abfall enthielten. Dies deutet darauf hin, dass Compobags nicht zur Entsorgung von artfremdem Abfall missbraucht werden. Umgekehrt kann auch nicht festgestellt werden, dass nicht abbaubare Plastiksäcke verwendet werden, um Grüngutabfall zu entsorgen. Ob die verwendeten Plastiksäcke absichtlich, versehentlich oder aus Unwissenheit verwendet wurden, kann dabei nicht gesagt werden.

Die biogenen Abfälle wurden auch fotografiert. Ein direkter Vergleich zwischen der Handsortierung und den Fotos kann nicht erstellt werden, weil die Fotos nur eine unbekannte Teilmenge der Handsortierung abbilden. Dennoch ermöglichen die Fotos Rückschlüsse auf die Herkunft des artfremden Abfalls.

Es zeigte sich, dass nur wenige, aber stark verschmutzte, Container den Grossteil des artfremden Abfalls und die daraus resultierende Kontaminationsrate ausmachten. Somit hängt ein Grossteil der Verschmutzung nicht mit der Verwendung von Compobags zusammen, sondern ist auf andere Einflussfaktoren zurückzuführen.

Die Fotos bestätigten auch die zuvor erstellten Prognosekarten. In Quartieren, für die ein erhöhtes Risiko für artfremden Abfall prognostiziert wurde, wurde tatsächlich ein höherer Anteil an artfremdem Abfall gefunden.

## 9 Empfehlungen

Das Projektteam empfiehlt der Auftraggeberschaft, das Projekt weiterzuverfolgen. Der Fremdstoffanteil im biogenen Abfall wird durch viele verschiedene Parameter beeinflusst. Neben den von uns berücksichtigten Einflüssen wie Abfallreglement und Gemeindestruktur (siehe Kapitel 3), gibt es noch viele weitere. So können beispielsweise saisonale Schwankungen einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtmenge des gesammelten biogenen Abfalls haben und so die Menge an Fremdstoffen pro Tonne beeinflussen. Ebenso ist es grundsätzlich möglich, dass in diesem Projekt zufälligerweise ein Ausreisser nach oben oder unten erwischte wurde, welcher aufgrund der geringen Menge an Daten das Ergebnis stark beeinflussen kann. In Tabelle 11 wird eine interessante Korrelation ersichtlich: So finden sich in den beiden Gemeinden, in denen Compobags verboten sind, mehr mit Grüngut gefüllte Plastiksäcke als in der Vergleichsgemeinde. Diese Korrelation kann zufällig sein oder auf einen tatsächlichen Zusammenhang hinweisen. In weiteren Erhebungen soll diese Korrelation beobachtet werden, um ihre Echtheit zu prüfen. Damit ein klarer Zusammenhang zwischen Compobags und artfremdem Abfall im Grüngut erkannt oder widerlegt werden kann, sind umfangreichere Daten notwendig. Das Projektteam empfiehlt, die Datenakquise auch auf andere Regionen der Schweiz und verschiedene Jahreszeiten auszudehnen.

Das Projektteam empfiehlt den Gemeinden, sich eigenständige Ziele zu setzen. Bei der Auswertung des gesammelten biogenen Abfalls hat sich gezeigt, dass die Zählmethode nach Satom grundsätzlich funktioniert und geeignet ist, um Vergleiche anzustellen. Die Zählmethode nach Satom definiert dabei eine Grenze, welche Menge Kontaminationseinheiten pro Tonne als gut, akzeptabel oder inakzeptabel eingestuft wird. Diese starre Grenze wird den unterschiedlichen Gemeinden jedoch nicht gerecht. Das Projektteam empfiehlt deshalb, dass jede Gemeinde anhand ihrer Ausgangslage sich eigene Ziele setzt und eigenhändig festlegt, welches Mass an Kontamination für sie tolerierbar ist. Diese Grenze wird einerseits davon abhängen, wie der biogene Abfall weiterverarbeitet wird. Andererseits müssen dabei aber auch gemeindespezifische Faktoren berücksichtigt werden: So ist beispielsweise die vorwiegende Zusammensetzung des biogenen Abfalls wichtig. Werden hauptsächlich Schnittabfälle anstatt Küchenabfälle eingesammelt, muss die tolerierte Menge an Kontaminationseinheiten pro Tonne tiefer gesetzt werden. Oder es kann sein, dass eine Gemeinde ein bekanntes Problemquartier besitzt, während der Rest der Gemeinde überwiegend sauberen biogenen Abfall bereitstellt. In diesem Falle anbietet sich, sich gezielt für dieses Quartier realistische Ziele zu stecken und darauf hinzuarbeiten, anstatt eine durchschnittliche Grenze für die ganze Gemeinde festzulegen.

