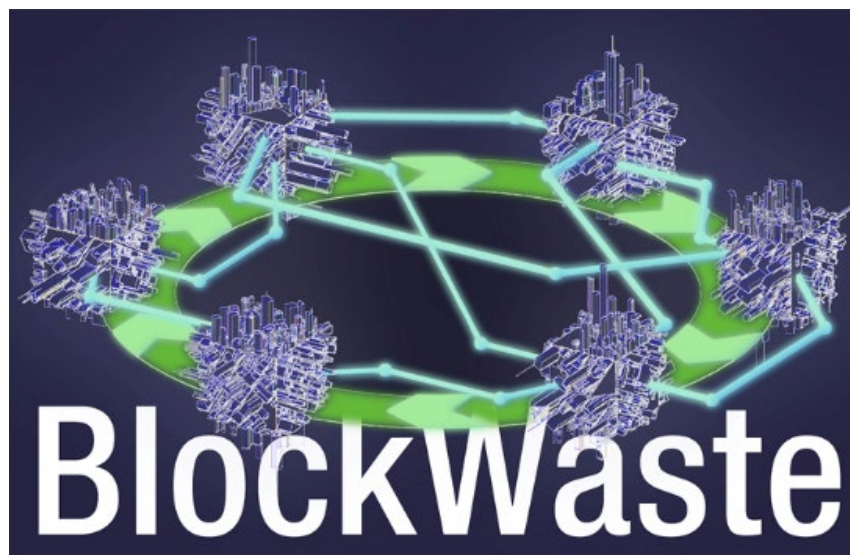


**O1.A2.1 Stand der Digitalisierung in der europäischen kommunalen Abfallwirtschaft: Vergleichsstudie – fünf EU-Mitgliedstaaten, Estland, Deutschland, Griechenland, die Niederlande, Und Spanien**



**Haftungsausschluss**

Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung trägt ausschließlich die Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## Factsheet zur Ausgabe:

<b>Förderprogramm</b>	Erasmus+ Programm der Europäischen Union
<b>Finanzierung von NA</b>	EL01 Griechische Staatsstipendiat-Stiftung (IKY)
<b>Vollständiger Projekttitle</b>	Innovative Schulungen auf Basis der Blockchain-Technologie für die Abfallwirtschaft - BLOCKWASTE
<b>Angezeigt</b>	KA2 - Zusammenarbeit für Innovation und Austausch bewährter Praktiken KA203 - strategische Partnerschaften für die Hochschulbildung
<b>Projektnummer</b>	2020-1-EL01-KA203-079154
<b>Projektdauer</b>	24 Monate
<b>Startdatum Des Projekts</b>	01-10-2020
<b>Enddatum Des Projekts:</b>	30-09-2022

## Ausgabedetails:

**Ausgabebetitel:** O1: Lernmaterialien für interdisziplinäre Blockchain-MSW

**Titel Der Aufgabe:** O1/A2 - Vergleichende Studie der Informationstechnologien, die auf internationaler Ebene für die Abfallwirtschaft eingesetzt werden

**Unteraufgabe:** O1/A2,1 - Stand der Digitalisierung in der europäischen kommunalen Abfallwirtschaft: Vergleichsstudie – fünf EU-Mitgliedstaaten, Estland, Deutschland, Griechenland, die Niederlande, Und Spanien

**Ausgangsleitung:** NTUA

**Leiter der Aufgabe:** FH Bielefeld

**Autor(en):** Rainer Lenz, Bielefeld UAS, [rlenz@fh-bielefeld.de](mailto:rlenz@fh-bielefeld.de), Deutschland

Christa Barkel, Saxion UAS, [c.barkel@saxion.nl](mailto:c.barkel@saxion.nl), Niederlande

Maria Menegaki, Nationale Technische Universität von Athen, [menegaki@metal.ntua.gr](mailto:menegaki@metal.ntua.gr), Griechenland

Marija Klõga, Technische Universität Tallinn, [marija.kloga@taltech.ee](mailto:marija.kloga@taltech.ee), Estland

Juana María Torrecilla, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, [juanamari-toabril@ctmarmol.es](mailto:juanamari-toabril@ctmarmol.es), Spanien

**Geprüft von:** Paraskevas Tsangaratos, Nationale Technische Universität Athen, [ptsag@metal.ntua.gr](mailto:ptsag@metal.ntua.gr), Griechenland, Ermo Täks, Technische Universität Tallinn, [ermo.taks@taltech.ee](mailto:ermo.taks@taltech.ee), Estland

## Dokumentenkontrolle

Dokumentversion	Version	Änderung
V0.1	30/04/2021	Endgültige Version - 30/06/2021



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## Inhalt

Zusammenfassung.....	iii
1 Einführung.....	1
1.1 Kurze Projektbeschreibung.....	1
1.2 Ziele und methodischer Ansatz.....	1
2 Estland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft.....	3
2.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Estland .....	3
2.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft.....	4
2.3 Abschließende Beurteilung.....	6
3 Deutschland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft .....	7
3.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Deutschland .....	7
3.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft.....	9
3.3 Abschließende Beurteilung.....	11
4 Griechenland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft.....	12
4.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Griechenland.....	12
4.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft.....	13
4.3 Best-Practice-Beispiel „Recycling von Verpackungen belohnen“ .....	16
4.4 Abschließende Beurteilung.....	16
5 Niederlande: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft.....	18
5.1 Organisation der niederländischen kommunalen Abfallwirtschaft.....	18
5.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft.....	19
5.3 Beispiele für Best Practices.....	20
5.4 Abschließende Beurteilung.....	21
6 Spanien: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft.....	22
6.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Spanien .....	22
6.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft.....	22
6.3 Beispiele für Best Practices.....	24
6.4 Abschließende Beurteilung.....	24
7 Benchmarking-Ergebnisse mit anderen Studien.....	26
7.1 EIONET-Bericht „Digitale Abfallwirtschaft“.....	26
7.2 WINPOL-Projekt „Abfallwirtschaft – Intelligente Systeme und Richtlinien“ .....	28
7.3 WasteIQ - eine Fallstudie aus Norwegen.....	29
8 Bereitschaft für Blockchain-Anwendungen in der Abfallwirtschaft.....	31
9 Referenzen .....	33

## Liste der Abbildungen

Figure 1: Schematic structure of the study (source: the authors)	2
Figure 2: Information asymmetry between users and municipal waste management (source: the authors)	8
Figure 3: Market shares of solid waste collection – Germany 2020 (source: EUWID, 2020)	9
Figure 4: Digital projects in German Municipal Waste Management (source: the authors based on data from Digital project mapping of German Association of Local Utilities of Municipalities (VKU) and Verband Kommunaler Unternehmen e.V. (2019)– for detailed statistics cf appendix)	10
Figure 5: Main areas of digitalization in municipal waste management (source: Berg and Sebestyén, 2020, p. 23)	26
Figure 6: IoT solutions integrated in the waste truck (source: Berg and Sebestyén, 2020, p. 22)	27
Figure 7: Main areas of digitalization in best practice projects (source: screening based on project data of WINPOL, 2019)	28
Figure 8: WasteIQ – data platform (source: <a href="https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/guest-blog-the-4th-industrial-revolution-in-practice-wasteiq-the-open-waste-management-platf/109/">https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/guest-blog-the-4th-industrial-revolution-in-practice-wasteiq-the-open-waste-management-platf/109/</a> )	29
Figure 9: Lack of coherence in digital waste management projects	31

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Länderstudien und der Vergleich mit anderen Studien zeigen, dass der Digitalisierungsprozess im kommunalen Abfallsektor noch in den Kinderschuhen steckt. In den verschiedenen Ländern gibt es eine Vielzahl innovativer Projekte in den Bereichen Kommunikation mit Nutzern, Incentive-Systeme und insbesondere der Einsatz von IoT in der Abfallsammlung, Aber es gibt keine umfassende Förderung dieser Projekte in den Ländern, weder durch staatliche Förderprogramme noch durch den gezielten Know-how-Transfer. Derzeit sind es nur die Verbände kommunaler öffentlicher oder privater Entsorgungsunternehmen, die Multiplikatoren von Informationen und Innovationszentren sind.

Die in der kommunalen Abfallwirtschaft beschriebenen Digitalisierungsprojekte werden sehr stark durch den Einsatz neuer Technologien angetrieben. Die Installation von Telematik und IoT auf Müllwagen sind typische Aufgaben von Maschinenbauingenieuren. Die Erfüllung dieser Aufgaben ist für den reibungslosen Ablauf logistischer Prozesse innerhalb einer Organisation von größter Bedeutung. Aber bei Blockchain geht es darum, eine Win-Win-Situation zwischen den Stakeholdern einer Kette zu schaffen, sodass jeder der beteiligten Partner von der Zusammenarbeit profitiert.

Um die Frage nach der Einsatzbereitschaft der Blockchain-Technologie abschließend zu beantworten, lässt sich sagen, dass die meisten kommunalen Entsorgungsunternehmen rein technisch auf dem neuesten Stand sind und IoT ausgiebig nutzen. Was fehlt, ist eine klare Datenstrategie, die die Analyse und den Austausch von Daten mit einer Vielzahl von Stakeholdern umfasst. Dabei handelt es sich jedoch nicht um technische Probleme, sondern um Probleme der organisatorischen Entwicklung kommunaler Abfallwirtschaftsunternehmen.

# 1 Einführung

## 1.1 Kurze Projektbeschreibung

Diese Vergleichsstudie ist Teil des BlockWASTE-Projekts, das von der EU finanziert wird und ein Erasmus Plus-Projekt ist. Das Projekt zielt darauf ab, die Interoperabilität zwischen Abfallwirtschaft und Blockchain-Technologie anzugehen und deren ordnungsgemäße Behandlung durch Schulungen zu fördern, so dass die gesammelten Daten in einer sicheren Umgebung geteilt werden, in der es keinen Raum für Unsicherheit und Misstrauen zwischen allen Parteien gibt, die an Abfallketten oder -im Recycling beteiligt sind.

Zu diesem Zweck verfolgt das BlockWASTE-Projekt folgende Ziele:

- Forschung zu festen Abfällen, die in Städten entstehen und wie diese verwaltet werden, damit eine Informationsbasis mit bewährten Verfahren geschaffen werden kann, die dazu beiträgt, Abfälle wieder in die Wertschöpfungskette einzubringen und die Idee intelligenter kreisförmiger Städte zu fördern.
- Die Vorteile der Blockchain-Technologie im kommunalen Abfallmanagement (MSW) zu identifizieren.
- Einen Studienplan zu erstellen, der die Ausbildung von Lehrern und Fachleuten von Organisationen und Unternehmen des Sektors unterstützt, bei der Überschneidung der Bereiche Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft und Blockchain-Technologie.
- Entwicklung eines interaktiven Tools auf Basis der Blockchain-Technologie, das es ermöglicht, das Management von Daten aus Siedlungsabfällen in die Praxis umzusetzen, so dass die Art und Weise, wie die Daten in der Blockchain implementiert werden, visualisiert und die Nutzer in die Lage versetzt werden, verschiedene Formen des Managements zu bewerten.

Weitere Informationen finden Sie auf der BlockWASTE-Projektwebsite <https://blockwasteproject.eu>.

## 1.2 Ziele und methodischer Ansatz

Ziel dieser Vergleichsstudie ist es, den Status quo bei der Digitalisierung der kommunalen Abfallwirtschaft in EU-Ländern zu dokumentieren, um letztlich zu untersuchen, in welchen Bereichen die Implementierung von Blockchain-Lösungen sinnvoll ist.

Blockchain ist nur eine Datenbanklösung, die es ermöglicht, Transaktionen innerhalb einer Abfallkette zu verfolgen und zu verfolgen, digitale Assets von Peer zu Peer zu übertragen und Smart Contracts zur Automatisierung von Prozessen zu nutzen. Entscheidend für eine Datenbankanwendung wie die Blockchain ist natürlich die automatische Erfassung von Daten über Internet-of-Things-Geräte wie Sensoren und Kameras sowie die Auswertung der Daten über KI-Anwendungen. Letztlich geht es in dieser vergleichenden Studie auch um die Frage der digitalen Bereitschaft kommunaler Abfallwirtschaft im Hinblick auf den Einsatz von Blockchain-Lösungen.

Comparative Study: State of digitalisation in Municipal WM	
Estonia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organisation Municipal Waste Management</li> <li>2. State of Digitalisation in MWM</li> <li>3. Best Practise</li> <li>4. Assessment</li> </ol>
Germany	
Greece	
Netherlands	
Spain	
<b>Benchmarking results with findings of other studies</b>	
<b>Assessment: Readiness for Blockchain Applications</b>	

Figure 1: Schematische Struktur der Studie (Quelle: Die Autoren)

Wie in Abbildung 1 gezeigt, basiert diese vergleichende Studie auf der Beschreibung des Status quo der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft in den fünf Ländern der Projektpartner: Estland, Deutschland, Griechenland, die Niederlande und Spanien. Die eingesetzten IT-Lösungen sind natürlich von der Organisation und den Prozessen der kommunalen Abfallwirtschaft in jedem Land abhängig. Der eigentlichen Beschreibung der Nutzung DER IT in den Gemeinden geht daher ein Kapitel über die Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft im jeweiligen Land voraus. Darüber hinaus werden Best-Practice-Beispiele für die einzelnen Länder, sofern verfügbar, kurz beschrieben.

Offensichtlich hat eine vergleichende Ansicht von nur fünf der 27 EU-Mitgliedstaaten nur eine begrenzte Bedeutung. Um diese Einschränkung zu verringern, werden die Ergebnisse der Analyse mit den Ergebnissen anderer Studien zu diesem Thema verglichen. Die Daten und die Anzahl der Studien zu diesem Thema sind jedoch begrenzt.

