


# Untersuchung der Eignung und Effizienz technischer Systeme zur Fremdstoff- erkennung bei der Sammlung von Bioabfällen

 Abschlussbericht



Baden-Württemberg

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, <a href="http://www.lubw.de">www.lubw.de</a>
<b>BEARBEITUNG</b>	INFA GmbH Beckumer Straße 36, 59229 Ahlen Dipl.-Ing. Manfred Santjer Lara Hannes B. Eng.
<b>REDAKTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Referat 35 – Kreislaufwirtschaft, Chemikaliensicherheit
<b>MITARBEIT</b>	Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg GmbH Hermann-Mitsch-Str. 26, 79108 Freiburg Peter Krause
<b>STAND</b>	Mai 2023

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.



<b>1</b>	<b>HINTERGRUND</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN TECHNISCHEN SYSTEME</b>	<b>7</b>
3.1	Metalldetektionssystem DeepScan	7
3.2	Nahinfrarotbasierter Wertstoffscanner SmartScan	8
3.3	Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView	9
<b>4</b>	<b>METHODIK</b>	<b>10</b>
4.1	Konzeption	10
4.2	Operativer Ablauf	11
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE DER SORTIERANALYSEN</b>	<b>13</b>
5.1	Metalldetektionssystem DeepScan	13
5.1.1	Ein- bis Zweifamilienhausbebauung	13
5.1.2	Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern	14
5.1.3	Verdichtete städtische Bebauung	16
5.2	Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView	17
5.2.1	Ein- bis Zweifamilienhausbebauung	17
5.2.2	Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern	18
5.2.3	Verdichtete städtische Bebauung	20
<b>6</b>	<b>FREMDSTOFFBEWERTUNG DURCH DEN SMARTSCAN</b>	<b>22</b>
6.1	Erläuterungen	22
6.2	Ein- bis Zweifamilienhausbebauung	22
6.3	Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern	23
6.4	Verdichtete städtische Bebauung	23
<b>7</b>	<b>GEGENÜBERSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE</b>	<b>24</b>
7.1	Ein- bis Zweifamilienhausbebauung	24
7.2	Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern	25

7.3	Verdichtete städtische Bebauung	26
<b>8</b>	<b>SYSTEMKOSTEN</b>	<b>27</b>
8.1	Erläuterungen	27
8.2	Kostenrahmen DeepScan	27
8.3	Kostenrahmen c-detect TopView	28
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG / RESÜMEE</b>	<b>29</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG</b>	<b>32</b>
10.1	Stoffgruppenkatalog Sortieranalyse	32
10.2	Beispiele aussortierter Fremdstoffe	33
10.3	Sortierprotokolle	34

# 1 Hintergrund

Die Qualität der über die Biotonne erfassten Bioabfälle steht seit vielen Jahren im Fokus der kommunalen Abfallwirtschaft. Die Anstrengungen beziehen sich einerseits auf eine weitere Steigerung der getrennt erfassten Menge an Bioabfällen durch eine bessere Abschöpfung aus dem Restabfall, andererseits aber immer stärker auch auf eine möglichst sortenreine Erfassung, da dies eine wesentliche Voraussetzung für die Erzeugung von hochwertigen Produkten, wie zum Beispiel Kompost, darstellt. Insbesondere die Reduzierung des Eintrags von Kunststoffen, aber auch anderen unerwünschten Fremdstoffen, ist daher eine Grundvoraussetzung für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft.

Durch die „kleine“ Novelle der Bioabfallverordnung, die am 1. Mai 2023 in Kraft trat, wurden nun erstmals Vorgaben und Anforderungen an die Qualität der getrennt gesammelten Bioabfälle gestellt. Betreiber von Verwertungsanlagen können bei einem Fremdstoffgehalt im angelieferten Bioabfall von mehr als 3 Gewichtsprozent, bezogen auf die Frischmasse (FM), die Annahme verweigern und die Rücknahme des Materials fordern (Rückweisungsrecht). Darüber hinaus gilt es einen Kontrollwert von maximal 1 Gewichtsprozent an Gesamtkunststoffen FM vor Zuführung des Bioabfalls zu einer biologischen Behandlungsstufe einzuhalten.

Die von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) durchgeführte Öffentlichkeitsarbeit hat in den letzten Jahren in vielen Gebieten Erfolge in Bezug auf eine Verbesserung der Bioabfallqualität vorzuweisen. Vor dem Hintergrund der weiter gestiegenen Qualitätsanforderungen an den Bioabfall und die dadurch erforderlichen noch größeren Anstrengungen im Bereich der Kommunikation mit den Bürgerinnen und Bürgern kommen die öRE aber immer häufiger an ihre Leistungsgrenzen. Gerade die ambitionierte Qualitätssicherung beim Bioabfall setzt einen besonders intensiven Austausch mit den Bürgerinnen und Bürgern voraus, da bereits einzelne Fehlwürfe die Qualität ganzer Fahrzeugladungen gefährden.

Als ein adäquates Mittel zur Reduzierung der Fremdstoffanteile haben sich in den letzten Jahren personalintensive Sichtkontrollen der Biotonnen herausgestellt. Fehlbefüllte Biotonnen wurden durch Anbringen von zum Beispiel gelben oder roten Karten gekennzeichnet. In Verbindung mit Aufklärungselementen und Sanktionsmechanismen (zum Beispiel Leerung der fehlbefüllten Biotonne gegen Gebühr als Restabfall oder Aus-sortierung der Fremdstoffe durch die Bürgerinnen und Bürger) konnten die Fremdstoffanteile insgesamt gesenkt werden.

Die Zielsetzung einer weiteren Steigerung der getrennt erfassten Bioabfallmengen kann im Wesentlichen nur durch den verstärkten Anschluss von verdichteten und städtischen Strukturen gelingen, in denen die Anschlussquoten an die Biotonne vielfach noch unterdurchschnittlich sind. Da die öRE aufgefordert sind, durch entsprechende Maßnahmen für eine hohe Sortenreinheit bei der Getrenntsammlung zu sorgen, rückt zunehmend der Einsatz von technisierten Detektionssystemen beziehungsweise optischen Systemen zur Qualitätssicherung beim Bioabfall in den Fokus.

## 2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

In einem vom Umweltministerium geförderten Projekt mit dem Titel „Untersuchung der Eignung und Effizienz technischer Systeme zur Fremdstofferkennung bei der Sammlung von Bioabfällen“ sollten konkrete Daten zum Fremdstoffanteil im Bioabfall und der Wirksamkeit von drei technischen Systemen zur Erkennung von Fremdstoffen bei der Einsammlung am Beispiel eines öRE in Baden-Württemberg (Stadt Freiburg) erhoben werden.

Die Untersuchung sollte zunächst die grundlegende Frage klären, ob die ausgewählten technischen Systeme im täglichen Praxisbetrieb geeignete Instrumente zur Kontrolle des Fremdstoffanteils im Bioabfall sind und damit einen Beitrag zur Qualitätssicherung in der Bioabfallsammlung leisten können. Ein weiterer Fokus lag auf einer Ermittlung der Effekte, die die Systeme auf eine mögliche Reduzierung des Fremdstoffgehalts in den Sammelchargen der Fahrzeuge haben. Auf Grundlage der erarbeiteten Ergebnisse und der Abfrage der aktuellen Preise der technischen Systeme bei den Herstellern können Aussagen hinsichtlich eines Kosten-Nutzen-Vergleich zwischen den Systemen gemacht werden.

Abschließend werden erste Empfehlungen für den Einsatz der Systeme und Vorschläge zum weiteren Vorgehen beziehungsweise weiteren Untersuchungsbedarf abgeleitet.

# 3 Beschreibung der untersuchten technischen Systeme

Nachfolgend werden die im Rahmen des Projektes untersuchten technischen Systeme zur Erkennung von Fremdstoffen im Bioabfall vorgestellt und bezüglich ihrer Funktionsweise kurz beschrieben. Folgende Systeme wurden in die Untersuchung einbezogen:

<b>System</b>	DeepScan	SmartScan	c-detect TopView
<b>Hersteller</b>	SCANTEC GmbH	SCANTEC GmbH	c-trace

## 3.1 Metalldetektionssystem DeepScan

Das Metalldetektionssystem DeepScan (siehe Abbildung 1) ist eine Weiterentwicklung des ehemaligen Detektorsystems von Maier & Fabris. Mittels Wirbelstrominduktionsverfahren wird ein detektierter Metallanteil beziehungsweise der elektrisch leitfähige Anteil im Bioabfall als Indikator für den Gesamtfremdstoffanteil herangezogen. Das System macht sich hierfür die Korrelation zwischen den Metallanteilen und dem Gesamtfremdstoffanteil im Bioabfall zu Nutze. Dabei werden neben Konservendosen zum Beispiel auch metallbedampfte Verpackungsfolien erkannt.



Abbildung 1: Metalldetektionssystem DeepScan

Die automatische Überprüfung des Behälterinhaltes erfolgt beim DeepScan nach dem Einhängen des geschlossenen Behälters in die Schüttung. Das System ist individuell einstellbar. Es können auf einer Skala 0 bis 100 zwei Stufen eingestellt werden:

- Warnung
- Alarm (einstellbar mit oder ohne Schüttungsstop)

Werden bei der Detektion in einem Bioabfallbehälter Metallanteile erkannt, stoppt bei Einstellung der Stufe „Alarm mit Schüttungsstop“ die Schüttung und es erfolgt keine Entleerung des Behälterinhalts in das Sammelfahrzeug. Dadurch kann eine Verschmutzung des bereits im Sammelfahrzeug befindlichen Sammelguts durch die festgestellten Metallanteile und mögliche weitere Fremdstoffe verhindert werden.

Durch das Stehenlassen verschmutzter Behälter kann den Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit einer Nachsortierung des Bioabfalls mit dem Ziel einer Ausschleusung der Fremdstoffe gegeben werden.

### 3.2 Nahinfrarotbasierter Wertstoffscanner SmartScan

Beim SmartScan handelt es sich um einen nahinfrarotbasierten Wertstoffscanner (siehe Abbildung 2). Die Überprüfung des Bioabfalls erfolgt bei diesem optischen System nach der Entleerung des Behälterinhaltes in die Schüttungswanne des Sammelfahrzeugs. Der Scanner analysiert die materielle Zusammensetzung der Oberfläche des Bioabfalls mittels Sensoren und Multispektralkameras und generiert Daten für ein neuronales Netzwerk. Dieses erkennt anhand der Informationen die verschiedenen Materialien, wie zum Beispiel Bioabfall oder Papier, aber auch Glas, Kunststoffe und andere Fremdstofffraktionen.

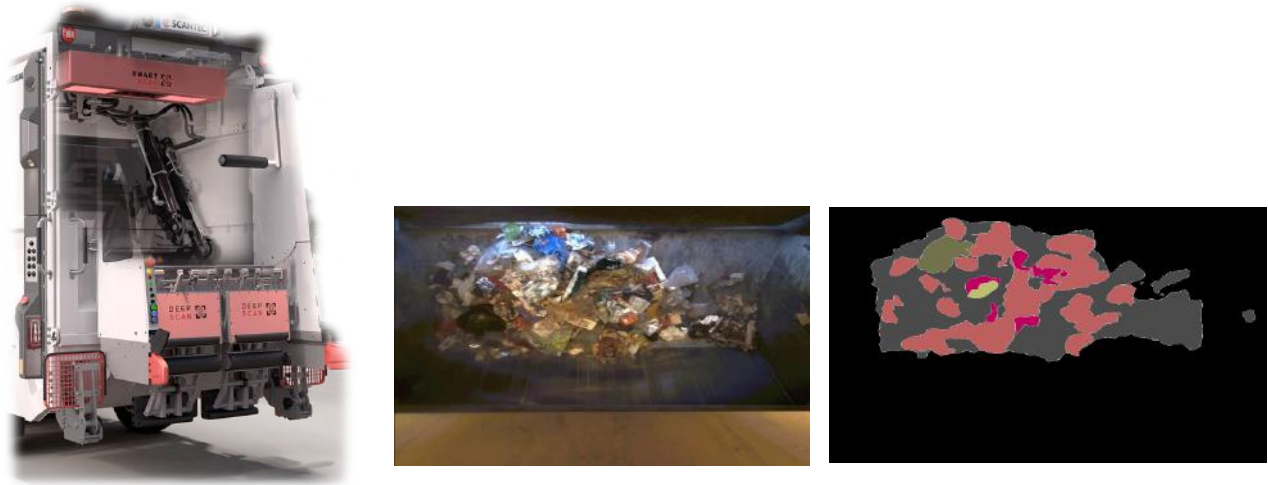


Abbildung 2: Nahinfrarotbasierter Wertstoffscanner SmartScan

Das System errechnet für die erkannten Fremdstoffe, aber auch für Bioabfall oder Papier, den Anteil in Flächenprozent an der Gesamtoberfläche des in der Schüttungswanne befindlichen Bioguts. Die prozentuale Clusterung beziehungsweise Bewertung des Bioabfalls erfolgt in Abhängigkeit der Sensibilitätseinstellung des Systems und ist individuell einstellbar. Der errechnete Oberflächenanteil des Bioabfalls dient als Einstufung für die Qualität des gesamten Bioabfalls in der Fahrzeugwanne.

