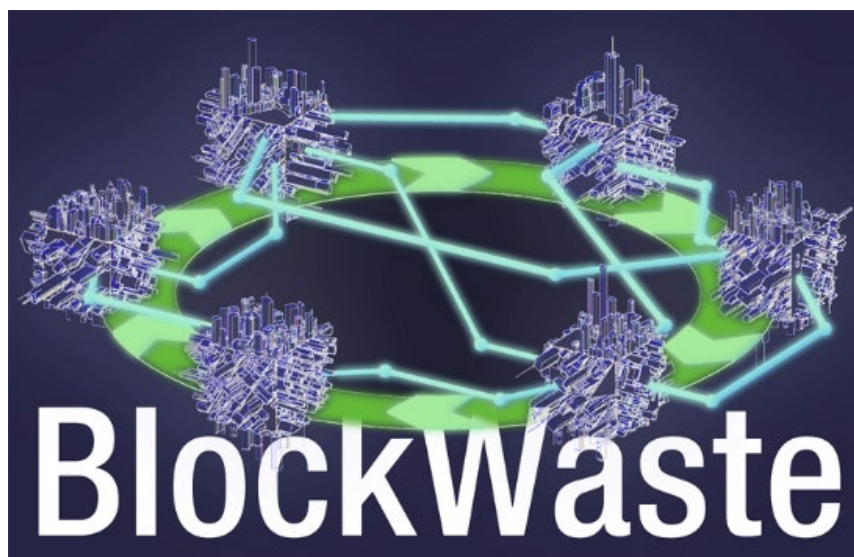


**O1.A3 Handbücher zu Kreislaufwirtschaftsstrategien, die auf die kommunale Abfallwirtschaft mit Blockchain-Technologie angewendet werden**

***Handbuch 3: Blockchain-basiertes kommunales Abfallmanagement***



**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:** Lernmaterialien für interdisziplinäre Blockchain-MSW

**Titel Der Aufgabe:** Handbücher zu Kreislaufwirtschaftsstrategien, die auf die kommunale Abfallwirtschaft mit Blockchain-Technologien angewendet werden

**Ausgangsleitung:** NTUA

**Leiter der Aufgabe:** Fachhochschule Bielefeld

**Autor(en):** Rainer Lenz, rlenz@fh-bielefeld.de, Andreas Uphaus, auphaus@fh-bielefeld.de, Bernd Kleinheyer, bkleinheyer@fh-bielefeld.de, Leonie Holste, [holste@fh-bielefeld.de](mailto:holste@fh-bielefeld.de), alle aus Bielefeld UAS, Deutschland

Christa Barkel, c.barkel@saxion.nl, Saxion UAS, Niederlande

Paraskevas Tsangaratos, ptsag@metal.ntua.gr, Nationale Technische Universität von Athen, Griechenland

**Geprüft von:** Athanassios Mavrikos, Nationale Technische Universität von Athen, mavrikos@metal.ntua.gr, Griechenland, Perry Smit, Saxion UAS, p.j.smit.01@saxion.nl, Niederlande

## Dokumentenkontrolle

Dokumentversion	Version	Änderung
V0.1	31/03/2022	Endgültige Version - 29/04/2022

# Inhalt

Zusammenfassung.....	iii
1 Einführung.....	1
1.1 Kurze Projektbeschreibung .....	1
1.2 Ziele und methodischer Ansatz .....	2
2 Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft innerhalb der Kreislaufwirtschaft .....	3
2.1 Eine Rollenverschiebung der kommunalen Abfallwirtschaft ist erforderlich .....	3
2.2 Kommunales Abfalldatenmanagement.....	5
2.2.1 Die Kreislaufwirtschaft erfordert zirkuläre Informationen.....	6
2.2.2 Keine Offenlegung von Informationen ohne Datenintegrität und Datenschutz .	7
2.2.3 Kommunales Abfalldatenmanagement.....	8
2.2.4 Blockchain erleichtert den Datenaustausch in der Kreislaufwirtschaft.....	11
2.2.5 Selbstverwaltung von Identität und Datenintegrität .....	13
2.3 Kommunaler Abfallmanager als Verhaltensmanager.....	14
2.3.1 Die Kreislaufwirtschaft braucht ein intelligentes System dezentraler Anreize..	15
2.3.2 Kommunaler Abfallmanager – ein Manager für Verhaltensänderungen .....	16
2.3.3 Blockchain ermöglicht Anreize durch Tokenisierung .....	17
2.3.4 Blockchain ermöglicht Tracing und Tracking von Produktlebenszyklen.....	18
2.4 Transformation Der Kommunalen Abfallwirtschaft .....	19
2.4.1 Wertschöpfung von MWM in der Kreislaufwirtschaft .....	19
2.4.2 Änderungen in Betrieb und Prozessen von MWM.....	20
2.4.3 Änderungen in Betrieb und Prozessen von MWM.....	21
2.4.4 Schrittweise Implementierung von Änderungen .....	23
2.4.5 Automatisierung durch IoT & Smart Contracts und Blockchain .....	23
2.5 Die kommunale Abfallwirtschaft wird zum Vertrauensmakler.....	25
2.5.1 Automatisierung durch IoT & Smart Contracts und Blockchain .....	26
2.5.2 Blockchain als Vermittler der P2P-Kollaboration .....	27
3 Anleitung zum Starten von Blockchain-basierten Abfallmanagementprozessen .....	29
3.1 Phasen eines Blockchain-Projekts .....	29
3.2 Identifizierung von geeigneten Projekten .....	30
3.3 Erfassung der Abfallkette mit wichtigen Leistungsindikatoren .....	31
3.4 Design eines Blockchain-basierten Prozesses.....	38
3.5 Entwicklung eines Governance-Modells für Blockchain-Anwendungen .....	42
3.6 Überzeugendes Top-Management.....	44
4 Abschließende Empfehlungen.....	48

5	Referenzen und Quellen für weitere Lektüre .....	50
---	--	----

## Liste der Tabellen

Tabelle 1: Definition von Stakeholder-spezifischen Zielen (die Autoren) .....	35
Tabelle 2: Stakeholder-spezifische KPIs (die Autoren).....	37

## Liste der Abbildungen

Abbildung 1: Handbücher BlockWASTE-Projekt (die Autoren).....	2
Abbildung 2: 9R-Strategien der Kreislaufwirtschaft (Kirchherr et al. 2017, S. 224) .....	3
Abbildung 3: Kreislaufstrategien und die Rolle der Akteure innerhalb der Produktionskette (Potting et al. 2017, S. 16) .....	4
Abbildung 4: Veränderungsgrad – Rollenwechsel MWM – Blockchain-Technologie (die Autoren) .....	5
Abbildung 5: MWM als Datenanbieter für CE (die Autoren) .....	6
Abbildung 6: Kreislaufwirtschaft erfordert zirkulären Informationsfluss (die Autoren) .....	6
Abbildung 7: IoT-Lösungen sollen in Altlastwagen integriert werden (Berg und Sebestyén 2020, S. 22).....	9
Abbildung 8: Tools zur Abfallanalyse (die Autoren).....	10
Abbildung 9: Blockchain-basierter Informationsfluss (die Autoren).....	13
Abbildung 10: MWM als Choice Architect für die Entscheidungsfindung (die Autoren) .....	14
Abbildung 11: Pay-and-Receive-as-you-throw-Modell (die Autoren).....	17
Abbildung 12: Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft (die Autoren) .....	19
Abbildung 13: Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft (die Autoren) .....	22
Abbildung 14: Big Data- und IoT-Ökosystem (Lenz 2019A) .....	24
Abbildung 15: Kommunale Abfallwirtschaft wird zum Vertrauensmakler (die Autoren) .....	25
Abbildung 16: Phasen eines Blockchain-Projekts (die Autoren) .....	29
Abbildung 17: Benötigen Sie eine Blockchain? (Wüst und Gervais 2018, S. 3).....	31
Abbildung 18: Ziele der Abfallpyramide (die Autoren basierend auf der EU-Abfallhierarchie siehe Artikel 4 der EU-Abfallrahmenrichtlinie) .....	32
Abbildung 19: Entwicklung von Stakeholder-spezifischen KPIs (die Autoren).....	34
Abbildung 20: Am Abfallprozess beteiligte Stakeholder-Gruppen (die Autoren) .....	34
Abbildung 21: Design eines Blockchain-basierten Abfallmanagementprozesses .....	40
Abbildung 22: Blockstruktur des Blockchain-basierten Abfallprozesses (die Autoren) .....	41
Abbildung 23: Positiver Return of Investment für jeden Stakeholder? (Lenz 2019).....	45

## Zusammenfassung

Der Einsatz von Blockchain für die kommunale Abfallwirtschaft bietet Vorteile, wenn es in ein digitales Ökosystem eingebettet ist, das der breiteren Kreislaufwirtschaft dient. Da es sich bei der Digitalisierung um Informationen, Datengenerierung und -Zirkulation handelt, muss die Frage der Pflege, des Zugriffs und der Kontrolle von Abfalldatenrepositorien angegangen werden. Die reale, bisher überwiegend lineare und physikalische Abfallwirtschaft (Sammlung von Stoffen, Recycling, Verbrennung, Entsorgung usw.) entwickelt sich zunehmend hin zur Kreislaufwirtschaft. Dieser Antrieb kann durch eine virtuelle Abfallwirtschaft, die Informationen erzeugt, bereitstellt und handelt, die die Bewegung von Stoffen "der Abfallkette („Sphäre“ wäre angemessener) widerspiegeln, stark unterstützt werden. Dieser Prozess wird in Zukunft davon abhängen, wie Datenströme gemanagt und gemeinsam genutzt werden. Dies wird durch kommunale Abfallwirtschaftsorganisationen (MWMO) sichergestellt. Diese müssen eine komplexe Reihe von Anforderungen erfüllen:

- Die Schaffung von Wert aus Stoffströmen ermöglichen
- Ermöglicht mehreren, transparenten und zuverlässigen Stakeholdern den Zugriff auf Stoffflüsse und damit auf Ressourcendaten
- Gestaltung von Informations- und Datenflüssen zu Ressourcensubstanzen
- Förderung des Handels und der Werttransaktionen aus zirkulierenden Ressourcen

Blockchains können ein Schlüsselinstrument sein, das MWMOs in die Lage versetzt, diese Rolle transparent, effizient und vertrauenswürdig zu erfüllen, da Blockchains freien Zugriff, Kontrolle des Datenaustauschs, Datenintegrität, transparente Transaktionen und vollständige Verfolgung von Ressourcenflüssen ermöglichen.

Sie können ein Schlüsselfaktor dafür sein, dass Vertrauen zum wichtigsten Faktor für die Kreislaufwirtschaft wird, was MWMOs wiederum zum Vertrauensmakler einer Abfallwirtschaft macht.

Die technischen Geräte, auf die sich Blockchains heute verlassen, sind intelligente Verträge, Token, Zugangsschlüssel und dezentrale Netzwerkknoten, die Transaktionen und digitale Ereignisse erfassen.

Der schnell entstehende Einsatz von IoT-Technologien erzeugt große Datenmengen, die bei entsprechender Analyse dazu beitragen können, einen hohen Wert für Stakeholder der Kreislaufwirtschaft zu schaffen. Da diese Daten über Blockchains weitergegeben werden können, die sie für die Stoffbehandlung, das Supply Chain Management, das Service-Marketing, die Kundenkommunikation und andere Zwecke zur Verfügung stellen, können Blockchains als Datendreh scheiben für eine Vielzahl von IoT-Prozessen betrieben werden, die die Lieferung, Herstellung, Verteilung und Wiederherstellung physischer Werte unterstützen.

MWMOs werden daher sehen, dass sich ihre Rollen und ihre Funktionsweise radikal ändern, und dass sie nicht mehr Sammelstellen, Sortiere, Disponenten zu Datenproduzenten und -Vertreibern werden. Dieser Wandel erfordert neue Leitbilder, neue Governance und neue Organisationsmodelle, die MWMOs dazu zwingen werden, neue Fähigkeiten, Denkweisen und Organisationskulturen zu erwerben.

Hier wird ein Weg der digitalen Transformation mit Blockchain vorgeschlagen. Zur Veranschaulichung konzentriert sie sich auf einen einzigen Prozess, der durch die Identifizierung und Abbildung bestehender Prozesse beginnt und nach einer Kaskade von Schritten, die Entscheidungsbäume umfassen, zu einem Pilottest führt. Ein Rahmen mit

Schlüsselindikatoren, die es ermöglicht, zirkuläre Blockchain-gestützte Abfallprozesse zu verwalten, bietet Unterstützung beim Übergang vom Pilotprojekt zur Implementierungsphase.

# 1 Einführung

## 1.1 Kurze Projektbeschreibung

Dieses Handbuch zum Thema „Blockchain-based Municipal Waste Management“ wurde im Rahmen des BlockWASTE-Projekts verfasst, einem EU-finanzierten Erasmus Plus-Projekt, das von einem Konsortium aus fünf Partnern aus Estland, Deutschland, Griechenland, den Niederlanden und Spanien durchgeführt wird – Details finden sie unter den Logos auf der Titelseite.

Das BlockWASTE-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 Haushaltsabfällen, die in Städten entstehen und wie diese verwaltet werden, um eine Informationsbasis mit bewährten Verfahren zu schaffen, die es Abfallbewirtschaftungseinheiten ermöglicht, Abfälle wieder in die Wertschöpfungskette einzubringen, und so die Idee der intelligenten kreisförmigen 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 in den Bereichen Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft und Blockchain-Technologie ermöglicht.
- 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 wird und es den Nutzern ermöglicht wird, verschiedene Formen des Managements zu bewerten.

Dieses Handbuch Blockchain-Based Municipal Waste Management basiert auf der Analyse der vorherigen vergleichenden Studien, die im Rahmen des BlockWASTE-Projekts durchgeführt wurden:

- Vergleichende Studie der Verwaltungsvorschriften für kommunale feste Abfälle (MSW) in jedem Land, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/12/O1.A1.-Comparative-study-of-Municipal-Solid-Waste.pdf>
- Stand der Digitalisierung in der europäischen kommunalen Abfallwirtschaft, Vergleichsstudie – fünf EU-Mitgliedstaaten, Estland, Deutschland, Griechenland, die Niederlande, Und Spanien, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.1-Comparative-State-of-Digitalization-in-Municipal-Waste-Management.pdf>
- Blockchain Applications for Waste Management, Analysis of Blockchain Use Cases in Waste Management, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.2-Blockchain-Applications-for-Waste-Management.pdf>

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

## 1.2 Ziele und methodischer Ansatz

Das Ziel dieses Handbuchs 3 „Blockchain-Based Waste Management“ ist es, Fachleute aus dem Abfallwirtschaftsbereich bei der Implementierung von IoT- und Blockchain-Technologie als Strategien der Kreislaufwirtschaft zu unterstützen. Daher richtet sie sich an Praktiker, die über die Vorteile der Blockchain-Technologie wissen und über eine ausreichende Unterstellung der Kreislaufwirtschaft und ihrer Ziele verfügen. Für Leser mit weniger Kenntnissen in einem der oben genannten Bereiche empfehlen wir, entweder das Handbuch 1 (Blockchain) oder das Handbuch 2 (Circular Economy) zu lesen. Die Handbücher 1 und 2 sind als Kurzkompodium zu verstehen und geben einen Überblick über die wesentlichen Inhalte - vgl. Abb. 1.

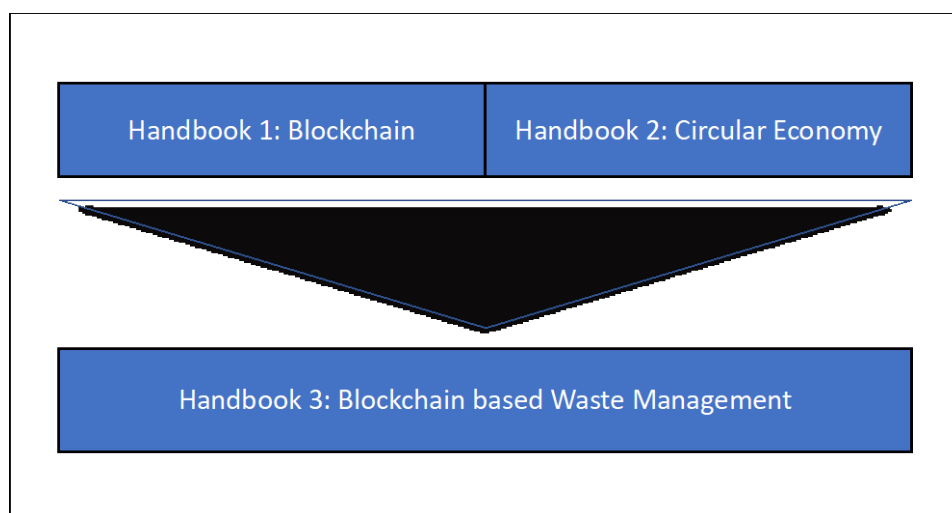


Abbildung 1: Handbücher BlockWASTE-Projekt (die Autoren)

Die Struktur des Handbuchs folgt einer deduktiven Logik, indem es im ersten Teil die sich wandelnde Rolle der kommunalen Abfallwirtschaft bei der Transformation vom derzeit linearen Wirtschaftssystem zur Kreislaufwirtschaft darstellt. Im Fokus steht immer der Einsatz der Blockchain-Technologie, die einen wesentlichen Beitrag zur Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft leisten kann. Die drei Themen Kreislaufwirtschaft, Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft und Einsatz der Blockchain-Technologie werden miteinander verknüpft und Wege aufgezeigt, wie die Blockchain-Technologie den notwendigen Rollenwechsel der kommunalen Abfallwirtschaft in verschiedenen Aspekten erleichtern kann. Der zweite Teil des Handbuchs enthält eine klare Anleitung für Abfallmanager, wie die Blockchain-Technologie implementiert und bestehende Prozesse in Blockchain-basierte Prozesse umgesetzt werden können. Dieser Teil bietet Leitlinien für den besten Einsatz von Blockchain- und Smart Contract-Technologien im Abfallsektor und liefert einen kohärenten Entwurf für die Implementierung und Anwendung dieser innovativen Technologien in kommunalen und lokalen Unternehmensorganisationen.



## 2 Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft innerhalb der Kreislaufwirtschaft

### 2.1 Eine Rollenverschiebung der kommunalen Abfallwirtschaft ist erforderlich

Die traditionelle Rolle der kommunalen Abfallwirtschaft besteht seit der Ausweitung ihrer Dienste für die Bürger im späten Mittelalter in den europäischen Städten darin, Abfälle zu sammeln und zu entsorgen. In seinem Betrieb stützt sich die MWM auf grundlegende, meist manuelle (auch wenn automatisch gestückte) Fähigkeiten, die die Handhabung, Behandlung und Entsorgung von Abfällen ermöglichen. Die Entscheidungsfindung konzentriert sich hauptsächlich auf 'Was geht wo' und 'wie können wir es dorthin bringen'.

Im Laufe der Zeit hat sich dieser 'lineare' Prozess zu einer langen Kette entwickelt, von der die meisten von den 'Produzenten' von Abfällen verschwunden sind. Die entstehende Kreislaufwirtschaft zerbricht und modelliert diese Kette in einen komplexen Kreislauf aus Stoffflüssen, Daten und Stakeholderinterventionen, der verspricht, den Nutzen für Gesundheit, Gesundheit, Umwelt und Wirtschaft zu kombinieren. Kirchherr, Reike und Hekkert (2017) haben eine Metastudie zu 114 Definitionen der Kreislaufwirtschaft durchgeführt, um Transparenz über das aktuelle Verständnis des Kreislaufwirtschaftskonzepts zu schaffen. Sie adaptierten das Konzept der 9R-Strategien im Original aus Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer (2017) und visualisierten sie in der folgenden Tabelle:

Circular economy		Strategies	
	Smarter product use and manufacture	R0 Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product
		R1 Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)
		R2 Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials
	Extend lifespan of product and its parts	R3 Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function
		R4 Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function
		R5 Refurbish	Restore an old product and bring it up to date
		R6 Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function
	Useful application of materials	R7 Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function
		R8 Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality
R9 Recover		Incineration of material with energy recovery	
Linear economy			

Abbildung 2: 9R-Strategien der Kreislaufwirtschaft (Kirchherr et al. 2017, S. 224)

Nach Potting et al. (2017) den 9R' Strategien können in einem Diagramm visualisiert werden, das die Zusammenarbeit verschiedener Stakeholder dokumentiert, die in der Wertschöpfungskette erforderlich sind. Hier wird wieder einmal deutlich, wie sehr sich die Kreislaufwirtschaft vom bisherigen linearen Wirtschaftsmodell der Lieferketten unterscheidet und wie die Komplexität der Materialflüsse durch die Vielzahl der Verbindungen zwischen den Akteuren zunimmt.

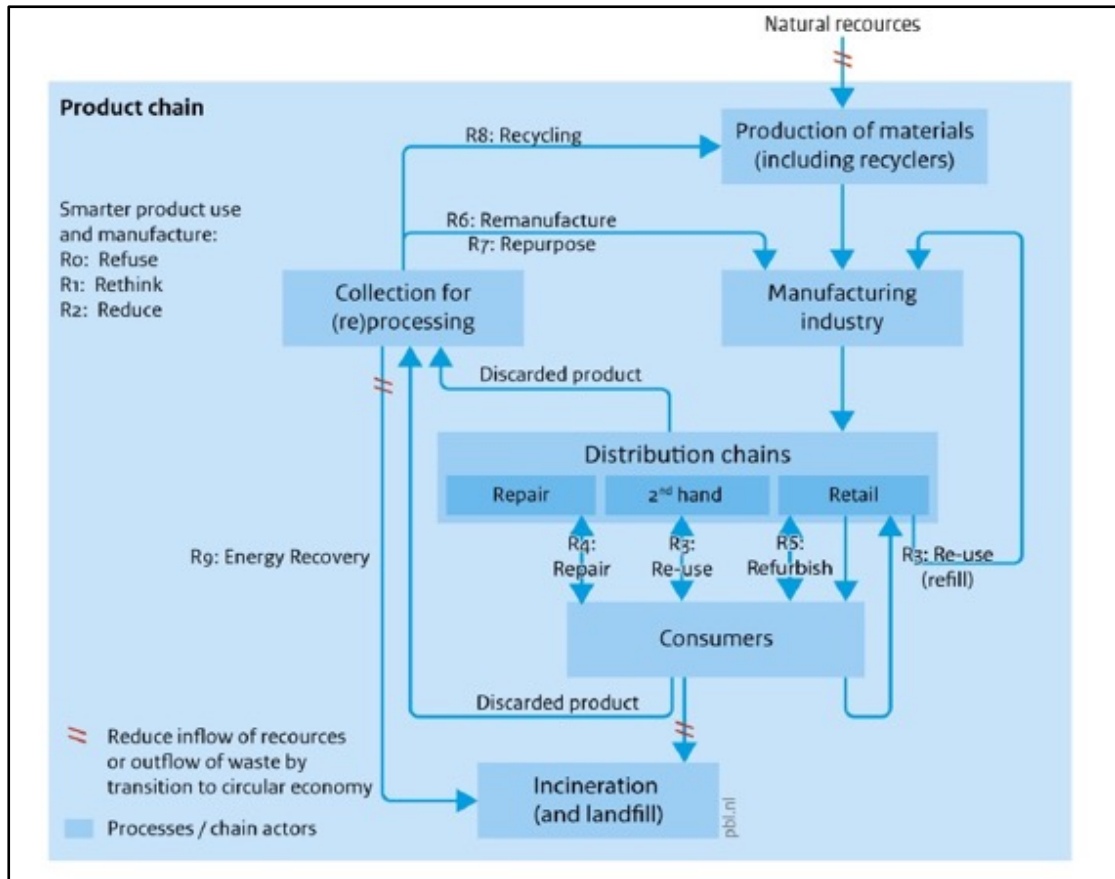


Abbildung 3: Kreislaufstrategien und die Rolle der Akteure innerhalb der Produktionskette (Potting et al. 2017, S. 16)

Diese Entwicklung wird seit langem durch Recycling- und Wiederverwendungsschleifen vorhergedeutet, die in lineare Abfallketten gepatcht wurden. In der neuen Welt der Abfälle werden diese „Schleifen“ und insbesondere ihre Bewirtschaftung nicht mehr zu mehreren gehören, sondern zur Haupttätigkeit kommunaler Abfallbewirtschaftungsorganisationen werden.