## 2 Estland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft

### 2.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Estland

In Estland liegt die Abfallbewirtschaftung in der Verantwortung der lokalen Regierungen, die Abfallsammlungs- und Trenneinrichtungen organisieren. Lokale Regierungen haben separate Abfallbewirtschaftungspläne, die regionsspezifisch sind und die Bevölkerungsdichte und lokale Kapazitäten berücksichtigen. Lokale Abfallbewirtschaftungspläne werden für bestimmte Zeiträume erstellt und entsprechen den Hauptzielen des Nationalen Abfallbewirtschaftungsplans 2014-2020 (EG, 2014).

Nach dem Abfallgesetz ist es eine der wichtigsten Aufgaben der lokalen Behörden in Bezug auf die Abfallwirtschaft, die Sammlung von Siedlungsabfällen in ihrem Gebiet zu organisieren. Haushalts-/Kommunalabfälle werden von einem Abfallwirtschaftsunternehmen gesammelt und transportiert, das von der Gemeinde im Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe beauftragt wurde. Es wird ein Vertrag über fünf Jahre unterzeichnet, und das Unternehmen hat ein Monopol in einem bestimmten Abfallsammelgebiet (Abfallsammelgebiete sind im Abfallgesetz definiert). Das Unternehmen, das den günstigsten Satz für die Abfallsammlung anbietet, gewinnt in der Regel die Ausschreibung. Die organisierte Abfallsammlung muss (gemischte) Siedlungsabfälle abdecken, die in diesem Gebiet entstehen. Die lokale Behörde kann jedoch auch die organisierte Sammlung auf andere Abfallarten ausweiten (Umweltbehörde Tallinn, 2014).

Neben dem Abfallgesetz sind die Verantwortlichkeiten im Zusammenhang mit der Abfallwirtschaft auch durch das Verpackungsgesetz geregelt, wonach die lokalen Behörden die Verantwortung haben, die Sammlung von Verpackungsabfällen in ihrem Hoheitsgebiet zu organisieren. Das Hauptziel besteht darin, dass die lokalen Behörden den Betrieb eines Sammelsystems koordinieren (Vereinbarungen mit Verwertungsorganisationen, Vorstellung der Anforderungen für das System zur Sammlung von Verpackungsabfällen, Sensibilisierung und Überwachung) (Umweltbehörde Tallinn, 2014).

In Estland ist die häufigste Art, verschiedene Abfallarten zu sammeln, beispielsweise die Anbringung von Stellen in der Nähe von Wohngebieten. Darüber hinaus gibt es ein erweitertes System zur Erstattung von Einzahlungen durch die Erzeugerverantwortung (EPR), bei dem sich die Rückgabepunkte meist in der Nähe/in lokalen Lebensmittelgeschäften befinden. Tür-zu-Tür-Sammelsysteme und gemeinsame Sammelsysteme werden immer häufiger, variieren jedoch je nach dem Abfallbewirtschaftungsplan einer lokalen Regierung; sie sind ein bevorzugtes Abfallsammelsystem für private Wohnsiedlungen/Nachbarschaften. Es gibt zunehmend mehr öffentliche Einrichtungen für verschiedene Arten der Abfallsammlung (Elektroabfälle, Garten-/Grünabfälle, Bauabfälle und andere). Die Sammelsysteme variieren je nach Bevölkerung und Bevölkerungsdichte in verschiedenen geografischen Standorten (Estnisches Umweltministerium, 2014, S. Anhang 4, S. 7-22)

Die Sammlung von Verpackungsabfällen (die nicht unter das Pfandrückzahlungssystem fallen) wird von drei Erzeugerorganisationen organisiert. Verpackungsabfälle werden meist direkt von Unternehmen und Händlern gesammelt. Verpackungsabfälle aus Haushalten werden hauptsächlich über das Sammelpunktsystem gesammelt. Darüber hinaus gibt es ein sehr gut funktionierendes Pfand-Erstattungssystem für Getränkebehälter aus Glas, Kunststoff und Aluminium (organisiert von einer Pfandorganisation) (BiPRO, 2014).



### *Die Strafen für Nichteinhaltung sind gering*

Die staatliche Aufsicht über die Einhaltung der Anforderungen aus dem Abfallgesetz ist durch das Umweltinspektorat und lokale Regierungen oder lokale Regierungsbehörden auszuüben. Bei Nichteinhaltung einer Vorschrift beträgt die Obergrenze einer Strafzahlung gemäß dem im Ersetzungs- und Strafzahlungsgesetz vorgesehenen Verfahren 32.000 Euro.

### *Die Servicegebühren für die Abfallbewirtschaftung sind festgelegt*

Es wurde kein spezielles Anreizsystem gefunden, das Kommunen und Haushalte zur Vermeidung oder Reduzierung fester Abfälle im MSW-Sektor belohnt. Die Servicegebühren werden im Vertrag zwischen der Gemeinde und dem Auftragnehmer festgelegt, differenziert nach Leistungspaketen, wobei das Mindestpaket für einen bestimmten Haustyp obligatorisch ist, d. h. jeder Abfallinhaber muss ein Paket auswählen. Das Ziel kommunal organisierter Sammlungen besteht eindeutig darin, möglichst viele Abfallhalter in das Sammelsystem einzubeziehen. Angesichts der bemerkenswert niedrigen Servicegebühren scheint das Ergebnis erfolgreich gewesen zu sein. In mehreren Bereichen zahlen die Haushalte rund 1 €/Monat, obwohl der Durchschnitt bei 4-6 €/Monat liegt. Diese Gebühren werden direkt an private Dienstleister gezahlt. Für Mehrfamilienhäuser wird die Servicegebühr als Pauschale berechnet (Estnisches Umweltministerium, 2012)

## **2.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft**

Die Ergebnisse und Aussagen über den Einsatz innovativer IT-Lösungen in der kommunalen Abfallwirtschaft könnten unvollständig sein und nicht für alle Segmente aussagekräftig sein. Es war nicht möglich, persönliche Antworten von allen kommunalen Entsorgungsunternehmen zu erhalten, und die verfügbaren Open Source-Daten sind nicht umfassend. Was fehlte, war insbesondere:

- Informationen über den Einsatz von Blockchain zur Verfolgung der Abfallkette und Bereitstellung zuverlässiger Informationen
- Informationen über die Verwendung von Token oder Gamification-Strategien

### *IoT (Sensoren, Kameras, Abfallscanner)*

Laut einer schriftlichen Antwort des Tallinn Waste Reuse Center (<https://tjt.ee/>) verwenden die Müllwagen, die Siedlungsabfälle in Estland sammeln, GPS- und Tracking-Software und sind vom modernsten und automatisiertesten Typ. In Estland werden im großen Stil keine intelligenten Lösungen für Abfallbehälter verwendet, da die Menge der MSW-Behälter und die Häufigkeit ihrer Entleerung zu hoch ist.

### *Intelligente Behälter, die nur für Industriekunden verwendet werden*

Laut einem Interview mit dem Vertreter von Ragnsells ([www.ragnsells.ee](http://www.ragnsells.ee)) setzt das Unternehmen Sensortechnologien (RFID Solutions) ein, bei denen Informationen über den Füllstand des Müllbehälters in Echtzeit von Smart bin Sensoren erfasst werden. Diese intelligenten Behälter werden derzeit nur für Geschäfts-/Industriekunden verwendet, da sie eine Stromversorgung benötigen, die z. B. in Fertigungseinrichtungen leicht zugänglich ist. Auch Industriekunden verwenden in der Regel große Abfallbehälter, in denen das Abfallvolumen vor der eigentlichen Sammlung deutlich reduziert werden kann. Die in Behältern installierten Sensoren werden auch in öffentlichen Behältern für die Sammlung von

Verpackungsabfällen getestet (in etwa 40 Containern in Tallinn). Für Privatkunden könnte diese Lösung zu teuer sein.

Zur Überwachung der von Haushalten erzeugten Abfälle und zur Bewertung der Verhaltensmuster privater Kunden wurden einige Pilottests in Krankenhäusern in Norwegen durchgeführt und sollen in naher Zukunft in Estland durchgeführt werden.

#### *IoT zur Verbesserung der Automatisierung und Prozesseffizienz*

In Estland wird ein fortschrittlichstes Logistiksystem für Abfallsammelfahrzeuge eingesetzt, das neben Informationen über optimierte Wege für die Abfallsammlung auch Meldungen über die Notwendigkeit der Sammlung bereitstellt, sodass die Abholzeit und die Kosten für Kraftstoff, LKW-Material und Personal reduziert werden können. Darüber hinaus wird für Privat- und Geschäftskunden eine hochentwickelte Self-Service-Plattform eingesetzt, auf der das System automatisch berechnet, welche Services an der «Adresse des Serviceempfängers» erbracht werden. Die größte Herausforderung für Systementwickler besteht darin, die Zeitintervalle für die Abfallsammlung korrekt zu berechnen.

Eine neue Sortierlinie wird für die Sortierung verschiedener Arten von Kunststoffabfällen mit Infrarot-Spektroskopie (mittels maschinellen Lernens) getestet. Das System erkennt verschiedene Kunststoffarten und trennt sie durch die Verwendung von Druckluft.

Laut einer schriftlichen Antwort des Eliko Competence Center in Electronics, Info- and Communication Technologies nutzt das Unternehmen Bepco das RFID-System (Radio Frequency Identification), um die wiederverwendbaren Verpackungen seines Abfallmanagementsystems zu überwachen (<http://bepco.ee/rfid-tracking/>). Ausführlichere Videos finden Sie hier: <https://youtu.be/iEfEQsJJ07Q>.

Smartphone-Apps für die Unterstützung der Bürger bei der Abfallwirtschaft sind:

- Informative Webseite (eine App ist auch für Smartphones verfügbar) für Bürger, die zeigen, wo sie verschiedene Arten von Haushaltsabfällen entsorgen können: <https://kuhuviaa.ee/>
- Spiel für Bürger, wie man verschiedene Haushaltsabfälle richtig sortiert: <https://www.energia.ee/prugimang>
- Darüber hinaus ist ein System zur Benachrichtigung über die Lieferzeit für Smartphones in der Entwicklung. Diese Kunden-App würde es den Bürgern ermöglichen, Abfallsammelzeiten zu sammeln und zu planen.

#### *Unterschiedliche Datensysteme für bestimmte Abfallarten*

Die wichtigsten Informationssysteme, die Dienstleistungen in der Abfallwirtschaft in Estland erbringen, sind:

- PROTO – Register problematischer Produkte und Abfälle in Estland
- PAKIS – Verpackungsregister, das Aufzeichnungen über die Verpackung von Waren führt, die auf dem estnischen Markt zirkulieren, die erzeugten Verpackungsabfälle, die Wiederverwendung von Verpackungen, die Verwertung von Verpackungsabfällen usw.
- OJS – Informationssystem für den Umgang mit gefährlichen Abfällen
- JATS – Informationssystem zur Abfallberichterstattung

### 2.3 Abschließende Beurteilung

Die jüngsten technologischen Entwicklungen bieten neue intelligente Lösungen auf allen Stufen der kommunalen Abfallwirtschaft. Die Einführung neuer Technologien hängt jedoch von vielen Faktoren ab, angefangen von den wirtschaftlichen Möglichkeiten bis hin zur allgemeinen Abfallbewirtschaftungsorganisation und den Mustern zur Abfallerzeugung. Laut VJK-Experten haben estnische Abfallunternehmen in den letzten Jahren keine großen Investitionen in die Technologieentwicklung getätigt, da mögliche Entwicklungen in der Abfallwirtschaft eher unklar waren (OSKA, 2019). Bisher wurden in Estland keine spezifischen öffentlichen Förderprogramme (auf Bundes-, Regional- oder Kommunalebene) zur Unterstützung der digitalen Transformation öffentlicher kommunaler Abfallbewirtschaftungsunternehmen gefunden.

### 3 Deutschland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft

Laut dem ECO-Innovation Observatory (2019) ist Deutschland ein etablierter Vorreiter im Bereich Abfallwirtschaft, Recycling und Umwelttechnologien. In jüngster Zeit rückt die Digitalisierung und ihre Potenziale für die Kreislaufwirtschaft sowie den Umwelt- und Ressourcenschutz immer stärker in den Fokus. Das Bundesumweltministerium hat 2020 eine 'Digitale Agenda' ins Leben gerufen.

Außerdem „hat Deutschland noch keinen eigenen Öko-Innovation-Aktionsplan (Eco-AP) entwickelt, dennoch hat es eine Öko-Innovationspolitik umgesetzt. Mehrere Strategien ebnen den Weg für Öko-Innovation, F&E sowie Forschung und Investitionen, riskieren aber, auf einer strategischen Ebene zu bleiben, solange sie nicht von Anreizen und verbindlichen Instrumenten flankiert werden, die die Richtung lenken. Ein neues F&E-Programm wurde gerade unter dem Namen „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft - Bau- und Mineralkreisläufe (Remin) (2020-2024)“ gestartet.

Die [Beobachtungsstelle für Öko-Innovationen](#) veröffentlicht den Index für Öko-Innovationen, der die Ökoinnovationsleistung eines Landes im Vergleich zum EU-Durchschnitt und den EU-Spitzenleistungen<sup>1</sup> zeigt.

Die Bewertung zeigt, dass die Gesamtleistung Deutschlands im Vergleich zu den 27 Ländern und dem EU-Durchschnitt gut ist. Im Jahr 2019 belegt Deutschland den sechsten Platz im Eco-Innovation Index (Abbildung 1 im Link oben). Er hat drei Plätze im Vergleich zum Index von 2017 und sechs Plätze verloren, seit er 2015 den ersten Platz belegte, zählt aber immer noch zu den Öko-Führern.