Das Projektteam empfiehlt den Gemeinden und Sammelunternehmen stark verschmutzte Container konsequent stehen zu lassen. Die Auswertung im Kapitel 7.1 hat gezeigt, dass jeweils einige wenige und offensichtlich verschmutzte Container für einen grossen Teil der Kontaminationspunkte verantwortlich sind. Diese wären bei einer normalen Sammlung nicht entleert, sondern stehen gelassen worden. Das Projektteam empfiehlt, das weiterhin so zu praktizieren. Das stellt eine sehr effiziente und wirksame Methode dar, die artfremden Abfälle im weiter zu verarbeitenden Grüngut zu verringern.

Wird das Projekt weitergeführt und ausgeweitet, empfiehlt das Projektteam, alle möglichen involvierten Parteien frühzeitig zu informieren und mit einzubeziehen. In einem solchen Projekt werden viele unterschiedliche Stakeholder wie Verbände, Gemeindevertreter, Sammelunternehmen oder Grüngutverwerter beteiligt sein. Diese können unterschiedliche Vorstellungen oder Erwartungen an ein solches Projekt haben. Es benötigt viel Zeit, alle diese Erwartungen abzuholen und zu berücksichtigen. Und es ist viel Aufklärungsarbeit nötig, damit am Schluss alle miteinander auf ein gemeinsames Ziel mitarbeiten.

Das Projektteam empfiehlt, das Auswerten der Fotos zu automatisieren. Die während den Sammeltouren aufgenommenen Fotos mussten in aufwendiger Handarbeit ausgezählt und annotiert werden. Wird das Projekt ausgeweitet, ist eine effiziente Auswertung der vielen Fotos von grossem Vorteil. Die bei diesem Projekt annotierten Bilder können zu diesem Zweck als Trainingsdatenbank für eine KI dienen. Versuchsweise wurden bei einer der Sammeltouren die Kippvorgänge zusätzlich gefilmt. Diese Filme

können ebenfalls dazu verwendet werden, die Inhalte der Container besser und effizienter zu erfassen. Bilder und Fotos liegen beim IBRE und stehen für weitere Projekte zur Verfügung.

Das Projektteam empfiehlt, die in diesem Projekt erhobenen Daten in das Green Waste Analysis Tool zu integrieren. Damit kann dieses Tool verbessert und die Genauigkeit von Prognosen verbessert werden. Davon profitieren zukünftig nachfolgende Projekte und mitmachende Gemeinden.

## 10 Danksagung

Das Projektteam durfte mit ganz vielen engagierten Menschen zusammenarbeiten. Ohne euch wäre die Durchführung des Projekts nicht möglich gewesen!

Wir möchten uns bei Annelies Übersax und Biomasse Suisse für das in uns gesetzte Vertrauen und den tollen Auftrag bedanken.

Ebenfalls möchten wir uns bei unserem Projektcoach Prof. Dr. Petar Mandaliev bedanken. Du hast dir die Zeit genommen, uns Neues beizubringen und Hintergründe zu erklären. Auch in herausfordernden Situationen hast du uns immer tatkräftig unterstützt.

An der Datenakquise selbst waren viele unterschiedliche Menschen, Gemeinden und Unternehmen beteiligt. Wir möchten uns bei der KEWU AG, der Schwendimann AG, der Läderach Worb AG und Ihren engagierten Mitarbeitenden bedanken. Selbes gilt für die Gemeinden Urtenen, Zollikofen und Worb und Ihren Vertretenden und ebenso für die Gemeinde Moosseedorf, wo der Probelauf zur Datenakquise durchgeführt werden durfte.