Bei diesem System wird nicht der Eintrag von verunreinigtem Bioabfall in das Sammelfahrzeug verhindert. Über die Behälter können aber die besitzhabenden Personen identifiziert und bei mehrfach festgestellter Fehlbefüllung kontaktiert und gegebenenfalls auch sanktioniert werden.

### 3.3 Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView

Das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView (siehe Abbildung 3) hat inzwischen die Marktreife erlangt und analysiert mit einer am Sammelfahrzeug angebrachten Kamera die Oberfläche des in der Biotonne gesammelten Bioguts. Hierzu müssen die Behälter mit geöffnetem Deckel in die Schüttung eingehängt werden. Der sichtbare Inhalt wird dann mittels angelernter künstlicher Intelligenz in der Aufwärtsbewegung des Behälters bewertet. Die Konfiguration des Systems kann durch Einstellen eines Kontaminationsgrades (0 bis 100) mit Hilfe eines Algorithmus, der Flächenkoeffizienten und Detektionssicherheit und durch Auswählen der zu detektierenden Fremdstoffarten erfolgen. Somit erfolgt hier, analog zum DeepScan, eine Überprüfung des Behälterinhalts vor dem Leerungsvorgang. Für jeden auf Fremdstoffe detektierten Behälter wird ein Beweisfoto erzeugt und online ins Office gesendet.

Das im Folgenden im Versuch genutzte System wird vom Hersteller unter dem Namen c-detect TopView geführt. Der Hersteller bietet mittlerweile auch eine weitere Variante „InsideView“ an (zur Detektion während des Entleerungsvorgang). Das System blickt mit Kameras in den Schüttraum auf das Material, während es aus dem Behälter fällt.

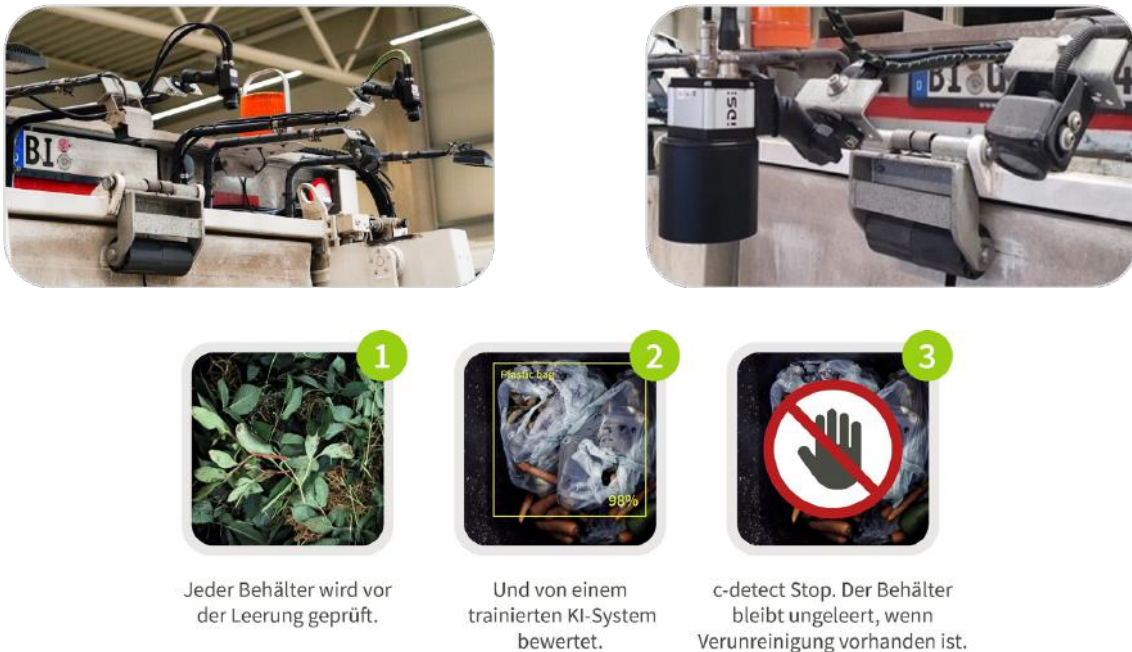


Abbildung 3: Selbsterlernendes Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView

Bei Feststellung von Verunreinigungen erfolgt ein Schüttungsstopp und der Behälter wird nicht in das Sammelfahrzeug entleert. Analog zum DeepScan kann den Bürgerinnen und Bürgern damit die Möglichkeit einer Nachsortierung des Bioabfalls mit dem Ziel einer Ausschleusung der Fremdstoffe gegeben werden.

## 4 Methodik

Die operative Umsetzung des Projektes erfolgte in der Stadt Freiburg mit Unterstützung durch die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg GmbH (ASF). Die Untersuchung fand im Zeitraum 14.11. bis 25.11.2022 statt. Das für die Untersuchung mit den drei technischen Systemen ausgestattete Sammelfahrzeug wurde von der ZOELLER-KIPPER GmbH gemietet, ein zweites Sammelfahrzeug sowie das im Rahmen der Testfahrten eingesetzte Personal (2 Fahrer und 2 Lader) wurden von der ASF bereitgestellt.

### 4.1 Konzeption

Das von der ZOELLER-KIPPER GmbH gemietete und mit den technischen Systemen ausgestattete Fahrzeug (im Weiteren Fahrzeug A benannt) wurde an insgesamt sechs Tagen eingesetzt. An drei Tagen in der ersten Untersuchungswoche (Montag bis Mittwoch) erfolgte eine Überprüfung der Inhalte der zur Leerung durch die Bürgerinnen und Bürger bereitgestellten Biotonnen in den ausgewählten Modellgebieten durch den DeepScan. Bei einem Schüttungsstopp durch eine festgestellte Verschmutzung des Biotonneninhalts (beim DeepScan durch Detektion von Metallanteilen), wurde der Inhalt der Biotonne in ein zweites Begleitsammelfahrzeug (im Weiteren Fahrzeug B benannt) entleert.

In der zweiten Untersuchungswoche (Montag bis Mittwoch) erfolgte in den gleichen Modellgebieten eine Überprüfung der Biotonnen durch das System c-detect TopView. Nicht beanstandete Biotonneninhalte wurden in das Fahrzeug A entladen. Wurden bei der Überprüfung der sichtbaren Behälterinhalte Fremdstoffe erkannt, erfolgte analog zur ersten Untersuchungswoche auch hier ein Schüttungsstopp und die Entleerung der Biotonne in das Fahrzeug B.

Parallel überprüfte der nahinfrarotbasierte Wertstoffscanner SmartScan in beiden Untersuchungswochen in der Schüttungswanne des Fahrzeugs A die Inhalte der Biotonnen, die von den Systemen DeepScan und c-detect TopView nicht beanstandet wurden.

Die drei beteiligten Systeme wurden im Rahmen der Untersuchung jeweils mit einer systemspezifisch mittleren Einstellung im Hinblick auf die Erkennung und Bewertung des Fremdstoffanteils betrieben.

Auf Grund des wöchentlichen Leerungsintervalls der Biotonne in der Stadt Freiburg konnten die drei ausgewählten Modellgebiete in der ersten und zweiten Untersuchungswoche für die Praxistests der Systeme genutzt werden. Dies ist insbesondere für den Vergleich der Systeme hinsichtlich der Wirkungsweisen relevant, da von vergleichbaren Ausgangssituationen hinsichtlich der grundsätzlichen Qualität und Quantität der Bioabfälle (im Vergleich Montag 1. Untersuchungswoche zu Montag 2. Untersuchungswoche) auszugehen ist.

Die ausgewählten Modellgebiete lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Montag: weitgehend Ein- bis Zweifamilienhausbebauung
  - gute Bioabfallqualität zu erwarten
- Dienstag: Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern
  - durchschnittliche Bioabfallqualität zu erwarten
- Mittwoch: weitgehend verdichtete städtische Bebauung
  - unterdurchschnittliche Bioabfallqualität zu erwarten

## 4.2 Operativer Ablauf

Die zwei Sammelfahrzeuge A und B fahren an den Untersuchungstagen hintereinander durch die ausgewählten Modellgebiete. Biotonnen mit nicht beanstandeten Inhalten wurden durch das Fahrzeug A aufgenommen. Wurde durch die Systeme eine Verschmutzung des Bioabfalls festgestellt (Schüttungsstopp), erfolgte die Entleerung der entsprechenden Biotonne in das nachfolgende Fahrzeug B.



Abbildung 4: Ablauf im Sammelgebiet

Nach Abschluss einer Sammeltour fahren beide Fahrzeuge zum Betriebshof der ASF, auf dem die Sortieranaylsen durchgeführt wurden. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Untersuchungsablauf.

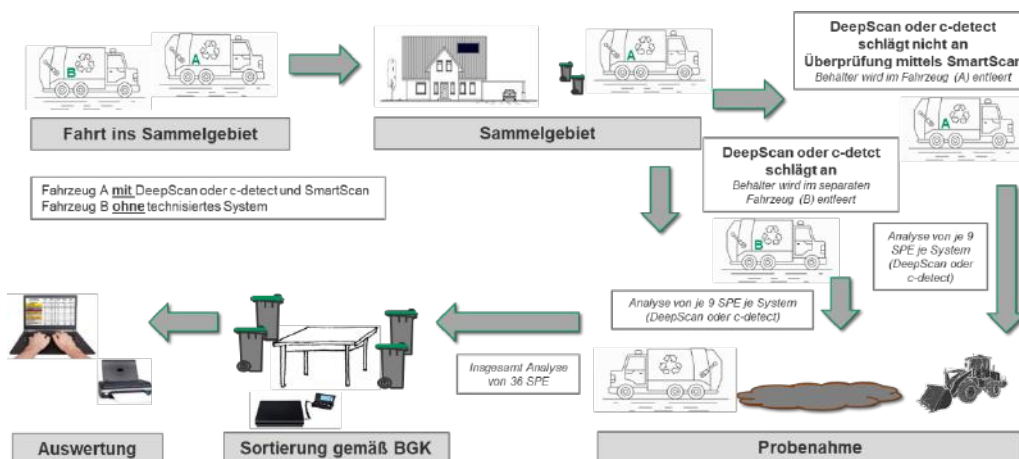


Abbildung 5: Untersuchungsschema

Zur Feststellung des Fremdstoffanteils im gesammelten Bioabfall in den Fahrzeugen A und B wurden nach dem Abkippen des Sammelguts aus beiden Fahrzeugladungen repräsentative Proben gezogen. Die Vorgehensweise bei der Probenahme erfolgte nach der Untersuchungsmethodik der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) für die Chargenanalyse. Die Fahrzeugchargen wurden zunächst mit Hilfe eines Radladers ausgebreitet. Aus dem flächig ausgebreiteten Biogut wurde mittels Schürfschlitzten das Material für die Stichprobeneinheiten gewonnen.



Abbildung 6: Bioabfall nach dem Abkippen am Sortierstandort

Analysiert wurden je Fahrzeugladung 3 Stichprobeneinheiten mit rund 1,1 m<sup>3</sup> Bioabfall. Insgesamt wurden 36 Stichprobeneinheiten analysiert. Dies entspricht einem Gesamtanalyseumfang von rund 40 m<sup>3</sup>. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Untersuchungsumfang.

Tabelle 1: Untersuchungsumfang

Ausschlaggebende Technologie	Anzahl der Stichprobeneinheiten	
	Fahrzeug A	Fahrzeug B
Tag 1	3	3
Tag 2	3	3
Tag 3	3	3
<b>Summe</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
Tag 4	3	3
Tag 5	3	3
Tag 6	3	3
<b>Summe</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Gesamt</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

Die Sortierung der einzelnen Stichprobeneinheiten wurde mit der Sortiertechnik und mit dem Sortierpersonal der INFA GmbH und entsprechend den Anforderungen der Chargenanalyse nach Vorgaben der BGK durchgeführt. Der Stoffgruppenkatalog ist im Anhang beigefügt.

## 5 Ergebnisse der Sortieranalysen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Sortieranalysen und Datenauswertungen dargestellt und erläutert. Zunächst werden in Kapitel 5.1 die Werte aus der ersten Untersuchungswoche vorgestellt, in der an den drei Testtagen durch das System DeepScan die Überprüfung der Biotonneninhalte auf Fremdstoffe erfolgte. Die Analyseergebnisse für die Fahrzeuge A und B werden dabei für die einzelnen Untersuchungstage vergleichend gegenübergestellt. Die differenzierte Betrachtung der einzelnen Untersuchungstage erfolgt vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Bebauungsstrukturen und zu erwartender Qualitäts- und Quantitätsunterschiede beim Bioabfall in den drei Modellgebieten. Damit sollen auch Rückschlüsse auf die Funktionsweisen und Einsatzmöglichkeiten der Systeme in Abhängigkeit örtlicher Rahmenbedingungen ermöglicht werden. Die Darstellung der Ergebnisse der zweiten Untersuchungswoche, in der das System c-detect TopView die Kontrolle der Biotonneninhalte durchführte, erfolgt anschließend in Kapitel 5.2 nach gleicher Systematik.

