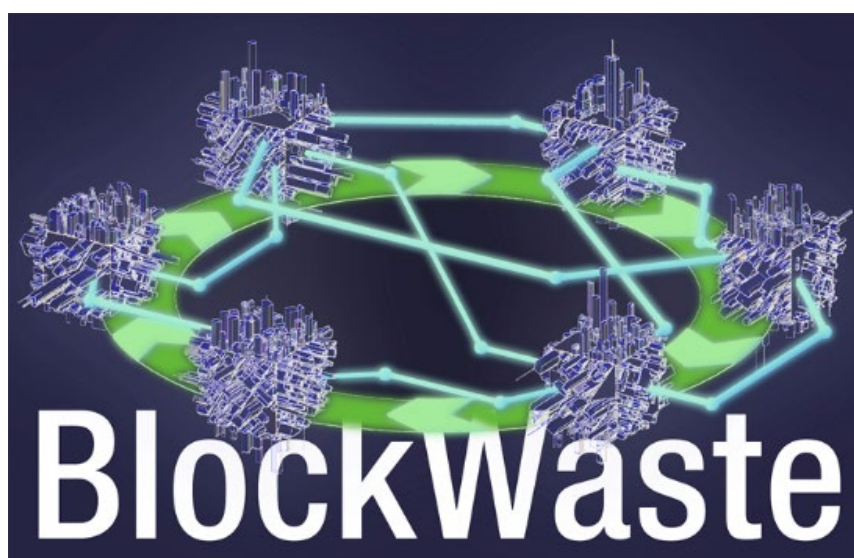


O1.A3 Handboeken voor strategieën voor circulaire economie toegepast op gemeentelijk afvalbeheer met behulp van Blockchain-technologie

Handboek 3: Blockchain-gebaseerd gemeentelijk afvalbeheer



[Disclaimer](#)

Dit project is gefinancierd met steun van de Europese Commissie. Deze publicatie geeft uitsluitend de mening van de auteurs weer en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gesteld voor het gebruik van de informatie die erin is vervat.



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

Output factsheet:

Financieringsprogramma	Erasmus+ programma van de Europese Unie
Financiering NA	EL01 Stichting Griekse Staatsbeurs (IKY)
Volledige titel van het project	Innovatieve opleiding op basis van Blockchain-technologie toegepast op afvalbeheer - BLOCKWASTE
Veld	KA2 - Samenwerking voor innovatie en uitwisseling van goede praktijken KA203 - Strategische partnerschappen voor het hoger onderwijs
Projectnummer	2020-1-EL01-KA203-079154
Duur van het project	24 maanden
Startdatum project	01-10-2020
Einddatum van het project:	30-09-2022

Uitvoergegevens:

Titel van de output: Leermateriaal voor interdisciplinair Blockchain-MSW

Titel van de opdracht: Handboeken van strategieën voor een circulaire economie toegepast op gemeentelijk afvalbeheer met behulp van Blockchain-technologieën

Outputleider: NTUA

Task leader: Bielefeld UAS

Auteur(s): Rainer Lenz, rlenz@fh-bielefeld.de, Andreas Uphaus, auphaus@fh-bielefeld.de, Bernd Kleinheyer, bkleinheyer@fh-bielefeld.de, Leonie Holste, lholste@fh-bielefeld.de, allen van Bielefeld UAS, Duitsland
Christa Barkel, c.barkel@saxion.nl, Saxion UAS, Nederland

Paraskevas Tsangaratos, ptsag@metal.ntua.gr, Nationale Technische Universiteit van Athene, Griekenland

Gerecenseerd door: Athanassios Mavrikos, Nationale Technische Universiteit van Athene, mavrikos@metal.ntua.gr, Griekenland, Perry Smit, Saxion UAS, p.j.smit.01@saxion.nl, Nederland

Documentcontrole

Versie van het document	Versie	Amendement
V0.1	31/03/2022	Definitieve versie – 29/04/2022

Inhoud

Samenvatting	iii
1 Inleiding.....	1
1.1 Korte projectbeschrijving.....	1
1.2 Doelstellingen en methodologische aanpak.....	2
2 Omvorming van het beheer van stedelijk afval binnen de circulaire economie	3
2.1 Er is een rolverschuiving nodig bij het beheer van stedelijk afval.....	3
2.2 Gegevensbeheer gemeentelijk afval.....	5
2.2.1 Circulaire economie vereist circulaire informatie	6
2.2.2 Geen openbaarmaking van informatie zonder gegevensintegriteit en gegevensbescherming.....	7
2.2.3 Gegevensbeheer gemeentelijk afval.....	8
2.2.4 Blockchain vergemakkelijkt het delen van gegevens in de circulaire economie	11
2.2.5 Blockchain ondersteunt zelfsovereiniteit van identiteit en gegevensintegriteit	13
2.3 Gemeentelijke afvalbeheerder - een keuzearchitect voor de besluitvorming.....	14
2.3.1 Circulaire economie heeft slim systeem van decentrale stimulansen nodig ..	15
2.3.2 Gemeentelijke afvalbeheerder - een keuzearchitect voor gedragsverandering	16
2.3.3 Blockchain maakt stimulering door tokenization mogelijk	17
2.3.4 Blockchain gebruiken om productlevenscycli te traceren en te volgen.....	18
2.4 Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer	19
2.4.1 Waardecreatie van MGO in de circulaire economie	19
2.4.2 Wijzigingen in operaties en processen van MWM.....	20
2.4.3 Wijzigingen in operaties en processen van MWM.....	21
2.4.4 Wijzigingen stap voor stap doorvoeren	23
2.4.5 Automatisering verbeteren door IoT & Smart Contracts en Blockchain	23
2.5 Gemeentelijk Afvalbeheer wordt vertrouwensmakelaar.....	25
2.5.1 Automatisering verbeteren door IoT & Smart Contracts en Blockchain	25
2.5.2 Blockchain als facilitator van P2P-samenwerking	27
3 Richtlijnen voor het starten van Blockchain-gebaseerde afvalbeheerprocessen	28
3.1 Fasen van een Blockchain-project	28
3.2 Identificatie van een geschikt proces voor Blockchain-conversie.....	28
3.3 Registratie van de afvalketen met kernprestatie-indicatoren	30
3.4 Ontwerp van een op Blockchain gebaseerd proces.....	37