#### 3.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Deutschland

In Übereinstimmung mit der Bundesstruktur Deutschlands werden Verantwortlichkeiten, Rechenschaftspflicht und Pflichten in Bezug auf die Abfallbewirtschaftung zwischen der Bundesregierung, den 16 Bundesländern sowie Kommunen und Städten aufgeteilt. Das nationale Umweltministerium legt die Prioritäten fest, beteiligt sich auf nationaler und europäischer Ebene an umweltrechtlichen Gesetzgebungsprozessen und überwacht deren Umsetzung, formuliert Strategien zur Umsetzung mit Zielen und definiert Anforderungen an Abfalleinrichtungen. Für die Umsetzung nationaler und europäischer Gesetze sind Bundesländer und Kommunen/Städte zuständig. Zur Umsetzung verabschiedet jeder Staat ein eigenes Abfallwirtschaftsgesetz, das weitere Umsetzungsbestimmungen für Kommunen und Städte des jeweiligen Bundeslandes enthält, soweit dies durch nationale und europäische Rechtsvorschriften zulässig ist. Da es für ganz Deutschland keine zentrale oder einheitliche Abfallbewirtschaftungsplanung gibt, gibt es zum Teil sehr unterschiedliche Abfallbewirtschaftungskonzepte und -Vorschriften auf Landes- und kommunaler Ebene (Europäische Umweltagentur, 2016).

---

<sup>1</sup> Ecol Index ist ein zusammengesetzter Index, der auf 16 Indikatoren basiert, die in fünf Komponenten zusammengefasst sind: Eco-Innovation Inputs, Eco-Innovation-Aktivitäten und Eco-Innovation Outputs sowie ökologische Outcomes und sozioökonomische Outputs.

## Abfalltrennung und Informationen zum Haushalt

Die von deutschen Haushalten erzeugten Abfälle werden dezentral über einen wöchentlichen Tür-zu-Tür-Service gesammelt. Jeder Haushalt wird gebeten, seinen Abfall in meist vier spezielle, unterschiedlich gefärbte Behälter zu trennen:

- Grüne Behälter für Bioabfälle
- Gelbe Behälter zum Verpacken von Abfällen, Kunststoffen und Metallen
- Blaue Papierfächer
- Schwarze Behälter für Restmüll
- Sperrmüll kann entweder direkt an einer zentralen Sammelstelle der Gemeinde abgelegt werden oder wird bei größeren Mengen auch vom Abfalldienst abgeholt.
- Dosen und andere Einweg- und wieder befüllbare Behälter können, wenn sie leer sind, in Supermärkte zurückgebracht werden, um die Kautions für den Kauf dieser Waren zu erhalten. Alle Trinkbehälter mit einigen Ausnahmen für Wein usw. haben eine Kautions.
- Glasabfälle wie leere Weinflaschen werden an zentralen Sammelbehältern in der ganzen Stadt abgelegt.

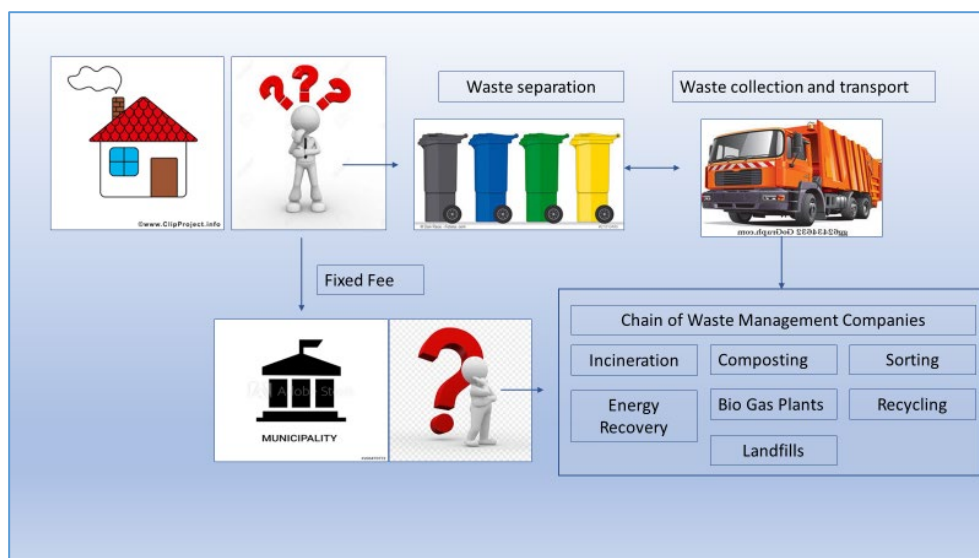


Figure 2: Informationsasymmetrie zwischen Nutzern und kommunaler Abfallwirtschaft (Quelle: Die Autoren)

## Abfallgebühr pro Haushalt

Bürger zahlen in der Regel eine feste Gebühr an Kommunen für die Sammlung von Hausmüll. Die Gebühr wird von den lokalen Behörden festgelegt. In einigen fortschrittlicheren Gemeinden ist die Abfallgebühr vom Gewicht des produzierten Hausmülls abhängig. Dies setzt jedoch erstens voraus, dass der Behälter mit einem RFID-Chip ausgestattet ist und zweitens, dass die Müllwagen das Gewicht beim Entleeren der Mülltonnen mit einer Waage am Stapler messen.

Die Sammlung von Verpackungsabfällen ist für die Bürger kostenlos, da der Hersteller eines Produkts für das Produkt verantwortlich ist, wenn es zu Abfall wird (so genannte „erweiterte Herstellerverantwortung – ERP“). Im Gegensatz zu anderen EU-Ländern gilt das ERP in Deutschland nur für Haushaltsverpackungsabfälle, während in den meisten europäischen Ländern gewerbliche und industrielle Verpackungsabfälle enthalten sind (Europäische Umweltagentur, 2016).

### Sammlung und Transport von Hausmüll

In Deutschland sind Kommunen nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz für die Entsorgung von privaten Hausmüll und gewerblichen Abfällen wie Hausmüll zuständig. Die Verantwortung der Kommunen erstreckt sich auf die Sammlung und den Transport von Abfällen, Maßnahmen zur Förderung der Abfallvermeidung und -Verwertung sowie die Planung, den Bau und den Betrieb von Abfallentsorgungseinrichtungen gemäß den nationalen und regionalen Rechtsvorschriften. Die Dienstleistung kann entweder von den öffentlichen Abfallbewirtschaftungsbehörden selbst oder in Form einer Beauftragung durch Dritte durch PPP-Unternehmen (Private-Public Partnership) oder durch private Abfallbewirtschaftungsunternehmen nach einer Ausschreibung erbracht werden.

Der Markt für Abfallsammlung und -Transport setzt sich aus 52 % der Unternehmen im kommunalen Besitz zusammen, während private Unternehmen einen Marktanteil von 41 % haben und 7 % weiterhin für das PPP-Segment (ASA et al, 2020).

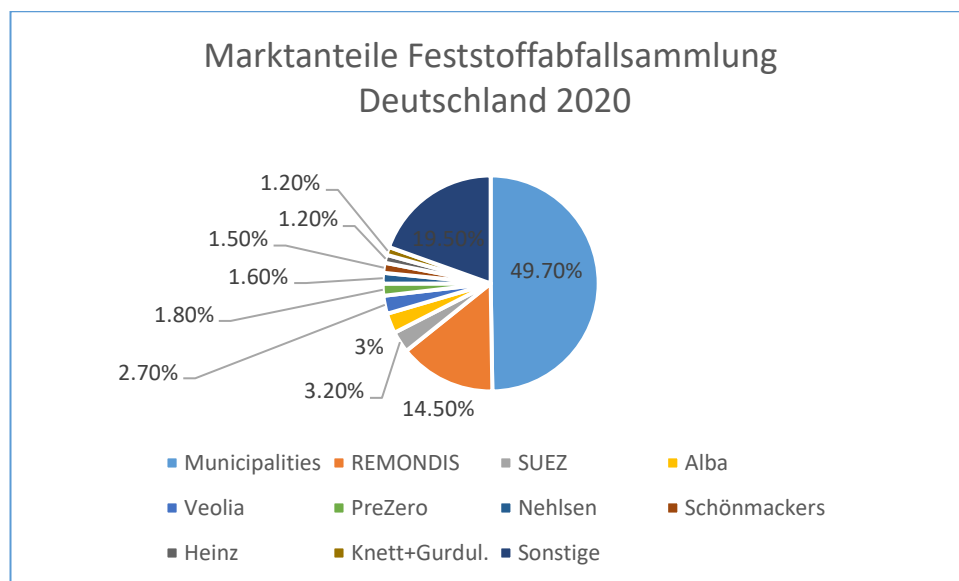


Figure 3: Marktanteile der Sammlung fester Abfälle – Deutschland 2020 (Quelle: EUWID, 2020)

### 3.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft

Aufgrund der dezentralen Organisationsstruktur der deutschen Abfallwirtschaft gibt es keine zentralen Statistiken zu innovativen digitalen Projekten in der kommunalen Abfallwirtschaft. Nur der Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), der Verband kommunaler Unternehmen e.V., führt eine [Kartierung digitaler Anwendungen](#) ihrer Mitgliedsunternehmen durch und veröffentlicht alle Projekte auf seiner Webseite. Die Verwendung des Stichworts „Abfallwirtschaft“ in der Suchfunktion führt zu 23 Best-Practice-Beispielen für digitale

Anwendungen in lokalen Entsorgungseinrichtungen. Darüber hinaus veröffentlichte der Verband Kommunaler Unternehmen e.V. (2019) eine Studie „[Abfallwirtschaft Digital](#)“ mit 18 Best-Practice-Beispielen zur digitalen Abfallwirtschaft. Insgesamt ergeben sich daraus 46 digitale Projekte in der kommunalen Abfallwirtschaft in 43 Kommunen. Diese wurden nach den folgenden Kategorien untersucht:

- Workshops zu digitalen Ideen
- Objekt- und Bilderkennung der Sauberkeit (Datenanalyse)
- Autonome Reinigungsmaschinen und Roboter
- Intelligente Behälter mit Sensoren zur Messung der Befüllung
- Apps zur Abfallberichterstattung oder QR-Codes für Bürger
- Telematiksysteme für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Büros
- Mobile Leistungssensoren erfassen Daten zur Prozessoptimierung

Da keines der aufgeführten Projekte eine Blockchain-Anwendung hatte, wurde Blockchain nicht als explizite Kategorie aufgenommen.

Der Screening-Prozess führte zu folgenden Ergebnissen:

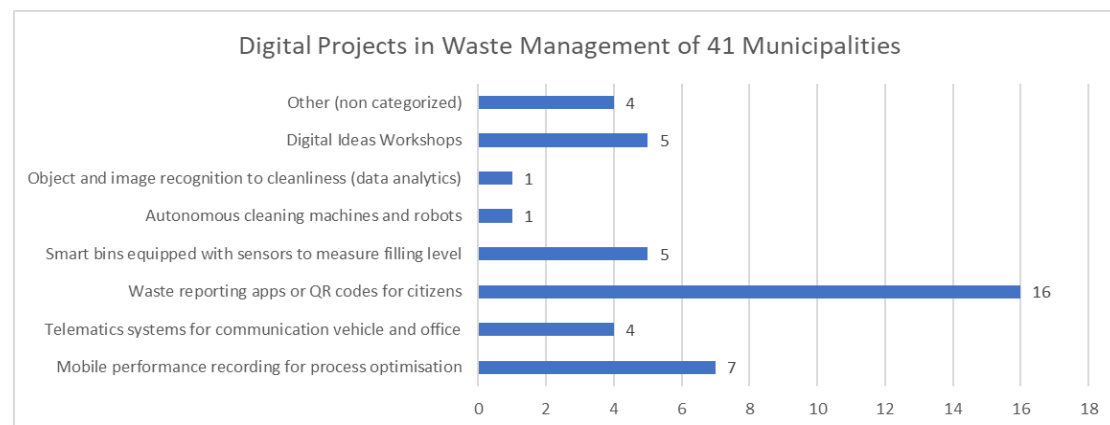


Figure 4: Digitale Projekte in der deutschen kommunalen Abfallwirtschaft (Quelle: Die Autoren auf Basis von Daten aus [der Digitalen Projektkartierung des Verbandes kommunaler Unternehmen e.V. \(2019\)](#)– für detaillierte Statistiken siehe Anhang)

Die meisten digitalen Projekte sind Apps zur Abfallberichterstattung, mit denen Bürger Müll in Parks melden oder sogar Fehler bei der Müllabfuhr melden können. Letztendlich sind dies die ersten vorläufigen Schritte in Richtung Kommunikation und Interaktion mit den Bürgern, obwohl sie die oben erwähnte Informationsasymmetrie noch nicht überwinden. Die meisten dieser Apps sind nicht interaktiv, sondern als kommunikative Einbahnstraße konzipiert. Es gibt in der Regel keine datenbasierte Kommunikationsstrategie, die individuell auf das Nutzerprofil des jeweiligen Haushalts zugeschnitten ist. Eine solche Strategie würde ein völlig neues Selbstverständnis der Kommunen als Dienstleister für Haushalte im Bereich der Abfallwirtschaft bedeuten.

Auch die digitalen Projekte, zu denen die Ausstattung von Abfallbehältern mit Sensoren zur Füllstandmessung gehört, bewegen sich in Richtung der Überwindung von Informationsasymmetrie. Sensoren in intelligenten Mülltonnen ermöglichen es einer Gemeinde, ihren Eigentümern Mülleimer zuzuweisen und die Haushalte über ihre individuelle

Abfallerzeugung pro Monat zu informieren. Durch die Änderung der Gebührenstrukturen von festen Gebühren zu nutzungsabhängenden Systemen würden weitere Anreize für die Vermeidung von Abfall gesetzt. Das Problem wird hier der Datenschutz und das Recht der Bürger auf Privatsphäre sein. Datenschutz und Anonymität wären mit einer Blockchain-basierten Lösung sicherlich einfacher zu erreichen. Grundsätzlich erfordert die Überwindung dieser Hindernisse den Aufbau von Vertrauen zwischen Bürgern und Kommunen, das nur durch innovative Kommunikations- und Beteiligungskonzepte aufgebaut werden kann.