Unter Kreislaufwirtschaftsbedingungen liegt der Fokus der Abfallwirtschaftsorganisationen nicht mehr auf der Entsorgung, sondern auf Kreislaufwirtschaft, Modellierung, Kontrolle und Wertschöpfung. Die kommunale Abfallwirtschaft steht im Zentrum der Kreislaufwirtschaft, da sie die Abfallströme der Bürger und der lokalen Unternehmen erntet. Diese Abfallströme sollen künftig durch Vermeidung, Wiederverwendung, Reparatur und Recycling deutlich reduziert, umgeleitet und verarbeitet werden. Die Aufgabe der kommunalen Abfallwirtschaft besteht darin, zu entscheiden, ob ein Produkt oder eine Substanz wiederverwendet, repariert, als Ganzes recycelt, in seine Komponenten zerlegt werden soll, um wertvolle Ressourcen zu recyceln oder zu Rohstoffen verarbeitet zu werden. Die kommunalen Abfalldienste sammeln weiterhin die Abfälle, werden aber auch und vor allem als Händler von Rohstoffen und wertvollen Gegenständen an Marktteilnehmer für die sekundäre Verwendung, für das sekundäre Recycling, für die Reparatur fungieren. Diese Rolle des Distributionszentrums, die eine enge Zusammenarbeit mit Dienstleistern, Produktherstellern, Ersatzteilherstellern und Energieerzeugern erfordert, wird in Abbildung 3 dargestellt. Alle Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recycling-Zyklen durchlaufen die kommunalen Abfallwirtschaftsorganisationen als Abfallsammler, die ein Eingangstor zu Wertschöpfungsketten bilden, die in der Kreislaufwirtschaft entstehen. Der Erfolg der

Umwandlung einer linearen in eine Kreislaufwirtschaft hängt weitgehend von der Leistung der kommunalen Abfallwirtschaft ab.

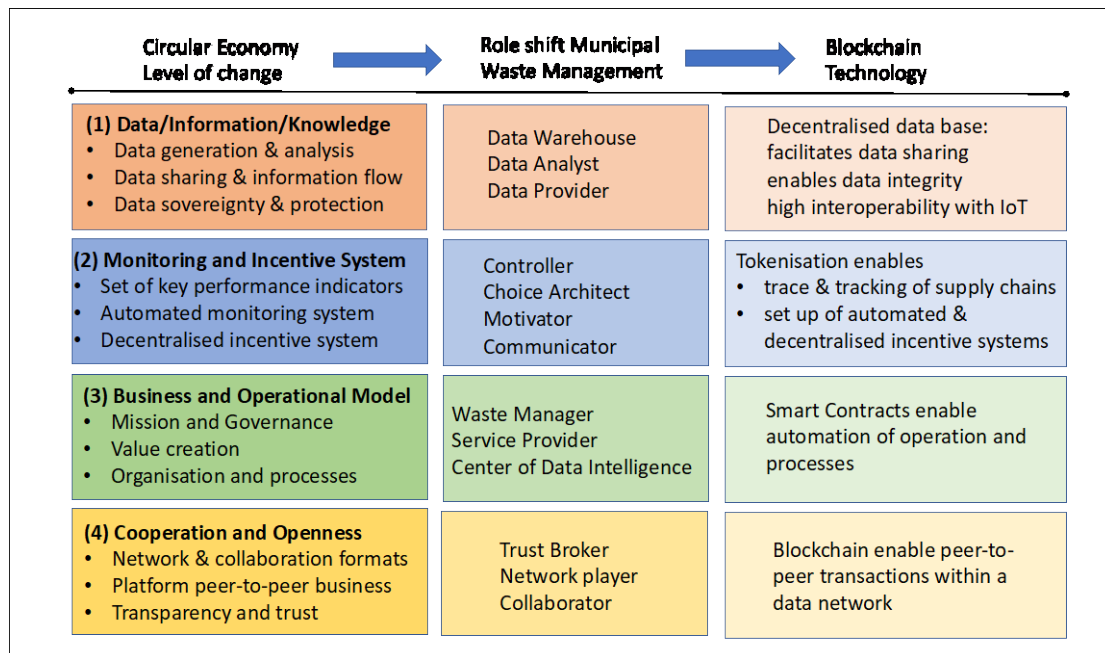


Abbildung 4: Veränderungsgrad – Rollenwechsel MWM – Blockchain-Technologie (die Autoren)

Die Umwandlung in eine Kreislaufwirtschaft stellt das aktuelle lineare Wirtschaftsmodell auf den Kopf. Dieser Systemwechsel erfordert grundlegende Veränderungen auf verschiedenen Ebenen der Wirtschaft, wie in Abbildung 4 dargestellt. So wird beispielsweise auf Ebene (1) der Datenaustausch, also der Informationsfluss und das Wissen über materielle und knappe Ressourcen innerhalb von Produkten zwischen verschiedenen Akteuren der Liefer- und Abfallkette, unverzichtbar. Aber wer sammelt, analysiert und stellt die Daten über Abfälle für und an andere Akteure zur Verfügung? Dafür müssen kommunale Entsorgungsunternehmen sorgen, die künftig als Data Warehouses, Datenanalysten und Datenanbieter agieren werden. Folglich bedeutet jede Veränderung in den verschiedenen Kategorien der Kreislaufwirtschaft eine grundlegende Veränderung der Rollen und Aufgaben kommunaler Abfallbewirtschaftungsunternehmen. Der Einsatz der Blockchain spielt dabei eine zentrale Rolle, da sie die Transformation von einem linearen zu einem kreisförmigen Wirtschaftsmodell erleichtert. Für jede der notwendigen Veränderungen auf den verschiedenen Ebenen bietet der Einsatz von Blockchain spezifische Vorteile. Das dezentrale Konzept der Blockchain ermöglicht die notwendige Zusammenarbeit und Zusammenarbeit zwischen den vielen Stakeholdern der Kreislaufwirtschaft.

Im Folgenden werden jede Veränderungsstufe kurz beschrieben und die Auswirkungen auf die Aufgaben der kommunalen Abfallwirtschaft skizziert. Im Fokus steht immer der Beitrag, den der Einsatz der Blockchain-Technologie zur Erreichung der Ziele der Kreislaufwirtschaft leisten kann.

## 2.2 Kommunales Abfalldatenmanagement

Im Folgenden wird die Bedeutung der Verfügbarkeit und des Austauschs von Daten und Informationen für die Kreislaufwirtschaft hervorgehoben und die Rolle der kommunalen

Abfallwirtschaft als Datenanbieter analysiert. Abschließend wird die Funktion der Blockchain als dezentrale Datenbank hervorgehoben. Abbildung 5 zeigt den Weg zu einer logischen Strukturierung von Änderungsaktionen.

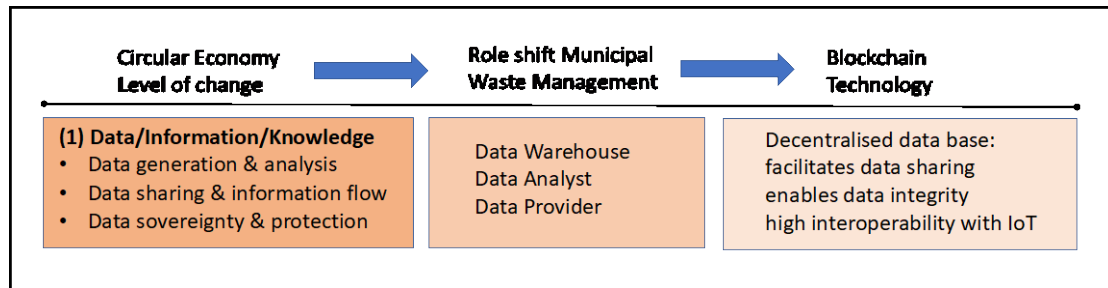


Abbildung 5: MWM als Datenanbieter für CE (die Autoren)

### 2.2.1 Die Kreislaufwirtschaft erfordert zirkuläre Informationen

Die Abfallwirtschaft kann effektiv sein, wenn alle Beteiligten Daten und Informationen auf derselben Plattform austauschen, während jeder von ihnen die vielfältigen Herausforderungen versteht, die sich in jedem Kettenprozess stellen. Jeder Wertschöpfungskettenprozess besteht immer aus drei Flows: Dem Materialfluss, dem entgegengesetzten Zahlungsfluss und dem Informationsfluss. Der reibungslose und effizient strukturierte Fluss der Information zwischen den Teilnehmern in der Prozesskette ist von entscheidender Bedeutung. Wenn der Informationsfluss behindert wird, weil es keine automatischen Schnittstellen zwischen den Datensilos der Unternehmen gibt oder weil Medienbrüche die Informationskette verlangsamen, entstehen teure Verzögerungen und Fehler im Materialfluss und im Zahlungsfluss. Zudem werden die Überwachungskosten enorm sein, denn wenn es keine Informationssicherheit über den Verlauf des Prozesses in langen Lieferketten gibt, ist eine permanente Überwachung des Status quo erforderlich. Wenn Materialien in Zukunft im Kreislauf fließen sollen, dann ist es zwingend erforderlich, dass der Informationsfluss auch dem Zyklus folgt.

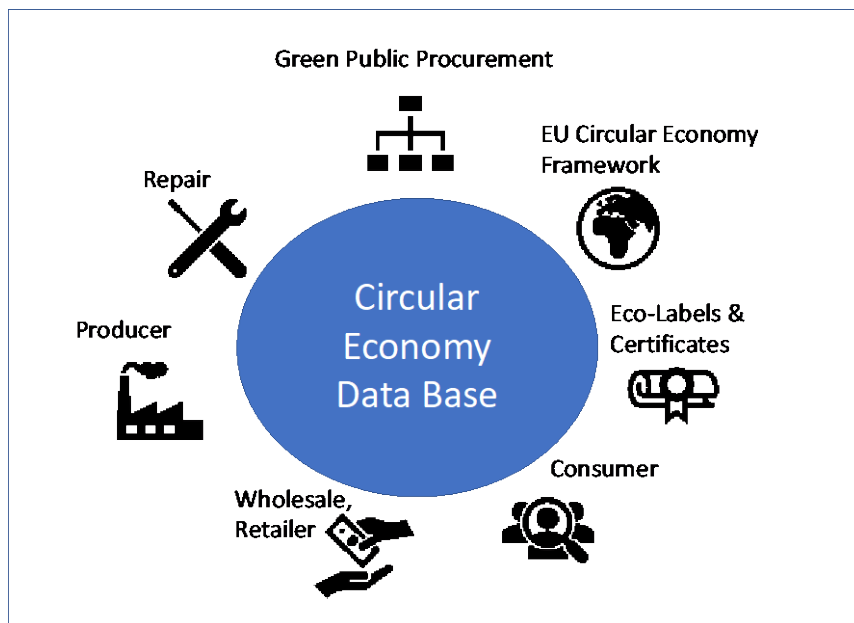


Abbildung 6: Kreislaufwirtschaft erfordert zirkulären Informationsfluss (die Autoren)

Die Produzenten müssen wissen, wann und wie viel von welchem recycelten Material aus der kommunalen Abfallwirtschaft in ihre Produktion zurückfließt, um eine Just-in-Time-Planung zu ermöglichen. Auch Groß- und Einzelhändler, die künftig auch recycelbare Produkte anbieten werden, werden sich über die Lieferung und Lagerung dieser Produkte informieren wollen. Die Verbraucher sollten von den Herstellern über die Langlebigkeit der Produkte und ihre Umweltverträglichkeit informiert werden. Darüber hinaus sollten Verbraucher, Hersteller und Einzelhändler künftig darüber informiert werden, wie viel Abfall und welche Kategorien sie ausgegeben haben, damit sie die Gebühren auf der Grundlage der tatsächlichen Abfallproduktion berechnen können. Die örtlichen Werkstätten möchten von den Herstellern über Reparaturanweisungen und über die Beschaffung der notwendigen Ersatzteile informiert werden. Die EU möchte einen Rahmenplan für die Berichterstattung über die Kreislaufwirtschaft einrichten, um die Prozesse zu überwachen, sodass relevante Daten und Informationen benötigt werden.

Die Bewertung der Umweltauswirkungen von Produkten, die durch Umweltzeichen und externe „Rating-Agenturen“ gewährleistet werden, erfordert ebenfalls eine sichere Datenquelle. Das gilt auch für die grüne öffentliche Auftragsvergabe, die auch verlässliche Daten benötigt.

### 2.2.2 Keine Offenlegung von Informationen ohne Datenintegrität und Datenschutz

Transparenz und Datenaustausch gehen jedoch mit dem Risiko einer Verletzung der Privatsphäre oder des Diebstahls von Geschäftsgeheimnissen oder einer Gefährdung der Sicherheit der eigenen Datenbank (Cyber-Sicherheit) einher. Zumal die Bereitstellung von Daten für den jeweiligen Zweck und deren Übertragung über automatische Datenschnittstellen mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Einige aktuelle Geschäftsmodelle basieren ausschließlich auf Informationsasymmetrie zwischen den Marktteilnehmern und könnten es in Zukunft schwer haben, zu überleben.

Die Auswirkungen der Informationsasymmetrie sind auch auf der Empfangsseite der Daten erkennbar. Kann der Empfänger der Daten, sei es der Verbraucher, das Recyclingunternehmen usw., darauf vertrauen, dass die Produktdaten echt, glaubwürdig und aktuell sind und vom Hersteller als Quelle stammen? Wie kann die Integrität und Gültigkeit der Daten nachgewiesen werden? Die Datenintegrität muss die Konsistenz, Vollständigkeit, Richtigkeit und Gültigkeit der Daten über den gesamten Aufbewahrungszeitraum gewährleisten. Alle Datenänderungen müssten rückverfolgbar dokumentiert werden, damit Daten nicht unbemerkt oder ohne Genehmigung geändert oder manipuliert werden können.

Interviews mit Unternehmen zur Einführung eines materiellen Reisepasses zeigen, dass Unternehmen die Kontrolle über ihre Daten verlangen. Mit anderen Worten, sie wollen die Souveränität über ihre Daten sein und selbst entscheiden, wer zu welchem Zeitpunkt und in welchem Umfang Zugang zu ihren Daten hat. Darüber hinaus sollte nicht jeder Partner in der Liefer- und Abfallkette vollen Zugriff auf alle Daten haben, und insbesondere der Zugriff auf sensible Unternehmensdaten sollte eingeschränkt bleiben. Hier ergeben sich erneut die rechtlichen Fragen zur Haftung für Missbrauch/Missbrauch von Daten und zur Dokumentation, wer zu welchem Zeitpunkt Zugriff auf welche Datensätze hatte (Rudolphi, 2018).

Derzeit wird das fehlende Vertrauen in den Datenaustausch im Unternehmenssektor meist durch gesetzliche Verträge wie Offenlegungspflichten angegangen, die den Empfänger der

Daten für den Missbrauch oder die Weitergabe der Daten an Dritte haftbar machen. Oder aber öffentliche oder private Institutionen (Aufsichts- und Aufsichtsbehörden, Prüfer) werden als Vertrauensvermittler eingesetzt, die die Daten überprüfen, zertifizieren, Zugriffsrechte verwalten und deren Nutzung überwachen (Verhulst, 2018). In den meisten Fällen kommen für die Datenbanken webbasierte zentrale Cloud-Lösungen von IT-Unternehmen zum Einsatz, was die Vertrauenslast hinsichtlich Integrität und Sicherheit der Daten auf den Cloud-Anbieter verlagert. Aus Verbrauchersicht sind Produktkennzeichnungen und Zertifikate von externen, herstellerunabhängigen öffentlichen und privaten Institutionen besonders wichtig, um das Vertrauen in die Gültigkeit von Herstellerinformationen zu stärken. Schließlich agieren Zertifizierungsstellen auch als Vertrauensvermittler zwischen Verbrauchern und Produzenten.

Diese Lösungen für das grundlegende Problem der Informationsasymmetrie haben eine Branche von Auditoren, Testunternehmen, Ratingagenturen und Cloud-Datenbankanbietern geschaffen, deren zentrale Aufgabe die Registrierung, Kontrolle, Prüfung und Verwaltung von Daten ist. Auf der öffentlichen Seite spiegelt sich diese bürokratische Belastung durch eine wachsende Zahl öffentlicher Institutionen wider, die für die Aufsicht und Regulierung auf der Grundlage eines komplexen Rechtssystems verantwortlich sind. Trotz dieses erheblichen Aufwands bleibt es fraglich, ob ein solches System den Anforderungen der Informationsflüsse einer Kreislaufwirtschaft gerecht wird, angesichts der schieren Teilnehmerzahl, der weiten Verzweigungen der Liefer- und Abfallketten, der dynamischen Prozesse und der daraus resultierenden Variabilität der Daten. Die Blockchain als dezentrale Datenbank könnte als Vertrauensmakler zwischen den beteiligten Stakeholdern fungieren, wie unten gezeigt wird.

### 2.2.3 Kommunales Abfalldatenmanagement

Die Frage ist, wer Daten in der Kreislaufwirtschaft sammelt und aufzeichnet. Letztlich kann dies nur durch die kommunale Abfallwirtschaft sichergestellt werden. Hier kommen die Daten auf, wenn Abfälle von Unternehmen und Verbrauchern gesammelt werden. Müllwagen und Smart Bins sollen mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet werden und während der Sammlung eine Vielzahl von Daten zu Abfallmenge, Qualität, Standort, Route und Schadstoff sammeln und direkt in einer Datenbank speichern.

Die Abbildung eines Abfallfahrzeugs, ausgestattet mit allen Möglichkeiten der Nutzung von IoT-Lösungen, gibt einen hervorragenden Überblick über die Digitalisierung des Abfallsammelprozesses.

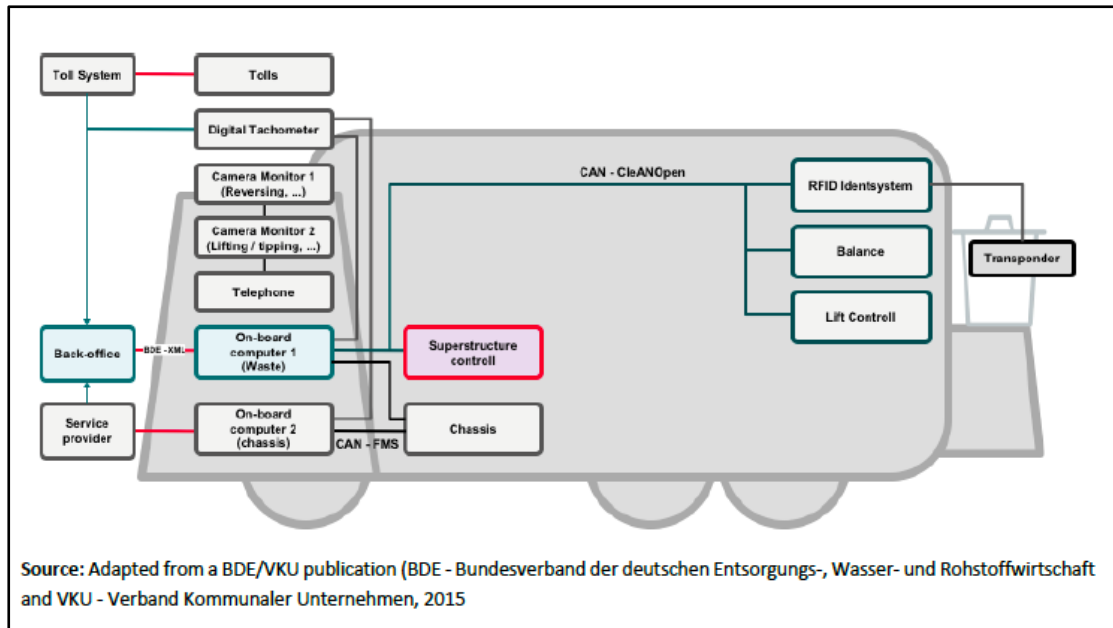


Abbildung 7: IoT-Lösungen sollen in Altlastwagen integriert werden (Berg und Sebestyén 2020, S. 22)

Für eine erfolgreiche Umsetzung eines Blockchain-basierten Abfallwirtschaftssystems ist es von den zuständigen Behörden erforderlich, dass das System Daten zu verschiedenen Aspekten der Abfallwirtschaft (operativ, wirtschaftlich, ökologisch und sozial) sammelt und analysiert. Dazu können Sammlung, Transport, Behandlung, Material- und Energierückgewinnung und -Entsorgung gehören. Durch den Einsatz fortschrittlicher digitaler Technologien (Robotik, IoT, Data Analytics, Blockchain) könnte eine Verlagerung hin zu einer nachhaltigen Materialwirtschaft erreicht werden, die jeden Abfallwirtschaftssektor beeinflusst. IoT wird beispielsweise Material- und Informationsflüsse verbinden, die für Hersteller nützlich sein könnten, um neue Produkte auf der Grundlage der Kreislaufwirtschaft zu verfolgen, zu überwachen, zu steuern, zu optimieren und schließlich bereitzustellen. Steigende Abfallmengen, Klimakrisen oder erweiterte Herstellerverantwortung sind die Hauptgruppen einer solchen Verschiebung. Die Betreiber müssen sich jedoch mit den Investitionskosten, dem Mangel an digitaler Kompetenz und einem digitalen Ökosystem, Sicherheitsbedenken und der Angst vor Arbeitsplatzverlusten auseinandersetzen. Der aktuelle Trend in der Abfallwirtschaft, der in naher Zukunft dominieren wird, beinhaltet die Einführung neuer Geschäftsmodelle wie Abfallhandelsplattform, abfallspezifische Software-Suites und Business Analytics (Berg & Sebestyén, 2020).

Die Abfallentsorgung spielt wahrscheinlich die größte Rolle im gesamten Prozess, da sie die nachfolgenden Vorgänge der Wiederverwendung, des Recyclings und der Entsorgung (Bertanza, Ziliani, & Menoni, 2018) beeinflussen kann. In allen Fällen müssen die oben genannten Maßnahmen entsprechend den Prioritäten der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG der Europäischen Union (EU) und den im Europäischen Green Deal festgelegten Zielen angegangen werden. (European Union, 2008) (European Commission, 2019)

Für die Bewertung kommunaler Strategien zur Bewirtschaftung fester Abfälle sind große Datenbanken, systematische Datenerhebung und mehrere Verarbeitungsverfahren (Teixeira, Russo, Matos, & Bentes, 2014) erforderlich. Daten zur Abfallbewirtschaftung werden als entscheidend für die Umsetzung einer angemessenen Politik und Planung für lokale Kontexte (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018) angesehen. In den meisten Fällen unterstützen

aktuelle Abfallmanagementsysteme die manuelle Dateneingabe, was wiederum eine erhöhte Fehlerwahrscheinlichkeit und ungenaue Informationen zur Folge hat. In einem modernen Abfallsammelsystem werden jedoch intelligente Abfallbehälter, die mit IoT-Sensortechnologie ausgestattet sind, die den Abfallstand überwacht und Daten über Internetdienste an einen Server überträgt, die Hauptdatenquelle sein, wie RFID- und GPS-Sensoren, die den Standort eines Abfallsammelfahrzeugs verfolgen. Tonnen von Daten, die an Sammelstellen generiert werden, sind in den meisten Fällen unstrukturiert. Mit geeigneten Datenanalysetools werden sie jedoch in hoch strukturierte Daten umgewandelt, die für die Verarbeitung zur Verfügung stehen. Füllstand, VOC-Gehalt (Volatile Organic Compounds), Temperatur und Luftfeuchtigkeit von Abfallbehältern sind wichtige Daten zur Abfallerzeugung. Diese Daten werden zusammen mit Daten zur Bevölkerungsdichte, zu bestehenden Abfallstrategien und -Politiken, zu Anzahl und Merkmalen von Stakeholdern und Infrastrukturen sowie zur Durchführung detaillierter Abfallkompositoranalysen politischen Entscheidungsträgern Informationen zur Festlegung ihrer Abfallbewirtschaftungsstrategien, Sensibilisierungsaktivitäten und Motivationsmaßnahmen (Yoo, Rhim, & Park, 2019; Zorpas, 2020) liefern. Laut dem ETC/WMGE-Bericht (Berg & Sebestyén, 2020) ist „Datenanalyse die Aufgabe, Daten zu verarbeiten und zu analysieren, um Muster zu identifizieren, Informationen zu extrahieren, Trends zu entdecken oder Modelle zu kalibrieren“. Die Analyse von Abfalldaten umfasst eine deskriptive und prädiktive Modellierung mithilfe statistischer und maschineller Lernmethoden und -Techniken. Um genau zu sein, können Baum-basierte, neuronale und evolutionäre Algorithmen zusammen mit dem Einsatz von IoT nützliche Informationen über eine Vielzahl von Faktoren liefern: Stakeholder-Profile, Anomalien bei der Abfallerzeugung, Klassifizierung der Abfallerzeuger, verbesserte Logistik dank optimierter Abfallsammelwege, die unnötigen Verkehr und nachfolgende Luftverschmutzung sowie die damit verbundenen Kosten (Anh Khoa et al., 2020) reduzieren.