3.5	Ontwikkeling van een governance model voor Blockchaintoepassingen	41
3.6	Het topmanagement overtuigen	43
4	Definitieve aanbevelingen	47
5	Referenties en bronnen voor verdere lezing	49

Lijst van tabellen

Tabel 1: Definiëren van stakeholderspecifieke doelstellingen (de auteurs)	34
Tabel 2: Stakeholderspecifieke KPI's (de auteurs)	36

Lijst van figuren

Figuur 1: Handboeken BlockWASTE project (de auteurs)	2
Figuur 2: 9R-strategieën van de Circulaire Economie (Kirchherr et al. 2017, p. 224).	3
Figuur 3: Circulariteitsstrategieën en de rol van actoren binnen de productieketen (Potting et al. 2017, p. 16)	4
Figuur 4: Niveau van verandering - rolfverschuiving MWM - Blockchain technologie (de auteurs)	5
Figuur 5: MWM als gegevensverstrekker voor CE (de auteurs)	6
Figuur 6: Circulaire economie vereist circulaire informatiestroom (de auteurs)	6
Figuur 7: IoT-oplossingen die moeten worden geïntegreerd in vuilniswagens (Berg en Sebestyén 2020, p. 22)	9
Figuur 8: Hulpmiddelen voor afvalanalyse (de auteurs)	10
Figuur 9: Op blockchain gebaseerde informatiestroom (de auteurs)	13
Figuur 10: MWM als keuzearchitect voor besluitvorming (de auteurs)	14
Figuur 11: Pay-and-Receive-as-you-throw model (de auteurs)	17
Figuur 12: Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer (de auteurs)	19
Figuur 13: Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer (de auteurs)	22
Figuur 14: Data en IoT ecosysteem (Lenz 2019a)	24
Figuur 15: Gemeentelijk Afvalbeheer wordt vertrouwensmakelaar (de auteurs)	25
Figuur 16: Fasen van een Blockchain-project (de auteurs)	28
Figuur 17: Heb je een Blockchain nodig? (Wüst en Gervais 2018, p. 3)	30
Figuur 18: Doelstellingen van de afvalpiramide (de auteurs baseren zich op de EU-afvalhiërarchie, zie artikel 4 van de EU-kaderrichtlijn betreffende afvalstoffen)	31
Figuur 19: Ontwikkeling van stakeholder-specifieke KPI's in een samenwerkingsproces (de auteurs)	33
Figuur 20: Bij het afvalproces betrokken groepen belanghebbenden (de auteurs)	33
Figuur 21: Ontwerp van een Blockchain-gebaseerd afvalbeheerproces	39
Figuur 22: Blokstructuur van op Blockchain gebaseerd afvalbeheerproces (de auteurs)	40
Figuur 23: Positieve Return of Investment voor iedere stakeholder? (Lenz 2019)	44

Samenvatting

Het gebruik van Blockchain voor gemeentelijk afvalbeheer biedt voordelen als het wordt ingebed in een digitaal ecosysteem ten dienste van de ruimere Circulaire Economie. Aangezien digitalisering een zaak is van informatie, gegevensgeneratie en -circulatie, moet de kwestie van onderhoud, toegang en controle met betrekking tot opslagplaatsen van afvalgegevens worden aangepakt. De reële, tot dusver meestal lineaire en fysieke afvaleconomie (inzameling van stoffen, recycling, verbranding, verwijdering enz.) evolueert naar het beheer van circulaire stromen. Dit streven kan krachtig worden ondersteund door een virtuele afvaleconomie die informatie genereert, verstrekt en verhandelt die de beweging van stoffen in de afval"keten" ("bol" zou meer op zijn plaats zijn) weerspiegelt. Dit proces zal in de toekomst afhangen van de wijze waarop gegevensstromen worden beheerd en gedeeld. Dit zal worden gewaarborgd door gemeentelijke afvalbeheerorganisaties (MWMO). Deze zullen moeten voldoen aan een complex geheel van behoeften:

- De creatie van waarde uit stofstromen mogelijk maken
- Meervoudige, transparante en betrouwbare toegang voor belanghebbenden tot gegevens over stofstromen en dus hulpbronnen mogelijk maken
- Ontwerpen van informatie- en gegevensstromen met betrekking tot hulpbronnen
- Stimuleren van handel en waardetransacties uit circulerende middelen

Blockchains kunnen een belangrijk instrument zijn waarmee MWMO's deze rol op transparante, efficiënte en betrouwbare wijze kunnen vervullen, aangezien Blockchains vrije toegang, controle van de gegevensuitwisseling, gegevensintegriteit, transparante transacties en volledige tracering van de middenstromen mogelijk maken.

Zij kunnen er in belangrijke mate toe bijdragen dat vertrouwen de belangrijkste factor wordt voor circulair afvalbeheer, wat van de MGO's opnieuw de vertrouwensmakelaar van een afvaleconomie maakt.

