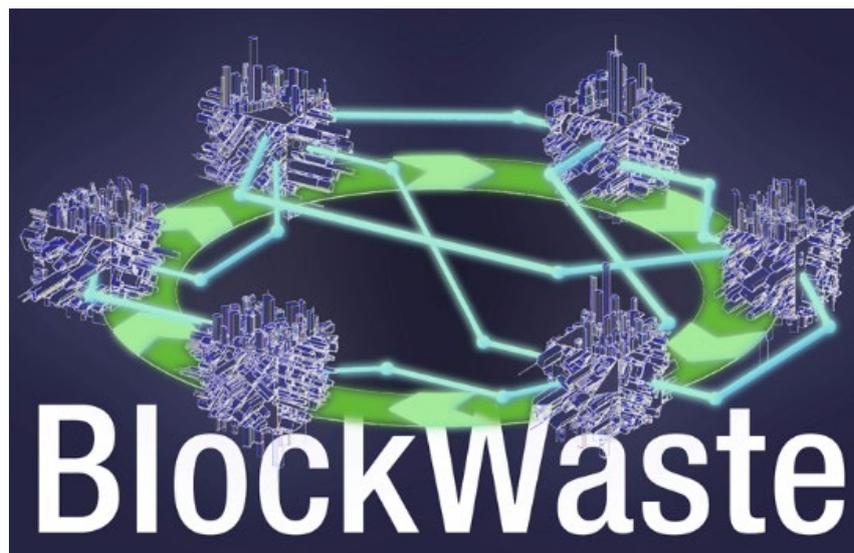


## O1.A2.2 Blockchain-Anwendungen für das Abfallmanagement

*Analyse von Blockchain-Anwendungsfällen in der Abfallwirtschaft und allgemeine Leitlinien für den Start von Blockchain-Projekten*



### Haftungsausschluss

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



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

## Factsheet zur Ausgabe:

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

## Ausgabedetails:

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

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

**Unteraufgabe:** O1/A2,2 - Blockchain-Anwendungen für die Abfallwirtschaft - Analyse von Blockchain-Anwendungsfällen in der Abfallwirtschaft und allgemeine Leitlinien für den Start von Blockchain-Projekten

**Ausgangsleitung:** FH Bielefeld

**Leiter der Aufgabe:** NTUA

**Autor(en):** Rainer Lenz, Bielefeld UAS, rlenz@fh-bielefeld.de, Deutschland, Christa Barkel, Saxion UAS, c.barkel@saxion.nl, Niederlande

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

## Dokumentenkontrolle

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

## Inhalt

Zusammenfassung.....	iii
1 Einführung.....	1
1.1 Kurze Projektbeschreibung.....	1
1.2 Ziele und methodischer Ansatz.....	1
2 Analyse von Blockchain-Anwendungsfällen in der Abfallwirtschaft .....	3
2.1 Merkmale von Anwendungsfällen .....	3
2.2 Festlegen einer Reihe von Kategorien für das Screening.....	3
2.3 Screening-Ergebnis .....	4
2.4 Drei Best-Practice-Beispiele.....	7
3 Benchmarking-Ergebnisse mit Ergebnissen anderer Studien .....	8
3.1 PwC-Studie 2018 - 65 Blockchain-Anwendungsfälle für die Umwelt.....	8
3.2 Climate-KIC – 2019 - 14 materialorientierte Blockchain-Anwendungen.....	9
3.3 Böckel/Nuzum/Weisbrod – 2020 - 12 Blockchain-Anwendungsfälle in der Kreislaufwirtschaft.....	10
3.4 Ahmad et al – 2021 – Blockchain für Abfallwirtschaft in Smart Cities .....	11
4 Fazit Und Lernen.....	13
5 Grober Leitfaden für den Start eines Blockchain-Projekts.....	15
6 Referenzen .....	19

## Liste der Tabellen

Table 1. PwC results at a glance (source: PwC, 2018).....	8
Table 2. Set of categories used by Climate KIC (source: Climate-KIC, 2019).....	9

## Liste der Abbildungen

Figure 1: Structure of the study (source: the author) .....	2
Figure 2: Screening results “Blockchain application” (source: the author).....	4
Figure 3: Using trace-and-track function for a second purpose (source: the author).....	5
Figure 4: Stakeholder groups involved (source: the author) .....	6
Figure 5: Types of waste (source: the author) .....	6
Figure 6: Overview of structural dimensions and analytical categories (source: Böckel et al., 2020, p. 532) .....	11
Figure 7: Comparison of existing Blockchain-based solutions proposed for waste management in smart cities (source: Ahmad et al., 2021, p. 9) .....	11
Figure 8: Process of starting a Blockchain project (source: the author) .....	15
Figure 9: Information flow in Blockchain-based processes (source: the author).....	16
Figure 10: Convincing the management by KPIs (source: the author).....	18
Figure 11: Positive Net Present Value for all stakeholders? (source: Lenz, 2019) .....	18

## Zusammenfassung

Die Suche nach Blockchain-Projekten in der Abfallwirtschaft weltweit führte zu 20 Anwendungsfällen. Die Fälle wurden durch Internetsuche identifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Blockchain-basierten Projekte in der Abfallwirtschaft aus den USA stammen. Überraschenderweise gibt es nur sechs Projekte aus Europa, drei davon in den Niederlanden. Nur ein Projekt wurde außerhalb von Amerika oder Europa gefunden, das in Indien lag. Während die meisten Projekte von Einzelpersonen oder von Einzelpersonen gegründeten Start-ups initiiert wurden, gibt es nur wenige, die von großen Konzernen wie Dell, BASF oder Nestlé gegründet wurden. Es gibt nur ein Projekt, das von einer NGO initiiert wurde, und eines, das von einer öffentlichen Institution initiiert wurde. Aber es gibt weder in Europa noch in den USA ein einziges Blockchain-Projekt in der kommunalen Abfallwirtschaft.

Die geringe Anzahl von Blockchain-Projekten weltweit deutet darauf hin, dass der Diffusionsprozess der Blockchain-Technologie in den Abfallsektor noch in den Kinderschuhen steckt. Die meisten Projekte sind kleine Piloten, die dazu dienen, die Möglichkeiten zu testen und zu lernen. Die Projekte sind nicht zu einem Business Case gereift, befinden sich aber noch im Proof-of-Concept-Status. Die Ausnahme bildet die Plastic Bank, die mit der großen Zahl von Unterstützern auf der unternehmerseitigen Seite ein hohes Maß an Professionalität erreicht hat. Dies ist jedoch kein Geschäftsszenario, da es sich um eine gemeinnützige Organisation handelt.

In den meisten Anwendungsfällen wird die Blockchain als Transaktionsdatenbank verwendet, die unwiderruflich und manipulationssicher Materialflüsse in einer Wertschöpfungskette in chronologischer Reihenfolge mit Zeitstempeln erfassen kann. Der Vorteil ist, dass jeder Netzwerkteilnehmer die gleichen Informationen zur gleichen Zeit hat. Da das physische Objekt digital identifiziert und von einem digitalen Zwilling repliziert werden muss, ist dies bei einer bestimmten Abfallart (Glas oder Papier usw.) einfacher als bei unsortiertem Restmüll.

Auch hier sind leider in keiner Studie Blockchain-Projekte kommunaler Entsorgungsunternehmen aufgeführt. Es scheint, dass dieser Sektor trotz seiner zentralen Bedeutung für die Kreislaufwirtschaft noch nicht die konzeptionelle Phase des Testens der Blockchain-Technologie erreicht hat. Oder anders ausgedrückt: Die Verbreitung technologischer Innovationen scheint im öffentlichen Sektor länger zu dauern.

# 1 Einführung

## 1.1 Kurze Projektbeschreibung

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

Zu diesem Zweck verfolgt das BlockWASTE-Projekt folgende Ziele:

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

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

## 1.2 Ziele und methodischer Ansatz

Ziel dieser Studie ist es, aus der Analyse von Best-Practice-Beispielen in der Abfallwirtschaft für die zukünftige Anwendung im kommunalen Sektor zu lernen. Im Fokus stehen die Probleme, die die Blockchain-Technologie primär lösen kann. Blockchain ist eine Querschnittstechnologie und kann für eine Vielzahl von Zwecken eingesetzt werden. Zweitens können auch die strukturellen Merkmale der Use Cases von Interesse sein, zum Beispiel ob es sich bei einem Case um eine reine Business-Lösung für Unternehmen, also B2B, oder um eine Business-to-Consumer (B2C) oder C2C-Lösung handelt, oder ob eine Gemeinde oder öffentliche Verwaltung beteiligt ist, also P2C oder P2B. Die Analyse sollte auch zeigen, in welchem Segment oder für welche Abfallart (kommunaler oder industrieller Abfall oder nur eine bestimmte Abfallkategorie wie Glas, Kunststoff oder Papier) die meisten Anwendungsfälle gefunden werden konnten.