## 11 Verzeichnisse

### 11.1 Literaturverzeichnis

Bundesamt für Statistik. (2017). *Bedingungen für den Erhalt anonymisierter Daten der SAKE.*

<https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/2660114/master>

Bundesamt für Statistik. (2019, März 14). *Statistik der Bevölkerung und der Haushalte.*

[https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/erhebungen/statpop.html#datenbestellung\\_\\_content\\_bfs\\_de\\_home\\_statistiken\\_bevoelkerung\\_erhebungen\\_statpop\\_jcr\\_content\\_par\\_tabs](https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/erhebungen/statpop.html#datenbestellung__content_bfs_de_home_statistiken_bevoelkerung_erhebungen_statpop_jcr_content_par_tabs)

Bundesamt für Statistik. (2023, März 28). *Gebäude- und Wohnungsstatistik (seit 2009).*

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/erhebungen/gws2009.html>

Bundesamt für Statistik. (2024a, März 21). *Gemeindetypologie 2020 mit 9 Kategorien (Politische Gemeinden) | Karte.* <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/31265019>

Bundesamt für Statistik. (2024b, März 21). *Gemeindetypologie 2020 mit 25 Kategorien (Politische Gemeinden) | Karte.* <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/31265016>

Bundesamt für Statistik. (2024c, Mai 13). *Nutzungsbedingungen.* <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/bfs/bundesamt-statistik/nutzungsbedingungen.html>

Mandaliev, P., & Billeter, S. (2024). Weniger Fremdstoffe im Grüngut dank künstlicher Intelligenz? *Umwelttechnik*, 1/24.

Verein Inspektorat (Hrsg.). (2020). *Bericht zu den Praxisuntersuchungen zu Fremdstoffen als Basis für die Eigenkontrolle, Resultate der Sortierungen im ersten Halbjahr 2020.*

## 11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: KEWU AG (KEWU AG) .....	1
Abbildung 2: Kartenausschnitt Region Bern mit 9 Gemeindetypen und Legende (Bundesamt für Statistik, 2024a) .....	8
Abbildung 3: Kartenausschnitt Region Bern mit 25 Gemeindetypen und Legende (Bundesamt für Statistik, 2024b) .....	9
Abbildung 4: Prozess Green Waste Analysis Tool .....	15
Abbildung 5 Prognosekarte Gemeinde Zollikofen.....	17
Abbildung 6 Prognosekarte Gemeinde Urtenen .....	19
Abbildung 7 Prognosekarte Gemeinde Worb .....	21
Abbildung 8 Inhalt eines Containers vor dem Kippen (Testlauf Moosseedorf) .....	25
Abbildung 9 Inhalt des Containers nach dem Kippen im Müllwagen (Testlauf Moosseedorf) .....	25
Abbildung 10: Container 27 von der Tour in Zollikofen mit einem Volumen von 240 Liter. Der Füllgrad wurde auf 5/6 geschätzt, was einem effektiven Volumen von 200 Liter und somit 100kg entspricht... 27	27
Abbildung 11 Im Container 32 von der Tour in Urtenen können 8 Plastiksäcke erkannt werden, welche mit einer Einheit gewichtet sind. Der Container enthält somit 8 Kontaminationseinheiten. ....	28
Abbildung 12 Container 17 von den Touren in Worb wird zu einem Drittel voll geschätzt und ist sehr stark kontaminiert. Die Berechnung ergibt 364 Kontaminationseinheiten pro Tonne, also «inakzeptabel verschmutzt». ....	29
Abbildung 13: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Urtenen (Quelle: IBRE).....	31
Abbildung 14: Auswertung der Container, Gemeinde Urtenen .....	32
Abbildung 15: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Worb (Quelle: IBRE).....	33
Abbildung 16: Auswertung der Container, Gemeinde Worb .....	34
Abbildung 17: Überlagerung von Prognose und Ergebnis, Gemeinde Zollikofen (Quelle: IBRE) .....	35
Abbildung 18: Auswertung der Container, Gemeinde Zollikofen.....	36
Abbildung 19: Resultate der Gemeinden mit einfachem Fehler der Standardabweichung um den Mittelwert .....	37
Abbildung 20: Resultate der Gemeinden mit vierfachem Fehler der Standardabweichung um den Mittelwert .....	38