De technische hulpmiddelen waarop de huidige Blockchains steunen zijn smart contracts, tokens, toegangssleutels en gedecentraliseerde netwerkknopen die transacties en digitale gebeurtenissen registreren.

Het snel opkomende gebruik van IoT-technologieën genereert grote hoeveelheden gegevens die, mits goed geanalyseerd, grote waarde kunnen helpen creëren voor belanghebbenden van circulair afvalbeheer. Aangezien deze gegevens kunnen worden gedeeld via Blockchains die ze beschikbaar maken voor stofverwerking, supply chain management, servicemarketing, klantencommunicatie en andere doeleinden, kunnen Blockchains worden gebruikt als datahubs die een veelheid aan IoT-processen voeden die de levering, productie, distributie en terugwinning van fysieke waarden ondersteunen.

MWMO's zullen dus hun rol en functioneren radicaal zien veranderen van verzamel-sorteer-behandel-verwijderaars in producenten en distributeurs van gegevens. Deze transformatie vereist nieuwe missieverklaringen, nieuw bestuur en nieuwe organisatiemodellen, die MWMO's allemaal zullen dwingen zich nieuwe vaardigheden, denkwijzen en organisatieculturen eigen te maken.

Hier wordt een route voorgesteld voor digitale transformatie met Blockchain. Ter illustratie richt het zich op een enkel proces dat begint met het identificeren en in kaart brengen van bestaande processen en leidt tot een piloottest na een cascade van stappen waarbij beslissingsbomen betrokken zijn. Een kader van belangrijke prestatie-indicatoren voor het

beheer van circulaire Blockchain-ondersteunde afvalprocessen helpt bij de overgang van de pilot- naar de implementatiefase.

1 Inleiding

1.1 Korte projectbeschrijving

Dit handboek over "Blockchain-based Municipal Waste Management" is geschreven binnen het BlockWASTE-project, een door de EU gefinancierd Erasmus Plus-project van een consortium van vijf partners uit Estland, Duitsland, Griekenland, Nederland en Spanje - zie voor details de logo's op de titelpagina.

Het BlockWASTE-project heeft tot doel de interoperabiliteit tussen afvalbeheer en Blockchain-technologie aan te pakken en de juiste behandeling ervan te bevorderen door middel van educatieve opleidingen, zodat de verzamelde gegevens worden gedeeld in een veilige omgeving, d.w.z. een ruimte van zekerheid en vertrouwen tussen alle betrokken partijen.

Hiertoe zijn de doelstellingen van het BlockWASTE-project de volgende:

- Onderzoek verrichten naar vast afval dat in steden wordt geproduceerd en de manier waarop het wordt beheerd, zodat een informatiebasis van goede praktijken kan worden gecreëerd die afvalbeheerseenheden in staat stelt afval opnieuw in de waardeketen op te nemen, waarbij het idee van intelligente circulaire steden wordt bevorderd.
- De voordelen van de Blockchain-technologie binnen het gemeentelijke afvalbeheer (MSW) in kaart brengen.
- Een studieplan opstellen waarmee docenten en professionals van organisaties en bedrijven uit de sector kunnen worden opgeleid in de overlapping van de domeinen Afvalbeheer, Circulaire Economie en Blockchaintechnologie.
- Een interactief instrument ontwikkelen op basis van Blockchain Technologie waarmee het beheer van gegevens verkregen uit stedelijk afval in de praktijk kan worden gebracht, zodat de manier waarop de gegevens in de Blockchain worden geïmplementeerd wordt gevisualiseerd en gebruikers verschillende vormen van beheer kunnen evalueren.

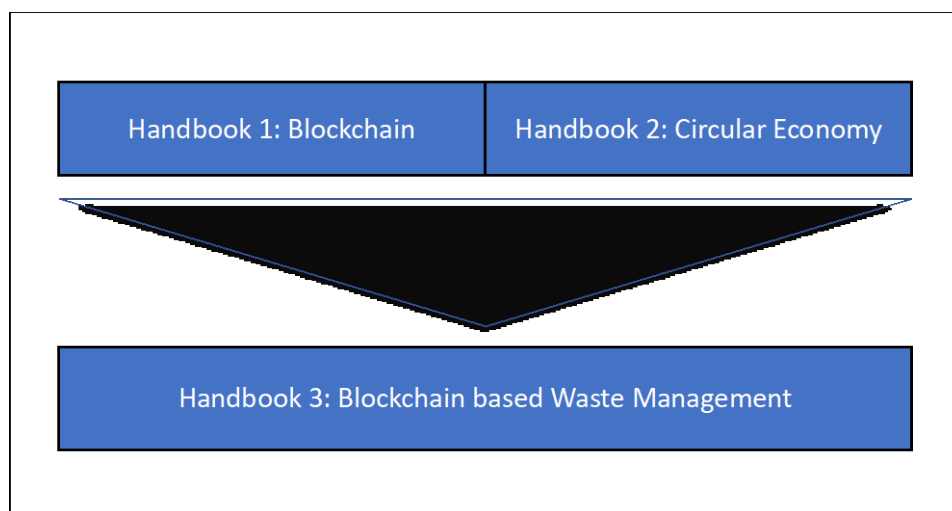
Dit Handboek Blockchain-gebaseerd Gemeentelijk Afvalbeheer is gebaseerd op de analyse van de eerdere vergelijkende studies die binnen het BlockWASTE-project zijn uitgevoerd:

- Vergelijkende studie van de regelgeving inzake het beheer van vast stedelijk afval in elk land, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/12/O1.A1.-Comparative-study-of-Municipal-Solid-Waste.pdf>
- Stand van de digitalisering in het Europese gemeentelijke afvalbeheer, vergelijkende studie - vijf EU-lidstaten, Estland, Duitsland, Griekenland, Nederland en Spanje, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.1-Comparative-State-of-Digitalization-in-Municipal-Waste-Management.pdf>.
- Blockchain-toepassingen voor afvalbeheer, analyse van Blockchain-gebruiksgevallen in afvalbeheer, <https://blockwasteproject.eu/wp-content/uploads/2021/10/O1.A2.2-Blockchain-Applications-for-Waste-Management.pdf>

Voor meer informatie, bezoek onze BlockWASTE project website <https://blockwasteproject.eu>

1.2 Doelstellingen en methodologische aanpak

Het doel van dit Handboek 3 "Blockchain-gebaseerd afvalbeheer" is om professionals in de afvalbeheersector te begeleiden bij de implementatie van IoT en Blockchain-technologie als strategieën van de Circulaire Economie. Daarom richt het zich tot vakmensen die op de hoogte zijn van de voordelen van het gebruik van Blockchain-technologie en voldoende inzicht hebben in de Circulaire Economie en haar doelstellingen. Voor lezers met minder kennis op een van de bovengenoemde gebieden, raden wij aan Handboek 1 (Blockchain) of Handboek 2 (Circulaire Economie) te lezen. De handboeken 1 en 2 moeten worden opgevat als een beknopt compendium en geven een overzicht van de essentiële inhoud - zie fig. 1.



Figuur 1: Handboeken BlockWASTE project (de auteurs)


De structuur van het handboek volgt een deductieve logica door in het eerste deel de veranderende rol van gemeentelijk vast afvalbeheer te presenteren binnen de transformatie van het huidige lineaire economische systeem naar de Circulaire Economie. De focus ligt steeds op het gebruik van Blockchain-technologie, die een substantiële bijdrage kan leveren aan de transformatie van het gemeentelijk afvalbeheer. De drie onderwerpen, de Circulaire Economie, de transformatie van gemeentelijk afvalbeheer en het gebruik van Blockchain-technologie, zijn met elkaar verbonden en er wordt getoond hoe Blockchain-technologie de noodzakelijke rolverandering van gemeentelijke afvalbeheerders in verschillende aspecten kan faciliteren. Het tweede deel van het handboek bevat een duidelijke leidraad voor afvalmanagers over hoe Blockchain-technologie te implementeren en bestaande processen om te zetten in Blockchain-gebaseerde processen. Dit deel biedt richtlijnen voor het beste gebruik van Blockchain en smart contract technologieën binnen de afvalsector en levert een coherente blauwdruk voor implementatie en toepassing van deze innovatieve technologieën in gemeentelijke en lokale bedrijfsorganisaties.

2 Omvorming van het beheer van stedelijk afval in de circulaire economie

2.1 Er is een rolverschuiving nodig bij het beheer van stedelijk afval

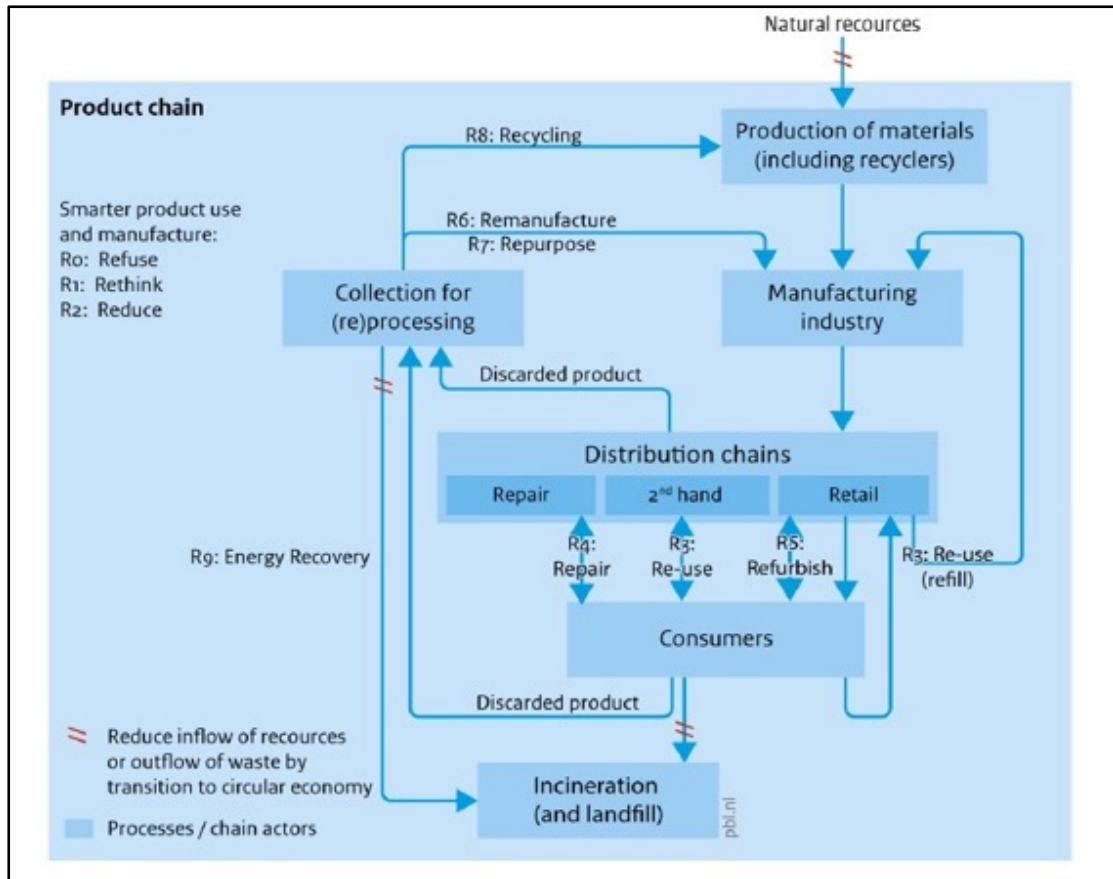
De traditionele rol van de gemeentelijke afvalverwerking is, sinds de Europese steden in de late middeleeuwen hun diensten aan de burgers uitbreidden, het verzamelen en verwijderen van afval. In zijn werking heeft het gemeentelijk afvalbeheer (MGO) vertrouwd op basale, meestal manuele (ook al is het automatisch) vaardigheden die de behandeling, verwerking en verwijdering van afval mogelijk maken. De besluitvorming was vooral gericht op "Wat gaat waarheen" en "Hoe krijgen we het daar".