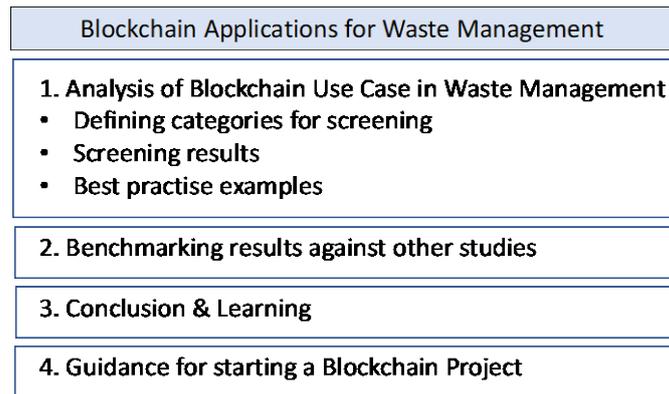


Figure 1: Struktur der Studie (Quelle: Autor)

Die Studie beginnt mit einer Beschreibung der allgemeinen Merkmale der Blockchain-Anwendungen in der Abfallwirtschaft. Auf dieser Grundlage werden Kategorien für das Screening definiert, und die Ergebnisse des Screenings werden präsentiert und interpretiert. Natürlich ist es fraglich, ob die Ergebnisse einer begrenzten Anzahl von Anwendungsfällen (20 Fälle) aussagekräftig sind. Folglich werden die Ergebnisse mit anderen Studien zu Blockchain-Anwendungen verglichen und auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede analysiert. Abschließend werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und die wichtigsten Ergebnisse präsentiert.

## 2 Analyse von Blockchain-Anwendungsfällen in der Abfallwirtschaft

### 2.1 Merkmale von Anwendungsfällen

Die Suche nach Blockchain-Projekten in der Abfallwirtschaft weltweit führte zu 20 Anwendungsfällen. Die Fälle wurden durch Internetsuche identifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Blockchain-basierten Projekte in der Abfallwirtschaft aus den USA stammen. Überraschenderweise gibt es nur sechs Projekte aus Europa, drei davon in den Niederlanden. Nur ein Projekt wurde außerhalb von Amerika oder Europa gefunden, das in Indien lag. Während die meisten Projekte von Einzelpersonen oder von Einzelpersonen gegründeten Start-ups initiiert wurden, gibt es nur wenige, die von großen Konzernen wie Dell, BASF oder Nestlé gegründet wurden. Es gibt nur ein Projekt, das von einer NGO initiiert wurde, und eines, das von einer öffentlichen Institution initiiert wurde. Diese Ergebnisse zeigen, dass in der Industrie eine größere Nachfrage nach nachhaltigen Blockchain-Abfallmanagement-Lösungen besteht. Projekte, die von Einzelpersonen initiiert werden, zeigen, dass ein Motor eines Projekts oft seinen Erfolg definiert, während Projekte, die von bereits etablierten Unternehmen gegründet wurden, ausreichend Mittel für Forschung und Expertise bereitstellen. Anwendungsbeispiele sind mit einer kurzen Beschreibung und Internet-Quellen im Anhang aufgeführt.

Die relativ geringe Anzahl von Projekten belegt, dass Blockchain-Anwendungen in diesem Bereich noch sehr neu sind und dass das Wissen über die Anwendungsmöglichkeiten von Blockchain den Abfallsektor noch nicht vollständig erreicht hat. Aufgrund des meist geringen Projektumfangs in Bezug auf die Teilnehmerzahl oder der engen räumlichen Beschränkung auf kleine Testregionen kann davon ausgegangen werden, dass die meisten Projekte Proof-of-Concept-Anwendungen sind. In der Regel wird ein Prototyp zum Testen und Lernen entwickelt und eine Prozesssimulation durchgeführt. Keines der aufgeführten Projekte wurde bereits als Business Case mit echten Kunden auf den Markt gebracht.

### 2.2 Festlegen einer Reihe von Kategorien für das Screening

Für das Screening der gefundenen Anwendungsfälle (und die Beantwortung von Frage 1) ist es wichtig, Anwendungskategorien vorab zu definieren. Projekte werden auf der Grundlage von fünf Anwendungskategorien geclustered:

1. „Produktdokumentation“ umfasst Projekte, die die Blockchain-Technologie als mehr oder weniger statische Datenbank für die Dokumentation verwenden. So könnten Hersteller beispielsweise materielle Pässe oder Reparaturanweisungen usw. ihrer Produkte in der Blockchain speichern.
2. "Zertifizierung und Registrierung" enthält Fälle, in denen die Blockchain-Technologie als Instrument zur öffentlichen Registrierung von Herstellern oder Produkten und zur Zertifizierung öffentlicher Institutionen eingesetzt wird. Denkbar ist auch, dass private oder zivilgesellschaftliche Organisationen die Blockchain für die Ausgabe von Produktkennzeichnungen (Öko-Labels etc.) und Zertifikaten nutzen.
3. „Trace and Tracking of Flows“ innerhalb der Liefer- und Abfallkette umfasst alle Projekte, die die Blockchain-Technologie als Datenbank zur Erfassung von

Transaktionen in chronologischer Reihenfolge mit Zeitstempel sowie zur Erfassung von Material- und Zahlungsströmen nutzen. Dies ist die Dokumentation eines dynamischen Prozesses mit Transaktionen im Laufe der Zeit. Hier liegt der Fokus also auf den Vorteilen der Transaktionsdatenbank.

4. "Tokenisierung" umfasst Projekte, die die Blockchain-Technologie nutzen, um digitale Werte zu generieren, um ein Incentive-System zu entwerfen oder Token zu generieren, die Nutzungsrechte für die gemeinsame Nutzung von Objekten enthalten.
5. "Automatisierung von Prozessen durch Smart Contracts, IoT und AI" umfasst Projekte, die mit Blockchain-Technologie Prozesse durch Smart Contracts, Internet of Things-Geräte und KI-Datenanalysen automatisieren.

Da die Blockchain-Technologie mehrere Funktionen innerhalb eines Projekts ausführen kann, können alle Projekte gleichzeitig mehreren Kategorien zugeordnet werden.

Weitere Kategorien für den Screening-Prozess von Anwendungsfällen wurden definiert als:

- a. Die Stakeholder-Gruppe, d.h. ob es sich bei einem Projekt um einen Fall von B2B, B2C, C2C, P2B oder P2C handelt und
- b. Die Art der Abfälle: Siedlungsabfälle (feste Abfälle), Industrieabfälle, Glas-, Kunststoff-, Lebensmittel- oder verschreibungspflichtige Abfälle

## 2.3 Screening-Ergebnis

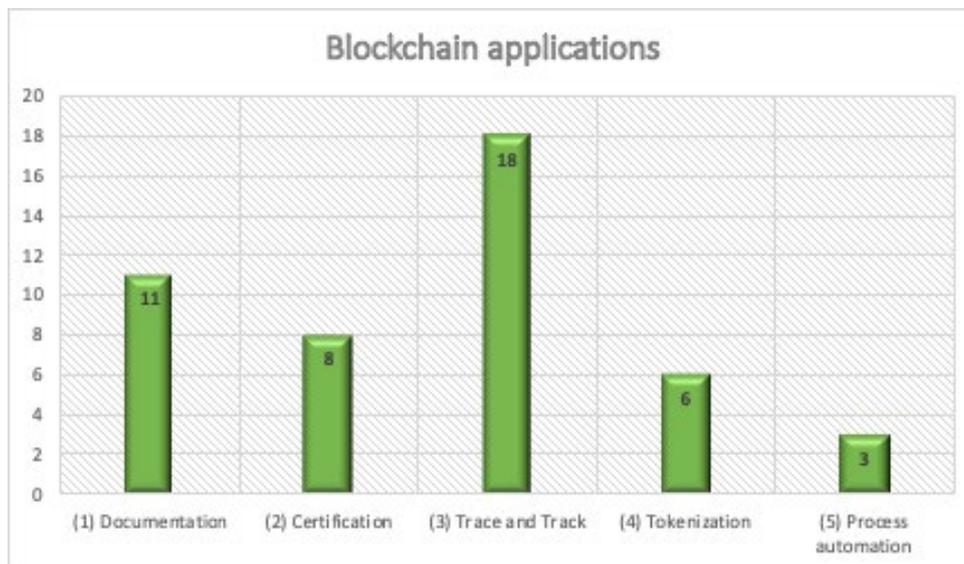


Figure 2: Screening-Ergebnisse „Blockchain-Anwendung“ (Quelle: Der Autor)

Von den zwanzig bewerteten Projekten können achtzehn als für die Verfolgung und Verfolgung verwendet klassifiziert werden. Hier ist es wichtig zu sagen, dass bei der Kategorisierung der Projekte mehrere Antworten möglich waren. Dennoch nutzen fast alle Projekte Blockchain als Technologie, die die Verfolgung von Materialflüssen entlang der Lieferkette unterstützt. Die Trace-and-Track-Funktion der Blockchain-Technologie tritt am häufigsten in Kombination mit der Zertifizierung oder Dokumentation von Materialflüssen auf. Dies liegt höchstwahrscheinlich daran, dass der Prozess der Verfolgung der

Materialbewegung entlang der Liefer-/Abfallkette nicht nur mit der Dokumentation des Stoffflusses einhergeht, sondern auch die Ausstellung von Zertifikaten oder Kennzeichnungen erleichtert, die den Ursprungsort usw. bestätigen