In den Abbildungen und Tabellen werden die ermittelten Fremdstoffanteile dargestellt. Da gemäß BGK Papier nicht als Fremdstoff eingestuft ist, wird auf eine Darstellung des Anteils dieser Stoffgruppe verzichtet.

### 5.1 Metaldetektionssystem DeepScan

#### 5.1.1 Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Im Modellegbiet mit einer weitgehenden Ein- bis Zweifamilienhausbebauung wurden an diesem Untersuchungstag insgesamt 547 Biotonnen geleert und rund 5.350 kg Bioabfall erfasst. Durch das System DeepScan wurden in 11 Biotonnen Metallanteile festgestellt. Diese Behälter mit einer Masse von insgesamt rund 140 kg wurden in das Fahrzeug B entleert. Bei 536 Biotonnen wurden durch das System keine Metallanteile festgestellt. Die Inhalte dieser Behälter wurden entsprechend im Fahrzeug A gesammelt. Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Sortieranalyse der Inhalte aus Fahrzeug A und B.

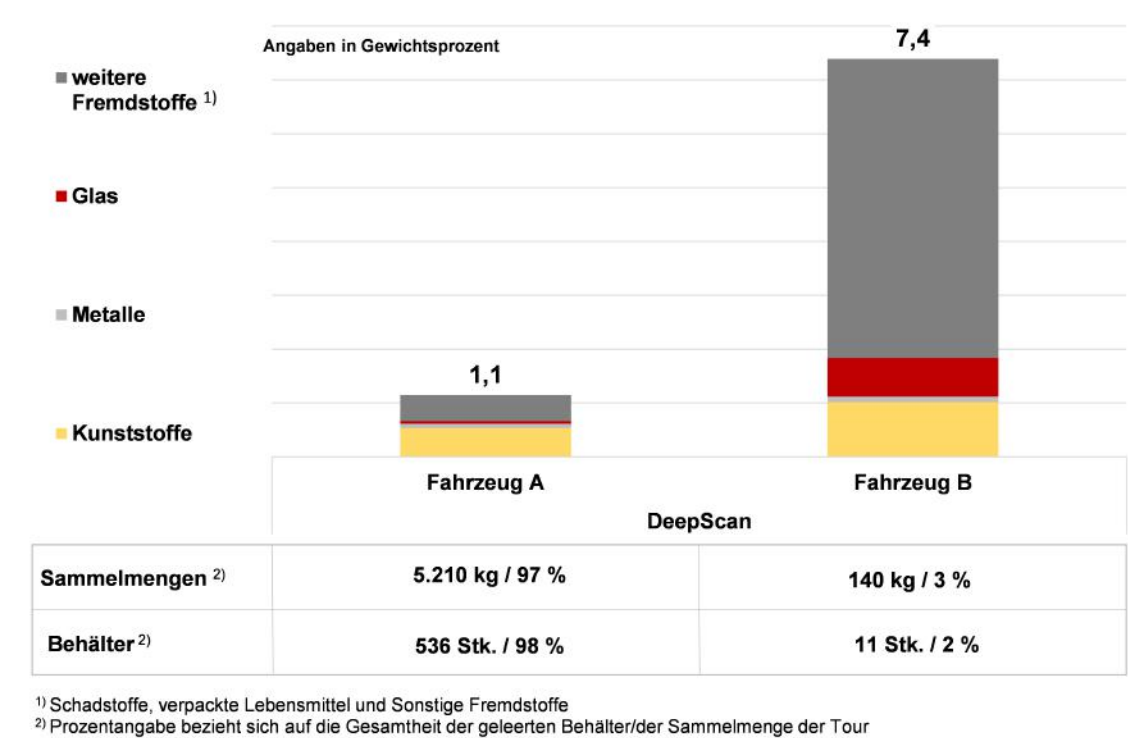


Abbildung 7: Untersuchungsergebnisse DeepScan, Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Der im Fahrzeug A gesammelte und nicht beanstandete Bioabfall hatten einen Fremdstoffanteil von rund 1,1 Gewichtsprozent. Dagegen lag der Fremdstoffanteil im Bioabfall im Fahrzeug B bei rund 7,4 Gewichtsprozent.

Die detaillierte Zusammensetzung der Fremdstoffe an diesem Untersuchungstag in Abhängigkeit der Fahrzeugchargen ist in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnisse DeepScan, Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	0,53	1,01
<b>Metalle</b>	0,08	0,10
<b>Glas</b>	0,05	0,72
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	0,48	5,55
<b>Gesamtfremdstoffanteil</b>	<b>1,1</b>	<b>7,4</b>

Der Kunststoffanteil im Bioabfall lag im Fahrzeug A mit 0,53 Gewichtsprozent deutlich unter dem Kontrollwert von 1,0 Prozent für die Einbringung in Verwertungsanlagen. Die Einzelwerte verdeutlichen, dass es sich bei den insgesamt 11 detektierten Biotonnen um Behälter mit besonders stark verschmutztem Bioabfall handelte.

Für das gesamte Modellgebiet (Zusammenfassung der Chargen aus Fahrzeug A und Fahrzeug B) lag der rechnerische Fremdstoffgehalt im Bioabfall bei 1,3 Gewichtsprozent. Dieser eher geringe Fremdstoffanteil ist mit der überwiegenden Ein- bis Zweifamilienhausbebauung im Modellgebiet zu erklären. In dieser Struktur werden erfahrungsgemäß überdurchschnittlich gute Trennqualitäten erreicht. Darüber hinaus war der Anteil an Gartenabfällen in der Biotonne durch den jahreszeitlich bedingten Anfall an Laub leicht erhöht. Da durch Gartenabfälle kaum Fremdstoffe in die Biotonne eingetragen werden, führte dieses zu einem leicht niedrigeren Fremdstoffanteil bezogen auf die Gesamtmasse.

### 5.1.2 Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern

In einem Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern wurden am zweiten Untersuchungstag 392 Biotonnen geleert und insgesamt 3.950 kg Bioabfall erfasst. Das System DeepScan erkannte in 25 Biotonnen Metallanteile. Diese Behälter mit einer Inhaltsmasse von rund 280 kg wurden analog zum ersten Untersuchungstag in das Fahrzeug B entleert. Bei 367 Biotonnen wurden keine Metallanteile festgestellt und die Inhalte dieser Biotonnen im Fahrzeug A gesammelt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der anschließenden Sortieranalyse der Inhalte aus Fahrzeug A und B.

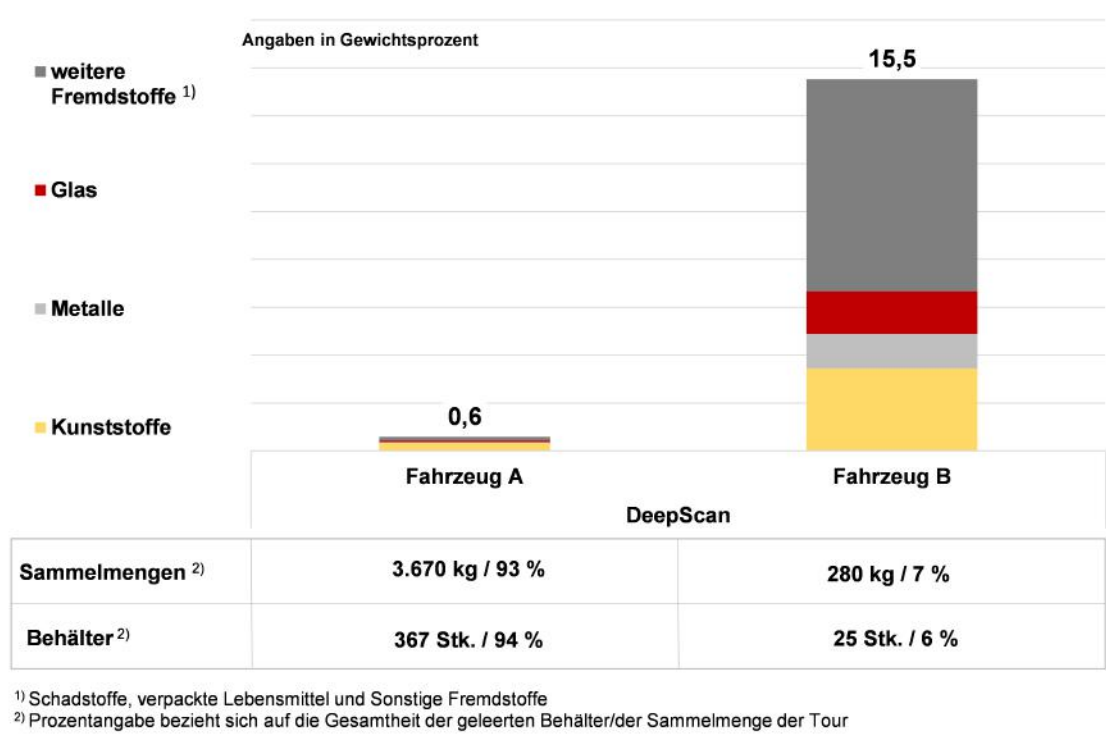


Abbildung 8: Untersuchungsergebnisse DeepScan, Mischgebiet

Analog zur Ein- bis Zweifamilienhausbebauung zeigte sich im Fahrzeug A auch in der Mischbebauung ein geringer Fremdstoffanteil von 0,6 Gewichtsprozent im Bioabfall. Der Fremdstoffanteil des Bioabfalls aus den 25 vom DeepScan positiv detektierten Biotonneninhalten lag bei 15,5 Gewichtsprozent. Auch hier wird deutlich, dass durch das System DeepScan die besonders stark mit Fremdstoffen verschmutzten Biotonnen identifiziert wurden.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnisse DeepScan, Mischgebiet

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	0,33	3,45
<b>Metalle</b>	0,04	1,44
<b>Glas</b>	0,06	1,77
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	0,16	8,87
<b>Gesamtforemstoffanteil</b>	<b>0,6</b>	<b>15,5</b>

Die Tabelle 2 zeigt, dass durch die Ausschleusung von Bioabfällen mit Metallanteilen auch die Fremdstoffanteile der anderen Fraktionen (Kunststoffe, Glas und sonstige Fremdstoffe) im Fahrzeug A deutlich unterhalb der festgestellten Werte im Fahrzeug B lagen.

Bei Zusammenfassung beider Fahrzeugchargen für das gesamte Modellgebiet ergab sich ein Gesamtfremdstoffgehalt im Bioabfall von rund 1,6 Gewichtsprozent. Dieser Wert lag nur leicht über dem Ergebnis der Untersuchung aus dem Modellgebiet mit einer Ein- bis Zweifamilienhausbebauung.

### 5.1.3 Verdichtete städtische Bebauung

In dem von einer verdichteten städtischen Bebauung geprägten Modellgebiet des dritten Untersuchungstages wurden im Testlauf insgesamt 789 Biotonnen geleert und etwa 11.260 kg Bioabfall eingesammelt. Das System DeepScan erkannte an diesem Tag in 176 Biotonnen Metallanteile. Diese Behälterinhalte mit einer Gesamtmasse von rund 2.460 kg wurden durch das Fahrzeug B erfasst. Die Inhalte der Biotonnen ohne erkannte Metallanteile wurden wieder in das Fahrzeug A gekippt. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der anschließenden Sortieranalyse.