Dit "lineaire" proces heeft zich in de loop der tijd ontwikkeld tot een lange keten waarvan het grootste deel uit het zicht van de "producenten" van afval is verdwenen. De opkomende Circulaire Economie doorbreekt en hermodelleert deze keten tot een complexe cyclus van stofstromen, gegevens en interventies van belanghebbenden die sanitaire, gezondheids-, milieu- en economische voordelen belooft te combineren. Kirchherr, Reike, en Hekkert (2017) hebben een metastudie uitgevoerd naar 114 definities van de Circulaire Economie met als doel transparantie te creëren over het huidige begrip van het concept Circulaire Economie. Zij hebben het 9R-strategieën concept in origineel aangepast van Potting, Hekkert, Worrell, en Hanemaaijer (2017) en gevisualiseerd in de volgende tabel:

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			

Figuur 2: 9R-strategieën van de Circulaire Economie (Kirchherr et al. 2017, p. 224).

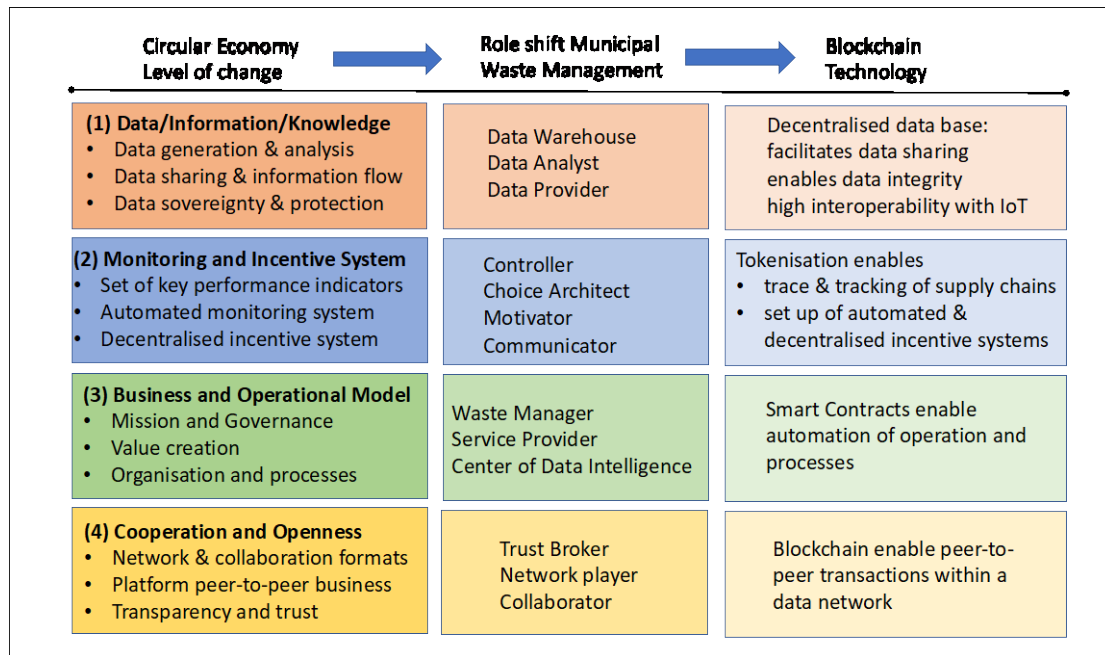
Volgens Potting et al. (2017) kunnen de 9R' strategieën worden gevisualiseerd in een diagram dat de samenwerking van verschillende stakeholders documenteert die nodig zijn in de waardeketen. Hier wordt nogmaals duidelijk hoezeer de Circulaire Economie verschilt van het eerdere lineaire economische model van toeleveringsketens en hoe de complexiteit van materiaalstromen toeneemt door de veelheid aan verbindingen tussen de actoren.



Figuur 3: Circulariteitsstrategieën en de rol van actoren binnen de productieketen (Potting et al. 2017, p. 16)

Deze ontwikkeling is al lang aangekondigd door recycling- en hergebruikslussen die in lineaire afvalketens werden ingepast. In de nieuwe afvalwereld zullen deze "lussen" en vooral het beheer ervan niet langer een van de vele zijn, maar de hoofdactiviteit van gemeentelijke afvalbeheerorganisaties worden.