Telematiksysteme für die Echtzeit-Kommunikation zwischen Altlastwagen und Gemeindeämtern gehen Hand in Hand mit einer mobilen Leistungserfassung, die die Prozessoptimierung vorbereiten würde. Altlastwagen könnten heutzutage mit allen modernen IoT-Lösungen ausgestattet werden, die eine Masse an Echtzeitdaten erzeugen.

### 3.3 Abschließende Beurteilung

Unter den Ansätzen zur Digitalisierung der kommunalen Abfallwirtschaft fehlen bis heute folgende Technologien:

- Big-Data-Analyse auf Basis von KI
- Blockchain und Tokenisierung

Grundsätzlich scheinen die bisherigen Ansätze isolierte digitale Projekte zu sein, die kaum in eine kohärente digitale Transformationsstrategie zur Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft integriert sind. Die Ansätze sind weitgehend technologieorientiert und konzentrieren sich nicht auf Bürger und Abfallvermeidung als oberste Priorität. Technologie allein kann dies ohnehin nicht ermöglichen. Dies erfordert eine grundlegende Transformation der Organisation und der Mission der Gemeinden: Ziel aller Aktivitäten und Operationen muss die Abfallvermeidung durch Haushalte, also durch Bürger, sein.



## 4 Griechenland: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft

### 4.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Griechenland

Die Verwaltungsstruktur im Hinblick auf die Abfallwirtschaft in Griechenland umfasst die folgenden Interessengruppen:

- Das Ministerium für Umwelt und Energie (YPEN) ist für die Entwicklung und Umsetzung von Umwelt- und Abfallwirtschaftspolitiken auf nationaler Ebene verantwortlich.
- Das Innenministerium (TYPES) ist für die Aufsicht der dezentralen Verwaltungen (da) und der lokalen Behörden (Regionen und Gemeinden) zuständig.
- Die Hellenic Recycling Agency (HRA) oder „Alternative Waste Management“ ist eine gemeinnützige, von der YPEN überwachte private Einrichtung im öffentlichen Interesse. Ihr Hauptziel ist die Entwicklung, Planung und Umsetzung von Strategien für das Recycling und die Verwertung von Abfällen.
- Die Abfallwirtschaftsverbände (FoDSA) sind die regionalen gemeinnützigen Abfallwirtschaftsgesellschaften, die Gemeinden in den einzelnen Regionen umfassen und für die Entwicklung, Umsetzung und Überwachung der regionalen Abfallwirtschaftspläne verantwortlich sind.
- Kommunen sind für die Umsetzung der Entwicklung und Umsetzung lokaler Abfallbewirtschaftungspläne (basierend auf regionalen Abfallbewirtschaftungsplänen) verantwortlich.
- Extended Producer Responsibility (EPR)-Programme und Producer Responsibility Organizations (PRO), bei denen es sich um private Organisationen handelt, die nach Sektoren gruppiert sind und aus Produzenten bestehen, die gemäß der EPR-Politik haftbar sind. Griechenland verfügt über EPR-Systeme (für MSW) für Batterien, Elektro- und Elektronik-Altgeräte und Verpackungen.
  - Ein pro für die Sammlung von Batterien namens AFIS S.A.
  - Zwei Profis für die Sammlung von WEEE – ANAKYKLOSI S.A. und FOTOKYKLOSI S.A.
  - Vier Vorteile für die Verpackung:
    - ✓ Die Hellenic Recovery Recycling Corporation (HERRCO) ist das am weitesten verbreitete System und verfügt über ein umfangreiches Netzwerk von „blauen Behältern“ für Verpackungsabfälle und ein zweites Netzwerk von „blauen Glocken“ für die separate Sammlung von Glas.
    - ✓ Das Center for Alternative Environmental Management S.A („KEPED“ S.A., griechisch) ist eine Producer Responsible Organisation (PRO), welche eine landesweite Sammlung der Verpackungsabfälle von Schmierölen fördert.
    - ✓ Das lohnende Recycling von Verpackungen, das die getrennte Sammlung von kommunalen Abfällen von Verpackungen über 51 „Recyclinghäuser“ betreibt, die landesweit in großen städtischen Gebieten verteilt sind (siehe Best Practice-Beispiel unten).
    - ✓ Ab Vassilopoulos ist eine Supermarktkette die als Producer Responsible Organisation in Griechenland und Europa, die

Verpackungsabfälle sammelt und eine separate Sammlung von Materialien in integrierten Recycling-Systemen für Verpackungsabfälle (Papier, Kunststoffe, Metall und Glas) anbietet. Das System nutzt landesweit „Recycling-Zentren“ und Rückverkaufsautomaten auf dem Supermarkt-Gelände (ab Vasilopoulos S.A., 2017). Sie bieten den Bürgern finanzielle Anreize für das Recycling (1 Euro pro 33 Pakete) über Handlungsgutscheine.

- ✓ PROs, die ein freiwilliges Einzahlungssystem anbieten, werden auch von der athenischen Brauerei für Bier- und Getränkeflaschen betrieben (HRA, 2019); (athenische Brauerei, 2020).

## 4.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft

Bisher gibt es in Griechenland keine erweiterte Implementierung von IT-Lösungen in MSW. Bestimmte Gemeinden haben mit lokalen Aktionen begonnen, und einige neue Versuche wurden hauptsächlich durch Pilotprojekte angekündigt.

### *Pay-as-you-throw – Pilotanwendung*

Die Gemeinde Elefsina in der Region Attica hat im Rahmen des LIFE-Umweltprogramms (Life + Environment Policy and Governance, 2011) ein Pay-as-you-throw-System (PAYT) implementiert. Die Ergebnisse waren nur mäßig erfolgreich. Laut Vitoraki (2019) waren die Recycling-Infrastruktur und der Komfort für die Bürger nicht angemessen ausgelegt. Es sind Verbesserungen im Sammelsystem erforderlich, um das Recycling für die Bürger einfacher zu machen. Die Tür-zu-Tür-Sammlung ist eine Option, die für bestimmte oder alle Stadtteile geprüft werden muss.

### *Verschiedene Smart Bin-Projekte*

Die Region Chania, Kreta, war an einem LIFE-Programm-Projekt mit dem Titel beteiligt: „Nachhaltiges Abfallmanagement mit IKT-Werkzeugen-LIFE EWAS“ mit dem Ziel, die Abfallsammlung hinsichtlich der Häufigkeit der Sammlung und der Routenplanung zu optimieren. Die Sensoren sendenden Daten über die Füllstände jedes Containers über GPRS.

Die Gemeinden Metsovo und Ziros in Hepirus waren am Projekt INTERNET OF BINS beteiligt, das im Rahmen des Interreg IPA CBC-Programms „Griechenland – Albanien 2014 – 2020“ kofinanziert wird. Das innovative Projekt umfasst drei Elemente:

- Integrierte „intelligente“ Lösung für das Abfallmanagement/Kapazitätsverbesserung: Installation von Smart Waste Management und Telematic Monitoring Equipment (bin Monitoring System-Ultraschall-Füll-Sensoren und Software-Anwendung, Abfallmanagement-Zubehör).
- Reduzierung visueller Störungen: Installation von unterirdischen Abfallsammelsystemen an kritischen Punkten und
- Umweltfreundliche Ansätze zur Abfallwirtschaft: Lieferung und Verteilung von Kompostbehältern (Haushaltsabfallzwecke), Sensibilisierungskampagnen, Optimierung der Abfallwirtschaft und Monitoringpläne (Datenanalyse und Managementplan), mobile und Web-Anwendungen für thematische Informationen.

### *IoT auf Waste Trucks und in der residenten Kommunikation*

Die Gemeinde Halandri war an dem Projekt „Waste4Think“ beteiligt, das durch das EU-Programm „Horizont 2020“ gefördert wurde. Die Abfallwirtschaft der Gemeinde vereint zwei Merkmale:

- Kommunikation mit den Bewohnern, um ihr Engagement zu gewährleisten (aktuelle Website der Gemeinde, Nutzung sozialer Medien, Sensibilisierungsveranstaltungen zur Wiederverwendung und zum Recycling, Sammelplan für die Bewohner).
- IoT in Waste Trucks: GPS- und Informatiksysteme, in Bioabfällen und Papier-/Kartonsammelfahrzeugen.

#### *Verwendung von Haushaltsdaten und Kommunikation mit Wohnsitz*

Die Gemeinde Vari-Voula-Vouliagmeni führte die getrennte Sammlung von sechs (6) Abfallströmen durch. Die Gemeinde hat Verträge mit EPR-Systemen (HERRCO) abgeschlossen und implementiert verschiedene Sammelsysteme entsprechend den Eigenschaften der Haushalte, der Abfallart und der Fläche (Tür-zu-Tür, Bordwand, Gemeinde usw.).

Die Abfallbewirtschaftung und Recycling-Maßnahmen der Gemeinde werden den Bewohnern mitgeteilt, um ihr Engagement zu gewährleisten, unter anderem durch leicht zugängliche Informationen und Richtlinien für die Bewohner über die Website der Gemeinde, soziale Veranstaltungen oder die Unterstützung freiwilliger Zivil- und Umweltschutzgruppen.

#### *Anreize für Bürger und Kommunikation kombiniert mit intelligenten Behältern*

Um das Engagement der Bürger in dem Verfahren zu erhöhen, vergibt die Gemeinde Voula-Vari-Vouliagmeni als Incentives Treuepunkte plus Rabatte auf den Eintritt zu Stränden, auf Kindergartengebühren usw. die Gemeinde implementierte „INTELLIGENTE“ Abfallmanagement-Lösungen einschließlich Telematik zur Optimierung von Sammelwegen, Und „INTELLIGENTE“ Behälter mit Sensoren, die den Füllstand und die Position der Behälter anzeigen.

Die Gemeinde Vrilissia führt eine getrennte Sammlung von zwölf (12) Abfallströmen durch. Die kontinuierliche und innovative Kommunikation und Verbreitung der Abfallwirtschaft und des Recyclings der Gemeinde soll das Engagement der Bewohner sicherstellen, unter anderem:

- Eine Online-Plattform zur Sensibilisierung, Information und Aufklärung der Bewohner über Kompostierung, ordnungsgemäße getrennte Sammlung von organischen Stoffen usw.;
- Leicht zugängliche Informationen und Richtlinien für die Bewohner über die aktuelle Website der Gemeinde, soziale Veranstaltungen, Workshops;
- Die Nutzung der kommunalen Belohnungsplattform „Follow Green“ zur Förderung des Recyclings durch die Schulung und Schulung der Bewohner durch Spiele, Artikel zum Recycling usw. und die Bewertung von Punkten, die bei lokalen Unternehmen eingelöst werden können;

#### *Datenerfassungsplattform zur Überwachung der Abfallströme und des PAYT-Gebührensystems*

Heraklion (GR) und die Region Kreta waren an dem Projekt „WIN – POL“ (Waste Management Intelligent Systems and Policies, PGI04924) beteiligt, das von Interreg Europe 2014-2020 finanziert wurde. Das Projekt zielt darauf ab, das Abfallmanagement in europäischen Städten

durch den Einsatz von IoT- und Anreizsystemen zu verbessern. Mit der Erstellung von sechs Aktionsplänen, die jeweils in einer der sechs ausgewählten Städte umgesetzt werden, hat WINPOL einen wichtigen Meilenstein erreicht. Im Fall von Heraklion werden die folgenden Maßnahmen umgesetzt und getestet:

- Ein innovatives System zur Erfassung von Daten zur Sammlung von Bioabfällen
- Eine Plattform zur Überwachung der Abfallströme und Optimierung der Lieferkette auf kommunaler Ebene
- Eine Plattform, die die an den Green Points auf regionaler Ebene gesammelten Abfälle überwacht und Daten mit den Nutzern teilt
- Einführung von PAYT-Systemen zur Finanzierung von Kommunen

Die Region Attica hat eine Ausschreibung für die Entwicklung einer digitalen Remote-Plattform angekündigt, die für die Integration von Belohnungsprogrammen zum Thema Recycling-Bewusstsein verwendet werden soll - mit Recycling-Ecken und Oberflächen- und unterirdischen Abfallsystemen.

Auf der Remote-Plattform werden alle Daten aus Recyclingecken, von Bürgern, Kommunen und allen anderen beteiligten Akteuren in einem einzigen Informationssystem zusammengefasst. Die Informationen werden von der Plattform verarbeitet, um Verfahren zu formulieren und die Ergebnisse zu präsentieren und den beteiligten Parteien mitzuteilen.

Die Hauptfunktionen der Plattform sind:

- Kommunikation mit den Recycling-Ecken, die Teil des Netzwerks sind, und insbesondere mit lokalen Kontrollstellen oder Geräten (lokale Managementkonsolen – KTD)
- Kommunikation mit Bürgern und Recyclern über die Website, Apps usw.
- Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit.
- Belohnung der Bürger auf der Grundlage der Abfälle, die durch die vertraglich vereinbarten Recycling-Ecken recycelt werden.
- Erfassung der Abfallmengen, die von der Recycling-Ecke, vom Benutzer und von der Gemeinde gesammelt wurden.
- Warnung „Bucket voll“ und Routenoptimierung für die Erfassung. Um die Sammelwege zu optimieren, wird in jedem Müllwagen ein Tablet mit maßgeschneiderter Software platziert. Die Software erhält Daten über den Füllstand von Behältern, die nach Recyclingecke und Materialbehälter aufgeschlüsselt sind. Basierend auf diesen Daten, aufgeschlüsselt nach Einheiten, die Wertstoffe sammeln, und verfügbaren Lkw, konfiguriert die Software jeden Tag optimale Sammelwege und leitet sie je nach Vereinbarung mit den Abholstellen entweder an die jeweiligen Sammelstellen oder an die Tablets der Lkw weiter.

Die Plattform wird ständig aktualisierte Datensätze verarbeiten und in der Lage sein, diese je nach interessiertem Publikum zu bearbeiten und zu visualisieren. Darüber hinaus wird die Plattform in der Lage sein, sich mit allen anderen intelligenten Sortiersystemen an der Quelle von recycelbaren Materialien (wie statischen oder mobilen Grünflächen) oder mit anderen digitalen Plattformen für Recycling-Belohnungen zu verbinden.