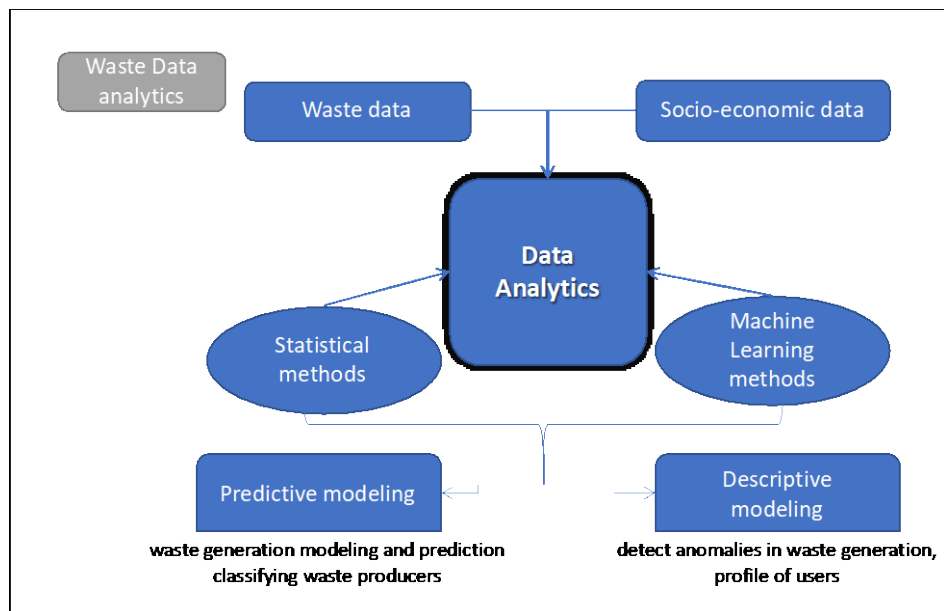


Abbildung 8: Tools zur Abfallanalyse (die Autoren)

Insgesamt werden Verbesserungen im Prozess der Abfallsammlung und -Behandlung durch eine optimierte Ressourcen- und Routenplanung, Datenanalyse und Kommunikation mit Bürgern, Verbrauchern und Kunden erwartet. Das Recycling kann auf Seiten der Produzenten durch die Erleichterung des Einsatzes von Recyclaten verbessert werden. Auf der Seite der



Verbraucher können Verbesserungen vorgenommen werden, indem bessere Einkaufs- und Sortierentscheidungen ermöglicht werden. Auf der Seite der Recycler wird die Abfallbeschaffung verbessert. Diese Entwicklung steht im Einklang mit dem Fokus der zukünftigen Abfallwirtschaft, der sich von der Abfallbehandlung zur Materialwirtschaft ändert.

Individualisierte Abfalldaten sind sensible Daten über das individuelle Konsumverhalten, die nur streng anonymisiert an Dritte weitergegeben werden dürfen, so dass keine Rückschlüsse auf die betroffene Person gezogen werden können. Die Bürger werden in der Regel mehr Vertrauen in lokale Kommunen als öffentliche Einrichtungen haben als in kommerzielle Unternehmen, wenn es um den Datenschutz geht. Auch für Unternehmen ist der Datenschutz, einschließlich der unternehmensspezifischen Abfalldaten, von absoluter Bedeutung, um das Geschäftsgeheimnis zu schützen. In dieser Hinsicht ist klar, dass nicht jeder Stakeholder uneingeschränkten Zugriff auf alle Daten in der Datenbank haben kann. Ein eingeschränkter Zugriff gemäß den Datenschutzrichtlinien wird die Norm sein. Aus Effizienzsicht ist es jedoch viel kostengünstiger, eine gemeinsame öffentliche Datenbank einzurichten, als eine separate Datenbank (Silo) für die oben genannten Zwecke zu erstellen. Für die lokalen Gemeinden und die lokalen nachgelagerten Behörden, d.h. den öffentlichen Sektor, stellt die kommunale Abfallwirtschaft die Analyse der lokalen Abfalldaten und die Berichterstattung sicher. Im Gegenzug nutzen private Stakeholder ihre eigenen Analysetools über automatisierte Schnittstellen mit der Datenbank.

#### 2.2.4 Blockchain erleichtert den Datenaustausch in der Kreislaufwirtschaft

Eine der Schlüsselfragen des nachhaltigen Wirtschaftes ist, wie man Vertrauen zwischen unbekanntem Parteien schafft, um Transaktionen zu ermöglichen. Dies wurde bisher durch Vermittler ermöglicht, die als Vertrauensvermittler agieren, deren Rolle jedoch zu einer Erhöhung der Transaktionskosten führt und die Märkte weniger effizient macht. Die Blockchain-Technologie kann dazu beitragen, das erforderliche Vertrauensniveau und damit die Transaktionskosten der an der Transaktion beteiligten Parteien zu minimieren, indem sie beispielsweise die Abhängigkeit von Vermittlern reduziert.

Verhulst (2018) schreibt: *Im Kern sind Blockchain-Technologien eine neue Art von Offenlegungsmechanismus, der das Potenzial hat, einige der oben aufgeführten Informationsasymmetrien zu beheben. Blockchain nutzt eine gemeinsam genutzte und verifizierte Datenbank von Büchern, die in einem verteilten Mann-ner gespeichert sind, um Informationsökosysteme transparenter, unveränderlicher und vertrauenswürdiger zu gestalten. Die Lösung von Informationsasymmetrien könnte das reale Potenzial von Blockchain sein, und dies – viel mehr als der aktuelle Hype um virtuelle Währungen – ist der wahre Grund, sein Potenzial zu bewerten.*

Eine Blockchain ist ein öffentliches, unveränderliches, verteiltes Hauptbuch zum Speichern von Daten und zum Aufzeichnen von Transaktionen.

- Im Allgemeinen könnte ein „Hauptbuch“ als eine Datenbank definiert werden, die Transaktionen in chronologischer Reihenfolge unter Verwendung eines Zeitstempels aufzeichnet. Ein Bankkunde sieht das Konto seines Bankkontos bei der Prüfung von Transaktionen (Cash in- und Outflows) über das Online-Banking-Portal. Es handelt

sich jedoch um ein einzelnes Privatbuch, da nur der Buchhalter der Bank die Möglichkeit hat, das Hauptbuch zu ändern.

- Ein „öffentliches“ Hauptbuch ist für alle Teilnehmer eines Netzwerks zugänglich und alle haben gleiche Rechte, ohne dass Hierarchien existieren. Es gibt keinen einzigen Verwalter, der das ausschließliche Recht hat, den Status des Hauptbuchs durch die Aufzeichnung neuer Transaktionen zu ändern. In einem verteilten Ledger kann jeder Netzwerkteilnehmer die vollständige Transaktionsliste (komplette Historie) herunterladen und hat das Recht, das Ledger zu lesen, Daten hinzuzufügen und zu speichern.
- „Unveränderlich“ bedeutet, dass es nach dem Speichern und Verschlüsseln der Daten einer Blockchain fast unmöglich ist, diese nachträglich zu ändern oder zu löschen. Es ist daher nur möglich, neue Daten hinzuzufügen.
- „Verteilt“ bedeutet, dass eine öffentliche Blockchain nicht der Kontrolle eines Teilnehmers oder einer Organisation unterliegt. Stattdessen verwaltet und sichert das Netzwerk (d.h. die Gesamtheit aller Teilnehmer) die Daten, und jeder Teilnehmer speichert grundsätzlich eine vollständige Kopie aller Daten.

Die Kernkomponenten einer Blockchain bestehen regelmäßig aus einer Kombination aus Kryptographie, Peer-to-Peer-Netzwerktechnologie, Konsensmechanismen, Ledger und einer Reihe von Regeln zur Bestimmung gültiger Transaktionen. Eine Blockchain ist somit eine verteilte, hochmoderne manipulationssichere digitale Datenstruktur, mit der alle Arten wertvoller Daten gespeichert werden können. Eines der wichtigsten Merkmale von Blockchains ist, dass es keine zentrale Autorität gibt, der man vertrauen muss (wie zum Beispiel beim Cloud Computing) und dass jeder einzelne Teilnehmer eines Blockchain-Netzwerks jede einzelne Transaktion von Anfang an selbst prüfen und validieren kann. Diese Transparenz soll sich abschreckend auf Fehlverhalten auswirken und es ermöglichen, jederzeit und ohne Grund Kontrollen durchzuführen. Die Blockchain erfordert daher kein Vertrauen in einen Vermittler, da sie es den Teilnehmern selbst ermöglicht, Vertrauen (BaFin, 2018) aufzubauen.

Die Blockchain-Technologie eignet sich ideal als gemeinsames Datennetzwerk zur Speicherung und Übertragung von Daten zwischen einer großen Anzahl von Netzwerkteilnehmern, um so die Informationsasymmetrie zu überwinden und auch eine dezentrale Anreizstruktur aufzubauen. Der Begriff "öffentliche Infrastruktur" passt hier am besten für den anreizbasierten und kontrollierten Datenaustausch, der die Voraussetzung für das Funktionieren der Kreislaufwirtschaft ist.

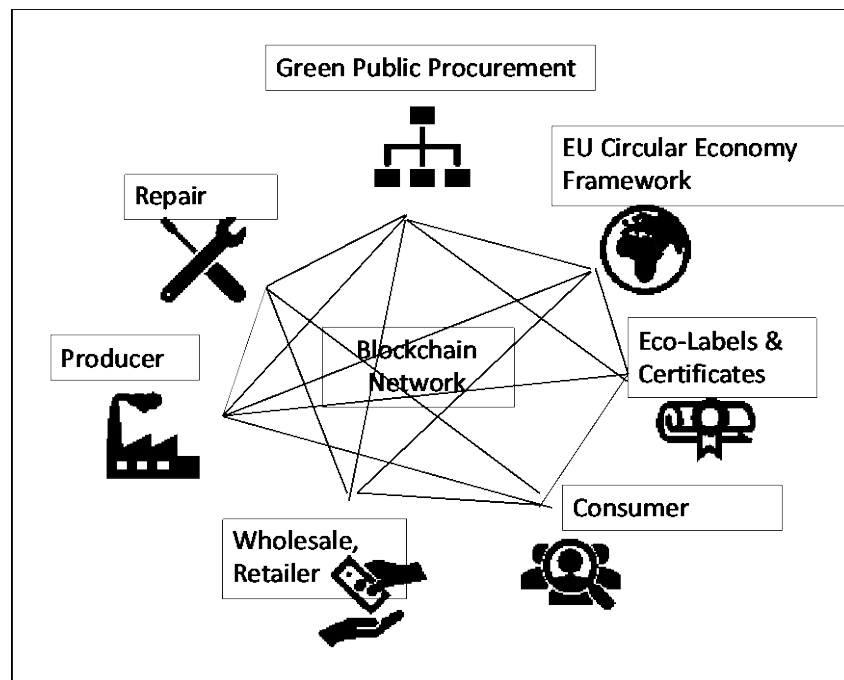


Abbildung 9: Blockchain-basierter Informationsfluss (die Autoren)

Zirkuläre Materialflüsse erfordern einen dezentralen Informationsfluss zwischen den Stakeholdern. Die Grundvoraussetzung für einen zirkulären Materialfluss ist der dezentral organisierte Informationsfluss innerhalb eines Netzwerks von Stakeholdern. Genau das kann die Blockchain. Die dezentrale Organisation des Netzes hat zwei entscheidende Vorteile: Angesichts der schieren Teilnehmerzahl ist es eine Illusion zu glauben, dass eine zentrale Datenbank mit zentralem Management immer auf dem neuesten Stand sein oder sogar die Masse an Daten, die sich ansammelt, effizient verarbeiten kann. In dieser Hinsicht ist der dezentrale Charakter des Netzwerks, in dem Sinne, dass jeder einzelne Stakeholder für die Eingabe der Daten verantwortlich ist und auch dafür haftbar gemacht werden kann, die effizienteste Form der Organisation des Informationsflusses. Es ermöglicht allen Akteuren der Liefer- und Abfallkette, unabhängig von ihrer Beziehung, den Datenaustausch einfach, schnell und sicher zu gestalten und den Handel für alle Parteien zu optimieren. Netzwerkpfade sind nicht vordefiniert, sondern entwickeln sich dynamisch, sodass jeder Teilnehmer seinen Informationsaustausch selbstbestimmt gestalten kann. Der dezentrale Charakter von Blockchain-Netzwerken benötigt keine zentrale Autorität, um einen zentralen Account für den Austausch von Informationen und digitalen Werten zu betreiben. Peers sind in der Lage, Informationen und Werte aus eigener Initiative bereitzustellen und auszutauschen.

### 2.2.5 Selbstverwaltung von Identität und Datenintegrität

Dieses dezentrale Konzept kommt mit der Selbstsouveränität von Identität und privaten Daten zusammen. Der Identitätsnachweis, das Wissen darüber, wer ein Stakeholder ist, ist für jede vertragliche Beziehung in unserer Gesellschaft unerlässlich. Der Identitätsnachweis beruht auf personenbezogenen Daten wie Name, Geburtsdatum, Fingerabdrücke, Passnummer, Bankkonto usw. die Vertragsparteien müssen sich im Falle einer Vertragsverletzung zu 100 % der Identität des Gegenübers und seiner Verantwortlichkeit sicher sein. Identitätsdiebstahl und Missbrauch personenbezogener Daten durch Hacker sind hohe Risiken. Im derzeitigen System wird der Identitätsnachweis von Einzelpersonen von

Organisationen, der öffentlichen Verwaltung und Unternehmen erbracht. Die Blockchain folgt einem dezentralen Identifikationskonzept: Jeder Netzwerkteilnehmer ist der Souverän seiner digitalen Identifikation und seiner Daten.

Die privaten Daten und ihre Attribute sind Eigentum und werden von Einzelpersonen kontrolliert und von ihnen in einem digitalen Safe gespeichert und können teilweise oder vollständig, vorübergehend oder dauerhaft sowie zur eingeschränkten oder uneingeschränkten Nutzung mit anderen Netzwerkcollegen über einen öffentlichen Schlüssel geteilt werden. Jeder Zugriff eines Dritten auf die private Datenbank wird registriert, aufgezeichnet und mit Zeitstempel versehen. Das Konzept der Selbstsouveränität beinhaltet das Recht auf Datenübertragbarkeit, d.h. die Entfernung von personenbezogenen Daten von einer Organisation und deren Verlagerung auf eine andere oder einen privaten Aufbewahrungsort (Lenz, 2019b, p. 22).

Dieser Aspekt der Kontrolle über die eigenen Daten scheint gerade für Unternehmen im Hinblick auf die Bereitstellung von Produktinformationen von großer Bedeutung (Rudolphi, 2018) zu sein. Narayan and Tidström (2020) schlagen Sie vor, die Bereitstellung von Produktinformationen selbst als Produkt zu betrachten. Das Recyclingunternehmen hat einen wirtschaftlichen Vorteil durch die genauen Angaben des Herstellers zu den im Produkt verwendeten recycelbaren Materialien. Gleiches gilt für ein externes Unternehmen, das die Produkte repariert, was einen wirtschaftlichen Nutzen aus präzisen Reparaturanweisungen zieht. Folglich stellen Produktinformationen einen digitalen Wert dar und die Nutzungsrechte an den Produktinformationen könnten als Token über die Blockchain verkauft werden.

*Durch die Umwandlung von Produktinformationen in offen verfügbare und zugängliche Token in der Blockchain wäre das zentrale Thema für die Wertschöpfung nicht Information und Wissen als solche, sondern die Fähigkeit, die Informationen zu nutzen. Die Unternehmen würden leicht den Ursprung von Informationen und geeignete Kooperationspartner identifizieren, um die Wertschöpfung zu fördern. (Narayan & Tidström, 2020)*

### 2.3 Kommunalen Abfallmanager als Verhaltensmanager

Im Folgenden wird die Bedeutung der Einrichtung eines intelligenten Überwachungs- und Anreizsystems für jeden Stakeholder der Kreislaufwirtschaft hervorgehoben und die Rolle des kommunalen Abfallmanagements darin analysiert. Da die Blockchain digitale Werte als Token übertragen lässt, könnte sie die Einrichtung eines solchen Überwachungs- und Anreizsystems erleichtern. Abbildung 9 zeigt den Weg zur logischen Struktur der folgenden Analyse.

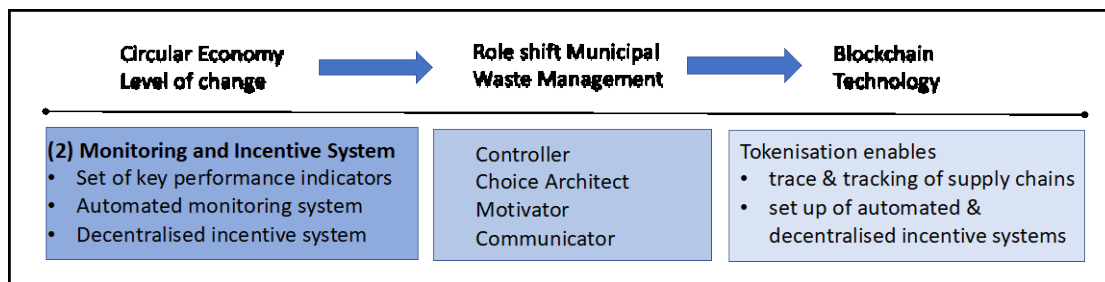


Abbildung 10: MWM als Choice Architect für die Entscheidungsfindung (die Autoren)

### 2.3.1 Die Kreislaufwirtschaft braucht ein intelligentes System dezentraler Anreize

Das Wirtschaftsmodell der Kreislaufwirtschaft markiert einen klaren Bruch mit dem aktuellen Line-ar-Modell. Wenn sie gut umgesetzt wird, wird die Lebensdauer der Produkte deutlich steigen und die Industrie auch dazu ermutigen, langlebige und qualitativ hochwertige Waren herzustellen. Die Industrie muss sich von einer kurzfristigen, auf die Massenproduktion ausgerichteten Hochskalierung als Profitquelle abbringen. Mehr Umsatz und Gewinn werden durch Verkäufe mit geringeren Mengen höherer Qualität und einer höheren Rendite pro Produkt generiert. Das Marketing der Unternehmen wird sich dementsprechend ändern und sich von Prämien oder Rabatten absetzen, die Kunden gewährt werden, die so viel wie möglich kaufen ('buy Four for the price of three'). Der Fokus wird auf der Hervorhebung der Kundenvorteile liegen, die in der richtigen Übereinstimmung mit den Bedürfnissen und Vorlieben der Kunden liegen. Kunden werden nicht primär dazu ermutigt, zehn Paar Schuhe zu kaufen, sondern weniger Paar von hoher Qualität. In der Kreislaufwirtschaft kann der Kauf brandneuer Produkte zweitbesten werden, da er den Konsum neuer Rohstoffe mit sich bringt. Ein Vorteil liegt darin, Ressourcen zu sparen, gebrauchte Produkte zu kaufen oder defekte Produkte reparieren zu lassen. Wenn es sich um ein neues Produkt handelt, muss es ein Produkt sein, das einen hohen Anteil an recycelten Materialien enthält.

Es stimmt, dass dies Erinnerungen an Geschichten von Großeltern über die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg zurückbringt, als Produktionskapazitäten zerstört wurden und viele Materialien und Produkte nicht verfügbar oder nicht erschwinglich waren. Die Menschen wurden gezwungen, das vorhandene zu würdigen und sparsam zu nutzen. Damals, wie jetzt bei der Abfallpyramide, lag der Fokus auf der Vermeidung von Wegwerfen, der Wiederverwendung und Reparatur von Produkten. Damals war es jedoch nicht die freie Entscheidung der Bürger, sondern eine reine Notwendigkeit, sich aufgrund von Lieferengpässen für gebrauchte Produkte zu entscheiden. Das ist heute anders. Die Bürger können freie Entscheidungen treffen und werden ständig dazu angeregt, neue und mehr Produkte zu kaufen. Die meisten Geschäftsmodelle basieren auf dem Prinzip, Skaleneffekte zu erzielen, indem das Absatzartikelvolumen erhöht und die Stückkosten gesenkt werden.

Das derzeitige Wirtschaftssystem beruht auf dem Grundsatz, dass mehr Transaktionen zu mehr Gewinn führen. Um dieses Prinzip auf den Kopf zu stellen, damit letztendlich weniger Transaktionen zu höheren Gewinnen führen, ist ein starkes Anreizsystem erforderlich, das Stakeholder auf allen Ebenen der Liefer- und Abfallkette dazu motiviert, ihr Verhalten zu ändern. Natürlich könnte es leicht erscheinen, die Ziele einer Kreislaufwirtschaft zu erreichen, wenn diese Art von Systemwechsel von einer autoritären Regierung in einem Top-Down-Ansatz (Angebot und Befehl) umgesetzt werden sollte, aber es ist zweifelhaft, dass dieser Prozess in seinen Ergebnissen nachhaltig wird. In einer Marktwirtschaft und in einem demokratischen Umfeld wird nur ein dezentraler Ansatz mit einem starken Anreizsystem in Verbindung mit Transparenz, offenen Informations- und Wissensflüssen, die jedem Einzelnen seine wirtschaftliche Freiheit garantieren, dauerhafte Ergebnisse liefern. Dieser Ansatz zielt nicht ausschließlich auf die Rationalität der Bürger ab, sondern ermöglicht auch wirtschaftliche Interessen und Anreize. Die Option „Kreislaufwirtschaft“ muss mit Überzeugung gewählt werden, aber auch den konkreten Interessen der Bürger Rechnung getragen werden, damit sie für alle Beteiligten von Interesse ist.

### 2.3.2 Kommunalen Abfallmanager – ein Manager für Verhaltensänderungen

Nichts ist schwieriger, als das Verhalten einer Person dauerhaft zu ändern. Um das Verhalten zu ändern, muss man wissen, warum man das Verhalten ändern sollte, zusätzlich zu der Zuweisung der Verantwortung für Fehlverhalten an eine Person persönlich. Das bisherige Verhalten muss als Entscheidungsoption unbequem und/oder teuer werden, während die Entscheidung, ein Verhalten zu ändern, im Gegenzug ganz einfach, frei von Unannehmlichkeiten und wirtschaftlich günstiger sein sollte. Um in den Worten von Richard Thaler (Thaler, Sunstein, & Balz, 2013) zu sprechen, ist die Gemeinde der Architekt der Entscheidungssituation eines Bürgers im Hinblick auf den Kauf eines neuen Produkts, das in schweren oder leichten Verpackungen erhältlich ist oder das alte Produkt weiterhin verwendet, das alte Produkt repariert, Kaufen eines wiederverwendeten Produkts und trennen recyclingfähige Material. Leider wird die Entscheidungssituation oft nicht nur vom örtlichen Entsorgungsunternehmen beeinflusst, sondern auch von einer Reihe anderer Entscheidungsarchitekten, die sich oft als Gegner herausstellen (z.B. Marketing).

Allerdings hat die Gestaltung der Entscheidungssituation eines Bürgers in einer Gemeinde einen gewissen Einfluss. In vielen EU-Ländern zahlen die Bürger immer noch eine Art Pauschalgebühr an ihre Gemeinde für die Sammlung und Entfernung von Abfällen. Diese Gebühr hängt oft von der Größe des Hauses oder der Wohnung und der Anzahl der Einwohner ab. Da die Vermüllung negative soziale Kosten verursacht, bedeutet diese Gebühr, dass der Bürger für ein wachsendes Abfallaufkommen keine Grenzkosten zahlt. Wie Messina und Tomasi (2020) feststellen, führt diese *„Fehlausrichtung zwischen individuellen und sozialen Kosten zu einer exzessiven Verschwendung und damit zu einer ineffizienten Zuweisung öffentlicher Ressourcen“*. Im Gegensatz dazu ist das Pay-as-you-throw-Gebührenmodell darauf ausgelegt, jede zusätzliche Abfalleinheit zu berechnen, und *„die individuellen Grenzkosten werden mit den sozialen Kosten neu ausgerichtet, was einer Verringerung der Abfallmenge und einer größeren Neigung zum Recycling zugute kommt“*.

Die Einführung des PAYT-FEE-Modells hat auf der Grundlage empirischer Untersuchungen von Messina und Tomasi (2020) und Kinnaman (2006) einen signifikanten Einfluss auf das Nutzerverhalten: Der Gesamtabfall nimmt ab, der unsortierte Abfall halbiert sich fast. Die Gesamtkosten der Kommunen, die PAYT einführen, sinken um rund 10-20 Prozent in der Kapitalausstattung, was einer Reduzierung der Kosten für die Bewirtschaftung undifferenzierter Abfälle um ein Drittel entspricht.

Bei der Einführung des Pay-as-you-throw-Systems scheinen vor allem zwei Aspekte wichtig zu sein: Zum einen kann die erzeugte Abfallmenge dem einzelnen Haushalt oder dem jeweiligen Bürger über Sensoren im Abfallbehälter und auf dem Müllwagen direkt zugeordnet werden. Das macht die Verbraucher für ihr Handeln verantwortlich und verringert die Gefahr von moralischem Risiko oder Freifahren auf Kosten der Gemeinschaft. Zweitens sollte das Pay-as-you-throw-System symmetrischer gestaltet werden, in dem Sinne, dass der Bürger auch über ein Pfand- oder Rückerstattungssystem für Recyclingmaterialien am Gewinn seines Abfallwirtschaftsunternehmens teilhaben sollte. Das bedeutet, dass das PAYT-System durch ein Pay-and-receive-as-you-throw-System ergänzt wird. Hier sollte der kommunale Abfallmanager einerseits ihre Kosten für die Weiterverarbeitung des unsortierten Restabfalls und andererseits ihre Einnahmen aus dem Verkauf des getrennten Wertstoffes offenlegen. Die Bürger sollten sich im Gegenzug an den Kosten (Bezahlung) und den Einnahmen (Erhalt) entsprechend beteiligen. Abfall wird somit zu einer Handelsressource und zum Gegenstand

von Geschäftstransaktionen zwischen Bürgern und Gemeinde, die dank ihrer Symmetrie eine höhere Akzeptanz bei den Bürgern finden könnten.