In het kader van de Circulaire Economie ligt de focus van afvalbeheerorganisaties niet langer op verwijdering, maar op kringloopbeheer, modellering, controle en waardecreatie. Gemeentelijk afvalbeheer bevindt zich in het hart van de Circulaire Economie omdat het de afvalstromen verzamelt die door burgers en lokale bedrijven worden geproduceerd. Deze afvalstromen moeten in de toekomst aanzienlijk worden verminderd, omgeleid en verwerkt door middel van preventie, hergebruik, reparatie en recycling. De rol van de gemeentelijke afvaldienst bestaat erin te beslissen of een product of stof wordt hergebruikt, gerepareerd, in zijn geheel wordt gerecycled, in zijn onderdelen wordt ontmanteld om waardevolle hulpbronnen te recyclen of tot grondstoffen wordt verwerkt. Gemeentelijke afvaldiensten blijven het afval inzamelen, maar zullen ook en vooral optreden als distributeur van grondstoffen en waardevolle voorwerpen aan marktdeelnemers voor secundair gebruik, voor secundaire recycling, voor reparatie. Deze rol van distributieknooppunt die een nauwe interactie vereist met dienstverleners, productfabrikanten, producenten van reserveonderdelen en energieproducenten wordt geïllustreerd in figuur 3. Alle cycli van hergebruik, terugwinning en recycling lopen via gemeentelijke afvalbeheerorganisaties als afvalinzamelaars die een toegangspoort vormen tot waardeketens die in de circulaire economie ontstaan. Het succes van de transformatie van een lineaire naar een circulaire economie hangt grotendeels af van de prestaties van het gemeentelijk afvalbeheer.



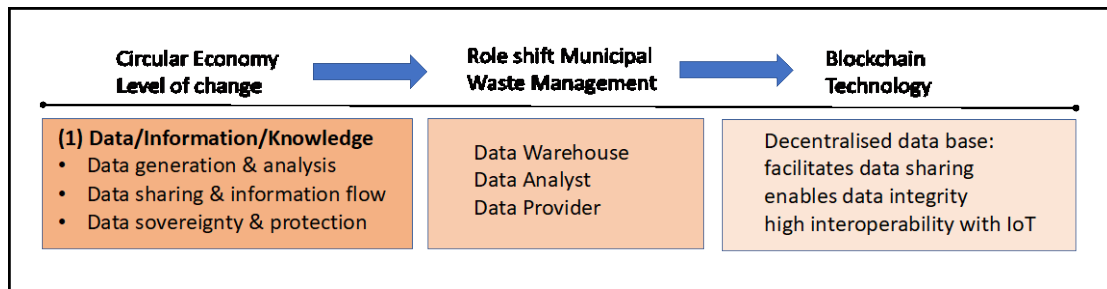
Figuur 4: Niveau van verandering - rolverschuiving MWM - Blockchain technologie (de auteurs)

De overgang naar een circulaire economie zet het huidige lineaire economische model op zijn kop. Deze systeemverandering vereist fundamentele veranderingen op verschillende niveaus van de economie, zoals weergegeven in figuur 4. Op niveau (1) bijvoorbeeld wordt het delen van gegevens, d.w.z. de informatiestroom en kennis over materiële en schaarse hulpbronnen in producten tussen verschillende belanghebbenden van de toeleverings- en afvalketen onontbeerlijk. Maar wie verzamelt, analyseert en verstrekt de gegevens over afval voor en aan andere belanghebbenden? Daarvoor moeten de gemeentelijke afvalbeheerbedrijven zorgen, die in de toekomst zullen optreden als data warehouses, data-analisten en dataleveranciers. Bijgevolg impliceert elk niveau van verandering in de verschillende categorieën van de Circulaire Economie een fundamentele verandering in de rollen en taken van de gemeentelijke afvalbeheerbedrijven. Het gebruik van de Blockchain speelt hierbij een centrale rol, omdat het de transformatie van een lineair naar een circulair economisch model vergemakkelijkt. Voor elk van de noodzakelijke veranderingen op de verschillende niveaus biedt het gebruik van Blockchain specifieke voordelen. Het gedecentraliseerde concept van de Blockchain maakt de noodzakelijke samenwerking tussen de vele belanghebbenden in de Circulaire Economie mogelijk.

In het onderstaande wordt elk niveau van verandering kort beschreven en worden de effecten op de taken van het gemeentelijk afvalbeheer geschetst. De focus ligt steeds op de bijdrage die het gebruik van Blockchain-technologie kan leveren aan het bereiken van de doelen van de Circulaire Economie.