Die Hellenische Recyclingagentur (HRA/EOAN) hat mit der technischen Unterstützung von D-Waste eine neue spezialisierte Plattform namens „GRE-CYCLE“ entwickelt, die es den Bürgern

ermöglicht, schnell, einfach und verantwortungsvoll über spezifische Recyclingfragen informiert zu werden. Benutzer können auch in Sekundenschnelle Fotos und Kommentare zu bestimmten Recyclingproblemen über ihr Mobiltelefon senden. Die Anwendung ist für iOS und Android verfügbar und kann von kostenlosen Online-Shops heruntergeladen werden. Die App wurde mit Open-Source-Software entwickelt. Speziell zur Visualisierung von Daten wurde Google Maps in Verbindung mit Open-Source-CMS eingesetzt.

### 4.3 Best-Practice-Beispiel „Recycling von Verpackungen belohnen“

Die bekannteste IT-Lösung im Rahmen der erweiterten Herstellerverantwortung stammt von einer Producer Responsible Organisation namens „Belohnende Verpackungsrecycling“ (RPR), die ein Netzwerk von 51 „Recyclinghäusern“ in den wichtigsten städtischen Gebieten landesweit eingerichtet hat.

RPR betreibt ein integriertes, separates Sammelsystem mit einem Netzwerk von Rückverkaufsautomaten (RVM), nämlich „Rewarding Recycling Centers“ (RRCs) oder „Recycling Houses“, die in leicht zugänglichen öffentlichen Bereichen installiert sind. Jeder RRC nimmt eine Fläche von ca. 11 m<sup>2</sup> ein und ist für Verpackungsabfälle von im Wesentlichen vier Abfallströmen ausgelegt: Kunststoff, Metall, Glas und Papier/Karton, während in einigen RRC kürzlich eine zusätzliche Bestimmung für die Verpackung von Holz (hauptsächlich Paletten) vorgesehen wurde. RRC hält die entsorgten Materialien getrennt und reduziert ihre Größe (Glaszerschlagung, Pressen von Dosen und Pressen oder Zerkleinern von Kunststoffen), während er seinen Nutzern eine Geldprämie bietet (1 € pro 33 Stück), Der entweder als Rabattgutschein in kooperierenden Supermärkten angeboten wird oder an Wohltätigkeitsorganisationen gespendet werden kann.

Der pro überwacht die Abfallbewirtschaftung, wie die Sammlung, Übertragung, Behandlung, Personal- und Gerätewartung, die von Auftragnehmern angeboten werden. Darüber hinaus ist die Producer Responsible Organisation für die Meldung der Daten an die EOAN (Greek Recycling Organization) verantwortlich. Die kooperierenden Gemeinden sind für die Bereitstellung von Strom für den Betrieb der Geräte verantwortlich, wenn sie an öffentlichen Orten installiert werden.

Die pro erreichte einen neuen Guinness-Weltrekord für die „meisten Glasflaschen, die in einer Woche recycelt wurden“ und den zweiten Guinness-Weltrekord für die „meisten Kunststoffflaschen, die in einer Woche recycelt wurden“. Das weltweit erste mobile „Recycling-Haus“, dessen Betrieb auf Solarenergie basiert, wurde 2020 gegründet, sodass der Service an der gesamten Riviera von Athen eingesetzt werden kann.

### 4.4 Abschließende Beurteilung

IT-Lösungen in Griechenland wurden teilweise im Rahmen von Pilotprojekten umgesetzt. In den letzten zwei Jahren haben einige Kommunen begonnen, intelligente Technologien einzusetzen, um hauptsächlich die Sammlung und Trennung von Abfällen zu optimieren, aber es muss in naher Zukunft viel getan werden, um die Ziele des revidierten NWMP zu erreichen. Die laufenden Forschungsprojekte sind vielversprechend. Ihre Ergebnisse wurden jedoch noch nicht ausgewertet. Das neue Wirtschaftsinstrument, das Pay-as-you-throw (PAYT), das nach

dem revidierten NWMP in naher Zukunft umgesetzt werden soll, verlangt, dass viele technologische Veränderungen regelmäßig eingeführt werden.

## 5 Niederlande: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft

### 5.1 Organisation der niederländischen kommunalen Abfallwirtschaft

In den Niederlanden werden Abfälle von oder im Auftrag von Kommunen aus Haushalten gesammelt. Da Abfälle aus Geschäften und ähnlichen Betrieben häufig gleichzeitig mit Hausmüll gesammelt werden, wird ein (kleiner) Anteil nicht aus Haushalten stammen. Der Abfall wird von Tür zu Tür gesammelt. Dazu gehören auch (sperrige) Restmüll aus dem Haushalt, der über (unterirdische) Sammelbehälter gesammelt wird. Recycelbare Abfälle werden auf Straßenanlagen (wie Glasbehältern), städtischen Höfen oder Umweltstraßen abgesetzt.

Im Rahmen der öffentlichen Politik für Haushaltsabfälle 2025 (VANG-HHA, 2014) verpflichtete sich die niederländische Politik zum Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft und zur möglichst Schließung der Rohstoff- und Materialketten. Ziel ist es, dass im Jahr 2020 maximal 100 kg grober und feiner Restmüll pro Einwohner und Jahr in die Endverarbeitung (Verbrennung) gehen. Bis 2025 soll dieser auf maximal 30 kg Restmüll pro Jahr weiter reduziert werden.

Das Durchführungsprogramm umfasst verschiedene Aktionslinien, um eine größere Abfalltrennung und weniger Hausmüll zu erreichen:

- Kettenparteien arbeiten zusammen, um Ketten zu schließen. Der Kettenansatz konzentriert sich in erster Linie auf die Produkte, die in der End-of-Life-Phase zum Hausmüll gehören. Einige Produkte werden auch in anderen Abfallströmen (z. B. Büroabfall) gefunden.
- Reduzierung der Menge an Material, das die Kette als Restmüll aus Haushalten verlässt, Reduzierung der Menge an Material, das die Kette als Restmüll aus Haushalten verlässt.
- Verursacher bezahlen lassen. Unternehmen und Bürgern wird Raum gegeben, und Marktversagen wird angegangen.
- Anregung und Erleichterung innovativer Unternehmen und Organisationen, gemeinsam einen nachhaltigen Ehrgeiz zu formulieren und konkrete Schritte zur Umsetzung dieses Ehrgeizes zu Unternehmen.

Das Verursacherprinzip wurde mit dem DIFTAR-Gebührenmodell umgesetzt, das die meisten Kommunen nutzen. DIFTAR ist die Abkürzung für „Differentiated Tarifs“, d. h. Haushalte oder juristische Personen zahlen unterschiedliche Tarife für unterschiedliche Abfallarten auf der Grundlage von Beträgen. Je mehr Restmüll und andere Abfälle vorhanden sind, die nicht recycelt werden können, desto höher ist die Gebühr für die Abfallsammlung. Im Gegensatz dazu führt das Angebot von weniger Abfall zu einer niedrigeren variablen Entsorgungsgebühr, aber die feste Gebühr bleibt die gleiche.

Im Jahr 2019 zahlte ein niederländischer Haushalt durchschnittlich €244 pro Jahr für die Abfallbewirtschaftung der Gemeinde. Aber die Gebühren variieren extrem von Gemeinde zu Gemeinde. Kommunen mit geringen Abfallbewirtschaftungskosten haben in der Regel eine Tariffdifferenzierung bei der Abfallversorgung (DIFTAR) eingeführt. In DIFTAR-Gemeinden trennen die Einwohner ihren Abfall in der Regel konsequenter, was zu einer geringeren Restmüllmenge führt.

## 5.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft

In den Niederlanden gibt es mehrere Anbieter, die komplette Abfallmanagement-Lösungen für kommunale Umwelt- und Reinigungsdienstleistungen anbieten. Dazu gehören fortschrittliche technologische Lösungen für die Sammlung von Hausmüll, Routenplanung, Fahrzeugtechnik (Straßenrand und RFID), Sommer- und Winterdienste sowie Kundenbetreuung. Die Anbieter haben ihre eigenen Plattformen entwickelt, die das Lieferantenmanagement, die Überwachung der Service-Level, das dynamische Reporting und die Analyse unterstützen. Dadurch können Kommunen die verfügbaren Budgets optimal nutzen, indem sie Routen optimieren, Container verwalten und die Erfassung in Echtzeit visualisieren. Sie bietet Echtzeitzugriff auf Kunden- und Servicedaten, sodass Anfragen sofort bearbeitet werden können. Dies minimiert (entgangene) Leerfahrten und verbessert den Kundenservice. Sie bieten individuellen, passwortgeschützten Zugriff auf eine Umgebung, in der konfigurierbare, kundenspezifische Informationen gespeichert werden. Dazu gehören die Häufigkeit der Erfassung, der Service-Verlauf, zusätzliche verfügbare Services, Beschwerden oder Fragen, Änderungen oder Nachrichten, Und ggf. den Konto- und Rechnungsstatus, einschließlich Kontoauszügen, Rechnungen und Online-Zahlungsoptionen.

### *Mobil- und Fahrzeuglösungen*

Fahrzeuflösungen können auf die funktionalen Anforderungen und das Budget jeder Gemeinde zugeschnitten werden. Routendaten werden von Tablets gelesen. Fahrhinweise und Interaktion mit der Verwaltung werden ebenso unterstützt wie Fahrzeugtechnik zur Überwachung der Service-Performance, entweder eigenständig oder in Kombination mit RFID. Eine Reihe von Lieferanten bieten zudem ein eigenes zertifiziertes Wägesystem für die Abfallsammlung an, das vollständig in die Back-Office-Lösung der ERP-Systeme integriert ist. Die Zahlung erfolgt auf der Grundlage von Gewichts-/Häufigkeitskontrollen (DIFTAR) oder Recycling-Überwachungsprogrammen.

### *Blockchain-Lösung zur Überwachung des grenzüberschreitenden Abfalltransports*

Um die Überwachungskosten im Zusammenhang mit dem europäischen Abfalltransport zu reduzieren, wollte das niederländische Ministerium die Blockchain-Technologie mit bestehenden IT-Systemen kombinieren. Auf diese Weise können die Inspektionsbehörden einen wesentlichen Teil ihrer Aufgaben automatisieren. Dadurch werden Wissen und Fachwissen für andere wichtige Aufgaben freigesetzt, die (noch) nicht ohne menschliche Hilfe ausgeführt werden können. Der Proof of Concept der Blockchain-Anwendung soll zeigen, dass die Blockchain-Technologie genutzt werden kann, um Effizienz und Transparenz im grenzüberschreitenden Abfalltransportprozess in der EU zu schaffen. Außerdem sollen die Überwachungskosten im Zusammenhang mit dem europäischen Abfalltransport gesenkt werden. Die Blockchain-Attribute sind:

- Genehmigungsanträge werden durch eine Expertenmaschine für künstliche Intelligenz überprüft, verifiziert und akzeptiert.
- Waagen, die über das Internet der Dinge verbunden sind, kommunizieren das Gewicht an den Prozess und die Genehmigung.
- Permit-Daten werden mit allen Stakeholdern geteilt und bestimmen die nächsten Aufgaben im Prozess auf der Blockchain.



### 5.3 Beispiele für Best Practices

#### *OpenWaste - eine Sammelplattform für Profis*

Aufgrund der erweiterten Herstellerverantwortung auf dem Markt für gewerbliche Abfälle fahren verschiedene Abfallsammler (herstellereckende Organisationen) die gleiche Strecke in Stadtzentren, um ihre eigenen Kunden zu bedienen. Oft fahren sie auch im Zusammenhang mit Lieferzeitfenstern hintereinander. Durch die Bündelung der Sammlung gewerblicher Abfälle durch verschiedene Sammler und deren Abholung mit einem neutralen Müllwagen kann die Zahl der Transportbewegungen in schwierigen innerstädtischen Gebieten um mehr als 60 Prozent reduziert werden, ohne dass der Endkunde etwas bemerkt.

OpenWaste ermöglicht pro-Teilnehmern die zentrale Registrierung für die gemeinsame Sammlung von Industrieabfällen in einer Innenstadt oder einem Gewerbegebiet durch ein einziges neutrales Fahrzeug (White Label). Dies führt zu weniger Verkehr und weniger schädlichen Emissionen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Feinstaub).

#### *Gemeinde Apeldoorn - Recyclingservice 2025*

Die Schlüsselemente des Recycleservice 2025 sind: Umgekehrte Sammlung mit High-Level-Service für getrennte Ressourcen und Pay-as-you-throw für Restmüll. Die umgekehrte Abholung bedeutet einen hochwertigen Service für Wertstoffe (Abholung an der Bordsteinseite über Mülltonnen) und einen geringen Service für Restmüll (die Mitarbeiter bringen ihn zu den Rückgabestellen). Wenn die Leute einen höheren Service für feinen Restmüll (Wheelie-bin zu Hause) wählen, können die Mülleimer nach Ankündigung geleert werden, aber sie zahlen eine höhere Abfallgebühr

Die ersten Ergebnisse, die nach der Umsetzung der neuen Politik in nur der Hälfte der Stadt Apeldoorn erzielt wurden, sind sehr vielversprechend. Von 123kg Feinabfällen pro Kopf und einer Trennungsrate von 66 % im Jahr 2017 ging der Feinabfall auf 89kg pro Kopf zurück und die Trennungsrate stieg auf 74 % (WINPOL, 2019, S. 53).