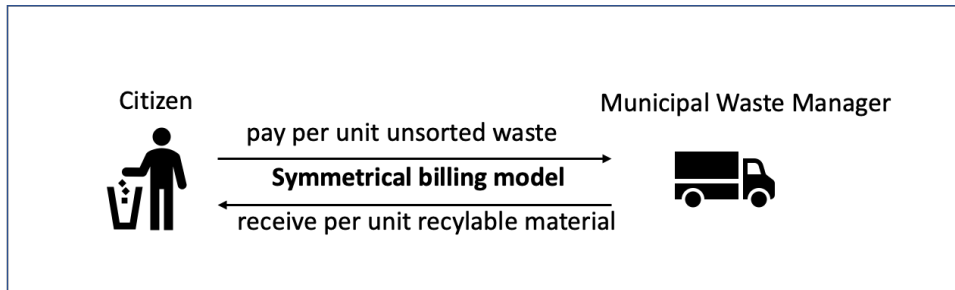


Abbildung 11: Pay-and-Receive-as-you-throw-Modell (die Autoren)

Natürlich besteht bei diesem Modell die Gefahr, dass die Bürger mehr Restmüll als recycelbaren Abfall deklarieren, um ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis zu verbessern. Für schlecht separierte, recycelbare Abfälle, insbesondere organische Abfälle, erhält die Gemeinde keine oder weniger Einnahmen. Ein weiteres Risiko des Verursacherentgeltmodells besteht darin, dass die illegale Entsorgung von Abfällen in der Natur oder der Abfall 'Tourismus' zunehmen könnte.

In dieser Hinsicht muss das wirtschaftliche Anreizsystem durch gezielte Kommunikation und verhaltensökonomische Elemente unterstützt werden. Um die Entscheidungssituation der Bürger zu verstehen, müssen Abfalldaten auch personenbezogene Daten enthalten, damit eine profilbasierte Kommunikation und das Anstupsen (Nudging) der Bürger möglich ist. Es ist wichtig, die Bürger nach der Abfallsammlung regelmäßig über Möglichkeiten der Abfallvermeidung, die richtige Mülltrennung, ein schnelles Feedback über individuell produzierte Mengen und die Trennqualität per SMS oder Boten anzusprechen. Mit einem auf einem Stapler installierten Abfallscanner kann die Trennqualität gemessen werden, wenn ein Abfallbehälter geleert wird. Der gleiche Ansatz, Anreiz und Kommunikationskonzept werden nicht für alle Bürgergruppen wirksam sein, aber das Wissen über die Bürger ermöglicht es einer Gemeinde, Gruppen zu segmentieren. Einige Bürger können sich auch durch Gamification- oder Belohnungskonzepte wie die kostenlose Nutzung öffentlicher Dienstleistungen (Theater, Schwimmbad, Nahverkehr usw.) motivieren lassen. Kommunale Abfallmanager werden somit zu Wahlarchitekten für Entscheidungen der Bürger über Abfälle, aber im Geiste von Thaler et al (2013), die Bürger sollen immer offen über das Nudging informiert werden.

### 2.3.3 Blockchain ermöglicht Anreize durch Tokenisierung

Die Distributed Ledger Technology ermöglicht es Kollegen, digitale Ressourcen ohne Zwischenhändler und ohne den Einsatz von Plattformen auf sichere und vertrauensvolle Weise auszutauschen. Im neuen Internet of Value, einem Austausch von Werten, einer Legitimationsüberprüfung einer Eigentumsberechtigung, Ein Identitätsnachweis und eine Transaktionsgenehmigung für einen Eigentümerwechsel hängen vollständig von der Verantwortung der Kollegen ab und werden dezentral innerhalb des Netzwerks ohne Einsatz einer zentralen Behörde ausgeführt.

Ein Token ist die digitale Darstellung eines Werts, der direkt zwischen Stakeholdern ausgetauscht werden kann. Token können ein Nutzungsrecht (Utility Token) oder ein Vermögen (Asset Token) oder ein Zahlungsmittel (Payment Token) darstellen. Token können

idealerweise als Anreizmechanismen zur Belohnung von Verhaltensänderungen in Richtung Kreislaufwirtschaft verwendet werden.

Teilt ein Hersteller beispielsweise Wissen über sein Produkt als Materialpass mit einem Recycler oder einer Werkstatt, hat dies einen wirtschaftlichen Nutzen für die Empfänger des Wissens. Als Gegenleistung für die Bereitstellung von spezifischem Wissen könnte der Produzent also direkt, Peer-to-Peer, über einen Zahlungstoken, ohne den Vermittler einer Bank, bezahlt werden.

Eine Marktwirtschaft basiert auf einer Vielzahl dezentraler wirtschaftlicher Entscheidungen, die auf Anreizen getroffen werden. Der Übergang vom linearen Wirtschaftssystem zur Kreislaufwirtschaft kann nicht von oben nach unten organisiert werden, sondern erfordert eine intelligente Gestaltung wirtschaftlicher Anreize für Marktteilnehmer. Mit Token können Peer-to-Peer-basierte Incentive-Systeme für ein Netzwerk von Blockchain-Teilnehmern extrem effizient und maßgeschneidert für jede Anwendung gestaltet werden.

Wie PwC (2018) in seinem Bericht schreibt: *„Anreize für Kreislaufwirtschaften: Blockchain könnte die Art und Weise, wie Materialien und natürliche Ressourcen bewertet und gehandelt werden, fundiert verändern und Einzelpersonen, Unternehmen und Regierungen dazu anspornen, finanziellen Wert aus Dingen zu schöpfen, die derzeit verschwendet, verworfen oder als wirtschaftlich unschätzbar angesehen werden. Dies könnte zu weit verbreiteten Verhaltensänderungen führen und zu einer echten Kreislaufwirtschaft beitragen.“*

#### 2.3.4 Blockchain ermöglicht Tracing und Tracking von Produktlebenszyklen

Die Blockchain-Technologie verbessert die Transparenz in der Lieferkette von Produkten, da jeder einzelne Teil eines Endprodukts von der Herkunft bis zum endgültigen Verkaufsort in chronologischer Reihenfolge verfolgt werden kann. Selbst Daten wie die Nutzungsdauer eines Kunden und die Kosten für Abfall konnten erfasst werden. Durch den Einsatz von Sensoren und Kameras mit eigenen Netzwerk-IDs könnten die vollständigen Informationen über den Produktlebenszyklus mit ergänzenden Daten über die Umweltkosten der Produktion angereichert werden. Auf diese Weise könnten monetäre Werte wie der Preis eines Produkts oder der Gewinn eines Unternehmens eindeutig mit den Werten des Naturkapitals und der Umweltkosten verknüpft werden. Distributed Ledger Technology könnte eine Grundlage für eine nachhaltige Wertrechnung sein.

In gewisser Weise ermöglicht die Blockchain-Technologie die Wiedervereinigung der nominalen Sphäre der Rechnungslegung und des Wertes mit der physischen Welt des Warenhandels in der Lieferkette. Die Dezentralisierung beider Systeme wird die Komplexität der Rechnungslegung radikal verringern und damit die Kosten für Überwachung und Kontrolle senken.

Wie IBM (2017, S. 5) über eine „Message-Based vs. State-Based Communications“ schreibt: *„Heute senden Organisationen Nachrichten hin und her, um verschiedene Aufgaben zu erledigen, wobei jede Organisation ihren Zustand der Aufgabe lokal aufrechterhält. In Blockchains stellen Nachrichten den gemeinsamen Status der Aufgabe dar, wobei jede Nachricht die Aufgabe in den nächsten Status ihres Lebenszyklus versetzt. Blockchains verändern das Paradigma von Informationen, die von einem einzelnen Eigentümer gehalten werden, zu einer gemeinsamen Lebensdauer eines Assets oder einer Transaktion. Statt der messungsbasierten Kommunikation ist das neue Paradigma staatlich.“*



Die erweiterte Herstellerverantwortung (Extended Producer Responsibility, EPR) verlangt, dass die Hersteller für das End-of-Life-Management eines Produkts und der Verpackung, die sie auf den Markt bringen, bezahlen müssen. Der Blockchain-Antrag würde es ermöglichen, mit weniger bürokratischem Aufwand zu prüfen, ob die Erzeugergebühren tatsächlich die Kosten für die Abfallverarbeitung decken, und zusätzlich könnte ein Anreizmechanismus mit diesem kombiniert werden: Weniger Verpackung, weniger Abfall, längere Nutzungszeiten usw. sollten niedrigere Kosten für einen Hersteller bedeuten.

## 2.4 Transformation Der Kommunalen Abfallwirtschaft

Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft bedeutet das Ende der Massenproduktion und der Geschäftsmodelle, die ausschließlich auf einer Kostendegression pro Einheit beruhen. In einer Kreislaufwirtschaft gehen Wertschöpfung und Nachhaltigkeit Hand in Hand. Nicht nachhaltige Geschäftsmodelle verlieren an Wert und nachhaltige Betriebe gewinnen an Wert. Die Neuausrichtung des Wertesystems spiegelt sich in einer Veränderung der Unternehmensmissionen, des Selbstverständnisses und der Organisation wider. Die veränderten Aufgaben und Herausforderungen (Rollenwechsel) implizieren eine neue Orientierung sowohl in der Organisation als auch in der Mission der kommunalen Abfallwirtschaft. Wie bei jeder digitalen Transformation ist nicht die Software oder IT entscheidend für den Erfolg, sondern die Neuausrichtung einer Organisation, ihrer Prozesse und Menschen. Die Blockchain kann hier einen wesentlichen Beitrag leisten, zum einen bei der Automatisierung von Prozessen mittels Smart Contracts, zum anderen bei der Interaktion mit bestehenden IoT-Lösungen. Abbildung 12 zeigt den Weg zur logischen Struktur der folgenden Analyse.

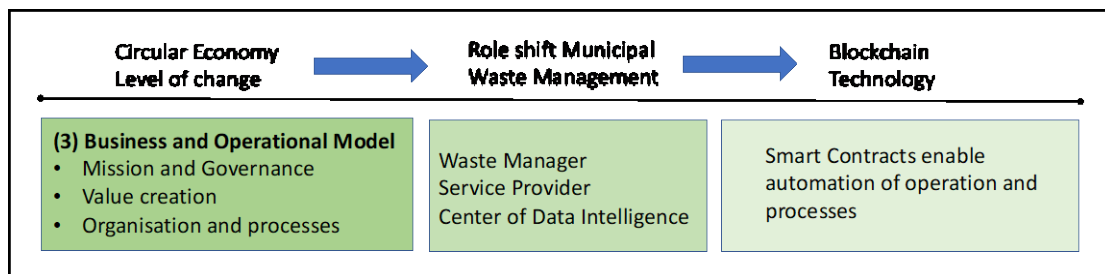


Abbildung 12: Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft (die Autoren)

### 2.4.1 Wertschöpfung von MWM in der Kreislaufwirtschaft

Einerseits ergibt sich das Wertversprechen von MWMs aus der Bereitstellung von Ressourcen und Tradables, die aus datengestützten Stoffströmen in einer vernetzten Wirtschaft entstehen. Dies schafft Geschäftsmöglichkeiten für Dienstleister und sorgt für „Absinken“-Effekte in Bezug auf die Schaffung von Arbeitsplätzen und Wohlstand. Dieses Angebot richtet sich hauptsächlich an Geschäftskunden. Je nach verwendetem Vertriebskanal kann dieses Angebot in der Typologie von Michael Rappa als Hersteller- oder Händlermodell angesehen werden (Michael Rappa, 2010).

Andererseits leisten MWMs einen wesentlichen Beitrag zum Bedarf der Bürger an der Räumung ihrer Behälter und dem Zugriff auf ihre Abfalldaten und in einem viel globaleren Sinne für eine sichere und saubere Umwelt, die durch die Verringerung der Umweltauswirkungen und eine hohe Qualität der gelieferten Waren entsteht. Der erste Aspekt wird von Michael Rappa als Abonnementmodell charakterisiert (Michael Rappa, 2010).

Bis vor kurzem konzentrierten sich die Qualitätsstandards von MWMs auf Stoffmengen, die gesammelt und an Recycler/Wiederverwerter oder Verbrennungsanlagen verkauft wurden. Das Einkommen wurde streng genommen hauptsächlich durch Aktivitäten generiert, die zu einer Abwertung von Vermögenswerten, Wertverlust und Ressourcenverlust geführt haben.

Wenn die Erfolgs- und Leistungsstandards von MWMs nicht mehr auf die Menge der gesammelten und entsorgten Abfälle indexiert werden, was könnte die „alten“ Messstandards ersetzen?

1. Standards und Indikatoren, die die Ziele der breiteren Kreislaufwirtschaft widerspiegeln, wie z. B. die Zirkulation von Materialien, die Verlängerung der Produktlebenszyklen, Upcycling und Neubewertung von Wertstoffen und die Einbeziehung von Bürgern und Stakeholdern (für eine detailliertere Ansicht der KPIs siehe ch 2,4 unten)
2. Reduzierung des allgemeinen Abfall- und Entsorgungsvolumens
3. Das Recycling- und Abfallvermeidungsverhalten der Bürger und ihre Nutzung der Datenservices von MWMs
4. Rückverfolgbarkeit und Transparenz von Hausmüll und Recyclingströmen
5. Wert, der aus digital klassifizierten Abfallströmen entsteht
6. Geschäftsmöglichkeiten, die von MWMs für Serviceprovider geschaffen wurden

Natürlich kann eine Reihe dieser Benchmarks, abhängig von den lokalen Vertragsansätzen, für Aktivitäten gelten, die von anderen Dienstleistern und Akteuren als MWMs durchgeführt werden.

#### 2.4.2 Änderungen in Betrieb und Prozessen von MWM

Die zentrale Rolle, die MWMs für die Kreislaufwirtschaft spielen, liegt in drei Faktoren:

1. MWMs sind unter anderem das Eingangstor für Stoffströme, die von Haushalten ausgehen.
2. Sie sind auch Multi-Stakeholder-Hubs, die alle Nutzer und Dienstleister im Abfall- und Stofffluss-Sektor verbinden.
3. MWMs sind die wichtigsten Sammler, Produzenten und Händler von Datenspiegelungen von Abfall-/Wertströmen und dem Abfallverhalten der Verbraucher sowie von Waren, die entlang ihres Lebenszyklus reisen.

Dieses multilaterale Engagement und die Interaktion mit mehreren Märkten, Zyklen und Stakeholdern/Zielgruppen führt zu erheblichen Komplexitäten. Sie erfordert flexible und transparente Prozesse, die alle Beteiligten verstehen oder sich daran beteiligen können. Prozesse, die so unterschiedlich sind, wie die Verbraucher dazu zu bringen, das Abfallvolumen zu reduzieren, Stoffströme in Richtung Recycling oder Up-Cycling zu lenken, Waren in Richtung Wiederverwendung oder Rehabilitation zu lenken, Ströme nach Wertgehalt zu analysieren, Abfalldaten zu generieren oder zu ernten usw., erfordern spezifische Technologien, Kommunikations-, Interaktions- und Iterationsmuster. Dies erfordert einen Abbau alter Silostrukturen innerhalb von MWM-Organisationen, damit typische alte Routinen der öffentlichen Verwaltung überwunden und in moderne Organisationsstrukturen umgewandelt werden können, die durch Netzwerkorganisation, flache Hierarchien, Empowerment von Mitarbeitern, disziplinübergreifende Teams und agile Führung

gekennzeichnet sind. Diese Änderung erfordert auch, dass MWMs ihre Unternehmensgrenzen für Dienstleister, Kunden und andere Stakeholder öffnen und sozusagen mehr „osmotisch“ werden.

### 2.4.3 Änderungen in Betrieb und Prozessen von MWM

Die kommunale Abfallwirtschaft steht im Zentrum der Kreislaufwirtschaft und motiviert Produzenten, Verbraucher, Einzelhändler und Großhändler, weniger Abfall zu schaffen, Produkte länger zu verwenden, Gebrauchtprodukte bevorzugt zu werden usw. die Kreislaufwirtschaft ist auch ein Mittel zur Abfallreduzierung. Wie bei allen anderen Akteuren in einem marktwirtschaftlichen System stellt sich jedoch die Frage, ob die Anreizstrukturen kommunaler Abfallwirtschaftsorganisationen mit den oben genannten Zielen vereinbar sind oder ob sie die Ziele der Kreislaufwirtschaft nachhaltig unterstützen. Im aktuellen System sind die Prozesse von MWMs optimal organisiert, wenn sie die von den Bürgern erzeugten Abfälle so effizient (zu den niedrigsten Kosten) wie möglich sammeln und verarbeiten oder weiterleiten. In der Kreislaufwirtschaft müssen, die für die kommunale Abfallwirtschaft geltenden Leistungsindikatoren überarbeitet und erweitert werden: Dabei muss die Qualität der Organisation auch danach beurteilt werden, inwieweit es den MWM-Organisationen gelingt, die Abfallmenge zu reduzieren, den Einsatz von Gebrauchtprodukten zu erhöhen, Reparaturaktivitäten zu unterstützen und die Recyclingraten um zu erhöhen

- a. Bereitstellung von Daten und Informationen
- b. Festlegung von Anreizstrukturen für Verbraucher und Produzenten (Pay-and-receive-as-you-throw-Modell)
- c. Erleichterung der Kommunikation auf der Grundlage von Benutzerprofilen.

Die Abfallvermeidung durch Bürger und lokale Unternehmen muss in die DNA einer kommunalen Abfallbewirtschaftungsorganisation eingebettet werden. Abfallvermeidung ist die Mission, an der das gesamte Unternehmen, seine Personalstruktur und alle Prozesse ausgerichtet sein müssen. Um es einfach auszudrücken: Je weniger Abfallentsorgungsorganisationen von den Bürgern gesammelt werden müssen, desto mehr werden ihre Bemühungen erfolgreich sein.

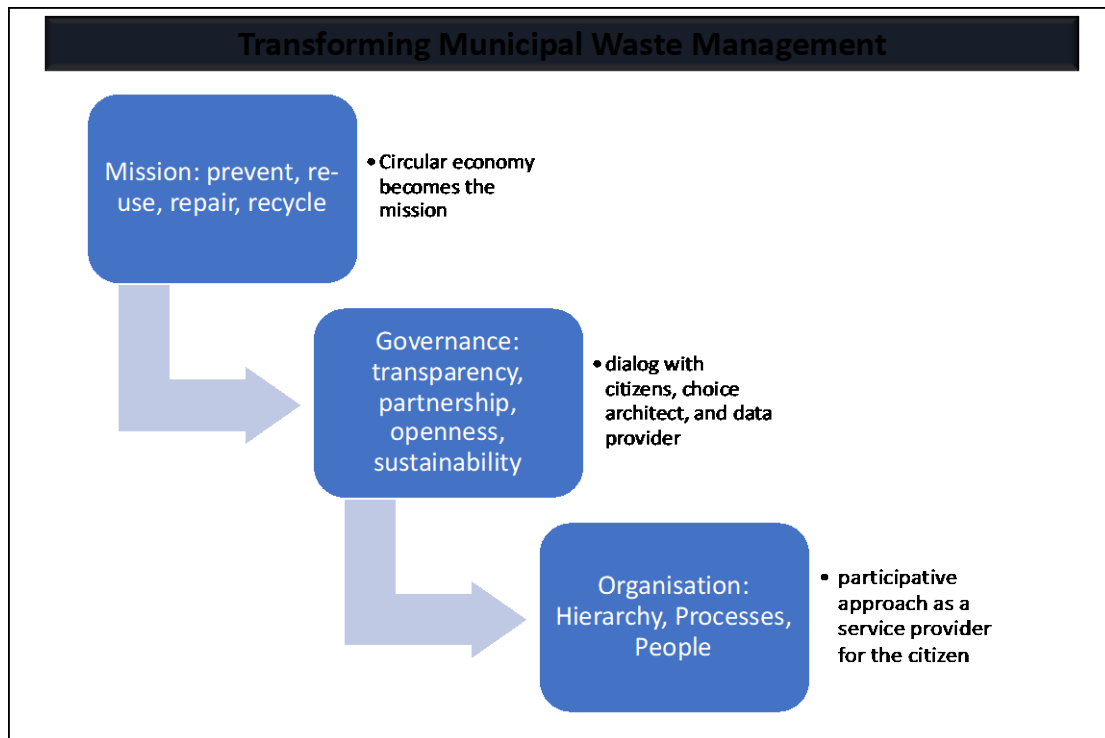


Abbildung 13: Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft (die Autoren)

Die Mission und die Verwaltung kommunaler Abfallbewirtschaftungsorganisationen müssen sich in ihrer Sicht auf die Bürger ändern. Der Fokus liegt nicht mehr allein auf der Entsorgung von Bürgerabfällen, sondern auf den Bürgern als Partnern und Kunden kommunaler Abfallorganisationen. Um die Zustimmung von Haushalten und Bürgern zur Erhebung und Analyse ihrer Abfalldaten zu erhalten, ist ein hohes Maß an Vertrauen in kommunale Dienstleister notwendig. Neben dem Vertrauen in den Datenschutz ist es auch notwendig, dass die Bürger grundlegendes Vertrauen in eine Gemeinde als öffentliche Einrichtung und Behörde haben, die es unterlässt, die Bürger zu kontrollieren und sie in ihrer individuellen Freiheit und Autonomie einzuschränken. Folglich muss die Bereitstellung von Daten und ihre Nutzung sowohl für die Kommunen als auch für ihre Bürger und die Umwelt Vorteile schaffen. Ebenso wie von den Bürgern erwartet wird, dass sie ihr Verhalten im Hinblick auf ihre Verschwendung ändern, wird sich auch die Rolle der Anbieter öffentlicher Dienstleistungen grundlegend ändern müssen:

- Auf Meso-Ebene muss sich eine öffentliche Organisation zu einem partnerschaftlichen Dienstleister entwickeln, für den die Interessen der Bürger oberste Priorität haben. Die Glaubwürdigkeit der Öffentlichkeit umfasst dann auch ein hohes Maß an Transparenz und eine Offenheit der Organisationen.
- Eine dialogorientierte Kommunikation mit den Bürgern erfordert eine Reform der Organisationsführung, die darauf abzielt, eine enge Partnerschaft mit der Gemeinschaft und ihren Bürgern aufzubauen. Die Beteiligung lokaler zivilgesellschaftlicher Organisationen in den Beiräten kommunaler Abfallwirtschaftsorganisationen könnte ebenfalls eine vertrauensbildende Maßnahme sein.
- Glaubwürdigkeit in Sachen Nachhaltigkeit erfordert auch, dass sich öffentliche Organisationen zu den Zielen der Nachhaltigkeit verpflichten, diese in Prozessen umsetzen und über Fortschritte bei der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen

berichten. In diesem Prozess muss jede kommunale Abfallwirtschaft ihre Nachhaltigkeitsstrategie mit Indikatoren für Organisation und Personal, internen Prozessen und deren Beitrag zur Wertgewinnung aus Abfallketten definieren. Die wichtigsten Leistungsindikatoren sollten mit der Nachhaltigkeit in Verbindung gebracht und in die jährliche Berichterstattung aufgenommen werden.

Die notwendige Transformation der kommunalen Abfallwirtschaft im Hinblick auf die Einführung der Kreislaufwirtschaft ist, wie oben grob skizziert, eine Querschnittsaufgabe, die die Reform der gesamten Organisation mit sich bringt. Dieser Transformationsprozess erfordert eine klare Strategie und kostet viel Geld und Zeit. Dies gilt wahrscheinlich insbesondere für öffentliche Organisationen, die vom dynamischen Wettbewerb des Marktes abgeschirmt sind.

#### 2.4.4 Schrittweise Implementierung von Änderungen

Die oben beschriebenen Entwicklungen werden MWMs, die über einen öffentlichen Verwaltungs- und Versorgungshintergrund verfügen, dazu bringen, einen großen Sprung nach vorn zu machen.

In einer größeren Anzahl von Fällen können die folgenden Schritte nützlich sein:

- Abbildung interner Prozesse
- Zuordnung bestehender Partner/Stakeholder und mit ihnen gepflegte Prozesse
- Definition von Zielbereichen/Funktionen/Fähigkeiten, die das MWMO für seine Geschäftstätigkeit in einer Kreislaufwirtschaft benötigt (z. B. Leitbild, Kompetenzprofile, digitale Infrastruktur, Hierarchien und Unternehmensorganisation, neue Prozesse, Unternehmenskultur, Change Management, Leistungsmessung usw.)
- Entscheidung über für Veränderungen erforderliche Ökosysteme (z. B. Labore, Satellitenorganisationen oder Tochtergesellschaften, Beratungsgremien, Feedback- oder Beteiligungsverfahren, Managementansatz, Rolle von Change-Aktivisten und Evangelisten, IT-Infrastruktur und Datenaustausch usw.)
- Kunden, Kunden, Partner und Stakeholder frühzeitig einbeziehen
- Definition von Kommunikationsprozessen, die die Transformation begleiten
- Festlegung von Prioritäten (und nicht-Prioritäten), Experimentierfeldern, Szenarien und pi-Lot-Projekten
- Festlegung von Zeitplänen und Ergebnissen
- Planung alternativer Szenarien
- Definieren von Anreizen und Ermutigungen für Mitarbeiter
- Start von Pilotprojekten und Interessenvertretungen

Da MWMs in der Regel starke lokale Wurzeln haben, unterscheiden sich die Transformationsagenda erheblich. Daher ist es für MWMOs von entscheidender Bedeutung, ihre eigenen spezifischen Prioritäten zu definieren, anstatt einer standardmäßigen Transformationsagenda zu folgen.