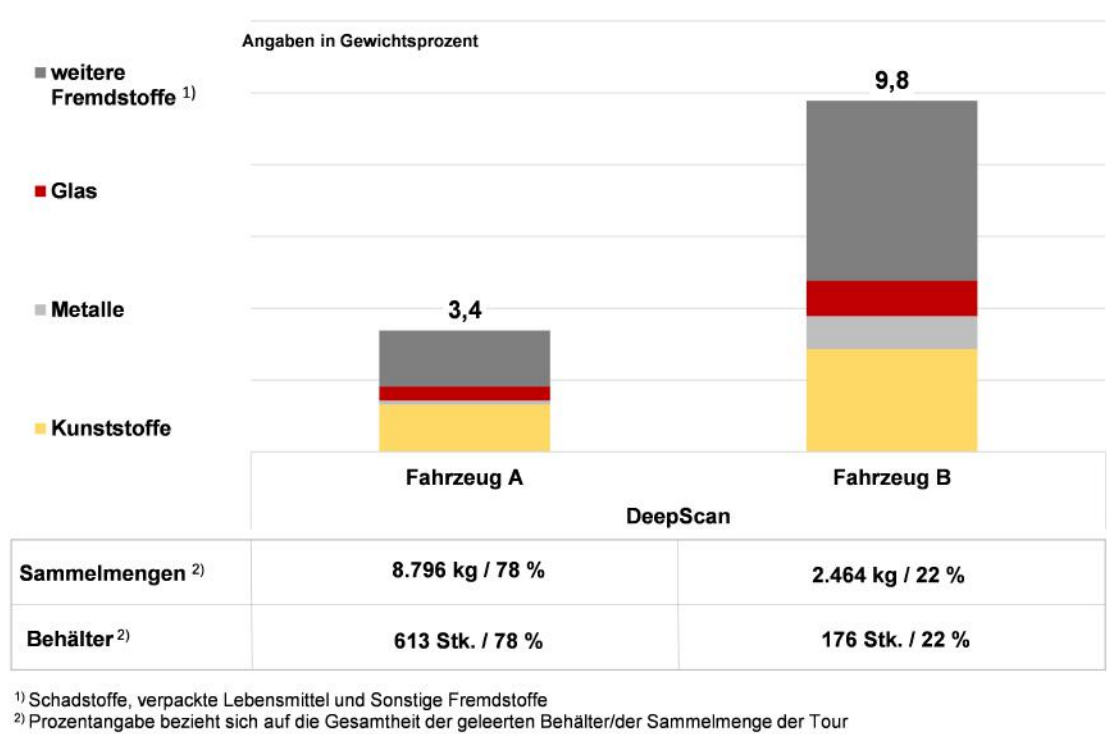


Abbildung 9: Untersuchungsergebnisse DeepScan, verdichtete städtische Bebauung

Im Unterschied zu den ersten zwei Analysetagen lagen die festgestellten Fremdstoffanteile im detektierten Bioabfall des Fahrzeugs A mit 3,4 Gewichtsprozent auf einem erhöhten Niveau. Trotz der Separierung von rund 22 Prozent der Biotonnen und Ausschleusung von rund 22 Prozent der Gesamtmasse in das Fahrzeug B konnte keine gute Bioabfallqualität im Fahrzeug A erreicht werden. In diesem Modellgebiet wiesen auch viele Biotonnen, ohne oder mit nur geringen Metallanteilen, deutlich erhöhte Fremdstoffanteile auf. Die im Fahrzeug B gesammelten Inhalte der Biotonnen mit festgestellten Metallanteilen hatten einen Fremdstoffanteil von rund 9,8 Gewichtsprozent.

Die detaillierte Zusammensetzung der Fremdstoffe in Abhängigkeit der Fahrzeugchargen aus dem verdichteten städtischen Modellgebiet ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse DeepScan, verdichtete städtische Bebauung

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	1,32	2,86
<b>Metalle</b>	0,11	0,92
<b>Glas</b>	0,38	0,98
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	1,57	5,01
<b>Gesamtfremdstoffanteil</b>	<b>3,4</b>	<b>9,8</b>

In den anderen Modellgebieten (Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mischgebiet) lag der Kunststoffanteil im Bioabfall der nicht beanstandeten Biotonnen unter dem gemäß der Novelle der BioAbfV festgelegten Kontrollwert kleiner oder gleich 1 Gewichtsprozent für die weiteren Verwertungsschritte. In dem verdichteten städtischen Modellgebiet überschritt der Kunststoffanteil im Fahrzeug A mit rund 1,32 Gewichtsprozent diesen Wert. Auf Grund des insgesamt erhöhten Fremdstoffanteils im Bioabfall dieses Modellgebiets konnte mit den gewählten Systemeinstellungen keine gute Qualität des Bioabfalls im Fahrzeug A erreicht werden.

Der Gesamtfremdstoffanteil für dieses Modellgebiet lag an diesem Untersuchungstag bei rund 4,8 Gewichtsprozent und damit auf einem insgesamt hohen Niveau. Hier wird der Einfluss der Bebauungsstruktur auf die Qualität der Bioabfälle deutlich sichtbar.

## 5.2 Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView

In der zweiten Untersuchungswoche wurden die drei beschriebenen Modellgebiete erneut angefahren. Diesmal war jedoch das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView ausschlaggebend für die Identifizierung und Ausschleusung von verschmutzten Bioabfällen. Der operative Ablauf erfolgte analog zur ersten Untersuchungswoche.

### 5.2.1 Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Bei der zweiten Durchfahrt des Modellgebietes mit einer weitgehenden Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und dem System c-detect TopView als ausschlaggebendes System für die Schüttung der Biotonnen in das Fahrzeug A oder B wurden 581 Biotonnen geleert. Insgesamt wurde eine Gesamtmasse von rund 5.600 kg erfasst. Durch das System c-detect TopView wurden 89 Biotonnen als verschmutzt erkannt und entsprechend in das Fahrzeug B entleert (1.103 kg). Bei 492 Biotonnen wurden durch das System keine relevanten Verschmutzungen beziehungsweise Fremdstoffanteile festgestellt. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der Sortieranalyse.

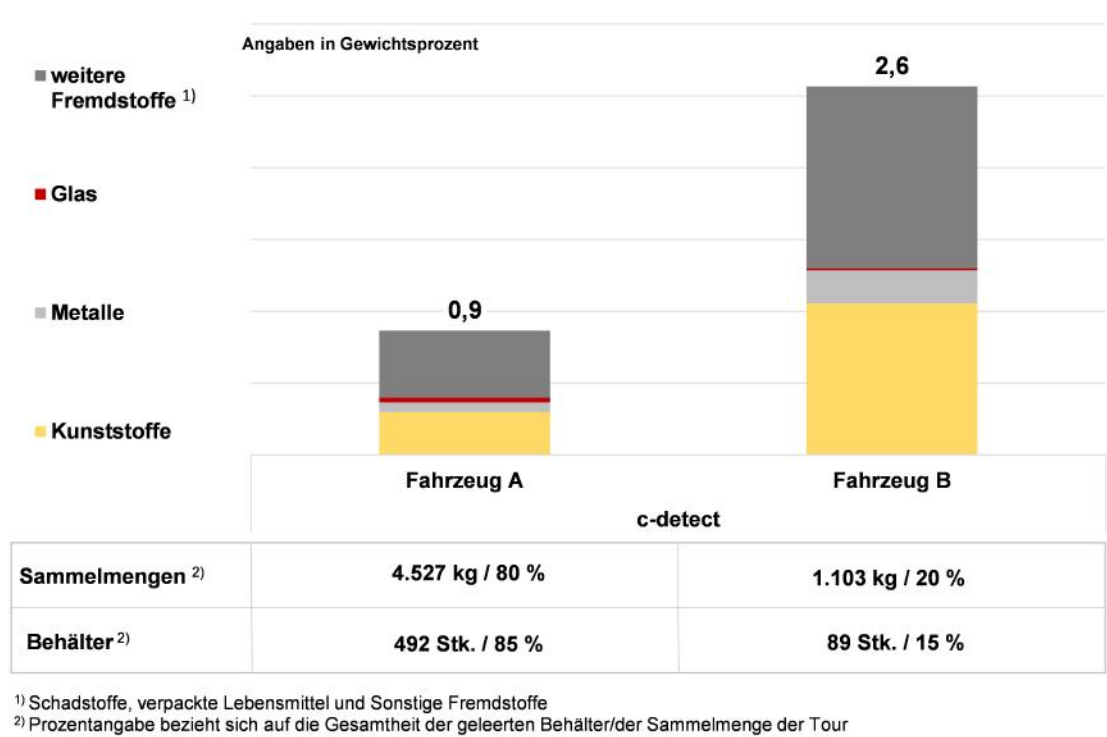


Abbildung 10: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Der Fremdstoffanteil im Bioabfall aus den als verschmutzt erkannten Biotonnen lag bei rund 2,6 Gewichtsprozent (siehe Abbildung 10). Für den Fremdstoffanteil im Fahrzeug A, in dem die Inhalte der nicht als verschmutzt identifizierten Biotonnen erfasst wurden, wurde hingegen ein Fremdstoffanteil von rund 0,9 Gewichtsprozent ermittelt.

Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	0,30	1,05
<b>Metalle</b>	0,07	0,23
<b>Glas</b>	0,03	0,01
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	0,47	1,27
<b>Gesamt Fremdstoffanteil</b>	<b>0,9</b>	<b>2,6</b>

Die Tabelle 4 zeigt, dass mit Ausnahme der Fraktion Glas die Fremdstoffanteile im Fahrzeug A deutlich unterhalb der Analysewerte für die Charge aus dem Fahrzeug B lagen.

Im Durchschnitt ergab sich für dieses Modellgebiet in der zweiten Woche ein Fremdstoffanteil im Bioabfall von rund 1,2 Gewichtsprozent. In der Vorwoche lag der Wert bei der Untersuchung mit dem DeepScan als qualitätsprüfendes System mit 1,3 Gewichtsprozent in der gleichen Größenordnung.

### 5.2.2 Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern

Bei der zweiten Durchfahrt des Modellgebietes mit einer Mischbebauung und dem System c-detect TopView als ausschlaggebendes System für die Bewertung der Bioabfallqualitäten wurden insgesamt 487 Biotonnen geleert. Dies ergab eine erfasste Gesamtmasse von rund 4.370 kg. Es wurden 96 Biotonnen als verschmutzt

identifiziert und in das Fahrzeug B entleert (rund 1.185 kg). Dies entspricht einem Anteil an der Gesamtsammelmenge von 27 %. Bei 391 Biotonnen wurden durch das System keine relevanten Fremdstoffanteile erkannt. Die nachfolgende Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Sortieranalyse.

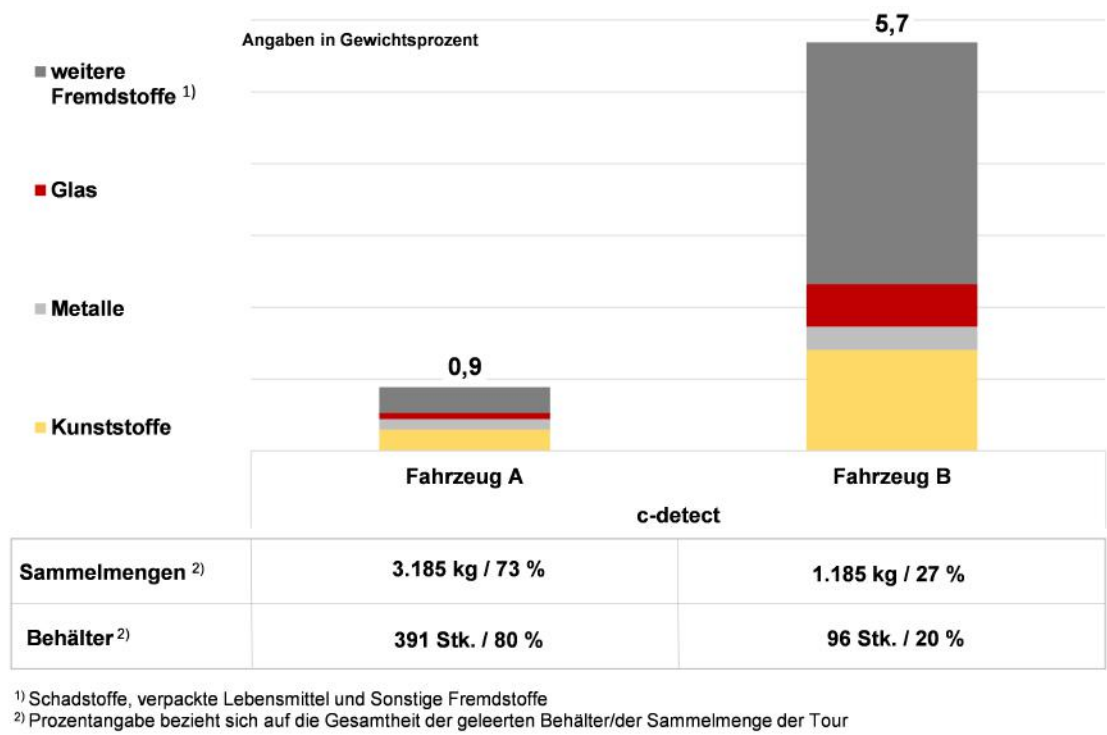


Abbildung 11: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, Mischgebiet

Der Bioabfall in den als verschmutzt erkannten Biotonnen hatte einen Fremdstoffanteil von rund 5,7 Gewichtsprozent (siehe Abbildung 11). Der Fremdstoffanteil des Inhalts von Fahrzeug A (Entleerung der nicht als verschmutzt identifizierten Biotonnen) lag bei 0,9 Gewichtsprozent.

Tabelle 5: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, Mischgebiet

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	0,30	1,41
<b>Metalle</b>	0,14	0,32
<b>Glas</b>	0,09	0,59
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	0,36	3,37
<b>Gesamtfremdstoffanteil</b>	<b>0,9</b>	<b>5,7</b>

Die Anteile aller differenzierten Fremdstofffraktionen lagen im Fahrzeug A deutlich unterhalb der Vergleichswerte für die Inhalte des Fahrzeugs B.

Im Durchschnitt ergab sich für das Mischgebiet in der zweiten Woche ein Gesamtfremdstoffanteil im Bioabfall von rund 2,2 Gewichtsprozent. In der Vorwoche lag der Wert in diesem Modellgebiet mit 1,6 Gewichtsprozent etwas niedriger.