#### *Municipality of Amsterdam - Objekterkennung, um die Müllabfälle zu erkennen*

Ab Anfang 2020 begann ein engagiertes Team (Ontwikkelteam Openbare Ruimte), an der produktiven und hochwertigen Nutzung des Objectdetection-Kits zu arbeiten. Dies begann mit dem Einsatz des Objectdetection-Kits in einem Ansatz zur Reduzierung und Vermeidung der Abfallverschmutzung um den Abfallbehälter. In einer Nachbarschaft wird täglich nach Abfall gescannt. Diese Nachbarschaft hat 300 Standorte mit Abfallbehältern und es dauert 2 Stunden, um alles zu scannen. Dies liefert Einblicke in die übersäten Standorte. Derzeit verwendet Amsterdam die Daten mehrerer Wochen, um die problematischsten Standorte zu definieren. Diese Standorte unterliegen dann konkreten Maßnahmen wie Sonderaktion oder Straßenbusse (WINPOL, 2019, S. 20).

#### *Stadt Amsterdam – Austausch von Abfalldaten mit der Öffentlichkeit*

Amsterdam verfügt über ein offenes Echtzeit-Datenportal für Abfälle. Sie hat mit jedem Anbieter eine Vereinbarung getroffen, dass die erhobenen Daten der Öffentlichkeit gehören, zugänglich und verständlich sind. Stakeholder und Lieferanten können problemlos auf die erforderlichen Daten zugreifen. Amsterdam hat wertvolle Daten für verschiedene

Arbeitnehmer in der Stadt erhalten: Z. B. Stadtplaner, Gesetzesvollstrecker, Sozialarbeiter. Sie alle können die Daten nutzen, um ihre Aktivitäten zu verbessern. (WINPOL, 2019, S. 29).

## 5.4 Abschließende Beurteilung

In den Niederlanden haben die Aufmerksamkeit, die der Kreislaufwirtschaft und dem konkreten 100-Kilogramm-Ziel für Haushaltsrestabfälle im öffentlichen Rahmen geschenkt wurde, viele Kommunen dazu gebracht, an Plänen für DIFTAR und/oder Rückgewinnung zu arbeiten. Es gibt auch viele Pläne für die Nachsammlung. Fast die Hälfte der Gemeinden hat bereits DIFTAR und/oder Reverse Collection eingeführt, und rund vierzig arbeiten mit einer Kombination aus Quelle und Post-Separation.

Es gibt auch einige Hürden und Dilemmas zu berichten. Viele Bewohner und Verwalter glauben, dass eine Trennung der Quellen nicht mehr notwendig ist, was die Pläne in diese Richtung untergräbt. Aber die Nachtrennung ist keine Lösung für Papier, Glas und vor allem nicht für VGF. Die organische Abfallkomponente wird zwar in geringem Umfang während der Nachtrennung fermentiert und in Biogas umgewandelt, für den verbleibenden (verunreinigten) Gärresten gibt es jedoch noch keine zirkuläre Lösung. Zudem kann das PMD aus der Nachtrennung nicht einfach als wirklich hochwertiger Rohstoff verwendet werden, insbesondere wegen der Trennungsprobleme, Verschmutzung und Geruchsbildung durch den organischen Abfall.

Ein weiteres Hindernis für den städtischen Kreislauf sind die Verordnungen und Vereinbarungen, die Gemeinden daran hindern, Industrieabfälle zu entsorgen, die dem Hausmüll ähneln. Dies führt zu großen Nachteilen wie ineffizienter Sammlung, Unannehmlichkeiten durch die vielen Sammelfahrzeuge und vor allem zu schlechter Trennung und Recycling von Industrieabfällen. Es scheint, dass die Niederlande in dieser Hinsicht international eine negative Ausnahme darstellen. Hier gibt es also erhebliche Chancen.

Auf der anderen Seite wird der Zirkularität viel Aufmerksamkeit geschenkt, die ganz oben auf der kommunalen Agenda steht. Digitale Innovationen beschränken sich derzeit auf IoT und Datenerfassung, für Erkenntnisse, effizientere Verwaltungsprozesse und vor allem für die Routenoptimierung. Der Einsatz von Technologie ist immer noch fragmentiert und wenig oder nichts davon ist darauf ausgerichtet, die Kette zu schließen.

Blockchain-Anwendungen im Siedlungsabfall sind noch nicht verfügbar, aber es wird erwartet, dass diese Anwendungen mit der weiteren Digitalisierung und Technologisierung der Industrie nicht mehr lange in der Zukunft sein werden.

## 6 Spanien: Stand der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft

### 6.1 Organisation der kommunalen Abfallwirtschaft in Spanien

In Spanien liegt die Verwaltung von Siedlungsabfällen in erster Linie in der Verantwortung der lokalen Behörden und in größerem oder geringerem Umfang der Autonomen Gemeinschaften. Die Herausforderung für die Verwaltungen besteht darin, effiziente Managementmodelle zu formulieren, die es ihnen ermöglichen, die Verpflichtungen und rechtlichen Ziele zu erfüllen, die sich aus den vielfältigen gemeinschaftlichen, nationalen und autonomen gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften ergeben, die diesen Abfall betreffen.

Die Kontroll-, Inspektions- und Überwachungssysteme haben sich in den letzten Jahren verbessert, sind aber immer noch unzureichend. In diesem Bereich ist die Aktion des Naturschutzdienstes (SEPRONA) hervorzuheben, mit dem die Verwaltungen eng zusammenarbeiten müssen.

Auf staatlicher Ebene verfügt Spanien über kein Anreizsystem, das Kommunen und Haushalte für die Vermeidung oder Reduzierung der Abfallproduktion belohnt. Die Gebühren für die Abfallsammlung in Spanien variieren geografisch und liegen zwischen 25 und 52 € pro Jahr. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das durchschnittliche jährliche Bruttogehalt in Spanien laut INE 24.009,12 € beträgt, liegen die Ausgaben für die lokale Abfallsammelgebühr zwischen 0,10 % und 0,22 %, was eine geringe Gebühr ist. Trotz der niedrigen Gebühren nehmen illegale Deponien im Land exponentiell zu.

Im Rahmen des Programms zur erweiterten Herstellerverantwortung haben einige Profis ein Pfandsystem für recycelbare Abfälle eingerichtet, das die Bürger für die Rückgabe von Behältern nach der Verwendung belohnt. In Valencia ist die Belohnung die Wiederaufladung der virtuellen Waage oder „reciclos“ als Gegenleistung für jeden Container, der entweder zu herkömmlichen gelben Behältern oder zu speziellen Ablagemaschinen an Bahnhöfen, Einkaufs- und Freizeitzentren recycelt wird. Die Belohnung von „reciclos“ ist einlösbar für Transportgutscheine, Gutscheine, die in Geschäften vor Ort ausgegeben werden oder für die Nutzung von Elektrorollern.

### 6.2 IT-Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft

Auf staatlicher, regionaler oder lokaler Ebene gibt es in Spanien keine öffentlichen Förderprogramme zur Förderung der Digitalisierung in der Abfallwirtschaft. Städte, Gemeinden und Kommunen haben versucht, sich an EU-Projekten zu beteiligen, um Mittel für innovative Lösungen zu erhalten. Andernfalls wird der Innovationsprozess vom kommerziellen Sektor angetrieben.

#### *IoT – Intelligente Mülleimer und LKWs*

In Bezug auf IoT für die Abfallwirtschaft nutzen viele Abfallmanager dieses Tool. Einige Städte, wie Sevilla oder Barcelona, haben sich bereits für die Entwicklung dieser Art innovativer Lösungen entschieden, die erhebliche Kosteneinsparungen erzielen und gleichzeitig die Emissionen von CO<sub>2</sub> und die Unannehmlichkeiten durch den Verkehr mit der Abfallsammlung oder Störungen der Ruhezeiten der Menschen verringern.

Das Unternehmen Hirisens, ein Umweltkontrollunternehmen, das sich auf die Suche nach technologischen Lösungen auf Basis des Internets der Dinge spezialisiert hat, hat einen neuen Service namens Hiriwaste entwickelt. Diese Lösung basiert auf der Platzierung eines Sensors in Abfallbehältern und dessen anschließender Anbindung an seine IoT-Plattform, die im Webformat arbeitet. Dadurch kann der Status jedes Containers in Echtzeit visualisiert werden. Es verbessert die Effizienz der Sammlung, hilft bei der Optimierung der Sammelwege und führt zu einer Steigerung der Benutzerzufriedenheit. Das System kann auch an andere Abfallarten angepasst werden.

#### *Gemeinsame Nutzung von Abfalldaten über Plattform- und Datenanalysetools*

Im Hinblick auf Big Data hat Minsait gemeinsam mit Ecoembes, dem Unternehmen, das für die Rückgewinnung und das Recycling von Kunststoffen, Dosen und Ziegel sowie Karton und Papier in Spanien verantwortlich ist, 2018 eine Datenplattform geschaffen, die für Stakeholder der Abfallkette konzipiert wurde, um den Zugriff auf Daten gemeinsam zu nutzen. Datenanalysetools verwandeln Rohdaten in Wissen für öffentliche Manager, die sie für eine bessere Planung und Entscheidungsfindung nutzen, wenn sie beispielsweise dynamische Sammelwege einrichten, die an die Erhöhung oder Verringerung des Abfalls pro Strecke oder pro Container angepasst werden können, Abhängig von der Jahreszeit oder der demographischen Zusammensetzung des Gebiets, dank der Schätzungen, die auf der Grundlage der gesammelten Daten gemacht wurden.

#### *Pilotanwendungen der Blockchain-Technologie*

HEURA hat zusammen mit Signeblock die Blockchain-Technologie auf das Recycling von Agrarabfällen angewendet. Es ist eine Lösung, um die Rückverfolgbarkeit und Optimierung des Managements von Verpackungen, die in landwirtschaftlichen Prozessen verwendet werden, zu gewährleisten, den Umweltschutz zu verbessern und effiziente Kreislaufwirtschaftsmodelle zu generieren.

Anfang 2021 kündigten Ecoembes und Minsait die Einrichtung eines Blockchain-Netzwerks an, um die Transparenz zu erhöhen und die Zusammenarbeit in der Kreislaufwirtschaft zu fördern. Dies ist ein Projekt, das eine große Herausforderung bei der technologischen Innovation darstellt und erhebliche Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit haben wird. Dieses Netzwerk aus verteilten Registern wird es ermöglichen, öffentliche Verwaltungen, lokale Einrichtungen, Betreiber, Recycler und andere Organisationen zu unterstützen, alle Daten im System sicher auszutauschen und zu kontrollieren und alle Transaktionen im Zusammenhang mit dem Abfallsortierungsprozess zu beschleunigen.

#### *Mehrere Smartphone-Apps zur Unterstützung*

Es gibt eine Vielzahl von mobilen Anwendungen, die hauptsächlich von Profis angeboten werden, um Bürgern beim Recycling zu helfen:

- App "Recicla y suma" (Recycle and add up), die Spanier für das Recycling bezahlt. Die Firma PENSUMO, Promoter innovativer Geschäftsmodelle in der Kreislaufwirtschaft und Top SDG 8 des spanischen Global Compact Network, bricht mit einem neuen einfachen, aber wirkungsvollen Vorschlag ein: „Sie recyceln, wir zahlen“.
- Die App „RECICLA“ informiert registrierte Nutzer darüber, wie Prepaid-Recycling und welche Abfälle nachgefragt werden. Es wird mit einer Million für das Prepaid-Recycling beginnen (ab 0,02 € und bis zu 1 €). Der Prozess wird durch ein Foto initiiert,

das über die App gesendet wird, in dem das zu recyclebar zu verwertenden Material mit dem Behälter im Hintergrund erscheint.

- Die App „EMTRE“ wird in der Valencianischen Gemeinschaft von der Metropolitan Entity for Waste Treatment (EMTRE) getestet und informiert die Nutzer über den Weg zum nächsten Ökopark. Wie oft sie in den letzten Monaten im Ökopark waren oder welche Art von Abfall, der recycelt werden soll, sie produziert haben.

### 6.3 Beispiele für Best Practices

#### *Gemeinde Gijón – Identifizierung des Benutzers von Öko-Parks*

Die Praxis besteht aus der Installation von Zugangskontrollmechanismen und der Registrierung von Einzahlungen auf einer zivilen Freistellungs-Website (CAS). Das System ermöglicht die Zugangskontrolle über einen Ausweis. Darüber hinaus müssen die Benutzer die Art des zu entleerenden Abfalls sowie dessen Menge registrieren.

Um die Eintritte in öffentliche Einrichtungen und die Einlagen von Bürgern und Unternehmen kontrollieren zu können, ist es notwendig, ein Zugangskontrollsystem einzurichten. Dies ermöglicht die Kontrolle darüber, was, von wem und wie oft geliefert wird. Es ermöglicht das Blockieren des Zugriffs für Benutzer, die den Dienst missbrauchen. In Zukunft könnte es die Einführung eines Pay-as-you-throw-Systems erleichtern.

#### *Municipality Gijón – Smartphone-Apps*

EMULSA hat zwei kostenlose mobile Apps für die Stadt Gijón entwickelt – die Bürgerapplikation und die Re-Us-App – und eine Karte nachhaltiger Unternehmen im Rahmen des Strategischen Geschäftsplans und des kommunalen Abfallbewirtschaftungsplans von Gijón. Das Hauptziel besteht darin, das von der Europäischen Union für das Jahr 2020 festgelegte Ziel von 50 % Wiederverwendung und Recycling zu erreichen. Diese drei Projekte verhindern auch Fehlkommunikation mit den Bürgern.

#### *COGERSA SAU - „COOMIDA“ -App erleichtert Lebensmittelspenden*

COOMIDA ist ein innovatives technologisches und kooperatives Instrument, das darauf abzielt, die Nahrungsmittelspende (einschließlich überschüssiger Lebensmittel) zu erleichtern und so die Lebensmittelverschwendung zu reduzieren. COOMIDA verbindet lokale Spender, Lebensmittelbanken, Freiwillige und Wohltätigkeitsorganisationen über ein kollaboratives Netzwerk für ein effizientes und nachhaltiges Management von Lebensmittelspenden. COOMIDA ermöglicht es Spendern und Wohltätigkeitsorganisationen, den Kontakt direkt zu halten; dadurch können Zeit, Emissionen und Ausgaben reduziert werden. COOMIDA ermöglicht auch die Rückgewinnung von wenig und entfernten Spenden, die sonst die Kapazität der Food Bank übersteigen könnten.