## 11.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht Einteilung in Gemeindetypen (Bundesamt für Statistik, 2024b).....	10
Tabelle 2 Zur Auswahl stehende Gemeinden mit Gemeindetyp und den relevantesten Informationen (KEWU AG) .....	11
Tabelle 3 Sieben verbleibende Gemeinden die nach Ausschlussverfahren noch in Frage kommen (KEWU AG) .....	12
Tabelle 4 Sammelorte Gemeinde Zollikofen.....	18
Tabelle 5 Sammelorte Gemeinde Urtenen .....	20
Tabelle 6 Sammelorte Gemeinde Worb .....	22
Tabelle 7: Kontaminationseinheiten gemäss Satom SA (Verein Inspektorat, 2020) .....	23
Tabelle 8: Kategorisierung gemäss Satom SA (Verein Inspektorat, 2020) .....	23
Tabelle 9: Standardabweichung von $C_x$ .....	37
Tabelle 10: Verschmutzungsgrad des gesammelten Grünguts der einzelnen Gemeinden .....	37
Tabelle 11: Auswertung der Daten den Handauslese der einzelnen Gemeinden .....	38

## Unterschriften / Ehrlichkeitsvereinbarung

Wir erklären hiermit, dass wir den vorliegenden Leistungsnachweis selber und selbständig verfasst haben,

- dass wir sämtliche nicht von uns selbst stammenden Textstellen und anderen Quellen wie Bilder etc. gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln [APA] korrekt zitiert und die verwendeten Quellen klar sichtbar ausgewiesen haben;
- dass wir in einer Fussnote oder einem Hilfsmittelverzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots [z.B. ChatGPT], Übersetzungs- [z.B. DeepL] Paraphrasier- [z.B. Quillbot]) oder Programmierapplikationen [z.B. Github Copilot] deklariert und ihre Verwendung bei den entsprechenden Textstellen angegeben haben;
- dass wir sämtliche immateriellen Rechte an von uns allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben haben, oder dass diese Materialien von uns selbst erstellt wurden;
- dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;
- dass wir uns bewusst sind, dass meine Arbeit auf Plagiate und auf Drittautorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (Künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;
- dass wir uns bewusst sind, dass die Hochschule für Technik FHNW einen Verstoß gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrundeliegenden Studierendenpflichtender Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Technik verfolgt und dass daraus disziplinarische (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) Folgen resultieren können.

**Projektleiter**

Herr Lukas Moser

*Windisch 24.06.2024,*

**Teammitglied**

Herr Robin Tschan

*Windisch 24.06.2024,*

**Teammitglied**

Herr Hansjörg Temperli

*Windisch 24.06.2024,*

**Teammitglied**

Frau Michelle Leber

*Windisch 24.06.2024,*

## Anhang

### Allgemeine Dokumente:

Gemeindedaten\_Grüngut\_KEWU.xlsx

Verein Inspektorat - 2020 - Bericht zu den Praxisuntersuchungen zu Fremdstoffe.pdf

### Prognosekarten Version 1 :

Fremdstoffmodell Gemeinde Urtenen.pdf

Fremdstoffmodell Gemeinde Worb.pdf

Fremdstoffmodell Gemeinde Zollikofen.pdf

### Prognosekarten Abgleich:

urtenen\_schoenbuehl\_container\_pessimistisch.html

worb\_container\_pessimistisch.html

zollikofen\_container\_pessimistisch.html

### Stichproben in Urtenen 17.05.2024 (Verzeichnis)

- Div. Bilder
- Handauslese
- Lieferscheine
- Verschmutzungstabelle

### Stichproben in Worb 21.05.2024-30.05.2024 (Verzeichnis)

- Div. Bilder
- Handauslese
- Lieferscheine
- Verschmutzungstabelle

### Stichproben in Zollikofen 15.05.2024 (Verzeichnis)

- Div. Bilder
- Handauslese
- Lieferscheine
- Verschmutzungstabelle

### Auswertungen

Auswertung über alle Gemeinden.xlsx