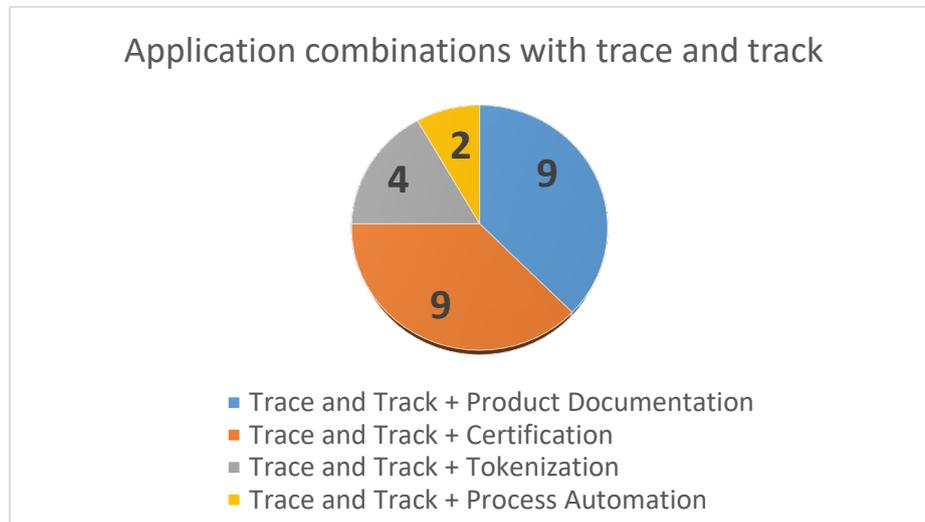


Figure 3: Verwendung der Trace-and-Track-Funktion für einen zweiten Zweck (Quelle: Der Autor)

Die Nutzung von hauptsächlich diesen Funktionen von Blockchain-Technologien lässt sich anhand der Stakeholder erklären, die an den verschiedenen Projekten beteiligt sind. Die meisten Projekte zielen auf B2B Beziehungen ab. Dies führt neben der Tatsache, dass die meisten Projekte von Unternehmen oder Start-ups initiiert wurden, zu dem Schluss, dass seitens bestimmter Branchen ein starkes Interesse besteht, die Blockchain-Technologien zur Steigerung der Profitabilität zu nutzen. Bei Transaktionen zwischen Unternehmen ist die Überprüfung und Dokumentation von Materialflüssen und -Bewegungen entlang der Lieferkette unerlässlich. Durch den Einsatz der Blockchain-Technologie kann der Prozess der Dokumentation, Nachverfolgung und Zertifizierung automatisch ohne Personalbedarf ausgeführt werden. Interessanterweise konzentrieren sich alle Projekte entweder auf B2B oder B2C Beziehungen. Nur zwei Projekte konzentrieren sich auf unterschiedliche Geschäftsbeziehungen, nämlich B2P und C2C.



Figure 4: Beteiligte Stakeholder-Gruppen (Quelle: Autor)

Je unsortierter und undifferenzierter Abfall ist, desto schwieriger ist es, ihn mithilfe von Sensoren, Kameras oder KI-Anwendungen zu verfolgen und zu verfolgen. Je spezifischer Abfall wie Kunststoff, Glas oder Papier ist, desto einfacher ist es, ein Tracking-System zur Überwachung des Materialflusses einzurichten. Ein Screening der Blockchain-Anwendungsfälle nach Abfallarten ergab folgendes Bild:



Figure 5: Abfallarten (Quelle: Autor)

Die meisten Projekte befassen sich entweder mit Siedlungsabfällen, Industrieabfällen oder Kunststoffabfällen, da diese Arten die Umwelt am meisten schädigen (Kunststoffe) oder sich aus dieser Form des Abfalls am einfachsten Ressourcen rückgewinnen lassen (Industrie).

## 2.4 Drei Best-Practice-Beispiele

Die folgenden drei Best-Practice-Beispiele sind durch wertvolle Partnerschaften mit Unternehmen oder Organisationen, die bereits im Bereich der Kreislaufwirtschaft oder Blockchain tätig sind und die Finanzierung und Expertise sicherstellen, besonders gut zu nennen. Darüber hinaus sind die ausgewählten Best-Practice-Beispiele inspirierend, da ihre Blockchain-Anwendungen, wie ihr Trace-and-Track-Ansatz oder ihre Tokenisierung, möglicherweise auf andere Bereiche des Abfallmanagements übertragbar sein könnten.

**Excess Material Exchange (EME)** ist ein Technologie-Start-up aus dem Jahr B2B, das Industrieabfälle identifiziert, sortiert und abgleicht. Der Abfallvergleich sorgt nicht nur für mehr Transparenz bei den Ressourcenpässen und der Rückverfolgung und Nachverfolgung, sondern bewertet auch die finanziellen und ökologischen Kosten. Dies gewährleistet zuverlässige Informationen über den geringeren ökologischen Fußabdruck bei geringeren Kosten. Mit ihrer übersichtlichen, transparenten Website ist's einfach, den Auswirkungen von EME zu folgen. Das Projekt ist inspirierend, da es die Identifizierung und Bewertung von überschüssigem Material mit der Wiederverwendung des Materials auf die effizienteste Weise kombiniert und verschiedene Blockchain-Funktionen wie einen Ressourcenpass und automatisierte Smart Contracts für die Matchmaking-Nutzung nutzt.

**RemediChain** ist ein Blockchain-Projekt, das auf die Reduzierung verschreibungspflichtiger Abfälle abzielt. Ursprünglich von einer Apotheke und einer Universität gegründet, ist der Pool an Unterstützern in der Vergangenheit rasant gewachsen. RemediChain verwendet Blockchain-Technologie, um verschreibungspflichtige Medikamente von Personen, die nicht mehr benötigt oder gewünscht werden, aufzuspüren und zu verfolgen, sie zu sammeln und an Menschen weiterzuverteilen, die sie benötigen, sich aber nicht leisten können, sie regelmäßig zu kaufen. Wenn eine Person unsicher ist, wie sie verschreibungspflichtigen Abfall entsorgen soll, bietet das Projekt auch an, diesen zu sammeln und umweltfreundlich zu entsorgen. Auch wenn die Art und Weise, wie Blockchain-Technologie hier eingesetzt wird, eher üblich ist, ist die Wirkung des Projekts enorm. Sie hat eine nachhaltige Lösung für ein ganz spezifisches Abfallproblem gefunden und hilft dadurch Menschen in Not.

**Plastic Bank** ist ein soziales Start-up aus dem Jahr B2C mit Sitz in Kanada, das Recycling-Ökosysteme in Entwicklungsländern aufbaut. Sie legt die erforderlichen Sammelstellen fest und bietet einen einheitlichen Preis für Kunststoffabfälle. Sammler von Kunststoffen erhalten Belohnungen für das Material, das sie sammeln und das für Grundbedürfnisse wie Lebensmittel verwendet werden kann. Über die Blockchain der Plastic Bank werden alle Transaktionen gespeichert, so dass Sammler genau den Wert erhalten, auf den sie Anspruch haben. Zusätzlich zur Rückverfolgbarkeit ermöglicht die Blockchain Transparenz und schnelle Skalierbarkeit. Das Projekt ist inspirierend, weil das Anreizsystem der Plastic Bank auf den Bereich kommunaler Abfälle übertragbar sein könnte.

### 3 Benchmarking-Ergebnisse mit Ergebnissen anderer Studien

Beide Themen, die Blockchain-Technologie und die Kreislaufwirtschaft, sind zumindest aus akademischer Sicht relativ neu und es gibt daher nur wenige Studien zur Anwendung von Blockchain in der Kreislaufwirtschaft. Der Bereich der Abfallwirtschaft innerhalb der Kreislaufwirtschaft ist noch spezifischer und begrenzt die geringe Zahl von Studien noch weiter.

#### 3.1 PwC-Studie 2018 - 65 Blockchain-Anwendungsfälle für die Umwelt

Im Jahr 2018 veröffentlichte PwC (2018) eine Studie mit dem Titel „Building Block(Chain)s for a better Planet: Vierte industrielle Revolution für die Earth Series“, basierend auf der Analyse von 65 Blockchain-Anwendungsfällen für die Umwelt. *„Blockchain-Anwendungsfalllösungen, die für alle Umweltsanwendungen besonders relevant sind, neigen dazu, sich um die folgenden Querschnittsthemen zu gruppieren: Den Übergang zu saubereren und effizienteren dezentralen Systemen zu ermöglichen; Peer-to-Peer-Handel mit Ressourcen oder Genehmigungen; Transparenz und Management der Lieferkette; neue Finanzierungsmodelle für Umweltauswirkungen; Und die Realisierung von nicht-finanziellem Wert und natürlichem Kapital.“*

Nach der Analyse der 65 Use Cases identifiziert PwC 8 Hauptvorteile von Blockchain-Anwendungen für die Umwelt. Die folgende Tabelle fasst diese in Kürze zusammen.