### 6.4 Abschließende Beurteilung

Obwohl es kein zentrales Förderprogramm der Bundesregierung für die Digitalisierung der kommunalen Abfallwirtschaft gibt, gibt es eine beträchtliche Anzahl dezentraler lokaler Initiativen von Kommunen oder Regionen mit innovativen Ansätzen. Diese dezentralen Lösungen sollten systematisch gefördert und ihre Übertragbarkeit auf andere Regionen geprüft werden. Viele der Initiativen stammen aus dem privaten Sektor oder basieren auf dem

freiwilligen Engagement von NRO. Insgesamt gibt es einen positiven Trend zu einem sich ändernden Umweltverhalten, obwohl dieser Trend durch den verstärkten Einsatz neuer Technologien noch unterstützt werden könnte.

Mit der verstärkten Nutzung von IoT, sei es auf Müllfahrzeugen oder in Mülltonnen, wurde der Grundstein für eine zukünftige Anbindung an eine Blockchain-Datenbank gelegt.

## 7 Benchmarking-Ergebnisse mit anderen Studien

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorangegangenen Analyse des Status quo in der digitalen Transformation in der Abfallwirtschaft in fünf Ländern mit den Ergebnissen anderer Länder verglichen.

### 7.1 EIONET-Bericht „Digitale Abfallwirtschaft“

Der EIONET Report 2020 von Berg und Sebestyén (2020) mit dem Titel „Digitale Abfallwirtschaft“ analysiert den Status quo, Chancen und Risiken, die sich aus der digitalen Transformation der Abfallwirtschaft ergeben. Die Haupttreiber der Digitalisierung im Abfallsektor sind in folgenden Faktoren zu sehen:

- Kostendruck, da der Wettbewerb zwischen öffentlichen und privaten Abfalldiensten hoch ist und die Digitalisierung als Instrument zur Kosteneinsparung angesehen wird
- Neue Geschäftsmodelle, die von technologiegetriebenen Start-ups entwickelt wurden.
- Kunden, die in naher Zeit Informationen zum Status von Bestellungen erhalten möchten und ihre Versorgungsunternehmen überwachen möchten
- Der Wandel hin zu einer Kreislaufwirtschaft in Verbindung mit einem zunehmenden Rechtsdruck und Zielen der EU- und der nationalen Politik
- Die Klimakrise zwingt zur Reduzierung der Treibhausgase
- Die erweiterte Herstellerverantwortung löst die aktuelle Materialbewirtschaftungspolitik im Unternehmenssektor aus; EPR-Programme werden voraussichtlich auf mehr Produkte angewendet, um politische Ziele zu erreichen
- Wachsende Urbanisierung zunehmender Druck innerhalb der Städte

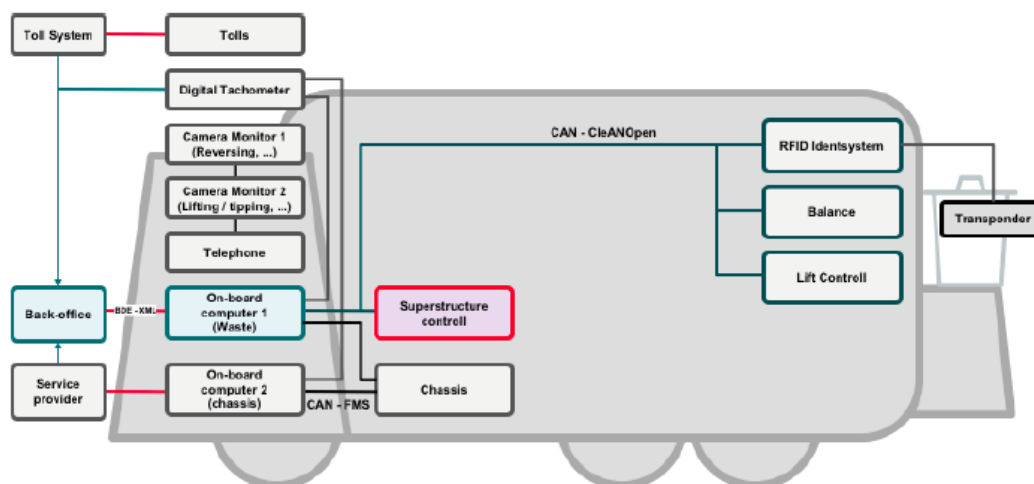
Die Autoren identifizierten drei Hauptbereiche der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft: Kommunikation, Abfallsammlung und interne Prozesse und stellten Beispiele für digitale Anwendungen im jeweiligen Bereich vor – siehe Tabelle unten.

Communication	Waste Collection	Internal processes
Websites	Sensor-equipped vehicles	Billing
Mobile apps	Route planning	Accounting
Integration in other services	Resource planning	Controlling
Third party social media apps	Inventory tracking	Processing of orders
	Documentation	Documentation

Figure 5: Hauptbereiche der Digitalisierung in der kommunalen Abfallwirtschaft (Quelle: Berg und Sebestyén, 2020, S. 23)

Berg und Sebestyén (2020) zufolge „macht Kommunikationstechnologie den größten Teil der digitalen Lösungen aus, die bereits im Abfallsektor zum Einsatz kommen. Hier ist der Transfer aus anderen Branchen einfach, da die notwendigen Investitionen in Hardware relativ gering sind.“ im Bereich Abfallsammelprozesse sollte der Einsatz von IoT betont werden; Dies betrifft zum einen den Einsatz von Sensoren im Abfallbehälter (Smart Bins) oder am Abfallsammelfahrzeug. In den internen Prozessen der Abfallwirtschaft wird die Digitalisierung eingesetzt, um Prozessabläufe hin zu papierloser Dokumentation und Registrierung zu automatisieren. Letztlich ist dies die digitale Transformation, die im privaten Sektor bereits seit mehreren Jahren ihren Weg findet.

Die Illustration eines Waste Truck mit allen Möglichkeiten der Nutzung von IoT-Lösungen gibt einen hervorragenden Überblick über die Digitalisierung des Abfallsammelprozesses.



Source: Adapted from a BDE/VKU publication (BDE - Bundesverband der deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft and VKU - Verband Kommunalen Unternehmen, 2015)

Figure 6: IoT-Lösungen integriert in den Waste Truck (Quelle: Berg und Sebestyén, 2020, S. 22)

Beim Benchmarking der EIONET-Ergebnisse mit den Ergebnissen der Analyse aus fünf Ländern lassen sich folgende Ähnlichkeiten beobachten. Letztlich fallen alle Digitalisierungsprojekte in die von EIONET definierten Kategorien: Kommunikation, Abfallsammlung und interne Prozesse. Über die Digitalisierungsbemühungen im Zusammenhang mit internen Prozessen wurde wenig berichtet, was letztlich auf die mangelnde Transparenz über die Effizienz öffentlicher Organisationen und deren Prozesse zurückzuführen ist. Die Länderberichte bestätigen die positive Rolle des Programms zur erweiterten Herstellerverantwortung, das ebenfalls als wichtiger Innovationstreiber identifiziert wird. Zwei Aspekte fehlen in den EIONET-Berichten, ergeben sich aber aus den Länderberichten: Die Kommunikation mit Kunden oder Anwendern und die Digitalisierung der Abfallentsorgung sind wechselseitig abhängig. Ohne intensive Upstream-Kommunikation mit den Nutzern ist eine weitere Digitalisierung der Prozesse kaum möglich. Der zweite Punkt ist das Ziel, Anreize für Änderungen des Nutzerverhaltens zu setzen. In den Länderberichten gibt es bestimmte



Projekte, die sich genau mit der Gestaltung von Anreizen durch digitale Lösungen befassen. Kommunikation, Anreize und Digitalisierung sollten im Kontext betrachtet werden.

## 7.2 WINPOL-Projekt „Abfallwirtschaft – Intelligente Systeme und Richtlinien“

WINPOL ist ein europäisches Projekt, das im Rahmen des Programms Interreg Europe gefördert wird und den Einsatz intelligenter Geräte und Strategien in der kommunalen Abfallwirtschaft fördert. Seit Juni 2018 haben neun Partner in ganz Europa – acht öffentliche Stellen, vertreten durch die Gemeinden Antwerpen (BE), Drobeta Turnu Severin (RO), Heraklion (GR), die Grafschaft Mehedinti (RO), die Region Kreta (GR), EMULSA (es), Snaga (SI), ERA (MT) und ACR+ (BE) als Beratungspartner – haben in diesem 4,5-jährigen Projekt zusammengearbeitet.

2019 veröffentlichte WINPOL (2019) einen „Good Practice Guide“, in dem 26 Best Practice-Beispiele in der kommunalen Abfallwirtschaft in ganz Europa aufgeführt sind. Eine Überprüfung der 26 aufgeführten Beispiele für bewährte Verfahren nach den folgenden drei Kategorien (1) Incentives (PAYT usw. Gebührenmodell oder andere Incentives), (2) die Kommunikation mit den Nutzern und (3) die Digitalisierung des Abfallsammelprozesses bestätigen die Aussage des EIONET-Berichts sowie die Ergebnisse der vorangegangenen fünf Länderberichte. Die meisten Projekte beziehen sich auf die Kommunikation mit Nutzern über digitale Medien und die Optimierung des Abfallsammelprozesses durch den Einsatz von IoT.

	Best Practise Project	Incentive	Communication	Waste Collection	Others
1	Civic Amenity site access control			x	
2	Connecting online with users: Citizen app, Sustainable businesses map and Reusapp		x		
3	Container sensors for optimized waste collection			x	
4	Customer portal for collected bulky waste at civic amenity sites		x		
5	Electronic closure on waste containers and use of information		x	x	
6	Information-based waste collection		x	x	
7	Mobile app on bulky waste for reuse and recycling		x		
8	Operating aid system and waste collection weighing			x	
9	Route optimization for waste collection				
10	Sharing data on waste and resources with the public		x		
11	Smart bins to recycle anytime, anywhere			x	
12	Solar compact waste bins			x	
13	Waste management datacenter		x		
14	Waste management data warehouse		x		
15	COOMDA – Reducing surplus food waste and food needs		x	x	
16	From door-to-door collection to pay-as-you-throw	x			
17	G'scheit feiern – Reducing waste of events and festivals				x
18	Pay-as-you-throw to reach 80% recycling	x			
19	Pop-up civic amenity sites		x	x	
20	Raising awareness on plastic waste with the CAPS Contest	x	x		
21	Recycleservice 2025 – A reversed waste collection system for residual waste	x	x	x	
22	Reuse Box – New collection scheme for reusable items			x	
23	Second Chance – Reuse on marketplaces			x	
24	Smart collection system to optimise used cooking oil to the biodiesel value chain			x	
25	The Collection – Improving textile waste collection			x	
26	Treatment of biodegradable waste			x	
	sum	4	12	15	1

Figure 7: Hauptbereiche der Digitalisierung in Best-Practice-Projekten (Quelle: Screening auf Basis von Projektdaten von WINPOL, 2019)

Auffällig ist, dass zwei der gelisteten WIPOL-Projekte den Datenaustausch mit Stakeholdern der Abfallkette über eine Informationsplattform beinhalten. Solche Projekte zur Datenfreigabe und Datenanalyse werden auch von bestimmten Ländern (Griechenland und Spanien) berichtet. Dies deutet auf die Notwendigkeit gemeinsamer Datenpools hin und auf

die Abkehr vom Aufbau eigener Datenbanken („Datensilos“), was komplexe Schnittstellen für den automatischen Datenaustausch erfordert.

### 7.3 WastelQ - eine Fallstudie aus Norwegen

Die folgende Fallstudie, WastelQ, ist dadurch bemerkenswert, dass sie einen ganzheitlichen Ansatz verfolgt und mehrere Aspekte kombiniert: Der Einsatz von IoT in intelligenten Behältern oder Containern, Datenspeicherung und -Analyse auf einer gemeinsamen Plattform (Datenaustausch mit Stakeholdern) und einem Anreizsystem, das auch verhaltensökonomische Komponenten des Nudging umfasst.

WastelQ ist eine offene Abfallbewirtschaftungsplattform, die sich in moderne digitalisierte Abfallbewirtschaftungsanlagen integrieren lässt und so ein maßgeschneidertes Preismodell für Abfälle ermöglicht. Das Projekt entstand in einer Zusammenarbeit zwischen BIR (kommunale Abfallwirtschaft in Bergen, Norwegen) und dem digitalen Startup WastelQ.

Das System betreibt die verschiedenen Stationen für Restmüll und Wertstoffe in Bergen, die mit digitalen Schlössern und Sensoren ausgestattet sind. Einige der Einlässe sind auch an ein unterirdisches Vakuumsystem angeschlossen, das den Abfall automatisch zu einem zentralen Sammelterminal transportiert.