#### 2.4.5 Automatisierung durch IoT & Smart Contracts und Blockchain

Fortschritte in der Robotik und Sensortechnologie, kombiniert mit Big-Data-Analysen und selbstlernenden Algorithmen, haben Netzwerke physischer Geräte hervorgebracht, die sich

verbinden, Daten sammeln und austauschen und autonome Entscheidungen treffen können. Die Entstehung der Blockchain-Technologie erleichtert den allgemeinen Trend der automatisierten und schnellen Entscheidungsfindung, indem sie eine gemeinsame Datenbank für die Erfassung und Registrierung dezentraler Transaktionen zwischen P2Ps, P2Ms und Machine-to-Machine (M2M) bereitstellt. Darüber hinaus ermöglicht die Blockchain-Technologie die Speicherung von Softwarecode mit „If-then“-Beziehungen innerhalb der Datenbank, was den Einsatz sogenannter Smart Contracts ermöglicht, in denen Blockchain-Nutzer automatisierte Transaktionen speichern, die bei einem bestimmten externen Ereignis als Auslöser ausgeführt werden können (Lenz, 2019A).

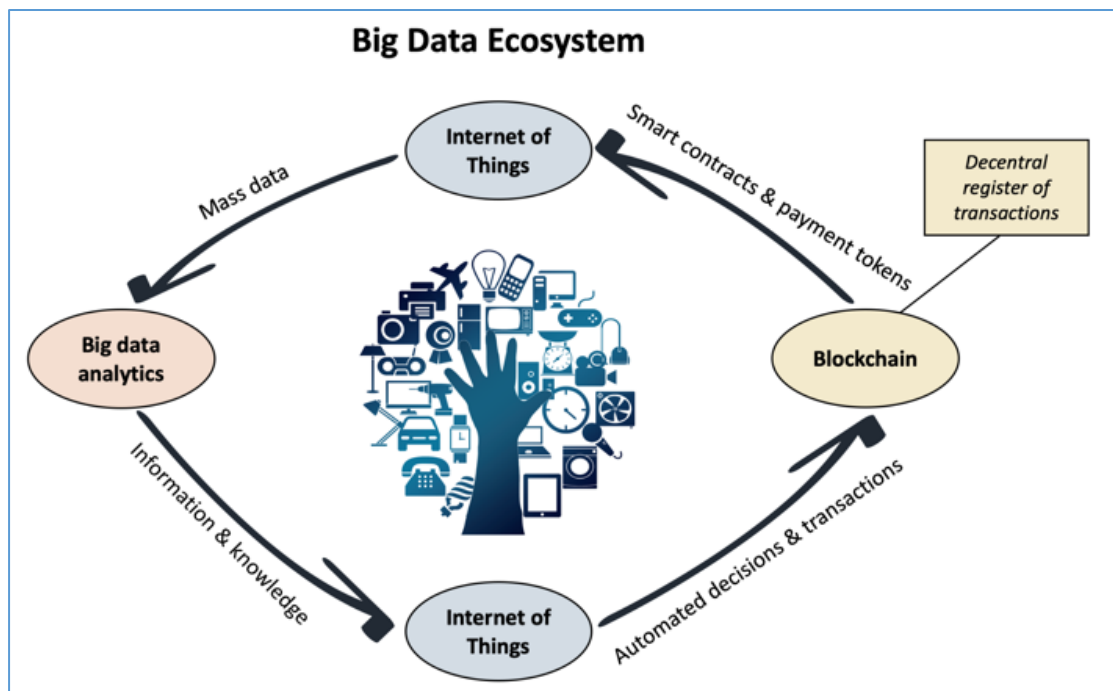


Abbildung 14: Big Data- und IoT-Ökosystem (Lenz 2019A)

Für die Durchführung autonomer Entscheidungen in der realen physischen Welt werden Maschinen mit einer Vielzahl von eingebauten Sensoren und einer schnellen Internetverbindung benötigt. Die Entwicklung des Internet of Things (IoT) stellt die notwendige Verbindung zwischen der digitalen und der realen Welt her, ohne die Big Data-Analysen sowohl die Masse der von Sensoren für die Analyse erzeugten Daten als auch die Führungsstärke von Maschinen für die automatisierte Entscheidungsfindung vermissen würden. Geräte im IoT speisen Algorithmen mit Daten ein und werden zum Teil von denselben Algorithmen gesteuert.

Treleaven, Barnett, and Koshiyama (2019, p. 34) Beschreiben Sie die enge Verbindung zwischen Big Data, KI, IoT und Blockchain als vier Kernalgorithmus-Technologien, die „...eng miteinander verknüpft sind, d. h. KI stellt die Algorithmen bereit, Blockchain stellt Datenspeicherung und Verarbeitungsinfrastruktur bereit, das IoT stellt die Daten bereit und Big Data (Behavioral/Predictive) liefert die Analyse.“

Eine vergleichende Studie über den „Stand der Digitalisierung in der europäischen kommunalen Abfallwirtschaft“ in fünf EU-Mitgliedsstaaten belegt, dass kommunale Abfallwirtschaftsorganisationen derzeit eine Vielzahl innovativer IoT-Projekte durchführen, die meisten Projekte jedoch isolierte Ansätze sind

*“...auch nicht-kollaborativer Natur im Hinblick auf den Austausch von Daten mit einer großen Anzahl von Interessengruppen und die Generierung von Synergieeffekten zwischen den beteiligten Partnern. Aber die Kreislaufwirtschaft erfordert, um erfolgreich zu sein, die Zusammenarbeit zwischen Stakeholdern, seien es Produzenten, Verbraucher, Supermärkte, Kommunen oder Profis, Die Daten im Rahmen ihrer Zusammenarbeit gemeinsam nutzen müssen. (Lenz et al., 2021, p. 27)“*

*“..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 Blockchain bedeutet, eine Win-Win-Situation zwischen den Stakeholdern einer Kette zu schaffen, sodass jeder der beteiligten Partner von der Zusammenarbeit profitiert. (Lenz et al., 2021, p. 28).“*

*„Bei der Beantwortung von Fragen zur Bereitschaft der kommunalen Abfallwirtschaft für die Blockchain wird deutlich, 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. Es handelt sich jedoch nicht um technische Probleme, sondern um Probleme der organisatorischen Entwicklung kommunaler Abfallbewirtschaftungsunternehmen (Lenz et al., 2021, p. 28).“*

## 2.5 Die kommunale Abfallwirtschaft wird zum Vertrauensmakler

Die gemeinsame Nutzung von Daten und der Informationsfluss zwischen einer Vielzahl von Interessengruppen erfordern einen kollaborativen Ansatz, der Vertrauen erfordert. Vertrauen kann aufgrund der hohen Anzahl und Heterogenität der Stakeholder und ihrer geografischen Streuung kein zwischenpersönliches Vertrauen zwischen verschiedenen Akteuren sein. Es muss institutionelles Vertrauen sein, in diesem Fall in einer lokalen Gemeinde und ihrer Abfallwirtschaftseinheit. Diese Art von Vertrauen kann durch technologisches Vertrauen ermöglicht werden, das durch die Transparenz einer dezentralen Blockchain-Datenbank entsteht. Abbildung 15 zeigt dieses aktivierende ‘Scharnier’-Muster.

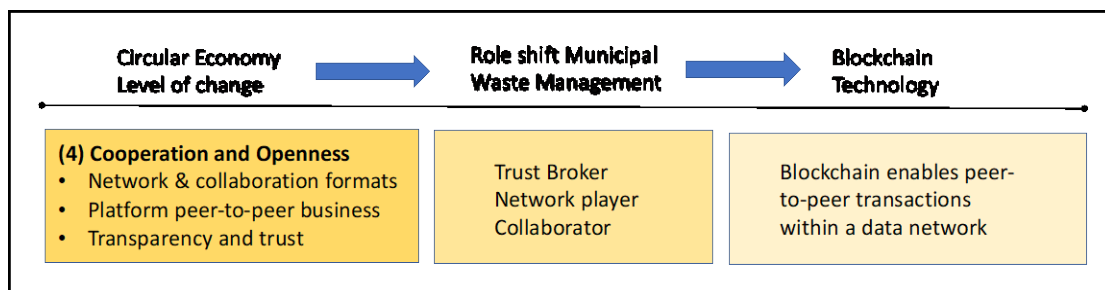


Abbildung 15: Kommunale Abfallwirtschaft wird zum Vertrauensmakler (die Autoren)

### 2.5.1 Automatisierung durch IoT & Smart Contracts und Blockchain

Kommunale Abfallbewirtschaftungsorganisationen müssen Vertrauen sowohl bei den Bürgern als auch bei den Marktteilnehmern aufbauen. Bürger werden Partner und sowohl Kunden als auch Lieferanten von Produkten und Produkten. Marktteilnehmer werden zu Kunden, Value Agents und Schöpfern. Die doppelte Rolle der Bürger besteht darin, dass sie die Versorgung mit Materialien und Substanzen sicherstellen, aber auch die Nachfrage nach Sammeldiensten artikulieren.

Dieses komplexe Netz von Transaktionen erfordert vor allem auf Seiten der Bürger ein hohes Maß an Vertrauen in kommunale Dienstleister. Dieses Vertrauen 'Kapital' ist notwendig, um die Zustimmung von Haushalten und Bürgern zu erhalten, dass MWMOs ihre Abfalldaten sammeln und analysieren. Aus diesem Grund müssen die Mission und die Führung kommunaler Abfallwirtschaftsorganisationen ihre Sicht auf die Bürger, die als Partner, geschätzte Lieferanten und Kunden behandelt werden sollen, neugestalten.

Kommunale Abfallbewirtschaftungsorganisationen müssen sich daher zu partnerschaftlichen Dienstleistern entwickeln, für die die Interessen der Bürger von höchster Bedeutung sind. Die dadurch gewonnene Glaubwürdigkeit der Öffentlichkeit wird auch ein hohes Maß an Transparenz, Offenheit und Rechenschaftspflicht seitens der MWM-Organisationen erfordern. Die Bürger müssen in die Lage versetzt werden, zu überprüfen, ob MWM-Organisationen die Ziele und Standards der Nachhaltigkeit und deren Umsetzung in Prozessen und Berichterstattung einhalten.

Diese Rechenschaftspflicht erfordert neue Ansätze für die Datenspeicherung, den Datenzugriff und die Datenweitergabe.

Für MWM-Organisationen, die diese Rolle übernehmen, ist es nicht gut genug, ihre Aufgabe neu zu gestalten. Unter den Bedingungen der Kreislaufwirtschaft bringt die Transformation des kommunalen Abfallwirtschaftssektors Reformen des gesamten Organisationsmodells von MWMOs mit sich.

Eine Schlüsselaktivität, die diese Notwendigkeit widerspiegelt, ist die Bereitstellung und Nutzung von Daten (Bürgerprofile und Materialfluss) und deren Nutzung. Nur wenn dieser neue Transaktionszyklus zu gegenseitigem Nutzen für Kommunen, Dienstleister, Bürger und Umwelt führt, findet er breite Akzeptanz. Dies stellt eine erhebliche Verantwortung für MWMs dar und erfordert neue Ansätze für die Datenspeicherung, den Datenzugriff und die Datenverbreitung.

Wie oben skizziert, Die Rolle von MWMOs als Waste Entry Gates und Transaction Hubs ist nicht eine bloße Erweiterung eines linearen "Waste Collection to Sorting to Forwarding to Depositing or Disposal" Prozesses, sondern ein „synaptischer“ Nexus, der in einer Umgebung mehrerer Transaktionen und dynamischer Landschaften von Zyklen und Netzwerken operiert.

Das Zusammenwirken von Marktteilnehmern 'Abfallwirtschaft' zeigt ein immer komplexeres Bild und erfordert von allen Stakeholdern eine clusterartige Vernetzung. Dieser Wandel erfordert ein digitales Rückgrat in Form von Plattformen, die eine schnelle und transparente Zusammenarbeit und den Datenaustausch ermöglichen.

Was MWMs betrifft, könnte die Herausforderung darin liegen, dies zu erreichen

- Erwerben Sie neue Kenntnisse und Fähigkeiten
- Die gesamte Organisation und Prozesse neugestalten



- Erfinden Sie eine Unternehmenskultur der Offenheit, Symmetrie und Verantwortlichkeit für sich selbst.
- Einführung neuer Buchhaltungs- und Kontrollsysteme, die zur Messung der zirkulären und nachhaltigen Wertschöpfung geeignet sind
- Einführung neuer Kooperations- und Netzwerkformate
- Nutzen Sie die Digitalisierung mit voller Entschlossenheit
- Aufbau einer digitalen Netzwerkinfrastruktur, die die horizontale Zusammenarbeit in einer Peer-to-Peer-Logik erleichtern kann

Der sich abzeichnende massive Transformationsprozess von MWMs, der diese Herausforderungen übersteht, erfordert eine klare Strategie und kostet erhebliche Investitionen in Finanzierung, Zeit und Transaktionsbemühungen.

### 2.5.2 Blockchain als Vermittler der P2P-Kollaboration

Zusammenarbeit erfordert ein hohes Maß an Vertrauen zwischen den Partnern, da das gewünschte Ergebnis nur gemeinsam erreicht werden kann. Jeder ist aufeinander angewiesen, wie die Teilnehmer einer Seilparty beim Bergsteigen. Vertrauen kann entstehen, wenn jeder Teilnehmer Zugriff auf dieselben zuverlässigen Informationen über Aktivitäten und Transaktionen hat. Wenn im verteilten Netzwerk nur eine gemeinsame Datenbank vorhanden ist, die alle vergangenen Transaktionen als eine einzige Quelle der Wahrheit für alle Teilnehmer aufzeichnet, ist dies wahrscheinlich der Fall.

Genau das ermöglicht die Blockchain-Technologie. Es handelt sich um eine Datenbanktechnologie zur Aufzeichnung von Transaktionen innerhalb eines Netzwerks von Peer-to-Peer-Unternehmen. Blockchain hat den Vorteil, dass Daten manipulationssicher in einzelnen "Blöcken" gespeichert werden können, was bedeutet, dass die Teilnehmer der Blockchain die Authentizität, Herkunft und Integrität der gespeicherten Daten überprüfen können. Als Peer-to-Peer-Netzwerk, kombiniert mit einem verteilten Time-Stamping-Server, können Blockchain-Datenbanken autonom verwaltet werden. Es ist kein einziger Administrator erforderlich, da die Administratorrechte an alle Netzwerkteilnehmer verteilt werden.

Blockchain ist eine sehr einfache Datenbanktechnologie, die die Zusammenarbeit ermöglicht, aber keine Wunderwaffe für den Erfolg. Es ist nur eine Technologie, um bestimmte Informationsprobleme zu lösen, aber wenn das Problem selbst nicht gut definiert ist (nein 1), wenn die Teilnehmer nur ungern Informationen austauschen (Nr. 2), wenn Entscheidungsprozesse statisch und in eine starke Hierarchie eingebettet sind (Nr. 3), wenn Datenschnittstellen nicht automatisiert und standardisiert sind (Nr. 4), und wenn der Geschäftsprozess selbst nicht nachhaltig ist (Nr. 5), dann könnte eine Blockchain-Anwendung eine Zeitverschwendung und Neuquellen sein.

PwC (2016) hat es in ihrem Q&A Blockchain FinTech gut ausgedrückt <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf> : „*Collaborative Technology, wie Blockchain, verspricht die Fähigkeit, die Geschäftsprozesse zwischen Unternehmen zu verbessern und die „Vertrauenskosten“ radikal zu senken. Für diesen REA-Son könnte er für jeden investierten Dollar deutlich höhere Renditen bieten als 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.“*

## 3 Anleitung zum Starten von Blockchain-basierten Abfallmanagementprozessen

### 3.1 Phasen eines Blockchain-Projekts

Die Entwicklung und Umsetzung eines Blockchain-Projekts besteht größtenteils aus Change Management- und Prozessmanagement-Arbeit. Entgegen den Erwartungen spielt die Auswahl der technischen Blockchain-Lösung eine untergeordnete Rolle. Intensive Kommunikation, das Verständnis der Interessen des jeweils anderen, das Mitführen von Mitarbeitern und Stakeholdern und deren Überzeugungsarbeit, einfache Erläuterung der technischen Möglichkeiten der Blockchain - das sind die Faktoren für den Erfolg eines Projekts und eine glückliche Auswahl von Projektteammitgliedern (Lenz, 2019).

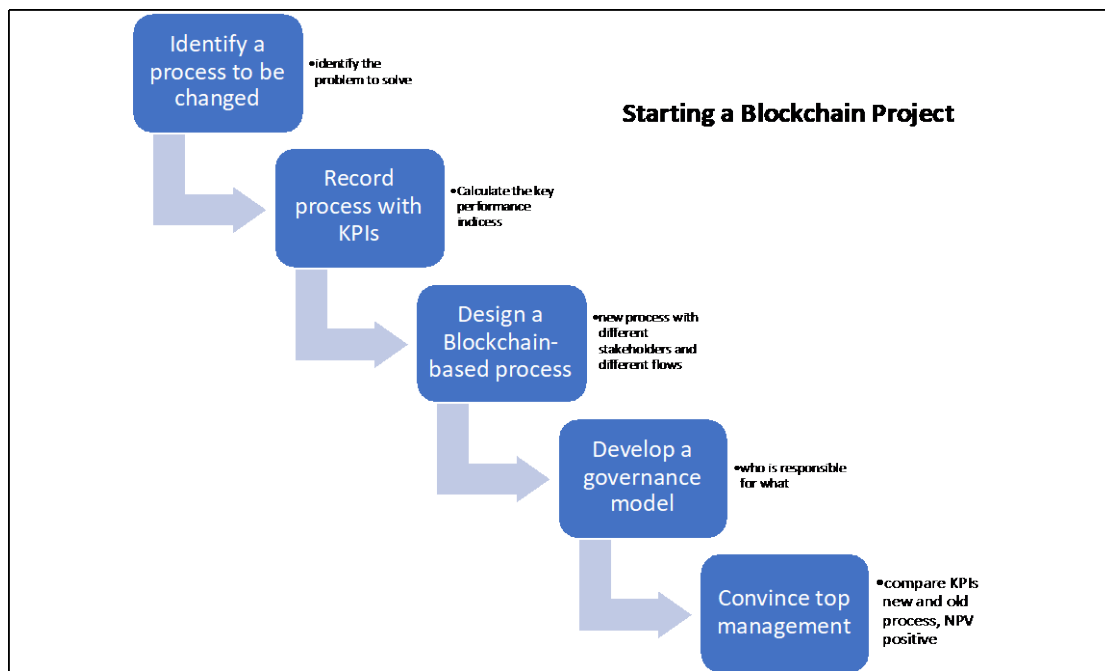


Abbildung 16: Phasen eines Blockchain-Projekts (die Autoren)

Ein typisches Blockchain-Projekt unterscheidet sich nicht wirklich von anderen Projekten. Mental kann die Arbeit in fünf Phasen unterteilt werden: (1) Identifizierung eines geeigneten Prozesses für die Umstellung auf Blockchain, (2) Dokumentation der bestehenden Kennzahlen, damit der Erfolg später nach der Umstellung gemessen werden kann. (3) Neugestaltung des neuen Prozessflusses. Für die Einführung der Blockchain-Technologie kann es möglich sein, auf einige Vermittler zu verzichten. (4) die Einführung der Blockchain beinhaltet die Einrichtung eines kooperativen Geschäftsmodells, das jedem Stakeholder Vorteile bieten muss. Daher muss ein Governance-Modell für diesen Prozess mit verbindlichen Spielregeln gemeinsam vereinbart werden. (5) Wenn dieser Proof of Concept für das Blockchain-Projekt erfolgreich ist, muss das Management von den Vorteilen einer Investition in einen Prototyp überzeugt werden. Die fünf Stufen werden im Folgenden detailliert beschrieben.

### 3.2 Identifizierung von geeigneten Projekten

Blockchain-Projekte eignen sich für dezentrale Prozesse mit einer größeren Anzahl externer Teilnehmer, für die es absolut notwendig ist, jederzeit zuverlässige Informationen über den Status eines Projekts oder Prozesses zu erhalten. Sicherlich kennt jeder Manager in einem Unternehmen oder seiner Organisation solche Prozesse der Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von externen Partnern. In der Regel zeichnen sich diese interorganisatorischen Prozesse durch eine hohe Anzahl von Ausfällen, sehr lange Vorlaufzeiten, hohe Überwachungskosten und hohe Unzufriedenheit der Beteiligten aus. Um einen geeigneten Prozess zu identifizieren, ist eine Perspektivenverschiebung erforderlich: Von einer unternehmensinternen Sicht hin zu einer interorganisatorischen Perspektive, die es ermöglicht, die Interessen aller beteiligten Interessengruppen zu verstehen.

Die Substitution des Vertrauens in eine zentrale Behörde durch Transparenz ist genau der Vorteil einer Blockchain. In einer öffentlichen Blockchain-Datenbank, die allen zugänglich ist, kann jeder Teilnehmer gleichzeitig überprüfen, wer was geschrieben hat und wie sich der Zustand eines Hauptbuchs geändert hat. Nach der Speicherung sind die Informationen irreversibel und unveränderlich, da sonst die logische Konsistenz der in Blöcken gespeicherten Daten zerstört würde. So ergänzen sich die beiden wesentlichen Elemente der Blockchain: Öffentliche Überprüfbarkeit und Integrität von Daten.

Wie Wüst und Gervais (2018, S. 2) betonen: „Die Integrität von Informationen ist eng mit der öffentlichen Nachprüfbarkeit verbunden. Wenn ein System öffentliche Nachprüfbarkeit bietet, kann jeder die Integrität der Daten überprüfen.“ Darüber hinaus werden die Blockchain-Daten redundant aufbewahrt, da jeder Writer innerhalb des Netzwerks über eine Replikation der Daten verfügt, die permanent synchronisiert wird.

Blockchain-Lösungen sind daher vorteilhaft für Prozesse, an denen eine große Anzahl von Teilnehmern beteiligt ist und bei denen es immanent wichtig ist, dass die Teilnehmer jederzeit vollständige und zuverlässige Informationen über den aktuellen Status eines Prozesses erhalten. Die zuverlässigen Informationen über den aktuellen Prozessstatus ermöglichen es den Teilnehmern, jederzeit auf Änderungen zu reagieren, so dass der Prozess nicht statisch, sondern dynamisch läuft.

Wüst und Gervais (2018) haben dies im folgenden Entscheidungsbaum skizziert, um zu zeigen, für welchen Fall Blockchain-Lösungen am besten geeignet sind und für welchen Fall eine zentrale Datenbank die bessere Lösung sein könnte.

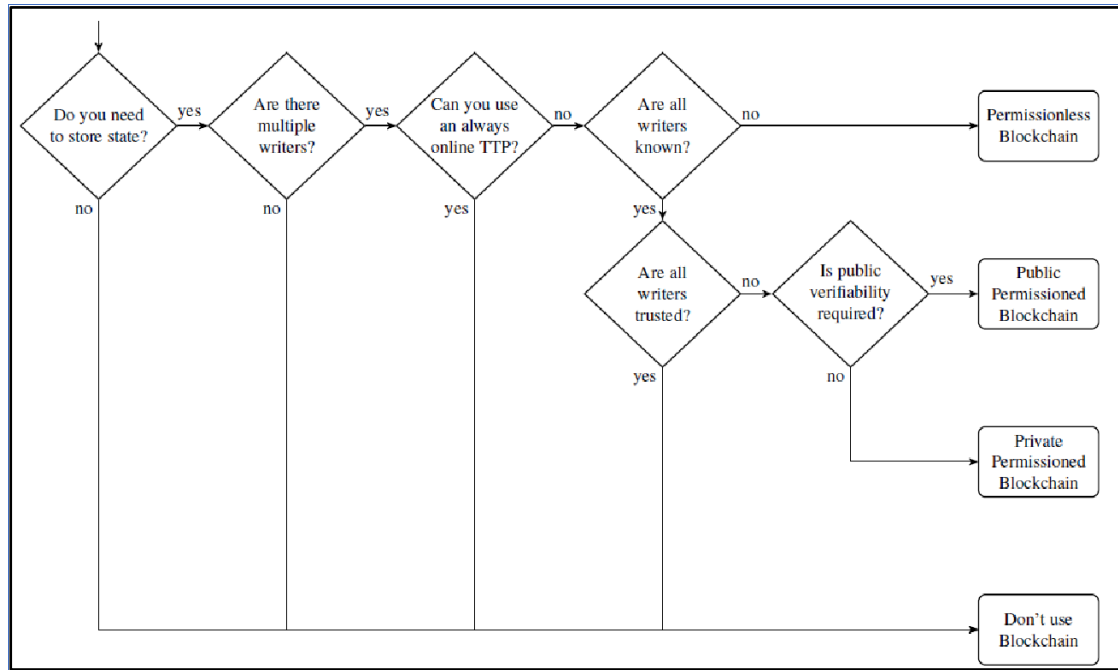


Abbildung 17: Benötigen Sie eine Blockchain? (Wüst und Gervais 2018, S. 3)

Blockchain-Lösungen sind deutlich weniger skalierbar als zentrale Datenbanken. Dies gilt insbesondere für öffentliche Blockchain-Netzwerke ohne Zugangsbeschränkungen. Der Prozess der öffentlichen Validierung innerhalb eines genehmigungsfreien Netzwerks ist zeitaufwändig, sodass Blockchain-Anwendungen nicht für die Speicherung und Verarbeitung von Massendaten mit hoher Geschwindigkeit geeignet sind.