### 5.2.3 Verdichtete städtische Bebauung

In dem Modellgebiet mit einer verdichteten städtischen Bebauung wurden in der zweiten Woche insgesamt 558 Biotonnen geleert, davon wurden 218 Behälter durch das System c-detect TopView als verschmutzt erkannt und entsprechend ins Fahrzeug B entleert. Das Fahrzeug B wies am Ende der Tour eine Zuladung von rund 2.575 kg auf. Damit wurden in Bezug auf die gesamte Sammelmenge von 6.645 kg rund 39 % ausgeschleust. In das Fahrzeug A wurden 340 unbeanstandete Behälter entleert (Sammelmenge rund 4.070 kg).

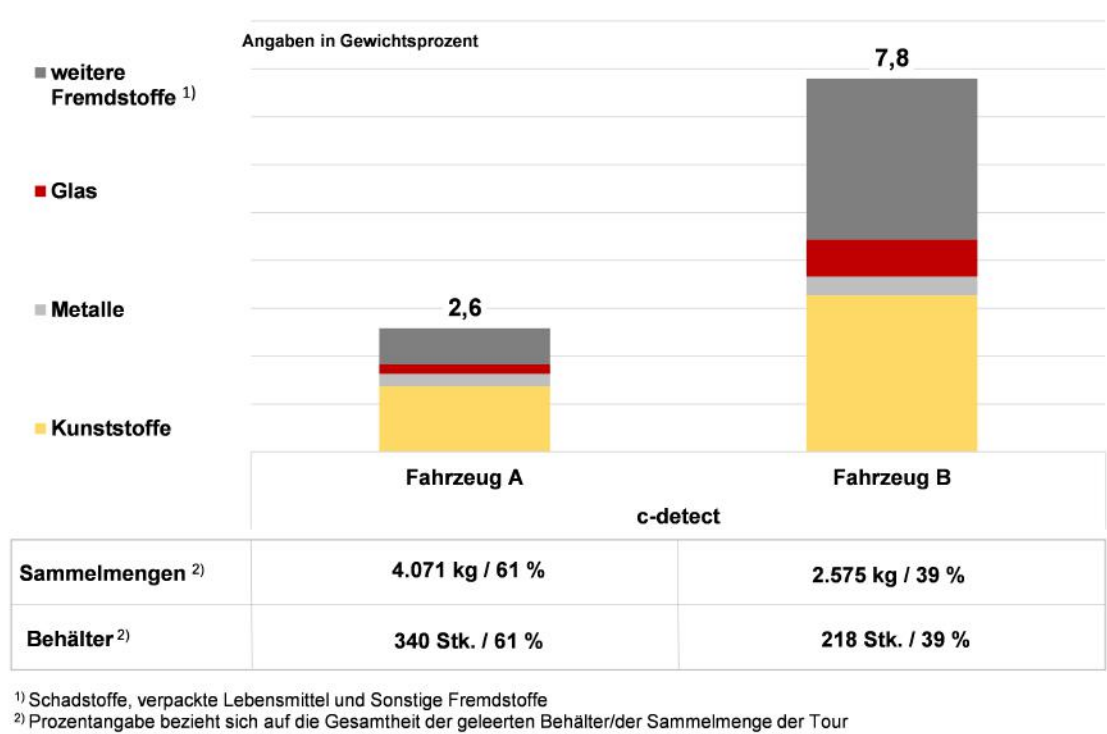


Abbildung 12: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, verdichtete städtische Bebauung

Die Charge aus den nicht als verschmutzt erkannten Biotonnen lag mit einem Fremdstoffanteil von 2,6 Gewichtsprozent auf einem erhöhten Niveau. Der Fremdstoffanteil im Fahrzeug B, mit dem als verschmutzt erkannten Bioabfall, lag mit rund 7,8 Gewichtsprozent noch deutlich höher.

Tabelle 6: Untersuchungsergebnisse c-detect TopView, verdichtete städtische Bebauung

Angaben in Gewichtsprozent	Fahrzeug A	Fahrzeug B
<b>Kunststoffe</b>	1,37	3,27
<b>Metalle</b>	0,26	0,39
<b>Glas</b>	0,20	0,77
<b>Sonstige Fremdstoffe</b>	0,76	3,37
<b>Gesamtfremdstoffanteil</b>	<b>2,6</b>	<b>7,8</b>

In der Tabelle 6 zeigt sich, dass auch der Kunststoffanteil im als nicht verschmutzt erkannten Bioabfall mit rund 1,4 Gewichtsprozent über dem Kontrollwert von maximal 1 Gewichtsprozent an Gesamtkunststoffen (FM) vor Zuführung des Bioabfalls zu einer biologischen Behandlungsstufe lag.

Der durchschnittliche Fremdstoffanteil über beide Chargen in diesem Modellgebiet lag rechnerisch bei rund 4,6 Gewichtsprozent. In der Vorwoche wurde für dieses verdichtete städtische Gebiet ein ähnlich hoher Gesamtfremdstoffanteil von 4,8 Gewichtsprozent festgestellt.

# 6 Fremdstoffbewertung durch den SmartScan

## 6.1 Erläuterungen

Die im Untersuchungsverlauf im Fahrzeug A erfassten Bioabfälle, die durch das Metaldetektionssystem DeepScan oder das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView nicht beanstandet wurden, sind in beiden Wochen direkt nach dem Entleerungsvorgang in der Schüttungswanne des Fahrzeugs A einer weiteren Bewertung durch den nahinfrarotbasierten Wertstoffscanner SmartScan unterzogen worden. Nach dem Scan des abgekippten Bioabfalls wies das System einen Flächenanteil für die Fraktionen Bioabfall, Papier und Fremdstoffe aus. Die daraus abgeleitete Bewertung der einzelnen Biotonneninhalte erfolgte nach drei Stufen (gut / mittel / schlecht). Die prozentuale Clusterung der Stufen ist systemseitig variabel. In den zwei Untersuchungswochen wurde folgende Einstellung zur Qualitätsbewertung des Bioabfalls gewählt:

- Gute Qualität: Flächenanteil Bioabfall 95 bis 100 Prozent
- Mittlere Qualität: Flächenanteil Bioabfall 90 bis 95 Prozent
- Schlechte Qualität: Flächenanteil Bioabfall 0 bis 90 Prozent

Aus technischen Gründen konnten nicht alle in das Fahrzeug A gekippten Biotonneninhalte einer Bewertung mittels SmartScan unterzogen werden. Hintergrund hierfür war, dass bei Leerung der Biotonnen in kurzen zeitlichen Abständen der Bioabfall in der Schüttungswanne nicht eindeutig einer bestimmten Biotonne zugeordnet werden konnte und damit teilweise keine eindeutige Bewertung möglich war. Daher war auf Grundlage der vorliegenden Daten kein belastbarer Vergleich der Qualitätsbewertung des Bioabfalls in der Schüttungswanne durch den SmartScan mit den Ergebnissen der Sortieranalysen möglich. Der Hersteller hat nach eigenen Angaben das System inzwischen weiterentwickelt, so dass zukünftig eine Bewertung einzelner Biotonneninhalte möglich ist, auch wenn in der Schüttungswanne noch Materialien anderer Biotonnen vorhanden sind bzw. zwei Biotonnen parallel (Doppelschüttung) geleert werden.

Nachfolgend werden die Bewertungsergebnisse des Wertstoffscanners SmartScan getrennt nach den drei Modellgebieten erläutert und bewertet. Für die Modellgebiete erfolgt zusätzlich eine getrennte Beschreibung der Ergebnisse für die zwei Untersuchungstage, da entweder das Metaldetektionssystem DeepScan oder das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView ausschlaggebend für die Befüllung von Fahrzeug A oder B war.

## 6.2 Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Die Sortieranalysen für die Untersuchungstage im Modellgebiet mit einer Ein- bis Zweifamilienhausbebauung ergab unabhängig davon, welches System (DeepScan oder c-detect TopView) ausschlaggebend für die Befüllung des Fahrzeugs A gewesen ist, einen Fremdstoffanteil im Bioabfall in einer Größenordnung von rund 1 Gewichtsprozent.

Auf Grundlage der gewählten Systemeinstellungen wurden bei 63 – 73 Prozent der in das Fahrzeug A entleerten Biotonnen durch den SmartScan gute Bioabfallqualitäten festgestellt. Bei rund 17 – 18 Prozent der Biotonnen wurde eine mittlere Qualität und bei 10 – 19 Prozent der ins Fahrzeug A entleerten Biotonnen, trotz vorheriger Überprüfung durch das Metaldetektionssystem DeepScan oder das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView, eine schlechte Qualität zurückgemeldet.

Die Daten erwecken den Eindruck, dass die Qualität des Bioabfalls im Fahrzeug A, trotz der vorherigen Überprüfung durch die Systeme DeepScan oder c-detect TopView, eher schlecht ist. Die Sortieranalysen mit der Ermittlung von Fremdstoffanteilen in Gewichtsprozent haben aber das Gegenteil gezeigt. Dadurch wird deutlich, dass die Systemeinstellungen beim SmartScan eine wichtige Stellschraube bei der Qualitätsbewertung sind. Darüber hinaus basiert die Einstufung auf Auswertung von sichtbaren Flächenanteilen, wodurch beispielsweise eine einzelne größere Folie, die bei einer händischen Sortierung in Bezug auf die Massenanteile kaum ins Gewicht fällt, bei dieser Systematik auf Grund der Flächengröße zu einem deutlich schlechteren Bewertungsergebnis führen kann. Die Einstellung des SmartScan ist daher ortsspezifisch und auf die tatsächlichen Fremdstoffgehalte zu nivellieren.

Auf Grundlage der vorhandenen Daten wiesen die Biotonneninhalte, die vorab durch das System c-detect TopView überprüft wurden, auf Grund der ebenfalls auf Flächenanalyse basierenden Systematik eine etwas bessere Qualität auf als die durch den DeepScan auf Metallanteile geprüften Behälter. Hier ist anzumerken, dass am Untersuchungstag des Systems c-detect TopView rund 15 Prozent der Biotonnen ausgeschleust und ins Fahrzeug B entleert wurden. Demgegenüber wurden durch den DeepScan nur 2 Prozent der Biotonnen beanstandet. Dies hat auch einen Einfluss auf die Qualität des in das Fahrzeug A gekippten Bioabfalls und damit auf die Bewertungsergebnisse des SmartScan.

### **6.3 Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern**

Die detaillierten Sortieranalysen für die zwei Untersuchungstage im Modellgebiet mit einer Mischbebauung aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhausbebauung ergaben für den Bioabfall im Fahrzeug A an beiden Tagen einen Fremdstoffanteil von kleiner 1 Gewichtsprozent.

Die Ergebnisse der Bewertungen des Bioabfalls im Fahrzeug A durch den SmartScan sind grundsätzlich vergleichbar mit den Erkenntnissen aus der Ein- bis Zweifamilienhausbebauung. Die Daten suggerieren auch hier eine schlechtere Bioabfallqualität als in der Sortieranalyse festgestellt wurde. Auch hier waren insgesamt die Bewertungsergebnisse am Untersuchungstag des Systems c-detect TopView besser, wobei hier rund 20 Prozent der Biotonnen als verschmutzt festgestellt und folglich ins Fahrzeug B entladen wurden. Dem stehen nur 6 Prozent ausgeschleuste Biotonnen durch das System DeepScan gegenüber.

### **6.4 Verdichtete städtische Bebauung**

In der verdichteten städtischen Struktur ergaben die Sortieranalysen an beiden Untersuchungstagen Fremdstoffanteile im Fahrzeug A in einer Größenordnung von rund 3 Gewichtsprozent und damit auf einem deutlich höheren Niveau als in den anderen Modellgebieten. Diese deutlich schlechteren Qualitäten spiegelten sich auch in den Qualitätsbewertungen durch den SmartScan wider.

Auch hier zeigte sich die vermeintliche bessere Qualität des Bioabfalls im Fahrzeug A am Untersuchungstag des Systems c-detect TopView bei Zugrundelegung der Flächenanteile der festgestellten Fremdstoffe in der Schüttungswanne. Neben der Systemeinstellung und der ebenfalls auf Flächenanalyse basierenden Systematik bei c-detect TopView ist auch hier als wesentliche Begründung die Ausschleusung von 39 Prozent der Biotonnen am Untersuchungstag durch das Systems c-detect TopView zu nennen. Am Untersuchungstag des DeepScan wurden nur 22 Prozent der Behälter ausgeschleust.

# 7 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse des Metalldetektorsystems DeepScan mit dem Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView in Abhängigkeit der drei Untersuchungsgebiete vergleichend gegenübergestellt. Da der nahinfrarotbasierte Wertstoffscanner SmartScan die ins Fahrzeug A entladenen Inhalte der Biotonne im Versuchsverlauf nicht vollständig überprüfen konnte und die Datenlagen somit nicht vergleichbar sind, wird der SmartScan im direkten Systemvergleich nicht aufgeführt.