Tabelle 1. PwC-Ergebnisse auf einen Blick (Quelle: PwC, 2018)

<p><b>1. „See Through“-Lieferketten</b> Transaktionsdaten in der gesamten Lieferkette können über die Blockchain aufgezeichnet werden und es kann eine unveränderliche Herkunftsangabe (d. h. Herkunft) erstellt werden, die das Potenzial einer vollständigen Rückverfolgbarkeit von Produkten von der Quelle bis zum Lager bietet. Die Bereitstellung einer solchen Transparenz bietet die Möglichkeit, das Angebots- und Nachfragemanagement zu optimieren, Resilienz aufzubauen und letztlich eine nachhaltigere Produktion, Logistik und Konsum zu ermöglichen.</p>
<p><b>2. Dezentrales und nachhaltiges Ressourcenmanagement</b> Blockchain könnte einen grundlegenden Übergang zu globalen verteilten Versorgungssystemen einleiten. Plattformen könnten verteilte Daten über Ressourcen (z. B. Wasser- und Energiedaten auf Haushaltsebene von intelligenten Sensoren) sammeln, um die derzeitige Asymmetrie der zwischen den Stakeholdern vorhandenen Informationen zu beenden und eine fundiertere – und sogar dezentralisierte – Entscheidungsfindung im Hinblick auf Systemdesign und Ressourcenmanagement zu ermöglichen.</p>
<p><b>3. Billionen sammeln: Neue Quellen für nachhaltige Finanzierung</b> Der Einsatz von Blockchain-fähigen Finanzplattformen könnte den Zugang zu Kapital revolutionieren und Potenzial für neue Investoren in Projekten erschließen, die Umweltherausforderungen angehen – von Einzelhandelsinvestitionen in grüne Infrastrukturprojekte bis hin zu gemeinnützigen Spenden für Entwicklungsländer.</p>
<p><b>4. Anreize für Kreislaufwirtschaften</b> Wenn Blockchain auf die richtige Weise genutzt wird, könnte sie die Art und Weise, wie Materialien und natürliche Ressourcen bewertet werden, grundlegend verändern und</p>

<p>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.</p>
<p><b>5. Transformation von Kohlenstoffmärkten (und anderen Umweltmärkten)</b> Blockchain-Plattformen könnten genutzt werden, um kryptografische Token mit einem handelsfähigen Wert zu verwenden, um bestehende Kreditmanagementplattformen für Kohlenstoff (oder andere Substanzen) zu optimieren und neue Möglichkeiten für Kohlenstoffkredittransaktionen zu schaffen.</p>
<p><b>6. Nachhaltigkeitsüberwachung, -Berichterstattung und -Verifizierung der nächsten Generation</b> Blockchain hat das Potenzial, sowohl die Nachhaltigkeitsberichterstattung als auch die Qualitätssicherung zu transformieren und Unternehmen dabei zu unterstützen, ihre Leistung zu verwalten, zu demonstrieren und zu verbessern, während Verbraucher und Investoren besser informierte Entscheidungen treffen können.</p>
<p><b>7. Automatische Katastrophenvorsorge und humanitäre Hilfe</b> Blockchain-Lösungen könnten in Bezug auf ihre Fähigkeit zur Verbesserung der Katastrophenvorsorge und der Wirksamkeit der Katastrophenhilfe transformativ sein</p>
<p><b>8. Erdmanagementplattformen</b> Neue Blockchain-fähige Geospatial-Plattformen befinden sich in den frühen Explorationsphasen und könnten Marktmechanismen überwachen, verwalten und ermöglichen, die die globalen Umweltgüter schützen – vom Leben an Land bis hin zur Gesundheit des Ozeans.</p>

Wenn die Ergebnisse von PwC auf die Hauptvorteile von Blockchain-Anwendungen reduziert werden und die genannten branchenspezifischen Vorteile wie neue Finanzierungsmöglichkeiten, die Transformation des CO2-Marktes, die automatische Katastrophenvorsorge und die Erdmanagementplattform ignoriert werden, bleiben vier Hauptvorteile bestehen: Rückverfolgbarkeit von Materialflüssen in Lieferketten, Dezentralisierung, Anreize und Überwachung, Berichterstattung und Verifizierung. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit den Screening-Ergebnissen und den Ergebnissen der vorherigen Analyse zum Potenzial von Blockchain-Anwendungen im Abfallmanagement überein.

### 3.2 Climate-KIC – 2019 - 14 materialorientierte Blockchain-Anwendungen

2019 analysierte Climate-KIC (2019) 14 bestehende materialorientierte Blockchain-Anwendungen basierend auf den folgenden Kategorien:

Tabelle 2. Von Climate KIC verwendete Kategorien (Quelle: Klima-KIC, 2019)

<p><b>Verbesserung der Ressourceneffizienz</b> Um die Sharing Economy Modelle attraktiv zu machen, indem sie die Mitverweise entfernen und/oder ein Blockchain-basiertes Identitätssystem schaffen. Die direkte Finanzierung nachhaltiger Projekte zu ermöglichen</p>
<p><b>Resource Tracking</b> zur offenen, unbeschränkt und unveränderlichen Aufzeichnung von Transaktionen,</p>

wodurch die Transparenz und das Vertrauen in die bereitgestellten Informationen erhöht werden. Die Verbraucher bei ihren Verbraucherentscheidungen zu unterstützen
<b>Ressourcenpreise</b> Effizientere Kreditmanagementplattformen zu schaffen. Schaffung eines Cap-and-Trade-Systems, das mit intelligenten Verträgen gegen Politiker, die ihre politischen Agenden verfolgen, erheblich automatisiert ist
<b>Ergänzende Währung</b> Schaffung von Finanzbuchhaltungs- und makroökonomischen Systemen mit anderen Regeln als den derzeitigen Währungssystemen

Basierend auf dem Climate-KIC (2019, S. 15) Bericht die meisten Use Cases *„. Konzentrieren Sie sich auf die Verwendung von komplementären Währungen oder ‘Coin’, um Stakeholder für die Teilnahme an verschiedenen Phasen des Recycling- oder Verwertungsverfahrens zu belohnen. Außerdem gibt es mehrere Blockchain-Anwendungen, die die Ressourceneffizienz verbessern und Ressourcen entlang der Wertschöpfungsketten verfolgen sollen, um die Verwertbarkeit von Abfallstoffen zu erhöhen. Dennoch wird beobachtet, dass nur eine Blockchain-Anwendung (zyklisch, Norwegen), die als nahe genug an der Preisgestaltung für Abfallressourcen gilt – angeblich der kosteneffektivste Mechanismus zur Erreichung einer Kreislaufwirtschaft.“*

Die Ergebnisse der Analyse von 14 Use Cases im Bereich der Abfallwirtschaft zeigen, dass zwei Motive im Vordergrund von Blockchain-Anwendungen stehen: Belohnungs- und Anreizsysteme über Münzen und Token sowie die Verfolgung von Ressourcenflüssen. Es überrascht nicht, dass diese Ergebnisse mit den Ergebnissen des Screenings übereinstimmen, da die Hälfte der betrachteten Anwendungsfälle in beiden Studien (Climate-KIC 2019 und PwC 2018) gefunden wird, obwohl die Untersuchungen unabhängig und zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt wurden.

### 3.3 Böckel/Nuzum/Weissbrod – 2020 - 12 Blockchain-Anwendungsfälle in der Kreislaufwirtschaft

2020 veröffentlichten Böckel, Nuzum und Weissbrod (2020) einen Artikel mit dem Titel „Blockchain for the Circular Economy: Analyse der Forschungs-Praxis-Lücke“. Die Analyse ergab 12 verschiedene Anwendungsfälle. Die 12 Anwendungsfälle, sortiert nach Häufigkeit, umfassen materielle Pässe, Asset Tracking, Token, Verhaltensanreize, intelligente Verträge, Und Vertrauensmechanismen unter anderem. Dies bestätigt die Ergebnisse des Screenings der Anwendungsfälle, auch wenn die Ergebnisse nicht direkt mit der Studie von Böckel et al. Vergleichbar sind (2020) bezieht sich auf die Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen und nicht speziell auf die Abfallwirtschaft. Die anderen Ergebnisse der Analyse von 30 wissenschaftlichen Forschungsartikeln (Artikel in Zeitschriften etc.) und 27 Praxisbeiträgen sind jedoch ebenfalls interessant und werden in der unten gezeigten Tabelle zusammengefasst (Abbildung 6).

**Table 6**  
Overview of structural dimensions and analytical categories.

Structural dimensions	Analytical coding categories ordered by frequency
Technical properties	1) permissions and data rights, 2) technical properties of specific use case, 3) combination with other technologies, 4) data processing, 5) brief information about blockchain type
Contexts	1) supply chain, 2) logistics, 3) plastics, 4) construction, 5) manufacturing, 6) waste management, 7) audit, certificates, 8) various, 9) agriculture, food, 10) smart cities, 11) mining, metals, 12) sharing economy, 13) small, medium companies, 14) electronics, 15) retail, 16) green marketing, 17) accounting, 18) life cycle analysis, 19) government, 20) energy, 21) clothing
Use Case	1) material passports, 2) smart contracts, 3) asset tracking, 4) incentivization, 5) cryptocurrency, 6) product deletion, 7) token, 8) credit rating, 9) trust mechanisms, 10) distributed ledger, 11) leasing, 12) escrow
Benefits	1) traceability, 2) security and privacy, 3) multiple, 4) transparency, 5) immutability, 6) efficiency, 7) cost reduction/ profitability, 8) decentralization, 9) new business models, 10) trust/ verification, 11) streamlining/ automatization, 12) increased sustainability, 13) no intermediary, 13) other
Challenges	1) accessibility/ complexity, 2) energy use, 3) security/ privacy, 4) acceptance of the technology, 5) false initial information, 6) scalability, 7) reluctance of sharing information, 8) inefficiency, 9) lacking regulation, 10) lacking maturity of the technology, 11) high costs, 12) risk of centralization, 13) interoperability/ standardization, 14) other
R-Strategies	1) reduce, 2) reuse, 3) recycle, 4) recover

Figure 6: Übersicht über strukturelle Dimensionen und analytische Kategorien (Quelle: Böckel et al., 2020, S. 532)

Auffällig ist, dass die Blockchain-Anwendungen vor allem im Kontext von Supply Chain und Logistik untersucht wurden und dass die Rückverfolgbarkeit von Waren sowie Datensicherheit und Datenschutz als Hauptvorteile angesehen wurden. Diese Ergebnisse stehen auch weitgehend im Einklang mit der vorherigen Analyse und den Ergebnissen des Screenings.