Aus dem obigen Vergleich der vor- und Nachteile von Blockchain-Anwendungen mit denen einer zentralen Datenbank, Daraus lässt sich ableiten, dass die Blockchain-Technologie ihren größten Nutzen in jenen Anwendungen hat, in denen es für die Teilnehmer wichtig ist, einen bestimmten Zustand in einem Prozess oder in einem Projekt zuverlässig und manipulationssicher zu dokumentieren und in denen eine große Anzahl von dezentralen und autonomen Daten erfasst Die Teilnehmer sind von Vorteil. Blockchain-Anwendungen stoßen bei der Verarbeitung von Massendaten mit hoher Geschwindigkeit an ihre Grenzen. Hier haben sie deutliche Nachteile gegenüber zentralen Datenbankanwendungen (Lenz, 2019b).

### 3.3 Erfassung der Abfallkette mit wichtigen Leistungsindikatoren

Sobald ein solcher Prozess identifiziert wurde, besteht der nächste Schritt darin, den Workflow und die wichtigsten Leistungsindikatoren des aktuellen Prozesses zu erfassen. Leicht identifizierbare und messbare betriebliche Leistungsindikatoren sowie Parameter, die die Abfallbewirtschaftungspolitik beeinflussen, werden als entscheidende Elemente jedes Abfallbewirtschaftungsmodells angesehen. Die Behörden können sie nutzen, um die Fortschritte und Verbesserungen, die durch das entwickelte Modell oder die angewandte Abfallbewirtschaftungsstrategie erzielt wurden, quantitativ zu bewerten.

In erster Linie sind es die Ziele, die erreicht werden sollen. Die Entwicklung von KPIs dient der Messung und Quantifizierung des Ausmaßes der erreichten Ziele. Hier können wir wieder auf das bereits erwähnte 9Rs als Ziele der Kreislaufwirtschaft verweisen (siehe Abbildung 2), oder die vielgenutzte Darstellung der Abfallpyramide kann Orientierung geben.

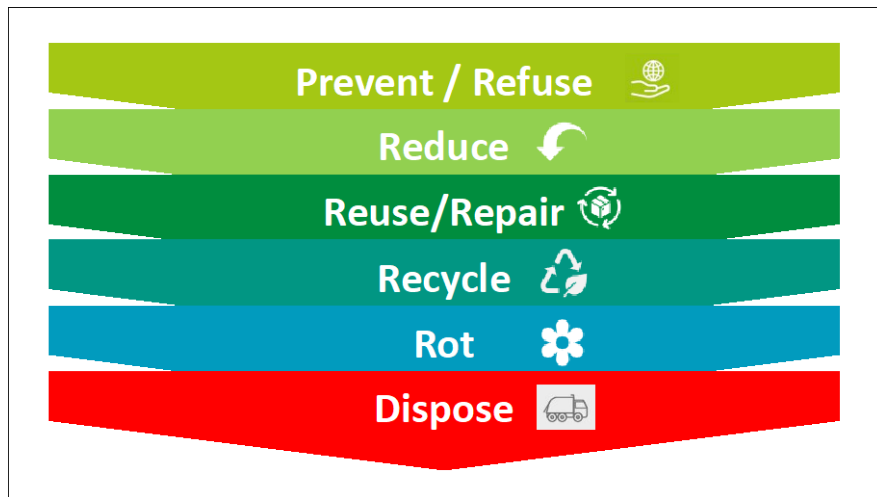


Abbildung 18: Ziele der Abfallpyramide (die Autoren basierend auf der EU-Abfallhierarchie siehe Artikel 4 der EU-Abfallrahmenrichtlinie)

Das Gesamtziel besteht darin, den Abfall so weit wie möglich zu reduzieren. Die optimale Möglichkeit dazu ist einfach, Abfall zu vermeiden/zu entsorgen, indem kein Material verwendet wird. Ist dies nicht möglich, kann der Einsatz eines Materials so weit wie möglich reduziert werden, z. B. durch den Einsatz einer materialsparenden Technologie. Wenn ein Material verwendet werden muss, sollte die Wiederverwendung oder Reparatur mit einer Wiederverwendung, d. h. mit jedem Vorgang, bei dem Produkte oder Komponenten, die nicht Abfall sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie konzipiert wurden. Eine Reparatur durch den Anwender ist möglich, wenn die technische Auslegung nicht zu komplex ist und Ersatzteile verfügbar sind – eine Optimierung beider wird derzeit in der EU diskutiert. Wenn dies nicht möglich ist, sollte das Recycling aktiviert werden, wobei das Recycling jede Rückgewinnungsoperation bedeutet, bei der Abfallstoffe zu Produkten, Materialien oder Substanzen, sei es für den ursprünglichen oder anderen Zweck, wiederverarbeitet werden. Dazu gehört die Wiederaufbereitung von organischem Material, aber nicht die Energierückgewinnung und die Wiederaufbereitung zu Materialien, die als Brennstoffe oder für den Rückfüllbetrieb (European Union, 2008 Art. 3 Waste Framework Directive 2008/98/EC) verwendet werden sollen. Wenn dies nicht möglich ist, natürlich (!) Material sollte verrottet werden, andernfalls muss die Entsorgung durch Verbrennung einschließlich Energiegewinnung erfolgen. Eine Entsorgung in Form von Deponien sollte überhaupt vermieden werden. Es gibt also eine Vielzahl von Optionen zur Abfallreduzierung, was die Kontrolle komplexer macht.

Eine Literaturübersicht zeigt die folgende Liste der am besten geeigneten betrieblichen KPIs, die in der Abfallbewirtschaftungsanalyse weit verbreitet sind und von den kommunalen Behörden bewertet werden könnten: Abfallkompositorenanalyse, Produktion Fester Kommunaler Abfälle, Recycling Kommunaler Abfälle, Abfallproduktionsrate, Abfallwiederverwertungsrates, Abfallentsorgungsrates, (AlHumid, Haider, AlSaleem, Shafiquzamman, & Sadiq, 2019; Pappas et al., 2022; Zorpas, 2020) Abfallinfrastruktur .

- Die Abfallkompositionsanalyse (WCA), könnte als wichtigster Kennzahlenwert gedacht werden, der verwendet wird, um Behörden über die Art der Abfallstoffe zu informieren, die in einem bestimmten Bereich entstehen (Kunststoffe, Aluminium, Papier, Glas, organische Abfälle, Und anderen Materialien), Informationen, die bei der Bildung einer Strategie zur Abfallvermeidung und -Bewirtschaftung (Pappas et

al., 2022; Vardopoulos et al., 2021)nützlich sein könnten. Der Rohdatenfluss zum System erfolgt über IoT-Geräte, die auf jedem Abfallbehälter installiert sind, und ermöglicht die Berechnung des Prozentsatzes jeder Art von erzeugtem Abfall innerhalb eines bestimmten Bereichs zu einem bestimmten Zeitpunkt.

- Ein weiterer wichtiger KPI, der weitgehend vom Ausmaß und der Bevölkerung der Stadt abhängt, ist die Produktion fester kommunaler Abfälle, das Verhältnis der durchschnittlichen Abfallmenge pro Kopf (Loizia et al., 2021). Sie wird berechnet, indem die Gesamtabfälle, die durch die Bevölkerung eines bestimmten Gebiets erzeugt werden, geteilt werden.
- Das Recycling von Siedlungsabfällen ist auch ein wichtiger Kennzahlenwert für die Abfallwirtschaft, da es die Menge des recycelten Abfallmaterials im Vergleich zum insgesamt produzierten festen Abfall innerhalb eines bestimmten Bereichs zu einem bestimmten Zeitpunkt ausdrückt. (Vardopoulos et al., 2021) Solche Daten und daraus abgeleitete Informationen sind für kommunale Behörden sehr nützlich, da sie vorhandene Präventionsmaßnahmen und -Strategien, aber auch operative Aspekte im Zusammenhang mit Sammelsystemen (Mülltonnenart und -Kapazität) bewerten können.
- Abfallproduktionsrate, Der die Änderung der jährlich erzeugten Abfallmenge zum Ausdruck bringt, könnte als KPI betrachtet werden, der die Leistung einer von Behörden verfolgten Abfallbewirtschaftungsstrategie bewertet oder als Metrik verwendet werden könnte, um Maßnahmen umzusetzen, die eine Erhöhung der Abfallmenge verhindern würden. (Loizia et al., 2021). Der KPI wird berechnet, indem die Prognose der jährlichen Gesamtmenge des Abfalls durch die Gesamtmenge des im Vorjahr erzeugten Abfalls dividiert wird.
- Die Abfallwiederherstellungsrate ist ein KPI, der die Rückgewinnung von erzeugtem Abfall in einem bestimmten Zeitraum ausdrückt. Die Abfallverwertungsrate wird berechnet, indem die Menge des wiederhergestellten Abfalls durch die Menge der kommunalen Abfallproduktion pro Abfallart dividiert wird, während die verfügbaren Verwertungsoptionen Recycling, Wiederverwendung, Abfall-zu-Energie, Sanierung (Rhyner, Schwartz, Wenger, & Kohrell, 2017)umfassen.
- Die Abfallentsorgungsquote schätzt die Abfallentsorgung im ausgewählten Bereich in Zeiteinheiten, d. h. täglich, wöchentlich, monatlich oder jährlich, und könnte als Maß für die Wirksamkeit einer Abfallbewirtschaftungsstrategie entsprechend der Erhöhung oder Verringerung ihres Wertes (Pappas et al., 2022)dienen.
- Die Abfallinfrastruktur ist auch ein sehr wichtiger Kennzahlenwert, da sie die Umweltleistung der aktuellen Abfallbewirtschaftungsinfrastruktur messen könnte. Es bezieht sich auf die Anzahl und Art der Abfallbehälter in einem bestimmten Bereich. Es liefert nützliche Informationen über die aktuelle Infrastruktur in Bezug auf die Wohndichte dieses Gebiets. Es liegt auf der Hand, dass mit steigender Bevölkerungsdichte die Anzahl der Abfallbehälter proportional zunimmt (Zorpas, Lasaridi, Voukkali, Loizia, & Chroni, 2015).

Die oben aufgeführten Leistungsindikatoren sind wichtig, reichen aber nicht aus, um einen gesamten Prozess in die Blockchain-Technologie umzuwandeln. Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, durch Verhaltensänderungen der beteiligten Akteure eine Reduzierung der Abfälle, eine längere Nutzung der Produkte, eine höhere Reparaturrate, eine höhere Recyclingquote usw. zu erreichen. Um die Gesamtziele zu erreichen, müssen die KPIs daher auf die jeweilige Stakeholder-Gruppe zugeschnitten sein. Die Erfassung des gesamten Prozesses mit seinen Key

Performance Indicators kann daher kaum von einer einzigen Organisation durchgeführt werden und erfordert die Zusammenarbeit aller Beteiligten. Es wird empfohlen, den Prozess mit einfacher Software ohne hohen Detailgrad zu erfassen und die Auswahl der Indikatoren auf die wichtigsten zu beschränken, damit der Koordinationsprozess und der Arbeitsaufwand überschaubar bleiben.

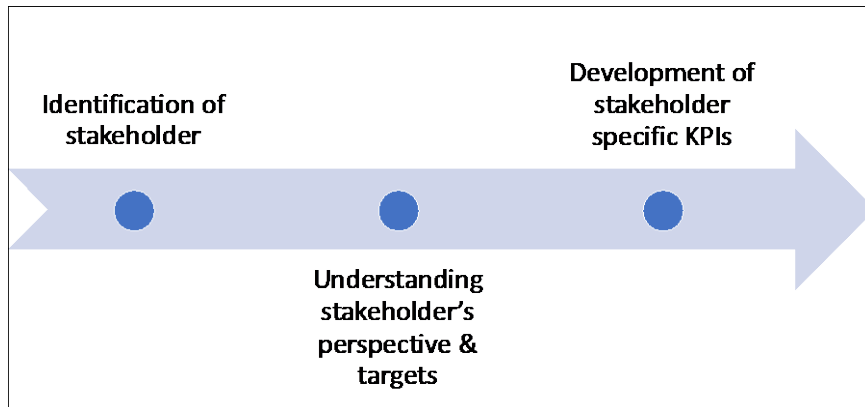


Abbildung 19: Entwicklung von Stakeholder-spezifischen KPIs (die Autoren)

### Stakeholder

Alle Teilnehmer sind Stakeholder des kommunalen Abfallwirtschaftssystems, während sie (müssen) ein Interesse an einem optimalen System haben, das ihren Zielen dient. Da sich die Perspektiven oder Ziele der Stakeholder-Gruppen jedoch unterscheiden können, sollten die KPIs zur Messung des MSW-Systems für jede Gruppe diversifiziert und angepasst werden. Diese Akteure können in Verwaltung, Bürger und Unternehmen unterteilt werden.

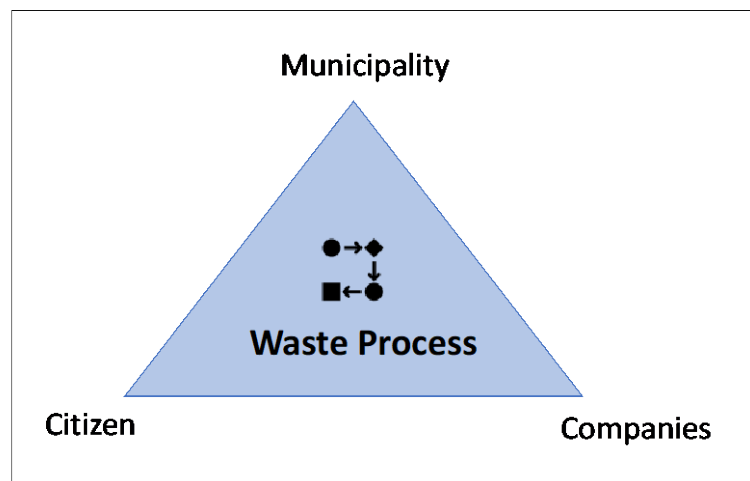


Abbildung 20: Am Abfallprozess beteiligte Stakeholder-Gruppen (die Autoren)

- Verwaltungen/Gemeinden

Verwaltungen sollten in diesem Zusammenhang als alle staatlichen Institutionen definiert werden, die direkt oder indirekt mit der kommunalen Abfallwirtschaft in Verbindung stehen. Dies sind in erster Linie die kommunalen Verwaltungen, die direkt für den MSW-Managementprozess verantwortlich sind. Dies umfasst die Prozessorganisation, die Abfalllogistik, die Müllabfuhr, den Betrieb der Verbrennung und Abrechnung, die Abrechnung und Abrechnung von Dienstleistungen für Bürger und Unternehmen. Zweitens umfassen Verwaltungen staatliche und politische



Institutionen als übergeordnete Institutionen, die allgemeine Netzwerke überwachen und finanzieren und rechtliche Rahmenbedingungen verwalten. Da Verwaltungen offiziell für das MSW-Management verantwortlich sind, haben sie den höchsten Bedarf an effizientem Controlling und adäquaten KPIs. Die Verwaltungen brauchen Transparenz und Regeln, Gesetze und Anreizsysteme, die in Bezug auf Ergebnisse und Kosten effizient sind. Die Indikatoren können für alle Verwaltungsebenen gleich sein, jedoch mit einer anderen Genauigkeit.

- Bürger  
Bürger sind alle Bewohner von Gemeinden, die Abfälle produzieren und für die Sammlung und Sortierung von Abfällen verantwortlich sind. Und sie müssen Gebühren für MSW-Dienste an die Verwaltungen zahlen. Einige Bürger haben zwar ein zusätzliches Interesse an nachhaltigem Verhalten und wollen zur Zukunft der Welt beitragen, aber es wird angenommen, dass im Durchschnitt alle Bürger als Privatpersonen die gleichen Interessen und Ziele haben. Die Bürger sind also an KPIs interessiert, die ihre Interessen transparent machen.
- Unternehmen  
Unternehmen sind juristische Wirtschaftseinheiten in Kommunen. Sie mögen im Allgemeinen sehr unterschiedlich sein, haben aber fast das gleiche Interesse an lokalen MSW-Systemen. Unternehmen können Rohstoffproduzenten, Verpackungshersteller, Fertigwarenhersteller, Händler/Einzelhändler sowie Logistik- oder Dienstleistungsunternehmen sein. Selbst Reparatur-, Vorverarbeitungs- und Recyclingunternehmen sind Spezialunternehmen, die in MSW-Prozessen Verantwortung zu übernehmen haben. Ein weiterer Sonderfall sind börsennotierten Unternehmen, die in den Bereichen Abfallsammlung, Vorverarbeitung, Verbrennung und Deponierung tätig sind. Diese Aufgaben könnten an private Unternehmen ausgelagert werden.
- Unternehmen sind sogar für die Sammlung und Sortierung von Abfällen verantwortlich. Und sie müssen Gebühren an die Verwaltungen für MSW-Dienste zahlen. Für Unternehmen könnte es ein zusätzliches Interesse geben, ihre Ergebnisse im „grünen Verhalten“ durch Berichterstattung und insbesondere Jahresberichte zu zeigen.

#### *Stakeholder-spezifische Ziele*

Die Stakeholder verfolgen verschiedene Ziele in der Abfallwirtschaft, die wie folgt beschrieben werden können: Das allgemeine Ziel aller Beteiligten scheint es zu sein, Abfälle aller Art zu reduzieren, um die Welt zu retten. Abfall ist eine besondere Art der Verschmutzung: Luft- und Wasserverschmutzung sind ebenfalls wichtig, aber in diesem Zusammenhang sollte die spezifische Art von MSW nur unter Berücksichtigung der Tatsache diskutiert werden, dass MSW Luftverschmutzung durch Verbrennung in Verbrennungen oder Wasserverschmutzung in Deponien oder direkte Entsorgung verursachen kann.

Ziele und Ziele der Abfallwirtschaft können in direkte Ziele unterteilt werden, die sich auf wichtige Zwecke und indirekte Ziele, die Motivationstreiber oder Ergebnisse und Maßnahmen zur Erreichung direkter Ziele sein könnten, richten.

*Tabelle 1: Definition von Stakeholder-spezifischen Zielen (die Autoren)*

Ebene	Interesse/Ziel	Beschreibung
-------	----------------	--------------

<b>Allgemein</b>	Direkt: Reduzierung des Gesamtabfalls pro Typ	▶ Großes Ziel für alle, die Welt zu retten
<b>Verwaltungen (Gemeinden)</b>	Direkt: Reduzierung der Verarbeitungskosten	▶ Kommunen zur Gestaltung kosteneffizienter MSW-Prozesse
	Indirekt: Preisgestaltung/Rechnungsstellung von Abfällen	▶ Die Rechnungsstellung ist notwendig, um Kosten und Einnahmen auszugleichen. Die Preisgestaltung könnte jedoch Rabatte integrieren.
	Indirekt: Anreize für eine gute Sammlung und Verarbeitung	▶ Anreize für Bürger und Unternehmen könnten hilfreich sein, um Ziele schnell zu verfeinern und zu erreichen
	Indirekt: Umweltverschmutzung bestrafen	▶ Zusätzlich zu den Anreizen könnte Bestrafung notwendig sein, um falsche Handlungen zu unterdrücken.
	Indirekt: Zunehmende Reparatur	▶ Die Erhöhung der Reparaturquote durch die Unterstützung von Bürgern und Unternehmen führt zu einer Reduzierung der Abfälle
<b>Bürger</b>	Direkt: Kosten senken	▶ Es wird angenommen, dass alle Bürger ein Interesse daran haben, zu reduzieren
	Direkt: Incentives	▶ Erhalten von Anreizen
	Indirekt: Beitrag zum Umweltschutz	▶ Für einige Bürger kann die Rettung der Umwelt eine intrinsische Motivation sein
	Indirekt: Optimierung der Sammlung	▶ Wenn Bürger die Sammlung durch korrekte Sortierung optimieren, erhöhen sie die Chance auf optimale Abfallprozesse
	Indirekt: Zunehmende Reparatur	▶ Die Reparatur reduziert Verschwendung und Kosten. Bürger können von kommunalen Institutionen oder Unternehmen unterstützt werden, die rechtlich definiert werden könnten
<b>Unternehmen</b>	Direkt: Kosten senken	▶ Die Reduzierung der Abfallkosten durch die Optimierung der Abfallprozesse führt zu höheren Gewinnen
	Direkt: Incentives	▶ Erhalten Sie Incentives
	Indirekt: Bestrafung vermeiden	▶ Bestrafung führt zu höheren Kosten und Image-Risiken

- Indirekt: Berichterstattung über grüne Aktivitäten ▶ Die Abfalleistung kann Teil der jährlichen Berichterstattung werden und ist ein Faktor der Imagebildung
- Indirekt: Informationen zur Eingabe ▶ Wenn Unternehmen Mengen und Preise von Inputmaterialien kennen, die aus der Wiederverwendung und dem Recycling über Blockchain gewonnen werden, könnten Produktion und Logistik optimiert werden. Das Recht der Verbraucher, mangelhafte Produkte per Gesetz, z. B. für Haushaltsgeräte, zurückzugeben, wird transparent.
- Indirekt: Output wird optimiert ▶ Eine adäquate Abfallberichterstattung und Transparenz durch Blockchain-Nutzung könnten die Produktion optimieren, insbesondere durch eine Reduzierung der Verpackung. Das Recht der Verbraucher, fehlerhafte Produkte zurückzugeben, könnte eine nachhaltigere Entwicklung der Produkte forcieren.
- Indirekt: Zunehmende Reparatur (gesetzliche Verpflichtung) ▶ Eine Reparatur kann gesetzlich vorgeschrieben oder als Service angeboten werden. Eine höhere Reparaturquote könnte zu Einnahmen führen.

Basierend auf den zuvor definierten Interessen der Stakeholder an Informationen über die Material-, Informations- und Zahlungsströme konnten die Key Performance Indicators abgeleitet werden. Die Konzentration auf den Materialfluss innerhalb des Prozesses könnten diese Ziele in die folgenden Stakeholder-spezifischen Key Performance Indicators umgewandelt werden. Einige der unten aufgeführten KPIs sind bereits aus den zuvor vorgestellten und aus Literaturrecherchen erhaltenen KPIs bekannt. In diesem Fall werden diese KPIs jedoch modifiziert und auf die Bedürfnisse und Ziele bestimmter Interessengruppen zugeschnitten.

*Tabelle 2: Stakeholder-spezifische KPIs (die Autoren)*

Ebene	Interesse/Ziel	KPI
<b>Allgemein</b>	Direkt: Reduzierung des Gesamtabfalls pro Typ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Menge pro Typ in t insgesamt und pro Kopf, Veränderung</li> <li>▶ Recyclingquote</li> <li>▶ Quote wiederverwenden</li> <li>▶ Reduzierung der Folgekosten für zukünftige Generationen</li> </ul>
<b>Verwaltungen (Gemeinden)</b>	Direkt: Reduzierung der Verarbeitungskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Prozesskosten insgesamt in EUR</li> </ul>

	Indirekt: Preisgestaltung/Rechnungsstellung von Abfällen	▶ Rechnungspreis pro Typ
	Indirekt: Anreize für eine gute Sammlung und Verarbeitung	▶ (1- Fehlerquote) x Incentive-Preis pro Typ
	Indirekt: Umweltverschmutzung bestrafen	▶ Preis pro t für Materialverluste außer Verarbeitung
	Indirekt: Zunehmende Reparatur	▶ Reparaturquote
<b>Bürger</b>	Direkt: Kostensenkung	▶ Abfallkosten pro Typ und pro Kopf im Haushalt
	Direkt: Incentives	▶ (1- Fehlerquote) x Incentive-Preis pro Typ
	Indirekt: Beitrag zum Umweltschutz	▶ „Umweltpunkte“ in %
	Indirekt: Optimierung der Sammlung	▶ Fehlerrate pro Typ
	Indirekt: Zunehmende Reparatur	▶ Reparaturquote
<b>Unternehmen</b>	Direkt: Kostensenkung	▶ Gesamtabfallkosten pro Typ
	Direkt: Incentives	▶ (1- Fehlerquote) x Incentive-Preis pro Typ
	Indirekt: Bestrafung vermeiden	▶ Preis pro t für Materialverluste außer Verarbeitung
	Indirekt: Berichterstattung über grüne Aktivitäten	▶ Menge pro Typ in t insgesamt, ändern
	Indirekt: Wissen von Input	▶ Menge pro Typ in t gesamt nach Lieferant
	Indirekt: Output wird optimiert	▶ Menge pro Typ in t insgesamt, ändern
	Indirekt: Zunehmende Reparatur (gesetzliche Verpflichtung)	▶ Reparaturquote

### 3.4 Design eines Blockchain-basierten Prozesses

Hier liegt die größte Herausforderung. Die Distributed Ledger Technology ermöglicht völlig neue Problemlösungen und erfordert daher nicht nur ein tiefes Verständnis der technologischen Möglichkeiten, sondern auch die Fähigkeit, „out of the box“ zu denken. Bei der Prozessgestaltung sind drei Flüsse zu berücksichtigen: Materialfluss, Informationsfluss und Zahlungsfluss.