## 7.1 Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Im Modellgebiet mit einer weitgehenden Ein- bis Zweifamilienhausbebauung lag der Fremdstoffanteil im Sammelgemisch der nicht als verschmutzt erkannten Biotonnen bei beiden Systemen auf einem vergleichbaren Niveau von rund 1 Gewichtsprozent. Der Fremdstoffanteil des ins Fahrzeug B ausgeschleusten Bioabfalls zeigte dagegen deutliche Unterschiede. Der Bioabfall, der vom DeepScan als verschmutzt erkannt wurde, wies einen Fremdstoffanteil von 7,4 Gewichtsprozent auf. Der Vergleichswert für die Charge aus Fahrzeug B aus der Untersuchungswoche des Systems c-detect TopView lag mit 2,6 Gewichtsprozent deutlich niedriger (siehe Abbildung 13).

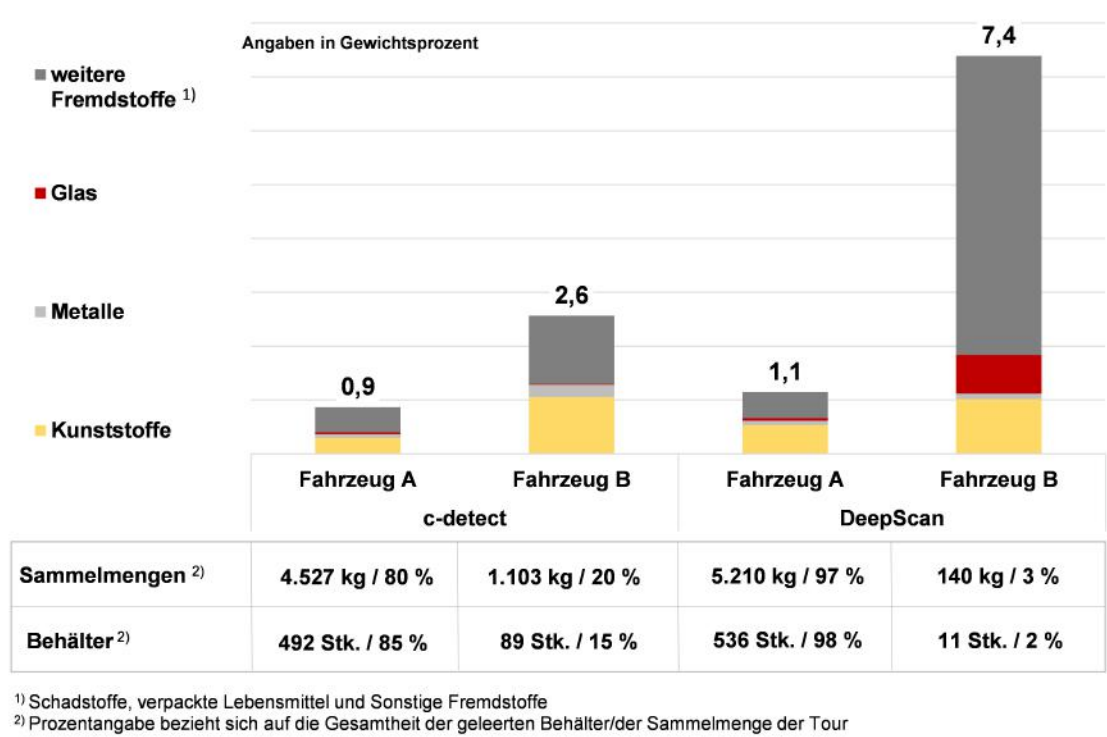


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Fremdstoffanteile im Bioabfall – Ein- bis Zweifamilienhausbebauung

Die Ursache für die deutliche Diskrepanz der Fremdstoffanteile im Fahrzeug B lag in der Anzahl der detektierten Biotonnen. Durch das System c-detect TopView wurden bei der gewählten Systemeinstellung 15 Prozent der Biotonnen und dadurch 20 Prozent der Masse an Bioabfällen als verschmutzt bewertet und entsprechend im Fahrzeug B erfasst. Diese Werte lagen beim DeepScan (2 Prozent der Biotonnen und 3 Prozent der Gesamtmasse) auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Da das System c-detect TopView im Gegensatz zum DeepScan nicht nur auf Metallanteile reagiert, sondern durch die Bilderkennung und den Einsatz von künstlicher Intelligenz auch andere Arten von Fremdstoffen auf der Bioabfalloberfläche erkennt (zum Beispiel Kunst-

stofftüten), wurden dadurch auch einzelne Biotonnen als verschmutzt detektiert, deren Fremdstoffanteil insgesamt auf einem mittleren oder eventuell sogar niedrigen Niveau lagen. Dies führt zu einer besseren Qualität des Bioabfalls im Fahrzeug B. Beim System DeepScan wurden hingegen weniger, dafür aber besonders stark verunreinigten Behälter erkannt. Stärker mit Kunststofftüten verschmutzte Biotonneninhalte wurden beim System DeepScan beispielsweise nicht ausgeschleust, wenn keine Metallanteile in der Biotonne festgestellt wurden.

Hier wird nochmals die Bedeutung der systemspezifischen Einstellungen deutlich, die in Abhängigkeit der örtlichen Situation und Zielsetzungen in Abhängigkeit der Sammelgebiete und deren unterschiedlichen Strukturen variabel anzupassen und zu nivellieren sind.

## 7.2 Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern

Die Ergebnisse des Systemvergleichs im Modellgebiet mit einer Mischbebauung sind vergleichbar mit den Daten aus der Ein- bis Zweifamilienhausbebauung. Der Fremdstoffanteil im Bioabfall aus den nicht als verschmutzt erkannten Biotonnen bei beiden Systemen lag mit kleiner 1 Gewichtsprozent auf einem vergleichbar niedrigen Niveau. Auch hier zeigte der Fremdstoffanteil des Bioabfalls in Fahrzeug B dagegen deutliche Unterschiede. Der vom System DeepScan separierte Bioabfall wies einen Fremdstoffanteil von 15,5 Gewichtsprozent auf. Demgegenüber lag der Wert für den von c-detect TopView ausgeschleusten Bioabfall mit 5,7 Gewichtsprozent deutlich niedriger (siehe Abbildung 14).

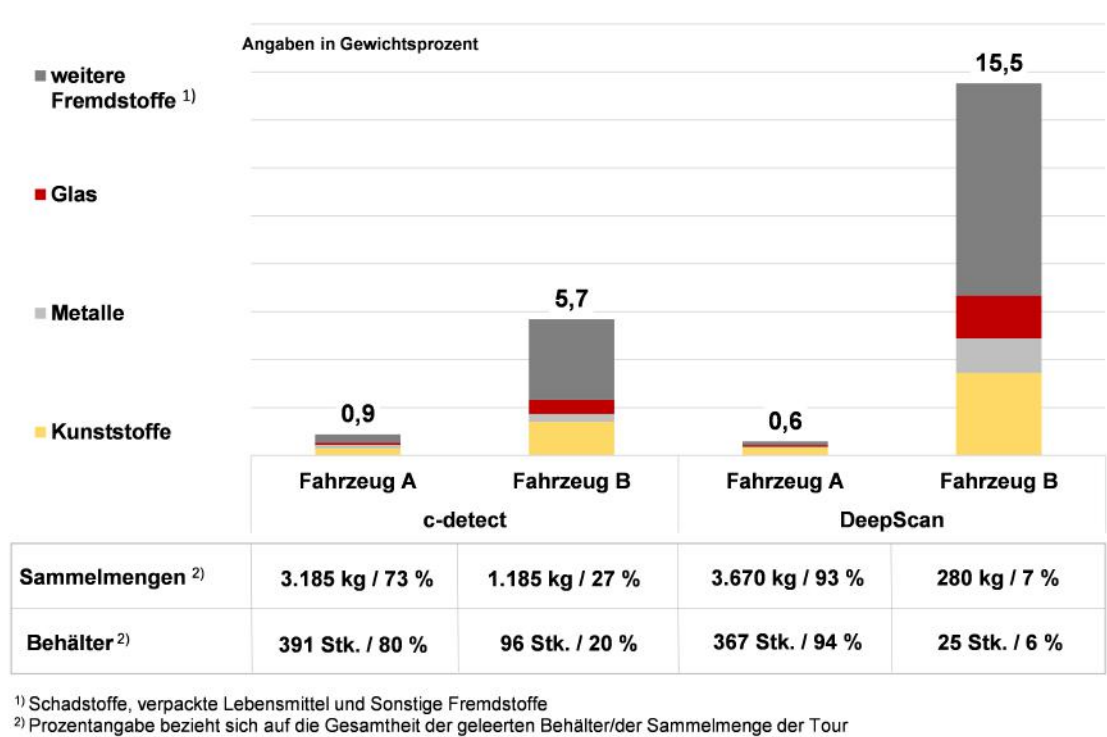


Abbildung 14: Gegenüberstellung der Fremdstoffanteile im Bioabfall – Mischgebiet

Die Ursache für deutlichen Unterschied der Fremdstoffanteile im Fahrzeug B ist analog zum beschriebenen Sachverhalt in der Ein- bis Zweifamilienhausbebauung zu sehen. Es wurden durch das System c-detect TopView bei der gewählten Systemeinstellung 20 Prozent der Biotonnen und dadurch 27 Prozent der Masse an Bioabfällen als verschmutzt separiert. Diese Werte lagen beim DeepScan (6 Prozent der Biotonnen und 7 Prozent der Gesamtmasse) auch hier auf einem deutlich niedrigeren Niveau.

### 7.3 Verdichtete städtische Bebauung

Die Ergebnisse für das verdichtete städtische Modellgebiet zeigten einen deutlichen Rückgang der Bioabfallqualität. Der Gesamtfremdstoffanteil im Bioabfall lag in diesem Sammelgebiet an beiden Untersuchungstagen im Bereich von 4,6 – 4,8 Gewichtsprozent und damit auf einem eher hohen Niveau. Die im Fahrzeug A festgestellten Fremdstoffanteile lagen im Systemvergleich mit 2,6 und 3,4 Gewichtsprozent in einer ähnlichen Größenordnung, im Vergleich zu den anderen Modellgebieten aber deutlich höher (kleiner gleich 1 Gewichtsprozent).

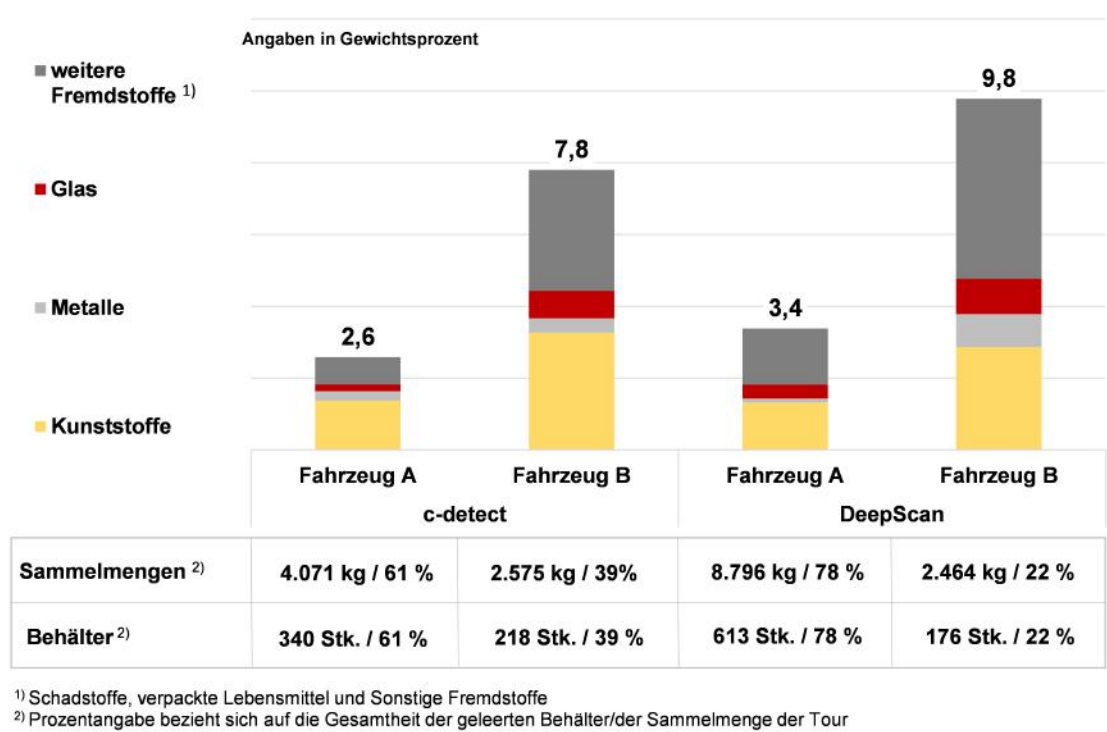


Abbildung 15: Gegenüberstellung der Fremdstoffanteile im Bioabfall – verdichtete städtische Bebauung

Die Unterschiede bezüglich der Fremdstoffanteile im Fahrzeug B zwischen den Systemen waren hier geringer. Dies ist mit der insgesamt deutlich schlechteren Bioabfallqualität im Modellgebiet zu erklären. Dadurch bedingt wurden bei den gewählten Systemeinstellungen von beiden Systemen viele Biotonnen als verschmutzt erkannt und damit auch erhebliche Mengenströme in das Fahrzeug B verlagert. Durch das System c-detect TopView sind 39 Prozent der Biotonnen und 39 Prozent der Masse an Bioabfällen als verschmutzt bewertet worden, beim DeepScan (22 Prozent der Biotonnen und 22 Prozent der Gesamtmasse) waren die Werte niedriger, aber im Vergleich zu den anderen Modellgebieten ebenfalls sehr hoch.