2.2 Gegevensbeheer gemeentelijk afval

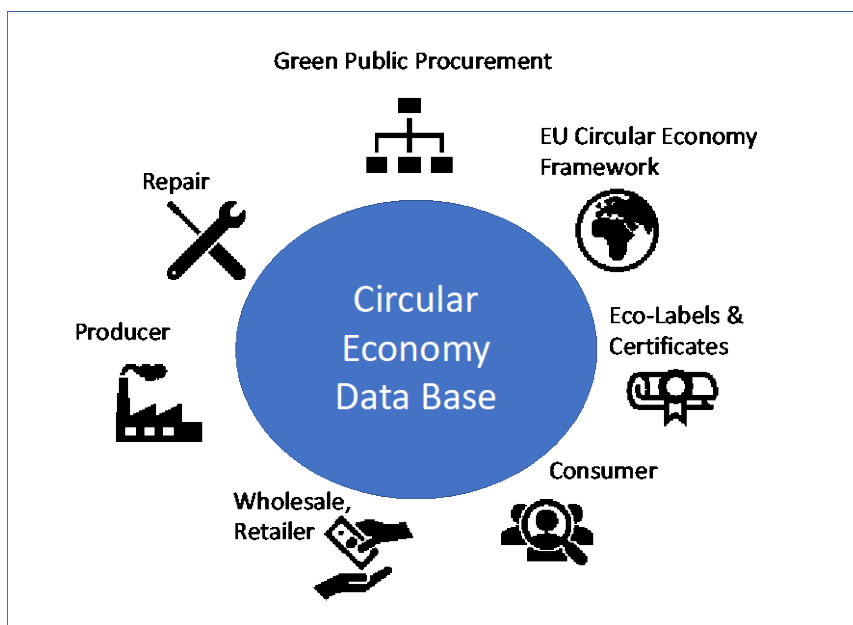
Hierna wordt het belang van de beschikbaarheid en het delen van gegevens en informatie voor de Circulaire Economie belicht en wordt de rol van de gemeentelijke afvalbeheersector als gegevensverstrekker geanalyseerd. Tot slot wordt de functie van de Blockchain als gedecentraliseerde databank belicht. Figuur 5 illustreert het traject naar een logische structurering van de veranderingsacties.



Figuur 5: MWM als gegevensverstrekker voor CE (de auteurs)

2.2.1 Circulaire economie vereist circulaire informatie

Afvalbeheer kan effectief zijn als alle belanghebbenden gegevens en informatie delen op hetzelfde platform, terwijl elk van hen de verschillende uitdagingen binnen elk ketenproces begrijpt. Elk waardeketenproces bestaat altijd uit drie stromen: de materiaalstroom, de tegenoverliggende betalingsstroom en de informatiestroom. De vlotte en efficiënt gestructureerde informatiestroom tussen de deelnemers aan de procesketen is het belangrijkste. Als de informatiestroom wordt belemmerd omdat er geen automatische interfaces zijn tussen de datasilo's van de bedrijven of omdat mediabreuken de informatieketen vertragen, zullen er dure vertragingen en fouten optreden in de materiaalstroom en de betalingsstroom. Bovendien zullen de controlekosten enorm zijn, want als er geen informatiebeveiliging is over het verloop van het proces in lange leveringsketens, zal een permanente controle van de status quo noodzakelijk zijn. Als materialen in de toekomst in de cyclus moeten stromen, is het noodzakelijk dat de informatiestroom ook de cyclus volgt.



Figuur 6: Circulaire economie vereist circulaire informatiestroom (de auteurs)

Producenten moeten weten wanneer en hoeveel van welk gerecycleerd materiaal terugstroomt van de gemeentelijke afvalverwerking naar hun productie om just-in-time-planning mogelijk te maken. Groot- en detailhandelaren die in de toekomst ook recycleerbare producten zullen aanbieden, zullen ook informatie willen over de levering en opslag van deze

producten. De consumenten moeten door de producenten worden geïnformeerd over de levensduur van de producten en hun milieuvriendelijkheid. Bovendien moeten consumenten, producenten en detailhandelaren in de toekomst worden geïnformeerd over hoeveel afval en welke categorieën zij hebben uitgestoten, zodat zij de vergoedingen kunnen berekenen op basis van de werkelijke afvalproductie. De plaatselijke reparatiebedrijven zouden door de producenten geïnformeerd willen worden over reparatie-instructies en over de aanschaf van de nodige reserveonderdelen. De EU wil een rapportagekader voor de circulaire economie opzetten om de processen te controleren en heeft dus relevante gegevens en informatie nodig.

De beoordeling van het milieueffect van producten door milieukeuren en externe "beoordelingsbureaus" vereist ook een betrouwbare gegevensbron. Dit geldt ook voor groene overheidsopdrachten, waarvoor eveneens betrouwbare gegevens nodig zijn.

2.2.2 Geen openbaarmaking van informatie zonder gegevensintegriteit en gegevensbescherming

Transparantie en gegevensuitwisseling gaan echter gepaard met het risico dat de privacy wordt geschonden, bedrijfsgeheimen worden gestolen of de veiligheid van de eigen databank in gevaar komt (cyberveiligheid), vooral omdat het verstrekken van gegevens voor het desbetreffende doel en de overdracht ervan via automatische gegevensinterfaces gepaard gaat met aanzienlijke inspanningen. Sommige huidige bedrijfsmodellen zijn uitsluitend gebaseerd op informatieasymmetrie tussen marktdeelnemers en zouden in de toekomst moeilijk kunnen overleven.

De effecten van informatieasymmetrie zijn ook duidelijk aan de ontvangende kant van de gegevens. Kan de ontvanger van de gegevens, zij het de consument, het recyclingbedrijf, enz. erop vertrouwen dat de productgegevens echt, geloofwaardig en actueel zijn, en afkomstig van de producent als bron? Hoe kan worden aangetoond dat de gegevens integer en geldig zijn? Gegevensintegriteit moet de consistentie, volledigheid, nauwkeurigheid en geldigheid van gegevens gedurende de gehele bewaarperiode waarborgen. Alle gegevenswijzigingen moeten op traceerbare wijze worden gedocumenteerd, zodat gegevens niet ongemerkt of zonder toestemming kunnen worden gewijzigd of gemanipuleerd.

Uit interviews met bedrijven over de invoering van een materieel paspoort blijkt dat bedrijven controle over hun gegevens willen. Met andere woorden, zij willen de soeverein zijn over hun gegevens en zelf bepalen wie toegang heeft tot hun gegevens, op welk moment en in welke mate. Bovendien mag niet elke partner in de toeleverings- en afvalketen volledige toegang hebben tot alle gegevens, en moet vooral de toegang tot gevoelige bedrijfsgegevens beperkt blijven. Ook hier rijzen de juridische vragen rond aansprakelijkheid voor misbruik/misbruik van gegevens en het documenteren wie op welk moment toegang had tot welke gegevensrecords (Rudolphi, 2018).