### 3.4 Ahmad et al – 2021 – Blockchain für Abfallwirtschaft in Smart Cities

2021 veröffentlichten Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob und Omar (2021) ein Papier mit dem Titel „Blockchain for Waste Management in Smart Cities: Eine Umfrage“. Es vergleicht bestehende Blockchain-basierte Lösungen, die für die Abfallwirtschaft in Smart Cities vorgeschlagen werden, entweder als implementierte Anwendungsfälle oder als theoretische Vorschläge in einem wissenschaftlichen Paper. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse des Vergleichs zusammengefasst (Abbildung 7).

TABLE I  
COMPARISON OF THE EXISTING BLOCKCHAIN-BASED SOLUTIONS PROPOSED FOR WASTE MANAGEMENT IN SMART CITIES.

Article	Waste Type	Objectives	Services	Rewards/Penalties
[10]	Electronic Waste	To efficiently manage electronic waste using an Ethereum blockchain platform in 5G-enabled environment	Asset Tracking	Rewards
[38]	Electronic Waste	To investigate the role of blockchain for waste handling in compliance with rules stated in waste management act	Waste Shipment Tracking, Auditability	Both
[64]	General Waste	To track and monitor the flow of waste across the borders in a way that is transparent	Waste Shipment Tracking, Auditability	N/A
[66]	General Waste	To connect all participants and track the waste by assuring waste data reporting on a single platform	Waste Tracking, Auditability	N/A
[34]	Medical Waste	To assure that medical waste is handled in compliance with safety rules	Waste Shipment Tracking, Auditability, Transparency	Penalties
[67]	Solid Waste	Employing a blockchain-based system for life cycle assessment of solid materials	Waste Tracking, Policy Implications	N/A
[41]	Agricultural Waste	To transparently provide incentives to the farmers against agricultural waste in waste-to-energy project	Waste to Energy, Auditability	Rewards
[40]	Domestic Waste	To efficiently manage and monitor smart garbage through a blockchain-based system	Waste Frauds, Smart Bins Monitoring	Penalties
[42]	Solid Waste	To develop an Ethereum-based system to securely transfer tokens to users as a reward for participating in waste management activities	Waste Sorting, Transparency	Rewards
[37]	Electronic Waste	To implement a blockchain-based system that can trace the assets throughout their life cycle	Smartphone Tracking	Rewards
[45]	General Waste	To highlight the processes/participants involved in waste management activities using a blockchain based system	Waste Documentation, Waste Shipment Tracking	N/A
[65]	Industrial Waste	To present a conceptual architecture of a system employing blockchain technology for the industrial wastewater management	Water Waste Monitoring, Automation	N/A

Figure 7: Vergleich bestehender Blockchain-basierter Lösungen für die Abfallwirtschaft in Smart Cities (Quelle: Ahmad et al., 2021, S. 9)

Die Ergebnisse dieser Umfrage bestätigen auch, dass Trace-and-Track-Möglichkeiten, die sich aus der Interaktion zwischen IoT-Geräten und Blockchain ergeben, für die Abfallwirtschaft und auch für die Einhaltung von Abfallvorschriften von besonderer Bedeutung sind. Die Verfolgung scheint auch unabhängig von der zugrunde liegenden Abfallart zu funktionieren. Denn die Abfallarten, auf die sich die hier vorgestellten Lösungen konzentrieren, sind sehr heterogen. Neben dem Tracking wird auch die Möglichkeit der Blockchain hervorgehoben, digitale Assets entweder als Belohnung oder als Bestrafung zu nutzen.

## 4 Fazit Und Lernen

Die geringe Anzahl von Blockchain-Projekten weltweit deutet darauf hin, dass der Diffusionsprozess der Blockchain-Technologie in den Abfallsektor noch in den Kinderschuhen steckt. Die meisten Projekte sind kleine Piloten, die dazu dienen, die Möglichkeiten zu testen und zu lernen. Die Projekte sind nicht zu einem Business Case gereift, befinden sich aber noch im Proof-of-Concept-Status. Die Ausnahme bildet die Plastic Bank, die mit der großen Zahl von Unterstützern auf der unternehmerseitigen Seite ein hohes Maß an Professionalität erreicht hat. Dies ist jedoch kein Geschäftsszenario, da es sich um eine gemeinnützige Organisation handelt.

In den meisten Anwendungsfällen wird die Blockchain als Transaktionsdatenbank verwendet, die unwiderruflich und manipulationssicher Materialflüsse in einer Wertschöpfungskette in chronologischer Reihenfolge mit Zeitstempeln erfassen kann. Der Vorteil ist, dass jeder Netzwerkteilnehmer die gleichen Informationen zur gleichen Zeit hat. Da das physische Objekt digital identifiziert und von einem digitalen Zwilling repliziert werden muss, ist dies bei einer bestimmten Abfallart (Glas oder Papier usw.) einfacher als bei unsortiertem Restmüll.

Interessant ist, dass die Trace-and-Track-Option vor allem zur Dokumentation eines Prozesses, also zur Prüfung und Zertifizierung, genutzt wird. Dies spiegelt wahrscheinlich die hohe Nachfrage der Verbraucher nach Transparenz in der Lieferkette von Produkten wider. Andererseits ist die geringe Anzahl von Token-Fällen im Zusammenhang mit der Trace-and-Track-Funktion überraschend, da die Kombination von beiden vielversprechend ist. Tokens, die als Incentives und Trace-and-Track zur Messung von Verhaltensänderungen aufgrund von Incentives verwendet werden, sind optimale Prozesse. Die Plastic Bank kann hier als Best-Practice-Beispiel dienen, das beide Funktionen optimal verzahnen kann.

Die anderen Studien zeigen jedoch auch die hohe Bedeutung von Token-Anwendungen für die Gestaltung von Incentive- und Belohnungssystemen. Für Peer-to-Peer-Belohnungssysteme ist die Blockchain als dezentrale Infrastruktur zur Übertragung digitaler Werte innerhalb eines P2P-Netzwerks in Kombination mit Smart Contracts zur Automatisierung der Bezahlung ideal geeignet.

Die Mehrheit der Blockchain-Anwendungen sind Business-Projekte, meist B2B Anwendungen, die wahrscheinlich keine öffentliche, sondern eine private Blockchain mit eingeschränkten Zugriffsrechten und Transparenz verwenden. Einige NGOs aus dem Umweltsektor haben auch Projekte entwickelt, vor allem vor Ort, und nutzen die Token-Funktion, um umweltfreundliches Verhalten zu belohnen. Leider sind in keiner Studie Blockchain-Projekte kommunaler Abfallwirtschaftsunternehmen aufgeführt. Es scheint, dass dieser Sektor trotz seiner zentralen Bedeutung für die Kreislaufwirtschaft noch nicht die konzeptionelle Phase des Testens der Blockchain-Technologie erreicht hat. Oder anders ausgedrückt: Die Verbreitung technologischer Innovationen scheint im öffentlichen Sektor länger zu dauern.

Aber sowohl die Öffentlichkeit als auch die kommunalen Abfallmanager sollten das Feld nicht den Erzeugerverantwortlichen-Organisationen überlassen, die im Rahmen des Programms „Erweiterte Erzeugerverantwortung“ arbeiten, wenn es um die Blockchain geht. Die Blockchain ermöglicht Transparenz und eignet sich daher ideal, um die vorherrschende Asymmetrie der Informationen zwischen Verbrauchern, Wiedernutzern, Werkstätten, Recyclern und Produzenten zu überwinden. Die Blockchain ist eine Voraussetzung für die Zusammenarbeit zwischen diesen Netzwerkpartnern und hat mehr den Charakter einer öffentlichen Infrastruktur, die gut funktioniert, wenn alle von ihrer Nutzung profitieren.



## 5 Grober Leitfaden für den Start eines Blockchain-Projekts

Die Entwicklung und Umsetzung eines Blockchain-Projekts bestehen 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, die einfachen Erklärungen der technischen Möglichkeiten der Blockchain - das sind die Bausteine für den Erfolg eines Projekts und für die Auswahl der Projektteammitglieder (Lenz, 2019).