In Gebieten mit erhöhten Fremdstoffanteilen führte der Einsatz der Systeme zu einer Ausschleusung bzw. dem Verlust größerer Mengen an Bioabfall.

# 8 Systemkosten

## 8.1 Erläuterungen

Die nachfolgend angegebenen Jahreskosten für das Metalldetektionssystem DeepScan und das Fremdstofferkennungs-system c-detect TopView stellen einen orientierenden Rahmen dar und beruhen auf den Angaben der Hersteller. Unter Berücksichtigung betriebsspezifischer Besonderheiten und Anpassungen können die Kosten abweichen. Auf Grund der häufig in den Entsorgungsbetrieben geführten Diskussionen über die erforderliche Anzahl an auszurüstenden Sammelfahrzeugen werden die orientierenden Kosten unter Berücksichtigung der spezifischen Situation bei der ASF für die Ausstattung von zwei oder sechs Fahrzeugen angegeben (ASF setzt in der Regel täglich sechs Fahrzeug zur Sammlung der Bioabfälle ein). In der Kostenberechnung wird für die Systeme ein Abschreibungszeitraum von 8 Jahren angesetzt.

Für den nahinfrarotbasierten Wertstoffscanner SmartScan konnten seitens der SCANTEC GmbH keine Preise genannt werden.

## 8.2 Kostenrahmen DeepScan

Die Anschaffungskosten für das Metalldetektionssystem DeepScan liegen pro Stück bei 46.000 Euro. Bei Anschaffung einer größeren Anzahl an Systemen (hier sechs) sinkt der Stückpreis auf 44.500 Euro.

Tabelle 7: Orientierender Kostenrahmen DeepScan (Stand 01.2023)

		Kosten bei Ausstattung von <u>zwei</u> Fahrzeugen	Kosten bei Ausstattung von <u>sechs</u> Fahrzeugen
Anschaffungskosten pro Stück	[€]	46.000	44.500
Abschreibungsdauer	[a]	8	8
<b>Jahreskosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>11.500</b>	<b>33.375</b>
Support / Wartung / Updates	[€/a]	6.300	17.100
<b>Gesamtkosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>17.800</b>	<b>50.475</b>

Die Jahreskosten für das Metalldetektionssystem DeepScan bewegen sich bei Ausrüstung von zwei Sammelfahrzeugen bei rund 18.000 Euro pro Jahr, bei Anschaffung von sechs Systemen bei rund 50.000 Euro pro Jahr. Darin sind alle weiteren Kosten für Updates, Wartung und Support etc. enthalten.

### 8.3 Kostenrahmen c-detect TopView

Die Anschaffungskosten für das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView liegen pro Stück bei 25.000 Euro. Bei Anschaffung einer größeren Anzahl an Systemen sinkt der Stückpreis geringfügig.

Tabelle 8: Orientierender Kostenrahmen c-detect TopView (Stand 01.2023)

		Kosten bei Ausstattung von <u>zwei</u> Fahrzeugen	Kosten bei Ausstattung von <u>sechs</u> Fahrzeugen
Anschaffungskosten pro Stück	[€]	25.000	24.500
Projektdienstleistungen bei Einführung	[€]	13.120	13.120
Abschreibungsdauer	[a]	8	8
<b>Jahreskosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>7.890</b>	<b>20.015</b>
Datentransferleistungen	[€/a]	672	2.016
<b>DV-Lösung</b> (Lizenzen inkl. Updates, Support etc.)	[€/a]	3.680	8.160
<b>Gesamtkosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>12.242</b>	<b>30.191</b>

Die Jahreskosten bei Ausrüstung von zwei Fahrzeugen liegen bei rund 12.200 Euro pro Jahr, bei Anschaffung von sechs Systemen bei rund 30.200 Euro pro Jahr. Darin sind alle weiteren Kosten, zum Beispiel für Datentransfers, Lizenzen, Updates und Support, enthalten. Ebenso sind im Anschaffungsjahr einmalig 13.000 Euro für anfallenden Aufwendungen im Rahmen der Projektdienstleistung (beispielsweise Vorbereitungen, Termine) berücksichtigt. Ab dem zweiten Jahr reduzieren sich die Jahreskosten entsprechend.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden drei technische Systeme zur Fremdstofferkennung im Bioabfall unter Praxisbedingungen getestet und deren Wirkungsweisen näher betrachtet. Bei den Systemen handelte es sich um das Metalldetektionssystem DeepScan und den nahinfrarotbasierten Wertstoffscanner SmartScan der SCANTEC GmbH aus Mainz sowie dem Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView der c-trace GmbH aus Bielefeld.

Die oben genannten Systeme haben sich in den Praxisversuchen als geeignete Instrumente zur Feststellung beziehungsweise Identifizierung von Fremdstoffen im Bioabfall im operativen Tagesgeschäft herausgestellt. Die Systeme DeepScan und c-detect TopView führen die Prüfung der Biotonneninhalte vor deren Entleerung in das Sammelfahrzeug durch. Damit kann eine Verschmutzung des Bioabfalls im Sammelfahrzeug reduziert werden. Je empfindlicher die Systeme dabei eingestellt sind, desto größere Mengen an Bioabfall gehen für die getrennte Bioabfallsammlung verloren. Bei den gewählten Einstellungen wurden durch das System c-detect TopView in dieser Untersuchung deutlich mehr Bioabfälle ausgeschleust als durch das System DeepScan. Dieses kann durch eine Anpassung der Systemeinstellungen korrigiert werden. Es gilt in Abstimmung mit den Herstellern die orts- bzw. gebietsspezifisch optimale Systemeinstellung mit Blick auf die Qualität und Quantität des Bioabfalls zu finden. Dabei ist insbesondere sicherzustellen, dass nicht unnötig große Mengen an Bioabfällen ausgeschleust oder detektiert werden. Die Nichtleerung von Biotonnen mit „nur“ geringen Fremdstoffanteilen könnte bei den Bürgerinnen und Bürgern auf Unverständnis stoßen und sich negativ auf die Systemakzeptanz auswirken. Daher benötigen die Systeme eine Anlaufphase für die spezifische Einstellung auf die örtlichen Rahmenbedingungen. Beim System DeepScan wurden im Vergleich zum System c-detect TopView weniger, dafür aber besonders stark verunreinigten Behälter erkannt. Stärker mit Kunststofftüten verschmutzte Biotonneninhalte konnten somit beim System DeepScan nicht ausgeschleust werden, wenn keine Metallanteile in der Biotonne festgestellt wurden. Das System SmartScan überprüft die Biotonneninhalte nach der Entleerung der Biotonnen in der Schüttungswanne des Sammelfahrzeugs. Daher hat dieses System keinen Einfluss auf die Sammelmengen.

Beim System SmartScan konnten an den Versuchstagen nicht alle Biotonneninhalte analysiert werden. Hintergrund hierfür war, dass bei Leerung von Biotonnen in kurzen zeitlichen Abständen der Bioabfall in der Schüttungswanne nicht eindeutig einer bestimmten Biotonne zugeordnet werden konnte. Der Bioabfall aus einer Biotonne hätte nach jedem Leerungsvorgang zunächst aus der Schüttungswanne in den Fahrzeugaufbau „transportiert“ werden müssen. Da dies aber zu größeren Zeitverlusten geführt hätte, konnten nicht alle Biotonneninhalte vom System SmartScan geprüft werden. Der Hersteller hat nach eigenen Angaben das System inzwischen weiterentwickelt, so dass zukünftig eine Bewertung einzelner Biotonneninhalte möglich ist, auch wenn in der Schüttungswanne noch Materialien anderer Biotonnen vorhanden sind bzw. zwei Biotonnen parallel (Doppelschüttung) geleert werden. Dies ist insbesondere in dichteren städtischen Strukturen üblich. Damit entstehen zukünftig auch in diesen Bereichen keine Zeitverluste. In den Versuchen wurden bei den Systemen DeepScan und c-detect TopView keine Verzögerungen beim Entladevorgang festgestellt. Dieses wird auch seitens der Hersteller ausgeschlossen. Bei System c-detect TopView müssen allerdings alle Biotonnen-deckel vor dem Einhängen in die Schüttung durch das Ladepersonal geöffnet werden.

Sowohl in einem Modellgebiet mit weitgehender Ein- bis Zweifamilienhausbebauung als auch in einem Mischgebiet aus Ein- bis Zweifamilienhausbebauung und Mehrfamilienhäusern konnten das Metalldetektionssystem DeepScan sowie das Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView mit den gewählten Einstellungen

verschmutzte Biotonnen erkennen und entsprechend von der Erfassung ausschließen. Der Fremdstoffanteil in den nicht beanstandeten Fahrzeugchargen lag bei beiden Systemen in einer Größenordnung von rund 1 Gewichtsprozent und damit auf einem niedrigen Niveau. In einem verdichteten städtischen Modellgebiet mit einer insgesamt schlechteren Bioabfallqualität stieg der Fremdstoffanteil ungeachtet der eingesetzten Systeme im kontrollierten Bioabfall auf eine Größenordnung um 3 Gewichtsprozent an.

Der nahinfrarotbasierte Wertstoffscanner SmartScan hat die im durchgeführten Praxistest vom Detektionssystem DeepScan und dem Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView nicht beanstandeten Inhalte von Biotonnen in der Schüttungswanne einer zweiten Prüfung unterzogen. Hier wies das System bei der gewählten Systemeinstellung trotz der bereits durchgeführten Prüfung der Behälterinhalte durch die anderen Systeme immer noch eine größere Anzahl an Biotonnen mit fremdstoffbelasteten Inhalten aus. Die Bewertung, ab wann der SmartScan den Biotonneninhalt als qualitativ gut, mittel oder schlecht einstuft, kann systemseitig konfiguriert werden. Die hier gewählten Einstellungen können im Rahmen der Untersuchung als zu „scharf“ bewertet werden, da die detaillierten Sortieranalysen für zwei der Modellgebiete sehr gute Bioabfallqualitäten gezeigt haben. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass der Ermittlung der Fremdstoffanteile beim SmartScan einer Berechnung über die Flächenanteile der Fremdstoffe zugrunde liegt. Diese ist nicht mit den Ergebnissen von Sortieranalysen und Angabe der Ergebnisse in Gewichtsprozent vergleichbar.

Der wesentliche Unterschied bei der Nutzung der Metalldetektionssystem DeepScan sowie des Fremdstofferkennungssystem c-detect TopView im operativen Ablauf besteht darin, dass die Biotonnen beim System c-detect TopView mit geöffnetem Deckel in die Fahrzeugschüttung eingehängt werden müssen. Nur so kann die entsprechende Überprüfung der Abfalloberfläche im Behälter erfolgen. Das Öffnen der Behälter hat durch das Ladepersonal zu erfolgen. Dieser Arbeitsschritt ist beim DeepScan nicht erforderlich, da das angewandte Wirbelstromverfahren auch bei geschlossenem Behälter einen Großteil des Behälterinhalts bezüglich möglicher Metallanteile untersuchen kann. Andererseits erzeugt das System c-detect TopView von jeder Verunreinigung ein Beweisfoto, welches anschließend im Office zur weiteren Nutzung verfügbar ist.

Die ermittelten Jahreskosten für den DeepScan oder das System c-detect TopView liegen bei einem angesetzten Anschaffungsumfang von zwei Systemen in einer Größenordnung von rund 18.000 Euro pro Jahr beim System DeepScan und 12.200 Euro beim System c-detect TopView. Bei einem größeren Auftragsumfang (hier bei Anschaffung von sechs Systemen) bewegen sich die Jahreskosten zwischen rund 30.200 Euro pro Jahr beim System c-detect TopView und rund 50.000 Euro pro Jahr beim DeepScan. Da diese Systeme als Alternative zu den manuellen Kontrollen der Biotonnen durch Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter der öRE zu sehen sind, sind die entstehenden Jahreskosten im Vergleich zu den Personalkosten, bei einem kontinuierlichen Einsatz von täglich zwei Mitarbeitenden für die Kontrolltätigkeiten, niedriger. Darüber hinaus liefern die Systeme flächendeckende und objektive Daten, während die manuellen Aufnahmen von subjektiven Eindrücken geprägt sind und in der Regel nur stichprobenartige Kontrollen ermöglichen.