*Materialfluss*

Ein Schwerpunkt liegt natürlich auf dem Materialfluss, der in jeder Phase des Prozesses messbar und quantifizierbar sein muss. In einer optimalen Lösung wäre eine quantifizierte Rückverfolgung eines bestimmten Materials entlang der gesamten Materialkette einschließlich Wiederverwendung und Recycling-Schleifen möglich. Die Lebensdauer einer Glasflasche kann daher wie folgt beschrieben werden: Glas wird aus Kieselsäure hergestellt und als Flasche geformt. Die Flasche wird etikettiert und gefüllt, zu einem Händler transportiert und von einem Kunden (Bürger) verwendet. Nach dem Gebrauch wird die Flasche gesammelt, gereinigt, nachgefüllt und so weiter. Nach 50 Zyklen muss die Flasche recycelt und damit zerkleinert und geschmolzen werden. Das Glas wird wieder in neuen Flaschen usw. erscheinen, bis die Komponenten aufgrund von Materialermüdung nicht mehr zur Herstellung neuer Flaschen verwendet werden können. Dann kann das Glas als Glasfüller für Autobahnen verwendet werden. Das Problem des Tracings ist offensichtlich: Während eine bestimmte Flasche für das Tracing kaum 'gekennzeichnet' werden kann (nicht als Papieretikett), muss die Flasche irgendwann zerstört werden und so wird das 'Label' zerstört. Zur korrekten Rückverfolgung sollte nicht die Flasche, sondern das Glasmaterial selbst oder sogar das Kieselgel als Rohstoff gekennzeichnet werden. Dies kann nur durch die Integration einer Art 'Label' (Marker) in die chemische Struktur erreicht werden. Da dies viel zu kompliziert erscheint, scheint 'Etikettierung' keine Lösung für die Rückverfolgung zu sein.

Obwohl solche Kennzeichnungsinformationen problemlos in einer Blockchain gespeichert werden können, ist aus technischen Gründen eine andere Lösung erforderlich. Aus pragmatischer Sicht scheint die Quantifizierung des gesamten erwähnten Materials in Form von Gewicht möglich (bei einigen Produkten wie Glasflaschen vielleicht als Anzahl der Flaschen multipliziert mit dem Gewicht pro Flasche).

Folglich sollte jeder am Fluss dieses Materials beteiligte Agent die Mengen an Input (Wareneingang) und Output (Warenausgang und Abfall) für jede der genannten Materialarten nach Gewicht quantifizieren. So können Materialverluste innerhalb eines Unternehmens oder in einem Verbrauchsprozess gemessen werden. Da sehr oft Produkte aus mehr als einem oder sogar Verbundmaterial bestehen, sollten Materialmengen jedes Produktes im Stammdatensatz eines Produktes gespeichert werden. Zum Beispiel besteht eine Schaumwasserflasche aus Glas, einem Papieretikett und Kunststoffen, die für den Flaschenverschluss verwendet werden. Diese Informationen über die Materialmenge können für jede ein- oder ausgehende Flasche aufgezeichnet werden. Aber auch dieses einfache Beispiel zeigt, dass es gesetzlich oder regelhaft Grenzen für die Verfolgung geben sollte: Die Quantifizierung des Papieretiketts scheint keinen Sinn zu machen. Insgesamt sollte also die Quantifizierung in der Eingangs- und Ausgangsstufe nur für größere Materialkategorien erfolgen, die nach der Trennung gewogen oder volumenaggregiert unter Verwendung der Stammdaten werden. Diese Daten sollten täglich in einer Blockchain nach Materialart gespeichert werden. Daten über Restmaterial sollen im IT-System des Unternehmens gespeichert werden.

Dieser Ansatz scheint in fast jedem Materialfluss zu funktionieren, außer bei Privatkunden/Bürgern, da es hier keine direkte IT-Verbindung gibt. Die Quantifizierung der Ausgaben der Bürger kann durch Trennung in verschiedenen Behältern pro Materialtyp (oder spätere Sortierung) und durch Wiegen und/oder Scannen während des Sammelvorgangs erfolgen. So könnte die aggregierte Leistung eines Händlers genauso behandelt werden wie die Eingabe privater Kunden, wenn keine Verluste dazwischen auftreten. Nach der Mengenummessung sollen die Materialflüsse in einem nächsten Schritt analysiert werden.

Da Materialflüsse die Grundlage für die Entwicklung von KPIs sind, sollten diese Materialflüsse analysiert werden. Ein Problem ist, dass Materialflüsse aufgrund ihrer besonderen Materialeigenschaften unterschiedlich sein können. Da die angewandten Prinzipien jedoch nahezu identisch sind, sollte ein generalisierter Materialfluss, der für alle Arten geeignet ist, modelliert werden. Der Standardprozess wird ohne Schleifen linearisiert:

Ein Materialfluss beginnt mit der Produktion von Rohstoffen, die je nach Bedarf an Verpackungen und Produzenten geliefert werden. Sicher ist die Verpackung selbst eine Art Produkt, wird aber hier aufgrund ihrer besonderen Bedeutung in den Abfallketten separat dargestellt. Hersteller können Hersteller von Fertigwaren für Endkunden oder andere Hersteller von Halbfertigwaren sein, die als Vorprodukte an andere Hersteller überführt werden. In diesem Schritt gibt es also tatsächlich eine Materialschleife. Es muss berücksichtigt werden, dass die Produzenten von Rohstoffen und Halbzeugen in anderen Gemeinden als die Produzenten von Fertigprodukten ansässig sind. Nach der Herstellung werden fertige Waren an Händler geliefert. Bis hier könnten alle teilnehmenden Unternehmen fast die gleichen Interessen in Bezug auf die Abfallwirtschaft haben. Es sollte erwähnt werden, dass einige Unternehmen tatsächlich MSW produzieren, das von den Kommunen gesammelt und in Rechnung gestellt werden muss, aber diese Schritte werden aus Vereinfachungsgründen in der folgenden Grafik ausgelassen.

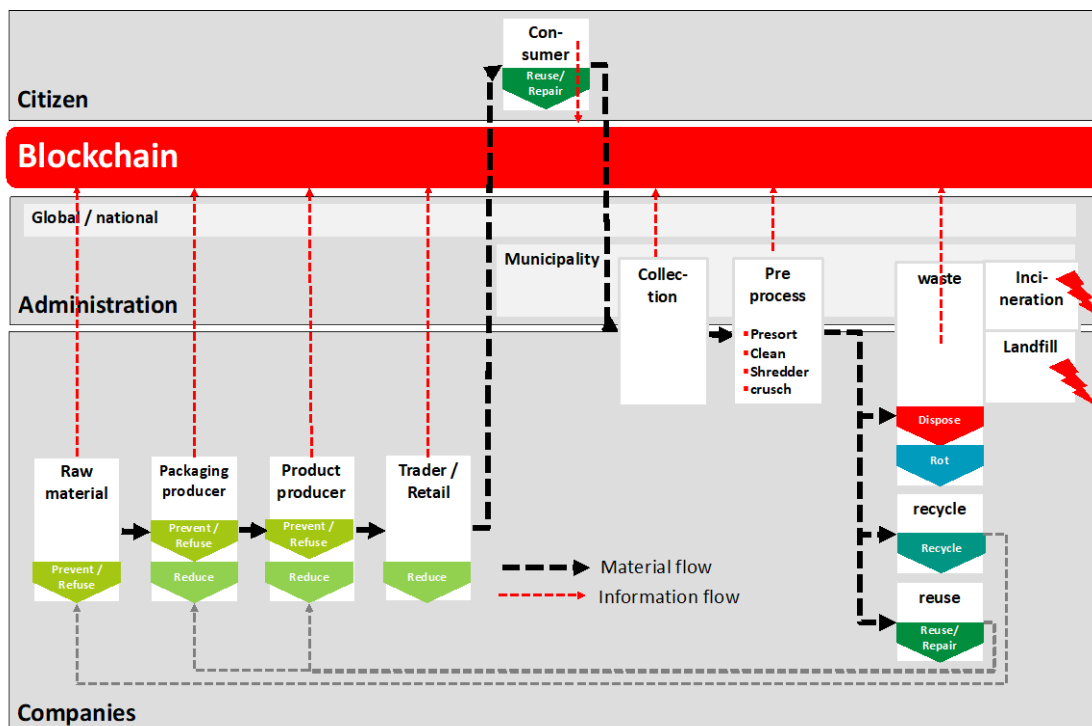


Abbildung 21: Design eines Blockchain-basierten Abfallmanagementprozesses

Dann „verlassen“ Produkte die von Unternehmen abgedeckte Prozessebene, wenn sie an Kunden verkauft werden, die eine andere Perspektive auf den Prozess haben. Haushaltskunden sortieren Abfall z. B. in separaten Behältern und sammeln Abfall. Anschließend werden Abfälle vorverarbeitet und recycelt, wiederverwendet/repariert oder durch Verrotten, Verbrennung oder Deponie behandelt.

#### Informationsfluss

Der Informationsfluss in einem Blockchain-basierten Prozess unterscheidet sich völlig von der herkömmlichen Prozesssteuerung, da der herkömmliche lineare Informationsfluss, der lange Verzögerungen und Ineffizienzen verursachen kann, überwunden wird. Alle Teilnehmer können gleichzeitig auf dieselben (fast) Echtzeit-Informationen über den Fortschritt eines Projekts zugreifen. Es gibt nur eine einzige Quelle von 'Wahrheit' innerhalb des Netzwerks. Die permanente Synchronisation der Daten und das Vorhandensein mehrerer Kopien macht die Datenbank zudem widerstandsfähig gegen Hacker-Angriffe.

IBM (2017, p. 5) Setzen Sie es in „Message-Based vs. State-Based Communications“ wie folgt um:

*„Heute senden Organisationen Nachrichten hin und her, um verschiedene Aufgaben zu erledigen, wobei jede Organisation ihren Zustand der Aufgabe lokal aufrechterhält. In Blockchains stellen Nachrichten den gemeinsamen Status der Aufgabe dar, wobei jede Nachricht die Aufgabe in den nächsten Status ihres Lebenszyklus versetzt. Blockchains verändern das Paradigma von Informationen, die von einem einzelnen Eigentümer gehalten werden, zu einer gemeinsamen Lebensdauer eines Assets oder einer Transaktion. Statt der messungsbasierten Kommunikation ist das neue Paradigma staatlich.“*

Jede für die Generierung von KPIs relevante Basisinformation muss in der MSW-Blockchain gespeichert werden. Daher muss jeder Teilnehmer (außer Bürger) pro Typ einen Block generieren, damit eine Aggregation möglich ist. Die Mengen werden wie oben beschrieben gemessen.

Aktuelle Preise müssen per Fernanruf von einem kommunalen Server hochgeladen werden. Diese Redundanz der Preisinformationen (kommunaler Server und jeder Block) ist aus informationstheoretischer Sicht suboptimal, führt aber zu einer deutlich höheren Performance, wenn es darum geht, KPIs on Demand zu generieren. Insgesamt sollte die Blockstruktur also wie in Abbildung 24 dargestellt sein.

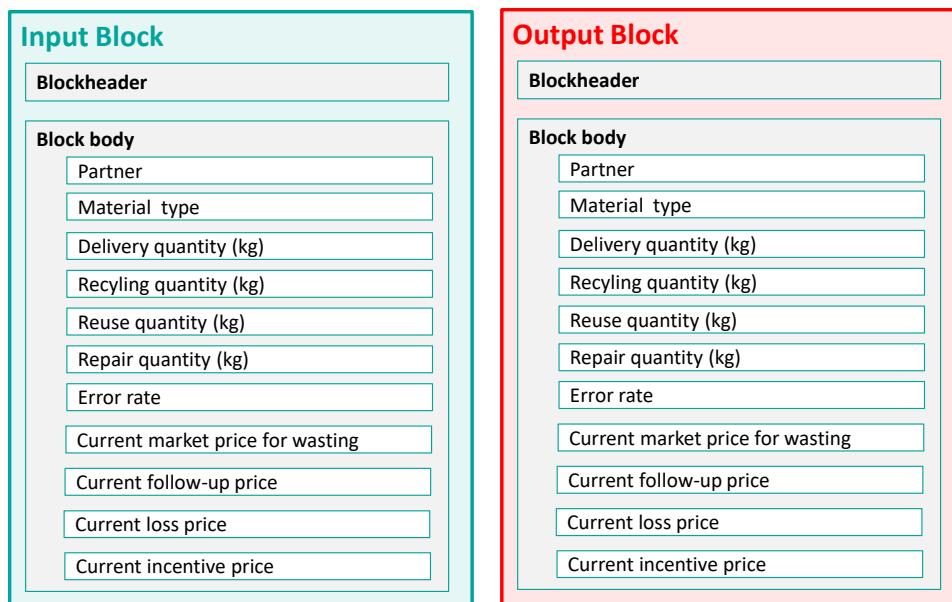


Abbildung 22: Blockstruktur des Blockchain-basierten Abfallprozesses (die Autoren)

KPIs können auf Abruf aus diesen Informationen erzeugt werden, wenn die Blockchain ausreichend performant ist.

Zusammenarbeit erfordert ein hohes Maß an Vertrauen zwischen den Partnern, da das gewünschte Ergebnis nur gemeinsam erreicht werden kann. Jeder ist auf einander angewiesen, wie die Teilnehmer einer Seilparty beim Bergsteigen. Vertrauen kann geschaffen werden, wenn jeder Teilnehmer gleichzeitig Zugriff auf dieselben zuverlässigen Informationen über Aktivitäten und Transaktionen hat. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn es in einem verteilten Netzwerk nur eine einzige gemeinsame Datenbank gibt, die alle vergangenen Transaktionen als eine einzige Quelle der Wahrheit für alle Teilnehmer aufzeichnet.

#### *Zahlungsablauf*

Mit der Blockchain können Zahlungstransaktionen Peer-to-Peer ohne zusätzlichen Finanzintermediär organisiert und sogar mithilfe von Smart Contracts automatisiert werden. Als Geld können sogenannte Payment Tokens, also digitale Werte, die monetäre Funktionen übernehmen, verwendet werden.

Laut der Bank for International Settlements (2018, p. 97) *„Kryptowährungen kombinieren drei wichtige Funktionen. Erstens sind sie digital, streben danach, ein bequemes Zahlungsmittel zu sein und verlassen sich auf Kryptographie, um Fälschungen und betrügerische Transaktionen zu verhindern. Zweitens, obwohl sie privat geschaffen wurden, sind sie niemandem zur Verantwortung, d. h. sie können nicht eingelöst werden, und ihr Wert leitet sich nur aus der Erwartung ab, dass sie weiterhin von anderen akzeptiert werden. Das macht sie einem Warengeld gleich (wenn auch ohne intrinsischen Wert im Gebrauch). Und schließlich ermöglichen sie einen digitalen Peer-to-Peer-Austausch.“*

Der wichtigste Punkt in dieser bis-Erklärung ist der letzte: „Zahlungstoken ermöglichen den digitalen Peer-to-Peer-Austausch“. Die derzeit im Finanzsystem zirkulierenden Zahlungsmittel erlauben keinen digitalen Peer-to-Peer-Austausch, da sie von den Zentralbehörden innerhalb der zweistufigen Systeme von Geschäftsbanken und Zentralbanken ausgegeben werden. Wenn die Distributed Ledger-Technologie daher durch direkten Peer-to-Peer-Handel Akzeptanz in der Realwirtschaft erlangen soll, müssen Payment Tokens die natürliche Ergänzung für den digitalen Austausch von Werten sein.

Wie die BIZ sagt, werden Zahlungsmarken privat erstellt, und ihr Wert ergibt sich nur aus der Erwartung, dass sie von anderen akzeptiert werden. Sie dienen nicht als gesetzliches Zahlungsmittel, das von einem Rechtssystem wie Münzen und Banknoten anerkannt wird. Nach der aktuellen Diskussion könnten jedoch einige Zentralbanken in Zukunft digitale Formen wertbasierten Bargelds ausgeben. Derzeit sind es stabile Münzen, deren private Emittenten einen Wechselkurs von 1 zu 1 des Zahlungstokens in alle wichtigen Währungen (US-Dollar, Euro, Yen oder Schweizer Franken) garantieren, die sich am besten für den Peer-to-Peer-Einsatz eignen. So stellen stabile Münzen eine Brücke zwischen dem bestehenden fiat-Geld der Banken und der Kryptowelt dar.

### 3.5 Entwicklung eines Governance-Modells für Blockchain-Anwendungen

Die Governance der Blockchain ist ein Stakeholder-Abkommen, das von allen beteiligten Akteuren gemeinsam entwickelt und verabschiedet wird. Kernelement der Blockchain ist ihre Dezentralisierung, die Entscheidungen und Überwachung an das Netzwerk der Stakeholder und nicht an eine zentrale Institution oder Behörde delegiert. Daher müssen sich die Akteure zunächst auf die essenziellen Elemente der Zusammenarbeit bei der Steuerung des Datennetzes einigen. Die Einrichtung eines Token-basierten Anreizsystems ermöglicht es, eine Win-Win-Situation für alle Beteiligten zu schaffen und sie so zu motivieren, an dieser kollaborativen



Datenbank teilzunehmen. Im Folgenden wird ein Überblick über die wesentlichen Elemente der Governance für die Blockchain-basierte Abfallwirtschaft gegeben.

#### *Blockchain-Governance als kollaborativer Prozess*

Dies ist sicherlich der wichtigste Teil des kollaborativen Prozesses. Es muss eine Governance-Struktur geschaffen werden, die von allen Beteiligten gemeinsam genutzt wird. Letztendlich geht es um Hierarchien und die Verteilung der Macht. Arbeiten alle teilnehmenden Unternehmen mit den gleichen Rechten zusammen wie die Eigentümer eines Prozesses, oder werden die Rechte auf einen kleinen Kreis von Unternehmen zentralisiert oder nur innerhalb eines Unternehmens verteilt?

In diesem Zusammenhang sollten vor allem folgende Fragen angesprochen werden:

- Wer bestimmt die Teilnahme am Geschäftsprozess?
- Wer verteilt die Lese- und Schreibrechte an die Teilnehmer in der Blockchain-Datenbank?
- Wie wird ein neuer Eintrag in der Blockchain validiert, automatisch über einen Algorithmus, wie zum Beispiel einen Arbeitsnachweis, oder zentraler über einen Proof of Stake oder einen Proof of Authority? Die Festlegung des Konsensmechanismus bestimmt sowohl die Skalierbarkeit als auch die Latenz eines solchen Prozesses. Wie Wüst und Gervais (2018, S. 2) schreiben: „*In zentralisierten Systemen ist die Performance in Bezug auf Latenz und Durchsatz im Allgemeinen viel besser als in Blockchain-Systemen, da Blockchains durch ihren Konsensmechanismus zusätzliche Komplexität hinzufügen.*“
- Werden Änderungen im Prozessablauf durch eine gemeinsame, demokratische Vereinbarung zwischen den Teilnehmern oder durch die Hierarchie des Unternehmens mit dem höchsten Kapitalanteil unterstützt?
- Wie wird der Prozess überwacht? Gibt es institutionalisierte Lösungen für Streitigkeiten zwischen Teilnehmern?

Es wird für sehr hierarchische, zentral verwaltete Unternehmen schwierig sein, sich an einem Governance-Modell zu beteiligen, bei dem jeder Teilnehmer fast die gleichen Rechte hat. Die wirtschaftlichen Vorteile der Blockchain-Lösung lassen sich aber nur erreichen, wenn die hohen Kosten einer zentralen Überwachung durch ein selbstkontrolliertes, dezentrales Anreizsystem und Transparenz ersetzt werden (Lenz, 2019).

#### *On-Chain- und Off-Chain-Blockchain-Governance*

Governance für Blockchain-Konsortien besteht aus „On-Chain“- und „Off-Chain“-Vereinbarungen. Bei den On-Chain-Vereinbarungen handelt es sich um eine Reihe von Vereinbarungen, die sich mit dem operativen Teil der Technologie befassen: Node-Hosting, Konsensmechanismen, Zugriff und Berechtigungen sowie ggf. Tokenisierung. Daher bildet die Wahl des Protokolls die Grundlage für diese On-Chain-Abkommen. In einem Blockchain-Konsortium enthalten die Off-Chain-Vereinbarungen die grundlegenden Regeln des Geschäftsteils. Die Akteure müssen eine Governance-Struktur entwerfen, die für alle Beteiligten akzeptabel ist. Es muss auch Einigkeit darüber bestehen, wie Daten geteilt werden, wie viel Input/Kontrolle jeder Teilnehmer haben wird und wie Probleme im Zusammenhang mit der Gesamtleistung des Konsortiums und seiner Teilnehmer behandelt werden.

Blockchains können zu einer besseren Zusammenarbeit beitragen, indem sie opportunistisches Verhalten entmutigen oder unmöglich machen. Sie kann auch zu einer besseren Koordinierung beitragen, indem sie die Kommunikation und den Informationsaustausch erleichtert. Vertrauen ist der Blockchain-Technologie innewohnt.

Blockchains verlassen sich bei der Durchsetzung von Vereinbarungen nicht direkt auf Rechtssysteme, wie es Verträge normalerweise tun, und Blockchains erfordern kein persönliches Vertrauen oder direkte Verbindungen zwischen Mitarbeitern. Die Akteure müssen jedoch Vertrauen in die Technologie gewinnen und technologisches Vertrauen aufbauen, um das Konsortium in einem Blockchain-Ökosystem zu entwickeln.

#### *Blockchain ermöglicht ein tokenisiertes Anreizsystem*

Wie bereits erwähnt, ist ein wichtiges Element der Blockchain-Governance die Entwicklung eines tokenisierten Anreizsystems, um die verschiedenen Akteure in der Abfallkette zu motivieren. Ein solches Token-System kann von besonderem Interesse sein, um die Bürger zu motivieren. Abhängig von den angenommenen Richtlinien können fungible oder nicht fungible Token den Blockchain-Adressen jedes Benutzers in Mengen und Arten zur Verfügung gestellt werden, die auf das Verhalten des Benutzers reagieren. In der Regel ermöglicht eine mobile App dem Benutzer, Token in den Blockchain-Adressen über eine Blockchain-Wallet zu verwalten, in der die privaten Schlüssel für den Token-Besitz gespeichert werden. Andere Ad-hoc-Lösungen können für bestimmte Kategorien von Bürgern abgezeichnet werden. Eine Reihe intelligenter Verträge erzwingt automatisch das Sammeln von Token durch Benutzer, die Abfall ordnungsgemäß aufteilen und reduzieren und die Recyclingquote verbessern. Die Token Smart-Verträge können direkt mit den Smart-Verträgen interagieren, die die Abfallverfolgungs-Kette verwalten, wenn das ordnungsgemäße Verhalten der Haushalte durch Trennungsqualität, Abfallreduzierung und andere Kriterien erfasst wurde, so dass die entsprechende Belohnung in Token automatisch von einem Haushalt verdient und in seine Blockchain-Geldbörse eingezahlt wird. Dank der Transparenz und Unveränderlichkeit der Blockchain kann der Haushalt die in seinem Portemonnaie verdiente Token-Belohnung überprüfen und die Übereinstimmung mit den in der Abfallverfolgungs-Kette erfassten Daten überprüfen. Ein Blockchain-Browser kann den Nutzern zusammen mit der Wallet in einer mobilen App zur Verfügung gestellt werden. Token gehören dem Nutzer und können grundsätzlich angesammelt, ausgetauscht, beschenkt, verkauft, verbrannt gemäß den Richtlinien, die im Smart Contract für jede Art von Token verabschiedet wurden.

Kommunen oder andere Hauptakteure können lohnende Strategien (wie die kostenlose Nutzung öffentlicher Dienste) auf Basis von Token anwenden, da diese dank der Blockchain-Technologie manipulationssicher sind. Der gesamte Lebenszyklus jedes Tokens kann von Blockchain-Transaktionen von der Erstellung bis zum Brennen überwacht werden. Token können nicht verfälscht, doppelt ausgegeben oder reproduziert werden.

### 3.6 Überzeugendes Top-Management

Blockchain-Technologien haben potenziell einen störenden Einfluss auf Wertschöpfungsketten und die Art und Weise, wie Wert geschaffen und verteilt wird. Einer der Effekte ist ein großer Grad an Disintermediation. Carson, Romanelli, Walsh und Zhumaev (2018) haben in einer branchenspezifischen Analyse mehr als 90 diskrete Anwendungsfälle mit unterschiedlicher Reife für Blockchain in den wichtigsten Branchen aufgedeckt und die folgenden wichtigen Erkenntnisse zum strategischen Wert von Blockchain vorgestellt:

1. Blockchain muss kein Disintermediator sein, um Wert zu generieren, eine Tatsache, die genehmigte kommerzielle Anwendungen fördert.
2. Der kurzfristige Nutzen der Blockchain wird vor allem darin liegen, Kosten zu senken, bevor transformative Geschäftsmodelle geschaffen werden, und
3. Die Blockchain steckt noch in den Kinderschuhen und muss wachsen, um im großen Maßstab machbar zu sein, vor allem weil es schwierig ist, das Paradox der

„Koopetition“ zu lösen, um gemeinsame Standards zu etablieren. Was ist eigentlich mit „Coopetition Paradox“ gemeint?