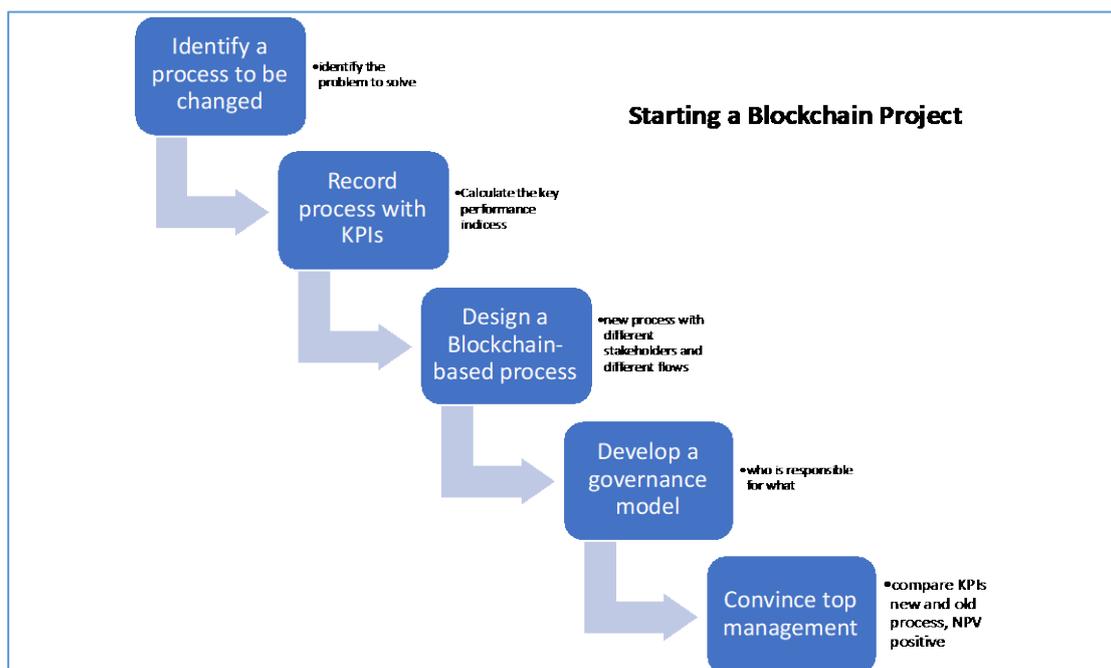


Figure 8: Prozess der Gründung eines Blockchain-Projekts (Quelle: Der Autor)

### Identifizierung eines geeigneten Verfahrens

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 eine hohe Unzufriedenheit der Beteiligten aus. Um einen geeigneten Prozess zu identifizieren, ist eine Perspektivenverschiebung erforderlich: Von einer unternehmensinternen Sicht hin zu einer interorganisatorischen Perspektive, indem die Interessen aller beteiligten Interessengruppen verstanden werden.

### Aufzeichnung des Prozesses 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. Man könnte davon ausgehen, dass jedes Unternehmen seine Prozesse bereits mit der Business

Process Management Software optimiert hat. Dies ist oft der Fall, aber die zugehörigen Informationen basieren ausschließlich auf internen Unternehmensdaten und nur innerhalb der Grenzen eines einzelnen Unternehmens. Die meisten Prozesse wurden noch nie als Ganzes für alle optimiert, auch für externe Partner.

Die Erfassung des gesamten Prozesses mit seinen Key Performance Indicators kann 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.

#### *Design eines Blockchain-basierten Prozesses*

Das ist 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 müssen drei Flüsse berücksichtigt werden: Informationsfluss, Materialfluss und Zahlungsfluss. Der Informationsfluss wird in einem Blockchain-basierten Prozess völlig anders aussehen, da die Linearität des Informationsflusses, die zu vielen Verzögerungen und Ineffizienzen führt, überwunden wird. Alle Teilnehmer haben die gleichen Informationen über den Fortschritt des Projekts zur gleichen Zeit. Für die Teilnehmer einer Kreislaufwirtschaft könnte das grobe Muster wie Abb. 9.

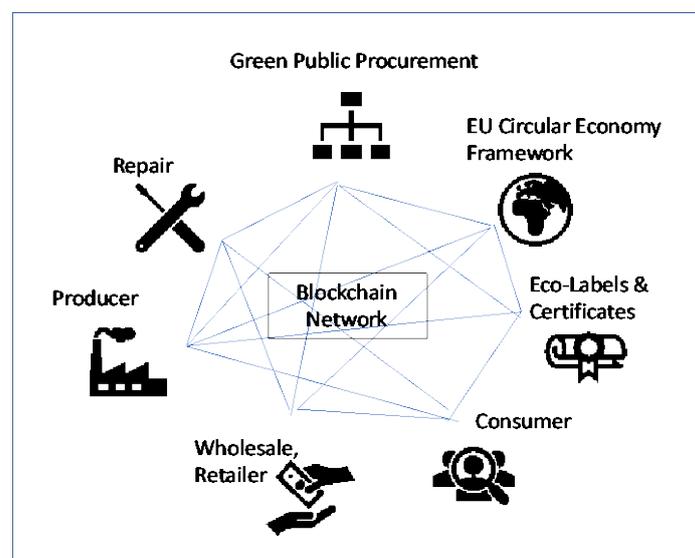


Figure 9: Informationsfluss in Blockchain-basierten Prozessen (Quelle: Der Autor)

#### Entwicklung eines Governance-Modells

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 z. B. einen Arbeitsnachweis, oder zentraler über einen Proof of Stake oder einen Proof of Authority. Die Entscheidung über den 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 Kapital 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).

#### *Überzeugendes Top-Management*

Letztendlich wird der Vorstand des Unternehmens immer die Entscheidung treffen, komplexe Prozesse in eine Blockchain-basierte Transaktionsdatenbank mit einer großen Anzahl externer Schnittstellen umzuwandeln. 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.

Key Performance Indicators	Current	Blockchain
no. of data interfaces, intermediaries, means of communication, persons involved		
Cycle time (planned, accuracy)		
Total inventory days of supply		
Cash-to-cash cycle time -> needed working capital		
Supplier fill rate -> actual delivery rate versus requested delivery rate		
On time departure from manufacturing subsidiaries to OEM		
Forecast accuracy, forecast volatility		
Monitoring and management costs		

Figure 10: Das Management durch KPIs überzeugen (Quelle: Autor)

Ein Board möchte auch Antworten auf die Frage der Migrationskosten, also der Kosten, die durch die Umstellung des bestehenden Prozesses 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.

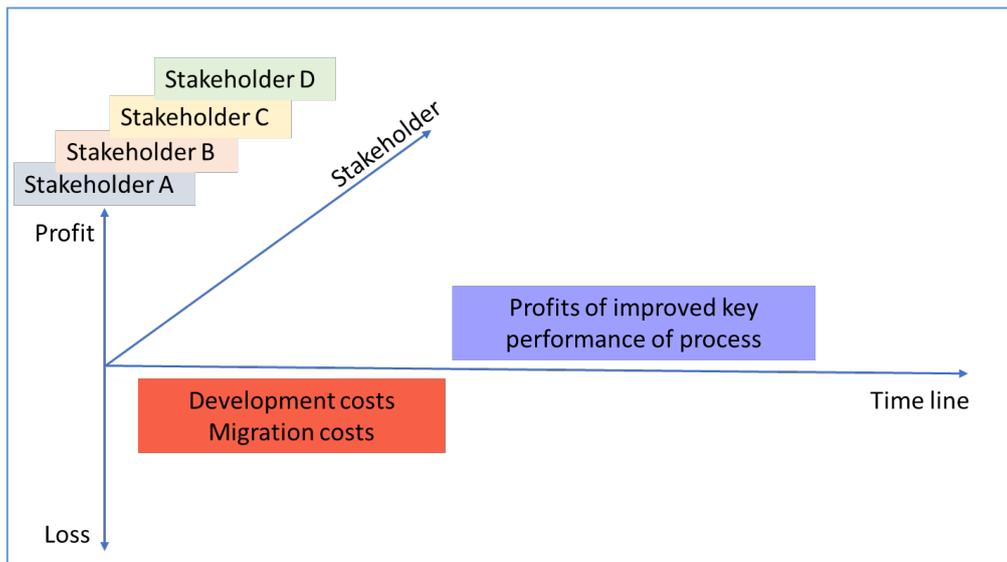


Figure 11: Positiver Kapitalwert für alle Stakeholder? (Quelle: Lenz, 2019)

Wenn die erwarteten zukünftigen Gewinne für jeden Beteiligten die anfänglichen Kosten der Prozessumwandlung übersteigen, kann das jeweilige Management entscheiden, diese Investition oder dieses Projekt durchzuführen. Natürlich ist die Blockchain-Technologie 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 könnte das Projekt in einem größeren Maßstab umgesetzt werden.

## 6 Referenzen

- Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., & Omar, M. (2021). Blockchain for Waste Management in Smart Cities: A Survey.
- Böckel, A., Nuzum, A.-K., & Weissbrod, I. (2020). Blockchain for the Circular Economy: Analysis of the Research-Practice Gap. *Sustainable Production and Consumption*.
- Climate-KIC, e. (2019). *Market Analysis for Plastic waste recovery by regional blockchain networks*. Retrieved from <https://ecircular.climate-kic.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/02/Market-Analysis-for-Plastic-waste-recovery-by-regional-blockchain-networks.pdf>
- Lenz, R. (2019). Managing Distributed Ledgers: Blockchain and Beyond. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=3360655>
- PwC. (2018). Building bock(chain)s for a better planet: Fourth Industrial Revolution for the Earth Series. Retrieved from <https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/blockchain-for-a-better-planet.pdf>
- Wüst, K., & Gervais, A. (2018). *Do you need a Blockchain?* Paper presented at the 2018 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT).