Bisherige Erfahrungen von Entsorgungsbetrieben zeigen, dass eine Begleitung des Einsatzes der technisierten Systeme mit entsprechender Öffentlichkeitsarbeit die Bioabfallqualität verbessern kann. Die Bekanntmachung, dass technische Systeme zur Kontrolle von Fehlbefüllungen in der Biotonne eingesetzt werden, führt erfahrungsgemäß bereits zu einer weiteren Sensibilisierung der Bürgerinnen und Bürgern, die in Verbindung mit Sanktionen noch gesteigert werden kann. Die Ausrüstung von zum Beispiel ein oder zwei Fahrzeugen des Fuhrparks mit technischen Systemen, die dann in regelmäßigen Abständen in den verschiedenen Sammelgebieten eingesetzt werden, erscheint nach aktuellem Stand eine sinnvolle Variante. Inwieweit es angebracht ist,

die Mehrzahl der zur Bioabfallsammlung eingesetzten Fahrzeuge (oder auch alle) mit diesen Systemen auszurüsten, hängt im Wesentlichen von der Anzahl an Problemgebieten im Hinblick auf die Bioabfallqualität bzw. die Einhaltung der Anforderungen durch die „kleine“ Novelle der Bioabfallverordnung ab.

# Anhang

## 9.1 Stoffgruppenkatalog Sortieranalyse

- Biogut
- Papier
  - Papiertüten
  - Sonstiges Papier
- Fremdstoffe
  - Kunststoffe (folienartig)
    - Kunststoffbeutel Kategorie 1  
dickwandige Tragetaschen > A4 / Müllsäcke > 60 l
    - Kunststoffbeutel Kategorie 2  
dünnwandige Müllbeutel > A4
    - Kunststoffbeutel Kategorie 3  
Kleinformatige Beutel < A4 / Hemdchenbeutel
    - BAW-Sammelbeutel Kategorie 4
  - Sonstige Folien
  - Sonstige Kunststoffe
  - Glas
  - Metall
  - Schadstoffe
  - Verpackte Lebensmittel (ungeöffnet)
    - in Kunststoff verpackt
    - in Glas verpackt
    - in Metall verpackt
  - Sonstige Fremdstoffe
    - Windeln, Verbunde etc.

## 9.2 Beispiele aussortierter Fremdstoffe



**Papiertüten**



**Kunststoffe (Folien)**



**Glas**

### 9.3 Sortierprotokolle

Tabelle 9: Sortierprotokoll Montag, DeepScan, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		158,60		223,35		277,40
Papiertüten	8	0,60	9	1,13	15	0,95
Sonstiges Papier		5,05		3,55		6,95
Küchenbeutel Kat. 1	0	0,00	0	0,00	1	0,08
Küchenbeutel Kat. 2	3	0,82	6	0,20	14	0,70
Küchenbeutel Kat. 3	0	0,00	5	0,07	9	0,27
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	5	0,18	13	0,70	27	1,40
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,11		0,15		0,60
Sonstige Kunststoffe		0,00		0,85		0,60
Glas		0,00		0,00		0,24
Metalle		0,15		0,21		0,19
Schadstoffe		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		0,28		0,55		0,00
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,52		0,00
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,00		0,00
Sonstige Fremdstoffe		0,60		0,32		2,75

Tabelle 10: Sortierprotokoll Montag, DeepScan, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		48,60		66,05		65,15
Papiertüten	8	0,30	9	0,35	6	0,25
Sonstiges Papier		4,95		3,80		4,60
Küchenbeutel Kat. 1	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Küchenbeutel Kat. 2	22	0,55	1	0,03	6	0,30
Küchenbeutel Kat. 3	12	0,12	2	0,02	9	0,27
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	2	0,05	1	0,02	2	0,08
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,15		0,02		0,35
Sonstige Kunststoffe		0,25		0,04		0,03
Glas		0,76		0,02		0,48
Metalle		0,03		0,07		0,11
Schadstoffe		0,08		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		1,16		0,45		0,70
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,32		0,00		0,35
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,04		0,07
Sonstige Fremdstoffe		6,80		1,21		3,23

Tabelle 11: Sortierprotokoll Dienstag, DeepScan, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		207,60		215,90		222,10
Papiertüten	14	0,94	16	1,00	19	1,45
Sonstiges Papier		8,10		9,75		7,65
Küchenbeutel Kat. 1	0	0,00	0	0,00	1	0,08
Küchenbeutel Kat. 2	8	0,28	8	0,45	8	0,43
Küchenbeutel Kat. 3	5	0,14	1	0,10	0	0,00
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	9	0,47	8	0,45	15	0,63
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,25		0,10		0,20
Sonstige Kunststoffe		0,04		0,06		0,11
Glas		0,00		0,28		0,00
Metalle		0,19		0,03		0,03
Schadstoffe		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		0,43		0,22		0,85
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,00		0,49
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,00		0,00
Sonstige Fremdstoffe		0,75		0,14		0,15

Tabelle 12: Sortierprotokoll Dienstag, DeepScan, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		75,85		89,90		37,45
Papiertüten	2	0,11	5	0,24	2	0,15
Sonstiges Papier		4,95		9,10		4,65
Küchenbeutel Kat. 1	0	0,00	1	0,10	2	0,17
Küchenbeutel Kat. 2	16	0,40	35	1,05	22	0,70
Küchenbeutel Kat. 3	8	0,08	26	0,40	2	0,02
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	24	0,58	6	0,22	0	0,00
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,35		1,30		0,70
Sonstige Kunststoffe		0,25		1,55		1,00
Glas		0,68		2,33		1,55
Metalle		0,23		0,50		2,23
Schadstoffe		0,07		0,02		0,05
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		1,05		10,40		6,35
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,00		0,52
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,27		0,08		0,52
Sonstige Fremdstoffe		10,00		4,50		7,80

Tabelle 13: Sortierprotokoll Mittwoch, DeepScan, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		171,40		189,50		241,10
Papiertüten	7	0,49	5	0,53	8	0,50
Sonstiges Papier		4,80		6,40		9,75
Küchenbeutel Kat. 1	7	0,75	0	0,00	1	0,18
Küchenbeutel Kat. 2	15	0,80	25	1,45	26	1,40
Küchenbeutel Kat. 3	20	0,65	15	0,45	25	0,80
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	20	1,05	15	1,15	15	0,80
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,50		0,51		0,75
Sonstige Kunststoffe		1,15		0,11		1,35
Glas		0,64		1,28		0,25
Metalle		0,22		0,05		0,49
Schadstoffe		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		4,35		2,10		1,46
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,43		0,00		0,23
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,06		0,00
Sonstige Fremdstoffe		5,65		1,80		2,35

Tabelle 14: Sortierprotokoll Mittwoch, DeepScan, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		122,60		192,60		177,50
Papiertüten	1	0,07	3	0,17	6	0,50
Sonstiges Papier		5,40		10,85		14,40
Küchenbeutel Kat. 1	6	0,32	4	0,40	7	0,98
Küchenbeutel Kat. 2	20	0,93	72	3,45	80	2,80
Küchenbeutel Kat. 3	28	0,77	13	0,34	16	0,16
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	8	0,37	12	0,58	10	0,40
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,65		2,40		1,25
Sonstige Kunststoffe		1,37		1,80		2,25
Glas		1,05		1,70		2,45
Metalle		1,57		1,70		2,20
Schadstoffe		0,00		0,06		0,05
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		4,15		10,20		9,00
Verpackte Lebensmittel (Glas)		1,63		0,00		0,50
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,16		0,00
Sonstige Fremdstoffe		7,25		18,25		5,80

Tabelle 15: Sortierprotokoll Montag, c-detect TopView, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		208,85		238,45		236,80
Papiertüten	8	0,51	8	0,40	11	0,70
Sonstiges Papier		5,70		4,40		5,90
Küchenbeutel Kat. 1	1	0,07	0	0,00	0	0,00
Küchenbeutel Kat. 2	1	0,03	3	0,82	7	0,18
Küchenbeutel Kat. 3	0	0,00	3	0,06	0	0,00
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	9	0,21	11	0,35	4	0,27
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,15		0,11		0,15
Sonstige Kunststoffe		0,30		0,15		0,35
Glas		0,00		0,25		0,00
Metalle		0,02		0,15		0,32
Schadstoffe		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		0,20		0,32		0,33
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,00		0,00
Sonstige Fremdstoffe		0,85		1,40		1,08

Tabelle 16: Sortierprotokoll Montag, c-detect TopView, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		277,40		253,50		266,10
Papiertüten	22	0,95	17	0,85	17	0,95
Sonstiges Papier		12,10		9,80		6,90
Küchenbeutel Kat. 1	4	0,35	7	0,40	2	0,10
Küchenbeutel Kat. 2	36	0,95	42	1,50	10	0,40
Küchenbeutel Kat. 3	10	0,18	12	0,18	10	1,00
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	41	1,95	57	2,12	36	1,50
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,60		0,75		0,20
Sonstige Kunststoffe		0,45		0,35		0,05
Glas		0,09		0,00		0,03
Metalle		0,32		0,80		0,80
Schadstoffe		0,00		0,01		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		4,10		6,00		0,92
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,25		0,10		0,02
Sonstige Fremdstoffe		5,50		2,35		3,25

Tabelle 17: Sortierprotokoll Dienstag, c-detect TopView, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		220,05		110,55		160,55
Papiertüten	20	1,05	2	0,01	7	0,55
Sonstiges Papier		9,25		5,70		6,50
Küchenbeutel Kat. 1	1	0,32	0	0,00	0	0,00
Küchenbeutel Kat. 2	0	0,00	5	0,13	6	0,15
Küchenbeutel Kat. 3	6	0,28	0	0,00	2	0,17
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	10	0,49	0	0,00	3	0,07
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,25		0,07		0,15
Sonstige Kunststoffe		0,08		0,10		0,04
Glas		0,15		0,11		0,17
Metalle		0,01		0,44		0,09
Schadstoffe		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		1,50		0,20		1,25
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,00		0,00
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,00		0,00
Sonstige Fremdstoffe		1,38		0,36		0,31

Tabelle 18: Sortierprotokoll Dienstag, c-detect TopView, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		286,35		222,40		248,95
Papiertüten	6	0,30	12	0,85	11	0,53
Sonstiges Papier		7,55		6,30		7,65
Küchenbeutel Kat. 1	11	0,75	2	0,10	8	0,50
Küchenbeutel Kat. 2	12	0,61	15	0,65	41	1,32
Küchenbeutel Kat. 3	32	0,92	16	0,23	32	0,32
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	33	1,47	36	1,45	48	1,80
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,95		0,50		0,90
Sonstige Kunststoffe		0,65		0,65		1,46
Glas		2,22		0,41		1,90
Metalle		0,50		0,34		1,87
Schadstoffe		0,12		0,03		0,71
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		6,85		2,60		3,60
Verpackte Lebensmittel (Glas)		1,30		0,41		0,62
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,13		0,34		0,18
Sonstige Fremdstoffe		7,60		0,85		20,68

Tabelle 19: Sortierprotokoll Mittwoch, c-detect TopView, Fahrzeug A

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		221,00		174,7		175,1
Papiertüten	10	0,80	18	1,3	10	0,5
Sonstiges Papier		6,65		9,9		7,0
Küchenbeutel Kat. 1	5	0,50	7	0,6	8	1,3
Küchenbeutel Kat. 2	17	0,85	16	1,3	7	0,4
Küchenbeutel Kat. 3	18	0,38	26	0,7	22	0,3
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	11	0,50	4	0,3	18	0,4
Sonstige folienartige Kunststoffe		0,50		1,4		0,6
Sonstige Kunststoffe		0,50		0,7		0,8
Glas		0,35		0,1		0,7
Metalle		0,28		0,6		0,5
Schadstoffe		0,00		0,0		0,0
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		3,00		2,3		3,7
Verpackte Lebensmittel (Glas)		0,00		0,0		0,0
Verpackte Lebensmittel (Metall)		0,00		0,0		1,3
Sonstige Fremdstoffe		1,83		1,4		1,5

Tabelle 20: Sortierprotokoll Mittwoch, c-detect TopView, Fahrzeug B

Stoffgruppen	Teilprobe 1		Teilprobe 2		Teilprobe 3	
	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]	Anzahl	Gewicht [kg]
Biogut		215,40		197,45		198,75
Papiertüten	16	1,30	16	0,70	10	0,60
Sonstiges Papier		16,00		15,00		10,90
Küchenbeutel Kat. 1	19	1,89	19	1,73	10	1,10
Küchenbeutel Kat. 2	39	1,65	52	1,38	23	0,95
Küchenbeutel Kat. 3	75	2,05	55	1,03	47	1,08
BAW-Sammelbeutel Kat. 4	40	2,17	22	0,78	42	2,25
Sonstige folienartige Kunststoffe		2,20		1,20		1,50
Sonstige Kunststoffe		3,15		1,65		1,66
Glas		2,42		2,85		1,65
Metalle		1,00		0,41		0,18
Schadstoffe		0,14		0,10		0,09
Verpackte Lebensmittel (Kunststoff)		9,40		4,85		10,80
Verpackte Lebensmittel (Glas)		3,27		0,34		0,12
Verpackte Lebensmittel (Metall)		2,17		0,09		0,25
Sonstige Fremdstoffe		15,00		4,95		6,55