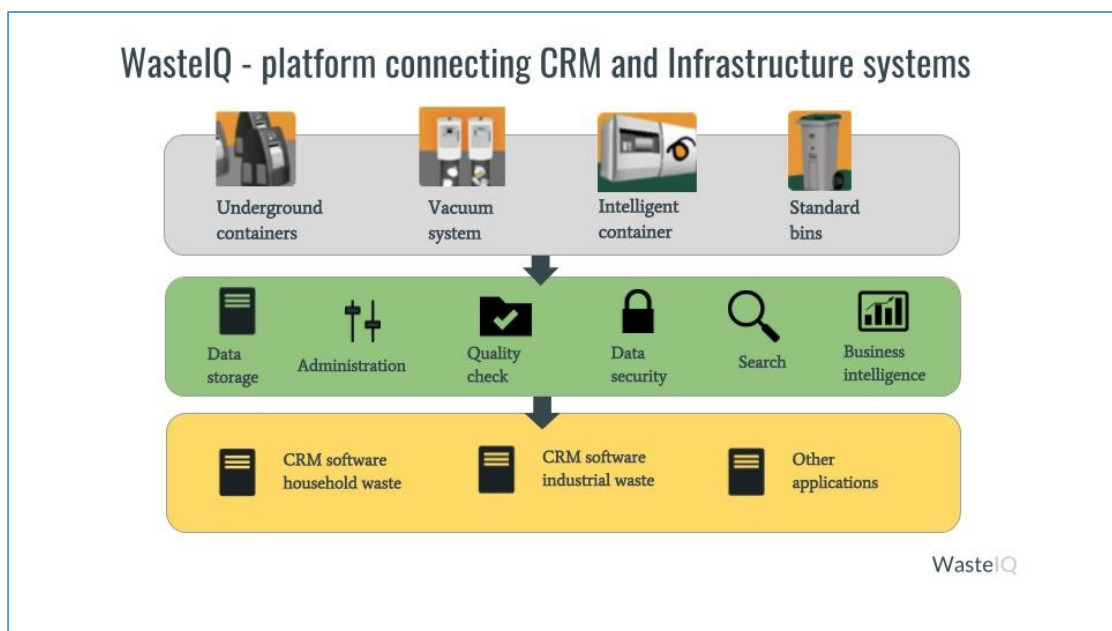


Figure 8: WastelQ – Datenplattform (Quelle: <https://www.iswa.org/home/news/news-detail/article/quest-blog-the-4.-industrial-revolution-in-practice-wasteiq-the-open-waste-management-platf/109/>)

WastelQ hat ein System entwickelt, das Daten sammelt, anreicht und an eine Vielzahl von Akteuren und technischen Systemen verteilt. Das IT-System aggregiert Daten zu Entsorgungsmengen für einzelne Haushalte und Unternehmen. Außerdem gibt es einen Überblick über die Abfallmengen der Behälter und gibt an, wann sie geleert werden sollten. Darüber hinaus ist das Abfallmanagementsystem in der Lage, den Abfallverbrauch jedes

einzelnen Bürgers abzuwägen und zu berechnen und nutzt die Daten, um ein individualisiertes Zahlungssystem zu ermöglichen, um die Reduzierung der persönlichen Abfallmengen zu motivieren. Die Müllstationen verfügen über freie Sortierfächer für Kunststoff und Karton. Dies schürt die Bürger von Bergen weiter, ihre Abfälle richtig zu sortieren. Die Kombination aus intelligenten Behältern, Datensammlung und neuen wirtschaftlichen Anreizen hat den Gesamtabfall bisher um 10 % und den Kunststoffanteil um 29 % gesenkt.

## 8 Bereitschaft für Blockchain-Anwendungen in der Abfallwirtschaft

Die Ergebnisse der Länderstudien und der Vergleich mit anderen Studien zeigen, dass der Digitalisierungsprozess im kommunalen Abfallsektor noch in den Kinderschuhen steckt. Oder mit den Autoren des EIONET-Berichts (Berg & Sebestyén, 2020), die es diplomatischer formulieren: Sie zeigt, dass sich der Abfallwirtschaftssektor in einer frühen Phase dieser Entwicklung befindet. Die Chancen sowie die Auswirkungen der digitalen Transformation zeichnen sich noch aus und können noch gestaltet werden.

In den verschiedenen Ländern gibt es eine Vielzahl innovativer Projekte in den Bereichen Kommunikation mit Nutzern, Incentive-Systeme und insbesondere der Einsatz von IoT in der Abfallsammlung, Aber es gibt keine umfassende Förderung dieser Projekte in den Ländern, weder durch staatliche Förderprogramme noch durch den gezielten Know-how-Transfer. Derzeit sind es nur die Verbände kommunaler öffentlicher oder privater Entsorgungsunternehmen, die Multiplikatoren von Informationen und Innovationszentren sind.

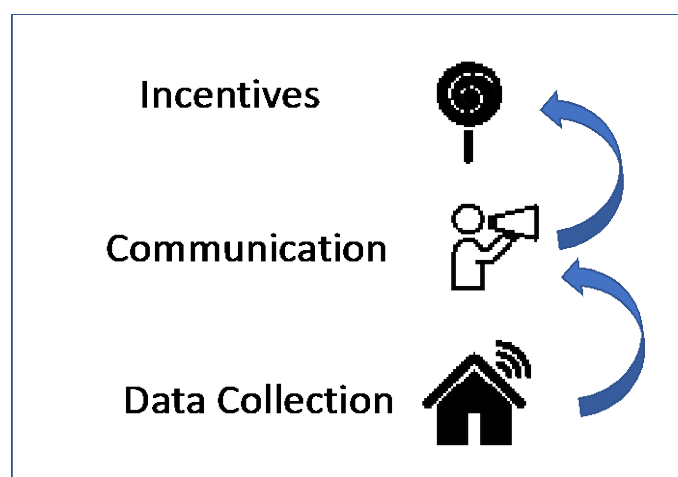


Figure 9: Mangelnde Kohärenz bei digitalen Abfallbewirtschaftungsprojekten

Wenn man sich ausschließlich auf die IN Projekten eingesetzten IT-Tools konzentriert, scheint alles vorhanden zu sein: Die Kommunikation über Smartphone-Apps mit Nutzern, Incentive-Strukturen und eine Vielzahl von Daten über den IoT-Einsatz in Smart Bins und Trucks. Die meisten Projekte sind jedoch isolierte Ansätze zur Implementierung von Kommunikationsmitteln, zur Datenerfassung oder zur Festlegung von Anreizstrukturen. Was fehlt, ist die Verbindung zwischen diesen Tools: Mit Nutzerdaten könnten Nutzerprofile erstellt und eine profilbasierte Kommunikation mit Nutzern hergestellt werden, was auch die Auswahl geeigneter Anreize beinhaltet. Die Wirksamkeit der Anreize im Hinblick auf Verhaltensänderungen kann im Gegenzug an den Abfalldaten des Haushalts gemessen werden. Letztlich geht es um einen kohärenten Planungsansatz im IT-Einsatz, der die Lösung des Problems konsequent priorisiert (Stichwort „Design Thinking“).

Darüber hinaus sind die meisten der vorgestellten Projekte nicht kollaborativer Natur, was den Austausch von Daten mit einer großen Anzahl von Interessengruppen und die

Generierung von Synergieeffekten zwischen den beteiligten Partnern betrifft. Aber die Kreislaufwirtschaft erfordert, um erfolgreich zu sein, die Zusammenarbeit zwischen Akteuren, sei es Produzenten, Verbraucher, Supermärkte, Kommunen oder Profis, Die Daten im Rahmen ihrer Zusammenarbeit gemeinsam nutzen müssen.

Genau das betont PwC (2016) beim Schreiben:

*„Kollaborative Technologien wie Blockchain versprechen die Fähigkeit, die Geschäftsprozesse zwischen Unternehmen zu verbessern und die „Vertrauenskosten“ radikal zu senken. Aus diesem Grund kann es für jeden ausgegebenen InvestmentDollar deutlich höhere Renditen bieten als für herkömmliche interne Investitionen.*

*Was ist also der Haken? Sie können die Rendite nicht selbst erhalten; Sie müssen bereit und in der Lage sein, mit Kunden, Lieferanten und Wettbewerbern auf eine Art und Weise zusammenzuarbeiten, die Sie noch nie zuvor getan haben.“*

Daher besteht die Entwicklung und Umsetzung eines Blockchain-Projekts im Wesentlichen aus Change-Management- und Prozessmanagement-Arbeit. Entgegen den Erwartungen spielt die Auswahl der technischen Blockchain-Lösung eine untergeordnete Rolle. Intensive Kommunikation, gegenübergreifendes Interessenverständnis, Stakeholder und Einzelpersonen mitführen und überzeugen, die technischen Möglichkeiten der Blockchain in einfachen Worten erklären - das sind die Komponenten eines erfolgreichen Projekts und die Auswahl von Projektteammitgliedern. (Lenz, 2019, S. 46)

Die in der kommunalen Abfallwirtschaft beschriebenen Digitalisierungsprojekte werden sehr stark durch den Einsatz neuer Technologien angetrieben. Die Installation von Telematik und IoT auf Müllwagen sind typische Aufgaben von Maschinenbauingenieuren. Die Erfüllung dieser Aufgaben ist für den reibungslosen Ablauf logistischer Prozesse innerhalb einer Organisation von größter Bedeutung. Aber bei Blockchain geht es darum, eine Win-Win-Situation zwischen den Stakeholdern einer Kette zu schaffen, sodass jeder der beteiligten Partner von der Zusammenarbeit profitiert.

Bei der Beantwortung von Fragen zur Bereitschaft der kommunalen Abfallwirtschaft für die Blockchain stellen wir fest, dass Lösungen für technische Probleme manchmal einfacher und schneller zu bewältigen sind, als ein ganzes Organisationsmodell mit Blick auf eine enge Zusammenarbeit in einem Partnernetzwerk zu ändern. Um die Frage nach der Einsatzbereitschaft der Blockchain-Technologie abschließend zu beantworten, lässt sich sagen, dass die meisten kommunalen Entsorgungsunternehmen rein technisch auf dem neuesten Stand sind und IoT ausgiebig nutzen. Was fehlt, ist eine klare Datenstrategie, die die Analyse und den Austausch von Daten mit einer Vielzahl von Stakeholdern umfasst. Dabei handelt es sich jedoch nicht um technische Probleme, sondern um Probleme der organisatorischen Entwicklung kommunaler Abfallwirtschaftsunternehmen.

## 9 Referenzen

- ASA et al (2020). *Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020*, . Abgerufen von [https://statusbericht-kreislaufwirtschaft.de/wp-content/uploads/2020/11/2020\\_Statusbericht\\_mobil.pdf](https://statusbericht-kreislaufwirtschaft.de/wp-content/uploads/2020/11/2020_Statusbericht_mobil.pdf)
- Berg, H., & Sebestyén, J. (2020). Phillip Bendix (Wuppertal Institut), Kévin Le Blevenec (VITO), Karl Vrancken (VITO).
- BiPRO. (2014). *Detaillierter Evaluierungsbericht zur Bewertung des Abfallbewirtschaftungsplans Estlands – national, Endentwurf*. Abgerufen aus EG. (2014). *Nationales Factsheet – Estland. Bewertung der einzelnen Sammelregelungen in den 28 Hauptstädten der EU*. Abgerufen von <https://www.municipalwasteurope.eu/sites/default/files/EE%20National%20factsheet.pdf>
- ECO-Innovation Observatory. (2019). *ÖKO-Innovation in Deutschland*. Abgerufen von [https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/field/field-country-files/eio\\_country\\_profile\\_2018-2019\\_germany.pdf](https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/field/field-country-files/eio_country_profile_2018-2019_germany.pdf)
- Estnisches Umweltministerium. (2012). *Erklärung des estnischen MoE zum estnischen Factsheet*.
- Estnisches Umweltministerium. (2014). *Der Nationale Abfallbewirtschaftungsplan 2014-2020/ Riiklik Jäätmekava*. Abgerufen von [https://www.envir.ee/sites/default/files/riigi\\_jaatmekava\\_2014-2020.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/riigi_jaatmekava_2014-2020.pdf)
- Europäische Umweltagentur. (2016). *Deutschland: Kommunale Abfallwirtschaft*. Abgerufen von [https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/other-products/docs/germany\\_msw\\_2016.pdf](https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/other-products/docs/germany_msw_2016.pdf)
- EUWID. (2020). Kommunen und REMONDIS dominieren Abfallsammlung in Deutschland. *Recycling und Entsorgung*. Abgerufen von <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/kommunen-und-remondis-dominieren-abfallsammlung-in-deutschland.html>
- Lenz, R. (2019). Verwaltung Verteilter Bücher: Blockchain und darüber hinaus. *Erhältlich bei SSRN 3360655*.
- Life + Environment Policy und Governance. (2011). *Entwicklung von Pay as you Throw-Systemen in Hellas, Estland und Zypern*. Abgerufen von [http://payt.gr/images/stories/pdf/Laymans\\_EN.pdf](http://payt.gr/images/stories/pdf/Laymans_EN.pdf)
- OSKA. (2019). *Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: vee- ja jäätmemajandus ning keskkond. Tööjõuvajaduse seire- ja prognoosisüsteem*. Entnommen aus Tallinn, 190 lk
- PwC. (2016). FRAGEN UND ANTWORTEN: Was ist eine Blockchain? Abgerufen von <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf>
- Sahin, I. (2006). Detaillierte Übersicht über Rogers' Verbreitung von Innovationstheorie und pädagogisch-technologiebezogenen Studien, die auf Rogers' Theorie basieren. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 5(2), 14-23.
- Umweltbehörde Von Tallinn. (2014). *Verbesserung des Recycling-Systems für Siedlungsabfälle in Tallinn anhand von Beispielen bewährter Verfahren. Bericht*. Abgerufen aus
- Verband Kommunaler Unternehmen e.V. (2019). *Abfallwirtschaft Digital, Beispiele aus der kommunalen Praxis*. Abgerufen von

[https://www.vku.de/fileadmin/user\\_upload/Verbandsseite/Publikationen/2020/VKU\\_Broschuere\\_Digitalisierung\\_Abfallwirtschaft\\_ES.pdf](https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Publikationen/2020/VKU_Broschuere_Digitalisierung_Abfallwirtschaft_ES.pdf)

Vitoraki, M. (2019). Umsetzung von Pay-as-you-throw-Programmen in Griechenland: Große Vorteile und zukünftiges Potenzial.

WINPOL. (2019). *Leitfaden Zu Bewährten Praktiken*

*Förderung von Innovationen zur Verbesserung der Abfallbewirtschaftung auf lokaler Ebene*, . Abgerufen von [www.interregeurope.eu/winpol/good-practices](http://www.interregeurope.eu/winpol/good-practices)