## Anhang

List of screened use cases of Blockchain application in waste management

No.	Projectname	Country	Blockchain-Category	Stakeholder	Type of Waste
1	Agora Tech Lab	NL	(3)Trace and Track (4)Tokenization	B2B	Municipal waste
2	Plastic Bank Recycling Corporation	CA	(3)Trace and Track (4)Tokenization	B2B, B2C	Plastic waste
3	Provenance	US	(1) Documentation (3)Trace and Track	B2C	/
4	Recereum	IN	(3)Trace and Track (4)Tokenization	B2B, B2C	Municipal waste
5	Swachhcoin	NL	(3)Trace and Track (5) Process automation	B2B	Municipal waste Industrial waste
6	EU Waste Transportation on Blockchain	NL	(3)Trace and Track	B2B	All types of waste
7	RecycleGO	US	(2) Certification (3) Trace and Track		Industrial waste
8	NVZN-token	US	(2) Certification (3) Trace and Track (4) Tokenization	B2B	Industrial waste
9	Naturipe	US	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2C	Food waste
10	RemediChain	US	(1) Documentation (3) Trace and Track	B2C, C2C	Prescription waste
11	Recycling Traceability System (RTS by EOW)	US	(2) Certification (3) Trace and Track	B2B	Glass waste
12	Recycling Traceability System (RTS by EOW)	US	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2B	Glass waste
13	Dell Technologies, VMware	US	(1) Documentation (3) Trace and Track	B2C	Plastic waste
14	Food Trust	US	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track (5) Process automation	B2B	Food waste
15	ReciChain	CA	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2B, B2P	Municipal waste
16	Recycle-to-coin	UK	(1) Documentation (4) Tokenization	B2C	Municipal waste
17	Excess Material Exchange	NL	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2B	All types of waste
18	Circularise	NL	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2B	Industrial waste (Plastics, Textiles, Metals, Automotive, Electronics & more)
19	Empower	NO	(1) Documentation (2) Certification (3) Trace and Track	B2B	Plastic waste
20	Naturecoin	CA	(4) Tokenization (5) Process automation	B2C	Plastic, Tins, Cans

### 1. Agora Tech Lab

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Agora Tech Lab	Tony Zhao	NL	(3) Trace and Track (4) Tokenisierung	B2B	Siedlungsabfälle

Das Start-up Agora Tech Lab mit Sitz in Rotterdam will partizipative Abfallmanagement-Frameworks in Städten mithilfe von Blockchain-Technologie schaffen. Auf der Blockchain werden alle Abfallbewirtschaftungstransaktionen registriert. So wird die Blockchain als Datenbank verwendet, die Materialflüsse in der Abfallkette verfolgt. Auf der Grundlage der Transaktionsaufweise können die Bürger für das Recycling von Abfällen durch Token belohnt werden, die gegen lokale Dienstleistungen (z. B. kostenlose öffentliche Verkehrsmittel, Steuervergünstigungen usw.) ausgetauscht werden können. Webseiten: [\(1\)](#) [\(2\)](#)

## 2. The Plastic Bank Recycling Corp (DBA Plastic Bank)

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Kunststoffbank Recycling Corp	David Katz	CA	(3) Trace and Track (4) Tokenisierung	B2C	Kunststoffabfall

Die Plastic Bank mit Sitz in Vancouver, British Columbia, Kanada, baut Recycling-Ökosysteme in Küstengemeinden auf. Sammler von Kunststoffen erhalten Belohnungen für das Material, das sie sammeln und das für Grundbedürfnisse wie Lebensmittel verwendet werden kann. Über die Blockchain der Plastic Bank werden alle Transaktionen gespeichert, so dass Sammler den genauen Wert erhalten können, auf den sie Anspruch haben. Zusätzlich zur Rückverfolgbarkeit ermöglicht die Blockchain Transparenz und schnelle Skalierbarkeit. Webseiten: [\(1\)](#)

## 3. Herkunft

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Herkunft	Jessi Baker	VEREINIGTES KÖNIGREICH	(1) Dokumentation (3) Trace and Track	B2C	/

Das in Großbritannien ansässige Unternehmen Provenance möchte transparente Lieferketten schaffen und es den Menschen ermöglichen, bewusste Kaufentscheidungen zu treffen. Die auf Blockchain und Open Data basierende Plattform von Provenance ermöglicht es einerseits, Produktinformationen zu sammeln und andererseits den gesamten Produktweg zu verfolgen. Webseiten: [\(1\)](#)

## 4. Recereum

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Recereum		ZOLL	(3) Trace and Track (4) Tokenisierung	B2B, B2C	Siedlungsabfälle

Recereum baut eine Blockchain-basierte Plattform auf, die es Organisationen wie Kommunen ermöglicht, eine ordnungsgemäße Mülltrennung durch Münzen zu belohnen. Diese Münzen können beispielsweise für Rabatte auf Stromrechnungen verwendet werden. Neben der ordnungsgemäßen Abfalltrennung werden Münzen auch im Austausch für Kunststoff- und Aluminiumflaschen sowie Batterien und Elektronik ausgezahlt. Webseiten: [\(1\)](#), [\(2\)](#)

## 5. Swachhcoin

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Swachhcoin	NGO	NL	(3) Trace and Track (5) Prozessautomatisierung	B2B	Siedlungsabfälle Industrieabfälle

Swachhcoin ist eine gemeinnützige Organisation. Das Projekt ist ein Blockchain-basierter Ansatz für das Mikromanagement von Abfällen aus Haushalten und Industrie. Der Abfall wird auf umweltfreundliche Weise in nutzbare Produkte wie Stahl, Glas oder Kunststoffe umgewandelt. Das Swachh-Ökosystem ist eine dezentrale autonome Organisation (DAO), die auf Basis intelligenter Verträge autonom verwaltet wird. Webseiten: [\(1\)](#), [\(2\)](#)

## 6. Europäischer Abfalltransport auf Blockchain

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Europäischer Abfalltransport auf Blockchain	Öffentlich	NL	(3) Trace and Track	B2B	Alle Arten von Abfall

Das Inspektorat für Umwelt und Verkehr des niederländischen Infrastrukturministeriums (ILT) überwacht viele Grenzübergänge von Abfalltransporten. Bei diesen Prozessen müssen mehrere Behörden Informationen austauschen, um den Prozess zu verwalten und zu steuern. Die Verwaltung und Kontrolle erfolgt derzeit meist manuell. Die manuelle Handhabung der Prozesse ist jedoch zeitaufwändig und komplex. ILT arbeitet im Rahmen des Projekts „European Waste Transportation on Blockchain“ in Zusammenarbeit mit den Softwareunternehmen LegalThings One und Safety Changer an einer Lösung dieses Problems. Durch den Einsatz von Blockchain und

mobilen Apps sollen manuelle Eingriffe aus den Prozessen entfernt und ein effizienter grenzüberschreitender Abfalltransport ermöglicht werden. Webseiten: [\(1\)](#)

## 7. RecyclingGO

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
RecyclingGO	Stan Chen	USA	(2) Zertifizierung (3) Trace and Track		Industrieabfälle

RecycleGO bietet Recycling-Dienstleistungen und -Technologien an. Ziel ist es, Blockchain und andere Technologien zu nutzen, um das Recycling-System zu verbessern, indem Recyclingvorgänge optimiert und Lieferketten und CO<sub>2</sub>-Kompensationen überprüft werden. So bietet das Unternehmen eine Softwarelösung für das Kunden- und Asset-Management sowie die Fakturierung und Routenplanung für Spediteure an. Mit dem Blockchain-basierten Ledger von RecycleGO können Unternehmen und Regierungen ihre Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit überprüfen. Webseiten: [\(1\)](#)

## 8. INVIZION – NVZN-Token

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
NVZN-Token	Corp	USA	(2) Zertifizierung (3) Trace and Track (4) Tokenisierung	B2B	Industrieabfälle

INVIZION entwickelt ihr eigenes Krypto-Währungs-Utility-Token, NVZN. Der Token basiert auf dem Ethereum-Netzwerk und soll das Abfallverfolgungssystem revolutionieren. Ein Token enthält Informationen wie die Herkunftsbescheinigung und eine Chargennummer des produzierten Abfalls. Bewegt sich der Abfall entlang der Abfallkette, kann er mit Hilfe der IoT-Technologie einfach auf einem dezentralen Ledger nachverfolgt und verfolgt werden. Das endgültige Ziel der Abfälle werden die mobilen CETS Hybrid Waste-to-Energy-Stationen sein, die jeden Abfall in erneuerbare Energie umwandeln können, die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Abfallentsorgung um bis zu 30 % minimieren und die Kosten der Abfallentsorgung um bis zu 20 % senken. Webseiten: [\(1\)](#)

## 9. Naturipe

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Naturipe	Corp	USA	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace and Track	B2C	Lebensmittelverschwendung

In Partnerschaft mit SAP plant Naturipe, die Blockchain-Technologie zu nutzen, um die Transparenz in der Lebensmittelversorgungskette zu erhöhen. Die von Naturipe produzierten Produkte werden mit einem QR-Code auf der Verpackung ausgestattet. Wenn Kunden den Code scannen, können sie die Herkunftsbescheinigung von z. B. Obst sowie Informationen darüber sehen, wo die Früchte angebaut, gepflückt, verpackt und wie sie an einem beliebigen Punkt entlang der Lieferkette gelagert wurden. Webseiten: [\(1\)](#), [\(2\)](#)

## 10. RemediChain, Lipscomb University, Good Shepherd Pharmacy

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
RemediChain	Corp	USA	(1) Dokumentation (3) Trace and Track	B2C, C2C	Verschreibungspflichtiger Abfall