*Am Ende des Tages muss es sich auszahlen ...*

Letztendlich wird die Entscheidung, komplexe Prozesse in eine Blockchain-basierte Transaktionsdatenbank mit einer großen Anzahl externer Schnittstellen umzuwandeln, immer vom Vorstand eines Unternehmens getroffen. Das entscheidende Argument für den Test der Technologie wird letztlich die Aussicht auf erhebliche Kosteneinsparungen und höhere Gewinne sein. Daher müssen die wichtigsten Leistungsindikatoren des aktuellen Prozesses mit denen des neuen Blockchain-entworfenen Prozesses verglichen werden. In der kommunalen Abfallwirtschaft, bei der eine Gemeinde eine öffentliche Einrichtung ist, müssen jedoch neben den geschäftsrelevanten Kennzahlen (Gewinn und Kosten) auch die nicht monetären Kennzahlen wie Abfallreduzierung, bessere Qualität der Abfalltrennung, höhere Recycling- und Reparaturquoten etc. Berücksichtigt werden.

Ein Board möchte auch Antworten auf die Frage der Migrationskosten, also der Kosten, die durch die Umstellung bestehender Prozesse entstehen, haben. Die zukünftigen Einsparungen eines neu konzipierten Blockchain-Prozesses müssen deutlich über den Kosten der Prozessumwandlung liegen, da sich eine solche Investition sonst nicht lohnen würde. In einer Win-Win-Situation muss jedoch der Kapitalwert einer solchen Investition für jeden am Prozess beteiligten Stakeholder positiv sein.

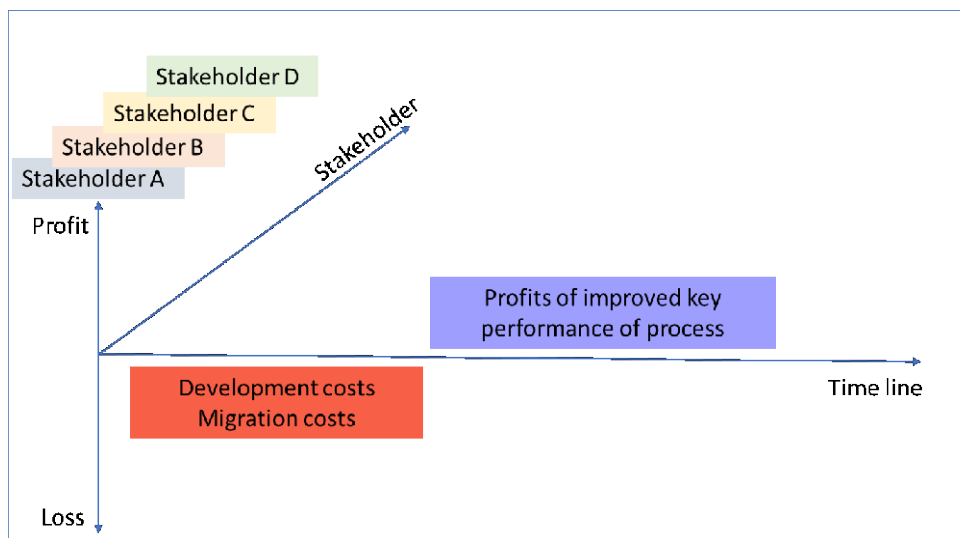


Abbildung 23: Positiver Return of Investment für jeden Stakeholder? (Lenz 2019)

Übersteigt der erwartete zukünftige Gewinn für jeden Beteiligten die anfänglichen Kosten der Prozessumwandlung, kann das jeweilige Management entscheiden, diese Investition oder dieses Projekt durchzuführen. Realistisch gesehen wird der Wechsel zu einem Blockchain-basierten Abfallwirtschaftsprozess nicht zu einem Nettovorteil für alle Beteiligten führen. Für einige Stakeholder können die Kosten für die Migration des bestehenden Prozesses zu einem Blockchain-basierten Prozess auch die potenziellen Vorteile überwiegen, insbesondere da diese mit einigen Unsicherheiten auftreten und die Schätzung der Migrationskosten relativ sicher ist. Hier kommt das dezentrale Anreizsystem ins Spiel, das oben in „3,5 Governance“ beschrieben wurde. Wie wichtig ist es für jene Stakeholder mit einem offensichtlichen Nutzen, die Migration zur Blockchain durch jene Teilnehmer mit weniger Vorteilen zu unterstützen? Mit anderen Worten: Wie viel von dem Vorteil, den Ersteres nur durch den Wechsel zur

Blockchain generieren kann, sind sie bereit, über ein Token-basiertes Anreizsystem zu verschenken, so dass am Ende für jeden Teilnehmer eine Win-Win-Situation oder genauer gesagt eine positive Rendite entsteht?

*Eine Perspektive des Ökosystems ist erforderlich*

In der heutigen vernetzten Welt bewohnen Unternehmen Ökosysteme, die sich über die Grenzen ihrer eigenen Industrien hinaus erstrecken. Das gilt auch für die kommunale Abfallwirtschaft. Dies ist ein Ökosystem mit vielen Akteuren, darunter Produzenten, Verbraucher, Kommunen, Gesetzgeber und Regulierungsbehörden, Abfallsammler, Abfallverarbeiter, Recyclingunternehmen und so weiter. Sie alle sind Akteure im Ökosystem der kommunalen Abfallwirtschaft. Ein Ökosystem ist eine Einheit, die aus einer heterogenen Gruppe von Akteuren besteht, die miteinander verbunden sind. Diese Akteure haben ihre eigene Autonomie und kooperieren gleichzeitig und konkurrieren auch miteinander. Im MWM-Ökosystem arbeiten die verschiedenen Akteure zusammen, um aus der Verarbeitung kommunaler Abfallströme Werte zu generieren und zu erfassen (möglichst nachhaltig). Aber gleichzeitig haben sie widersprüchliche Interessen. So wollen die Produzenten beispielsweise die billigste Verpackung mit einer erkennbaren Marketinggeschichte. Verbraucher wünschen sich Bequemlichkeit bei der Trennung und dem Angebot ihrer Abfälle. Die Kommunen wollen innerhalb ihrer Budgets bleiben und gleichzeitig ihre (Abfall-)Prozesse zirkulär organisieren und so weiter. Zudem stehen in einem Ökosystem bestimmte Akteure in direkter Konkurrenz zueinander, zum Beispiel die verschiedenen Abfallsammler. Oder Parteien in Ökosystemen, die Blockchain-Innovationen implementieren, riskieren, aufgrund des disintermediären Charakters von Blockchain minimiert oder eliminiert zu werden.

*Auswahl der passenden Blockchain*

Blockchains gibt es in vielen Formen, obwohl eines der Schlüsselkonzepte von Blockchain die Existenz eines Netzwerks von Knoten im Vernetzungsprozess ist. Blockchains können grob in drei Arten von Blockchain unterteilt werden: Privat, öffentlich und Konsortium. Diese Typen haben viele Ähnlichkeiten, und der Unterschied liegt darin, wer am Netzwerk teilnehmen darf, wie 'Wahrheitsvereinbarung', genannt 'Konsens', geschaffen wird und wie das Hauptbuch aufrechterhalten wird. Blockchain-Initiativen im MWM werden voraussichtlich mit dem Konsortium Blockchains beginnen, in dem zwei oder mehr Parteien am Ökosystem teilnehmen werden, zum Beispiel Verbraucher, die einen intelligenten Container verwenden, und Abfallsammler, die intelligente Verträge verwenden, um die Rechnungsstellung pro Abfallsammlung pro Haushalt durchzuführen. Mehrere Parteien können sich dann diesem Blockchain-Ökosystem anschließen. Dies ist auch notwendig, um die Kette (mehr) kreisförmig zu machen. Konsortialblockketten bestehen aus mehreren Einheiten und sind teilweise dezentralisiert, da die Konsensus-Macht und Leseberechtigungen auf eine Reihe von Personen oder Knoten beschränkt sind. In der Praxis können Consortium Blockchains auf viele Geschäftsanwendungen angewendet werden, haben unterschiedliche Größen und können sich in ihren Governance-Modellen und strategischen Zielen unterscheiden.

*Seien Sie sich bewusst, dass Blockchain mehr ist als eine Technologie*

Blockchain ist nicht nur eine Technologie, sondern bietet Möglichkeiten, auf andere Weise Werte zu schaffen und zu verteilen. Das Design von Ökosystemen erfordert eine Systemperspektive. Neben der Wertschöpfung und einem Bereitstellungsmodell muss das Ökosystemdesign die Wertverteilung in einem Ökosystem berücksichtigen. Dies erfordert eine bewusste Ausrichtung und Governance des Ökosystems. Es erfordert einen

Paradigmenwechsel, und um diesen Wandel möglich zu machen, ist die Einbeziehung und Befürwortung durch das oberste Management der Organisation erforderlich.

*Klein anfangen, aber skalierbar machen*

Ein Fallstrick im Annahmeprozess von Blockchain-Innovationen ist, dass die Störfaktoren von Blockchain zwar potenziell groß sind, die Akteure jedoch sofort sehr groß denken, während die Erfolgchancen größer sind, wenn sie klein anfangen. Die Blockchain-Technologie ist relativ neu und potenziellen Stakeholdern fehlt es an Erfahrung. Dies führt natürlich zu erheblicher Unsicherheit und einem nicht zu vernachlässigenden Risiko eines Investitionsfehlers. Daher empfiehlt es sich, mit einem kleinen Simulationsprojekt zu beginnen, das skalierbar sein sollte. Im Falle eines erfolgreichen Testlaufs („Proof of Concept“) könnte das Projekt in größerem Umfang umgesetzt werden.

Ein Start könnte beispielsweise mit einer Aktivität in der MWM-Kette oder einer Aktivität erfolgen, die zwischen zwei Gliedern oder Parteien in einem Ökosystem geteilt wird. Der Erwerb von Erfahrungen und der Austausch von Wissen ist von entscheidender Bedeutung, um andere Akteure im MWM-Ökosystem von der Teilnahme zu überzeugen. Zirkularität kann nur erreicht werden, wenn die gesamte Kette geschlossen wird, was eine breite Akzeptanz und Beteiligung erfordert.

*Schulung des Managements*

Eine Reihe von wichtigen Leistungsindikatoren werden oben erwähnt, die das Management überzeugen könnten. Aber davor muss das Management über die Grundlagen von Blockchain informiert werden. ‘Unbekannt’ macht Blockchain ‘ungeliebt’. Darüber hinaus gibt es viele Missverständnisse über Blockchain, z. B. die Vorstellung, dass es nur etwas mit Kryptowährung zu tun hat oder dass Blockchain eine reine ICT-Technologie ist. Ein Mangel an Blockchain-Wissen innerhalb der Organisation oder das Warten auf andere Akteure im Ökosystem, um Schieß los. mit der Entwicklung von Initiativen zu unterstützen, verzögern ebenfalls Faktoren bei der Einführung von Blockchain.

## 4 Abschließende Empfehlungen

Dieses Handbuch soll europäische kommunale Abfallbewirtschaftungsunternehmen ermutigen, bei der Implementierung von Blockchain-Lösungen einen anderen und innovativen Ansatz zu verfolgen. Im Folgenden finden Sie einige abschließende Empfehlungen für einen solchen Weg.

### *Aus gescheiterten Blockchain-Projekten lernen*

Abschließend möchte ich sagen, dass Blockchain potenziell störende Auswirkungen auf Ökosysteme und die bestehenden Geschäftsmodelle der an diesen Ökosystemen beteiligten Akteure hat. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass das Top-Management in den Entscheidungsprozess für die Einführung von Blockchain-Innovationen eingebunden wird. Obwohl Blockchain eine aufstrebende beliebte Technologie ist, scheitern viele Blockchain-Projekte. Trujillo, Fromhart und Srinivas (2017) untersuchten, dass nur 8 % aller Blockchain-Projekte in Github 1,2 Jahre nach ihrer Aktivierung aktiv sind. Ein wichtiger Grund für diese hohe Ausfallrate ist das Fehlen eines (finanziell) nachhaltigen Geschäftsszenario. Die meisten Blockchain-Projekte konzentrieren sich auf das Verständnis und die Erforschung der Technologie (durch Proof-of-Concept, POC), sind aber nicht ausreichend disruptiv im Hinblick auf die Wiedererschaffung von Wert und verstehen nicht, dass eine Neugestaltung des Ökosystems für eine erfolgreiche Blockchain-Einführung unerlässlich ist.

Aus den GitHub-Daten lassen sich Trujillo et al. (2017, p. 11) folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- *Projekte, die von Organisationen durchgeführt werden, haben eine höhere Überlebensrate als die von Einzelpersonen*
- *Projekte, die überleben, haben in der Regel mehrere Committer mit weniger Konzentration von Aktivitäten, die einem bestimmten Committer zugeordnet sind*
- *Projekte, die oft kopiert werden, sind anfälliger für das Überleben*
- *Projekte, die „Gabeln“ anderer Projekte sind, weisen tendenziell hohe Sterblichkeitsraten auf*

Die daraus resultierende Botschaft scheint klar zu sein: Blockchain-Projekte benötigen eine Menge an Re-Sourcen (Geld und Personal), ein Projekt sollte kollaborativ aufgebaut und betrieben werden, und es ist nicht ratsam, andere Projekte zu kopieren, anstatt ein eigenes Projekt zu erstellen, das individuell auf die Lösung eines bestimmten Problems ausgelegt ist.

### *Stellen Sie das richtige Projektteam zusammen*

Die Entwicklung und Umsetzung eines Blockchain-Projekts besteht größtenteils aus Change Management- und Prozessmanagement-Arbeit. Entgegen den Erwartungen spielt die Auswahl der technischen Blockchain-Lösung eine untergeordnete Rolle. Intensive Kommunikation, das Verständnis der Interessen des jeweils anderen, das Mitnehmen und Überzeugen, die einfachen Erklärungen der technischen Möglichkeiten der Blockchain - das sind die Komponenten für den Erfolg eines Projekts und die Auswahl der Projektteammitglieder. Neben IT-Experten, Business Controllern und Prozessdesignern sollte das Team Change Manager mit ausgeprägten Kommunikationsfähigkeiten umfassen.

### *Kommunales Abfallmanagement als lokaler und bürgerorientierter Lösungsanbieter*

Aus der Spieltheorie ist bekannt, dass kollaborative Ansätze zu besseren Lösungen führen als nicht-kollaborative Ansätze im Hinblick auf die Erhöhung des Wohlstands. Der Wandel zur Kreislaufwirtschaft erfordert grundlegende Verhaltensänderungen aller Beteiligten, sei es im

Konsumverhalten, bei der Abfallentsorgung oder im gewählten Geschäftsmodell. Zusammenarbeit ist in diesem Sinne zu verstehen, dass das gemeinsame Ziel nur durch die Zusammenarbeit aller Parteien erreicht werden kann. Eine gewünschte gemeinsame Lösung für ein bestimmtes Problem wäre sicherlich schneller in einem autoritären Staat zu finden, der die vollständige Kontrolle über die Bürger ausübt. Ob diese Lösung aber auch nachhaltig wäre, ist fraglich. Auf jeden Fall würde ein solcher Top-Down-Ansatz jedem Einzelnen seine wirtschaftliche Freiheit und Grundrechte entziehen. In Demokratien und Marktwirtschaften sollen solche kollaborativen Lösungen mit allen Interessengruppen ausgehandelt werden, und die Bürger treffen ihre freie Entscheidung.

Die kommunale Abfallwirtschaft hat in einem solchen Verhandlungsprozess einen entscheidenden Vorteil: Das Problem kann vor Ort gelöst werden. Die Menschen kennen sich, es kann ein Vertrauensverhältnis zwischen einer Gemeinde und ihren Bürgern aufgebaut werden, und es können lokale Lösungen gefunden werden. Umso wichtiger ist es, die partizipative Einbindung der Bürger in lokale Lösungen in Städten und Kommunen hervorzuheben. Daher muss die Rolle der Kommunen als öffentliche Abfallwirtschaft betont werden. Diese Rolle wird weder durch ein kommerzielles Interesse an einer vollständigen Datenerhebung durch die Bürger noch durch den Willen, als lokale Behörde zu agieren, angetrieben. Kommunen sollten sich vielmehr als Akteure im Namen der Bürger sehen. Solche lokalen Agenten, deren Aktionen ausschließlich auf die Interessen der Kommunen ausgerichtet und von den Bürgern kontrolliert werden, wären sicherlich eher bereit, ihre Abfalldaten zu übergeben als globale Akteure.

Diese lokalen Lösungen für die kommunale Abfallwirtschaft sind zwar in der EU völlig unterschiedlich, müssen aber letztendlich zum Ziel einer nachhaltigen Nutzung knapper Ressourcen führen. Es wird keinen „Einheitsansatz“ in Sachen Abfall geben, der auf kulturelle Unterschiede, aber auch auf Unterschiede in der nationalen Abfallbehandlung zurückzuführen ist. Vielmehr sollte das gegenseitige Lernen aus innovativen lokalen Ansätzen gefördert werden.

## 5 Referenzen und Quellen für weitere Lektüre

- AlHumid, H. A., Haider, H., AlSaleem, S. S., Shafiquzamman, M., & Sadiq, R. (2019). Leistungsindikatoren für kommunale Abfallbewirtschaftungssysteme in Saudi-Arabien: Auswahl und Ranking unter Verwendung von Fuzzy AHP und PROMETHEE II. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(15), 1-23.
- Anh Khoa, T., Phuc, C. H., Lam, P. D., NHU, L. M. B., TRONG, N. M., PHUONG, N. T. H., . . . DUC, D. N. M. (2020). Abfallmanagementsystem mit IoT-basiertem maschinellem Lernen in der Universität. *Drahtlose Kommunikation und mobiles Computing*, 2020.
- BaFin. (2018). Digitalisierung. *BaFin Perspektiven*, 01-2018. Abgerufen von [https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/BaFinPerspektiven/2018/bp\\_18-1\\_Beitrag\\_Fusswinkel.html?nn=11056122#U9](https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/BaFinPerspektiven/2018/bp_18-1_Beitrag_Fusswinkel.html?nn=11056122#U9)
- Bank für internationalen Zahlungsausgleich. (2018). *V. Kryptowährungen: Blick über den Horizont*. Aus Basel abgerufen:
- Beede, D. N., & Bloom, D. E. (1995). Die Wirtschaftlichkeit kommunaler fester Abfälle. *The World Bank Research Observer*, 10(2), 113-150.
- Berg, H., & Sebestyén, J. (2020). Phillip Bendix (Wuppertal Institut), Kévin Le Blevennec (VITO), Karl Vrancken (VITO).
- Bertanza, G., Ziliani, E. und Menoni, L. (2018). Techno-ökonomische Leistungsindikatoren der kommunalen Strategien zur Sammlung fester Abfälle. *Abfallwirtschaft*, 74, 86-97.
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P., & Zhumaev, A. (2018). Blockchain jenseits des Hypes: Was ist der strategische Geschäftswert? *McKinsey & Company*, 1.
- Europäische Kommission. (2019). *Entschließung des Europäischen Ausschusses der Regionen – das Green Deal in Partnerschaft mit den lokalen und regionalen Behörden. In einer Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über den Europäischen Green Deal*. Abgerufen aus
- Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und die Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie, (2008).
- IBM. (2017). Blockchain-Vorteile für die Elektronik: Reduzierung der Komplexität durch bessere Transparenz der Lieferkette. Abgerufen von [https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03809usen/gbe03809usen\\_01\\_GBE03809USEN.pdf](https://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03809usen/gbe03809usen_01_GBE03809USEN.pdf)
- KAZA, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: Eine globale Momentaufnahme der Abfallwirtschaft bis 2050*: Publikationen Der Weltbank.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Konzeption der Kreislaufwirtschaft: Eine Analyse von 114 Definitionen. *Ressourcen, Konservierung und Recycling*, 127, 221-232.
- Lenz, R. (2019A). Big Data: Ethik und Recht. *Erhältlich bei SSRN 3459004*.
- Lenz, R. (2019b). Verwaltung Verteilter Bücher: Blockchain und darüber hinaus. Abgerufen von <https://ssrn.com/abstract=3360655>
- Lenz, R., Kleinheyer, B., Barkel, C., Veuger, J., Klöga, M., Torrecilla, J. M., & Menegaki, M. (2021). Stand der Digitalisierung in der europäischen kommunalen Abfallwirtschaft Vergleichsstudie – fünf EU-Mitgliedsstaaten Estland, Deutschland, Griechenland, die Niederlande und Spanien.
- Loizia, P., Voukkali, I., Zorpas, A. A., Pedreno, J. N., Chatziparaskeva, G., Inglezakis, V. J., . . . Doula, M. (2021). Messung des Niveaus der Umweltleistung in Inselgebieten mithilfe von Kennzahlen im Rahmen der Entwicklung der Abfallstrategie. *Science of the Total Environment*, 753, 141974.



- Luttenberger, L. R. (2020). Herausforderungen bei der Abfallbewirtschaftung im Übergang zur Kreislaufwirtschaft – Fall Kroatien. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120495.
- Narayan, R., & Tidström, A. (2020). Tokenisierung der Koopetition in einer Blockchain für einen Übergang zur Kreislaufwirtschaft. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121437.
- Pappas, G., Papamichael, I., Zorpas, A., Siegel, J. E., Rutkowski, J., Und Politopoulos, K. (2022). Modellierung von Key Performance Indicators in einem Gamified Waste Management Tool. *Modellierung*, 3(1), 27-53.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Kreislaufwirtschaft: Messen von Innovationen in der Produktkette*: PBL-Herausgeber.
- PwC. (2016). FRAGEN UND ANTWORTEN: Was ist eine Blockchain? Abgerufen von <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf>
- PwC. (2018). Aufbau von Block(Chain)s für einen besseren Planeten: Vierte industrielle Revolution für die Earth Series. Abgerufen von <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/blockchain-for-a-better-planet.pdf>
- Rhyner, C. R., Schwartz, L. J., Wenger, R. B., & KOHRELL, M. G. (2017). *Abfallwirtschaft und Ressourcenrückgewinnung*: CRC-Druck
- Rudolphi, J. T. (2018). *Blockchain für eine Kreislaufwirtschaft, explorative Forschung zu den Möglichkeiten der Blockchain-Technologie zur Verbesserung der Implementierung materieller Pässe*. (Master). Technische Universität Eindhoven, abgerufen von [https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/97558362/Rudolphi\\_0913284.pdf](https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/97558362/Rudolphi_0913284.pdf)
- Settlement“, B. f. I. (2018). Kryptowährungen: Blick über den Hype hinaus. In (S. 91-114).
- Teixeira, C. A., Russo, M., Matos, C., & Bentes, I. (2014). Bewertung der Betriebs-, Wirtschafts- und Umweltleistung der gemischten und selektiven Sammlung kommunaler fester Abfälle: Fallstudie: Porto. *Abfallwirtschaft & Forschung*, 32(12), 1210-1218.
- Treleaven, P., Barnett, J. und Koshiyama, A. (2019). Algorithmen: Recht und Regulierung. *Computer*, 52(2), 32-40.
- Trujillo, J. L., Fromhart, S. und Srinivas, V. (2017). Entwicklung der Blockchain-Technologie: Einblicke von der GitHub-Plattform. *Deloitte Insights*, 24.
- Vardopoulos, I., Konstantopoulos, I., Zorpas, A. A., Limnousy, L., Bennici, S., Inglezakis, V. J., & Voukkali, I. (2021). Perspektiven nachhaltiger Ballungsräume durch Bewertung der bestehenden Abfallbewirtschaftungsstrategien. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(19), 24305-24320.
- Vehlow, J. (1996). Kommunale Abfallwirtschaft in Deutschland. *Abfallwirtschaft*, 16(5-6), 367-374.
- Verhulst, S. G. (2018). Informationsasymmetrien, Blockchain-Technologien und sozialer Wandel. Abgerufen von <https://sverhulst.medium.com/information-asymmetries-blockchain-technologies-and-social-change-148459b5ab1a>
- Wüst, K., & Gervais, A. (2018). *Benötigen Sie eine Blockchain?* Vortrag auf der Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT) 2018.
- Yoo, S. H., Rhim, H. und Park, M.-S. (2019). Strategien zur nachhaltigen Abfallvermeidung und Kostensenkung in einer strategischen Beziehung zwischen Käufer und Lieferant. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117785.
- Zarzycka, E., & Krasodomska, J. (2021). Umweltkennzahlen: Die Rolle von Vorschriften und der Einfluss der Stakeholder. *Environment Systems and Decisions*, 41(4), 651-666.
- Zorpas, A. A. (2020). Strategieentwicklung im Rahmen der Abfallwirtschaft. *Science of the Total Environment*, 716, 137088.
- Zorpas, A. A., Lasaridi, K., Voukkali, I., Loizia, P., & Chroni, C. (2015). Die Zusammensetzung der Haushaltsabfälle im Rahmen von Strategieplänen zur Abfallvermeidung variiert von Inselgemeinden. *Abfallwirtschaft*, 38, 3-11.