Das Konsortium will durch den Einsatz von Blockchain-Technologie Verordnungsverschwendung reduzieren. Das RemediChain Ledger ermöglicht die Sammlung überschüssiger Medikamente und Medikamente von einzelnen Spendern und deren Verteilung an autorisierte Patienten in Not. Die Blockchain hilft dabei, die Pharmaindustrie als Vermittler zu umgehen und dadurch den Verkauf der Medikamente zu niedrigeren Preisen und sogar die kostenlose Verteilung der gespendeten Medikamente zu ermöglichen. Einzelne Spender können auch abgelaufene Medikamente spenden, die gesammelt, verfolgt und sicher entsorgen werden. Webseiten: [\(1\)](#)

## 11. Rocky Mountain Bottle Company

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Recycling Traceability System (RTS by EOW)	Corp	USA	(2) Zertifizierung (3) Trace and Track	B2B	Glasabfall

Die Rocky Mountain Bottle Company hat sich mit der End of Waste Foundation (EOW) zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft in der Glasindustrie verpflichtet. Das Recycling Traceability System (RTS) VON EOW, früher bekannt als Blockchain Waste Traceability Software (BWTS), wird zur Verfolgung von Glasabfällen eingesetzt. Es ermöglicht Materialgewinnungsanlagen (MRFs), Glasverarbeiter und Glashersteller, Glasabfälle entlang der Recyclingkette zu verfolgen. MRFs bestimmen die Menge an Glas, die an die Verarbeiter geliefert wird, die dann die Mengen validieren und den Herstellern melden, die sie validieren und der EOW melden werden. EOW stellt ein Glaszertifikat aus, das die Daten darüber enthält, wie viel Glas Deponien vermieden hat. Glaszertifikate können von Unternehmen und Einzelpersonen erworben werden, die nachhaltig werden und ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausgleichen möchten. Webseiten: [\(1\)](#), [\(2\)](#)

## 12. Wellglas

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Recycling Traceability System (RTS by EOW)	Corp	USA	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace und Track	B2B	Glasabfall

Ähnlich wie Case (10) arbeitet Ripple Glass auch mit dem End of Waste of Foundation (EOW) zusammen, um sein Recycling Traceability System (RTS, früher bekannt als Blockchain Waste Traceability Software (BWTS)) nutzen zu können. Ripple Glass plant, die Recyclingquoten mit Hilfe von RTS zu erhöhen, da es unveränderliche Daten über die Recyclingquoten liefern wird. RTS verbindet Materialgewinnungsanlagen (MRFs), Glasverarbeiter und Glashersteller, um Glasabfälle entlang der Recyclingkette besser zu verfolgen. MRFs bestimmen die Menge des Glases, die an die Verarbeiter geliefert wird, die dann die Mengen validieren und sie den Herstellern melden, die sie validieren und der EOW melden werden. EOW stellt ein Glaszertifikat aus, das die Daten darüber enthält, wie viel Glas Deponien vermieden hat. Glaszertifikate können von Unternehmen und Einzelpersonen erworben werden, die nachhaltiger werden und ihren CO2-Fußabdruck ausgleichen möchten. Webseiten: [\(1\)](#), [\(2\)](#)

## 13. Dell Technologies, VMware

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Dell Technologies, VMware	Corp	USA	(1) Dokumentation (3) Trace and Track	B2C	Kunststoffabfall

Dell arbeitet mit VMware zusammen, um die recycelten Verpackungsartikel von Dell nachzuverfolgen. VMware bietet Blockchain-Technologien an, die recycelten Kunststoff nachverfolgen. Die Kunden können die Herkunft des recycelten Materials sehen, welche Art von Kunststoffen es ist und wo es zurückgewonnen wurde. Webseiten: [\(1\)](#)

## 14. Nestlé, Lebensmittelgeschäft, IBM

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Vertrauen In Die Küche	Corp	USA	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace and Track (5) Prozessautomatisierung	B2B	Lebensmittelverschwendung

Nestlé und Grocer (Carrefour) arbeiten mit IBM zusammen, um von der Blockchain-Technologie des Lebensmittelvertrauens zu profitieren. Food Trust ist ein Netzwerk, das auf eine nachhaltigere und intelligentere Lebensmittelindustrie abzielt. Die Technologie, die auf Blockchain basiert, verfolgt einzelne Lebensmittel und gibt autorisierten Nutzern Zugriff auf Informationen über die gesamte Lebensmittelversorgungskette, Daten über die Herkunft und den aktuellen Standort einzelner Lebensmittel sowie auf Zertifizierungen, Testdaten und Temperaturdaten. Nestlé und Grocer haben begonnen, die Technologie mit nur einem Produkt zu testen, haben aber bereits die Produktpalette erweitert, die mit Food Trust verfolgt wird. Webseiten: [\(1\)](#)

## 15. RecChain BASF

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
ReciChain	BASF	CA	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace und Track	B2B, B2P	Fester Abfall

BASF startete das Pilotprojekt reciChain in Kanada mit dem Ziel einer wettbewerbsfähigeren zirkulären Lieferkette. Durch den Einsatz einer Blockchain-Plattform mit digitaler Badge- und Loop-Count-Technologie konnten die Sortierung, Verfolgung und Überwachung von Kunststoffen verbessert werden. Die Daten werden transparent unter den Marktteilnehmern geteilt und der Lebenszyklus von Kunststoffen verlängert. Aufgrund von Problemen sozialer Ungleichheit wurde das Projekt erstmals in Brasilien gestartet, um Bedenken hinsichtlich der Ausstellung von Recyclingzertifikaten zu zerstreuen. Webseiten: [\(1\)](#)

## 16. Recycling-to-Coin

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Recycling-to-Coin	Individuell	VEREINIGTES KÖNIGREICH	(1) Dokumentation (4) Tokenisierung	B2C	Fester Abfall

Recycle-to-Coin ist ein Belohnungssystem, das 2017 von der Blockchain Development Company (BCDC) herausgegeben wurde. Mit einem App-basierten System wird das Recycling von Kunststoff-, Aluminium- und Stahldosen in Form von Token belohnt. ICO fehlgeschlagen, die Website ist ausgefallen. Webseiten: [\(1\)](#)

## 17. Austausch überschüssiger Materialien (EME)

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Austausch Von Überschüssigem Material	Individuell	NL	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace und Track	B2B	Alle Arten von Abfall

EME ist eine digitale Matching-Plattform zum Recycling nicht gebrauchter (Abfall-) Materialien. Ihr vierstufiges Modell zielt darauf ab, den finanziellen Wert zu erhöhen und den ökologischen Fußabdruck zu verringern. Zunächst gibt der Rohstoffpass einen Überblick über Herkunft und Abzugsfähigkeit des Produkts. Der Pass wird mit einem QR-Code versehen, der verfolgt und verfolgt werden kann, um den Wertschöpfungsketten der Rohstoffe zu folgen. Die potenziellen finanziellen, ökologischen und sozialen Mehrwerte werden berechnet, um realistische Wiederverwendungsmöglichkeiten für Materialien und Produkte zu finden. Durch die Zusammenarbeit mit innovativen Partnern können die Ambitionen der Kreislaufwirtschaft Realität werden. Webseiten: [\(1\)](#)

### 18. Zirkularisieren

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Zirkularisieren	Individuell	NL	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace und Track	B2B	Industrieabfälle (Kunststoffe, Textilien, Metalle, Automobilindustrie, Elektronik und mehr)

Durch die Integrität und Compliance der Lieferkette hilft Circularize den Stakeholdern, Rohstoffe nachzuverfolgen. Ihre Mission ist es, den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen und nachhaltige Praktiken im Massenmaßstab zu ermöglichen. Webseiten: [\(1\)](#)

### 19. Befähigen

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Befähigen	Individuell	NEIN	(1) Dokumentation (2) Zertifizierung (3) Trace und Track	B2B	Kunststoffabfall

Auf der Grundlage des norwegischen Flaschenlagersystems baute Empower ein globales Ökosystem für Kunststoffabfälle auf. Eine Vielzahl von Sammelstellen aus Kunststoff sorgt für eine kostengünstige Abfallsammlung. Durch die Verfolgung und Erstellung digitaler Lagerbestände stellen sie sicher, dass der Großteil der Kunststoffe wiederverwendet und recycelt wird. Die gesammelten Kunststoffe werden mit einem Token belohnt. Transparenz ermöglicht es ihnen, sicherzustellen, dass die Plaste dort enden, wo sie den höchsten Wert und die niedrigsten Kosten für Gesellschaft und Umwelt haben. Webseiten: [\(1\)](#)

### 20. Naturecoin

Projekt	Initiator	Land	Blockchain	Stakeholder	Art des Abfalls
Naturecoin	Individuell	CA	(4) Tokenisierung (5) Prozessautomatisierung	B2C	Kunststoff, Dosen, Dosen

Das dezentrale Peer-to-Peer-Transaktionsmodell belohnt Einzelpersonen für das Recycling. Naturecoin verwendet intelligente Behälter für das Recycling in Städten. Die Naturecoin-App analysiert Abfall und berechnet eine Belohnung, die in Form der Kryptowährung „Naturecoins“ bereitgestellt wird. Die Touristen können die Münzen dann gegen Waren oder Dienstleistungen wie Transport oder Souvenirs eintauschen. Webseiten: [\(1\)](#)