Momenteel wordt het gebrek aan vertrouwen in het delen van gegevens in het bedrijfsleven meestal aangepakt via juridische contracten zoals openbaarmakingsvereisten, die de ontvanger van de gegevens aansprakelijk stellen voor misbruik of openbaarmaking van de gegevens aan derden. Of anders worden publieke of private instellingen (toezichhoudende en regelgevende instellingen, accountants) tussenbeide gelaten als vertrouwensmakelaars die de gegevens controleren, certificeren, de toegangsrechten beheren en het gebruik ervan controleren (Verhulst, 2018). In de meeste gevallen worden webgebaseerde centrale

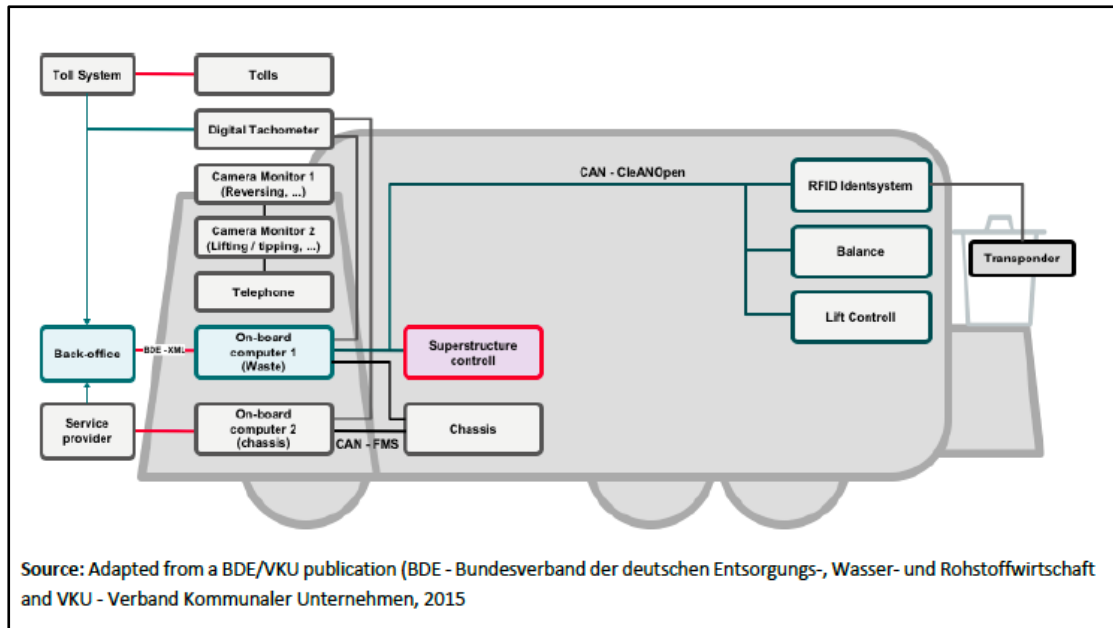
cloudoplossingen van IT-bedrijven gebruikt voor de databases, waardoor de vertrouwenslast met betrekking tot de integriteit en veiligheid van de gegevens naar de cloudprovider wordt verschoven. Vanuit het oogpunt van de consument zijn productlabels en certificaten van externe, producentonafhankelijke publieke en private instellingen bijzonder belangrijk om het vertrouwen in de geldigheid van producenteninformatie te vergroten. Uiteindelijk fungeren certificeringsinstanties ook als vertrouwensmakelaars tussen consumenten en producenten.

Deze oplossingen voor het fundamentele probleem van de informatie-asymmetrie hebben een en-tire industrie gecreëerd van accountants, testbedrijven, ratingbureaus, aanbieders van cloud-databases, wier centrale taak bestaat uit het registreren, controleren, testen en beheren van gegevens. Aan de overheidszijde wordt deze bureaucratische last weerspiegeld door een groeiend aantal overheidsinstellingen die belast zijn met toezicht en regelgeving op basis van een complex rechtssysteem. Ondanks deze aanzienlijke inspanning blijft het de vraag of een dergelijk systeem voldoet aan de eisen van de informatiestromen van een Circulaire Economie, gezien het enorme aantal deelnemers, de brede vertakking van aanvoeren en afvalketens, de dynamische processen en de daaruit voortvloeiende variabiliteit van de gegevens. De Blockchain als gedecentraliseerde databank zou kunnen fungeren als vertrouwensmakelaar tussen de betrokken belanghebbenden, zoals hieronder zal worden aangetoond.

2.2.3 Gegevensbeheer gemeentelijk afval

De vraag is Wie verzamelt en registreert gegevens in de Circulaire Economie. Uiteindelijk kan dit alleen worden gewaarborgd door het gemeentelijk afvalbeheer. Daar komen de gegevens binnen wanneer afval bij bedrijven en consumenten wordt ingezameld. Afvalwagens en slimme bakken worden uitgerust met een veelheid aan sensoren en verzamelen tijdens de inzameling een veelheid aan gegevens over afvalhoeveelheid, kwaliteit, locatie, route en vervuiler en slaan deze direct op in een database.

De illustratie van een vuilniswagen uitgerust met alle mogelijkheden van het gebruik van IoT-oplossingen geeft een uitstekend overzicht van de digitalisering van het afvalinzamelingsproces.



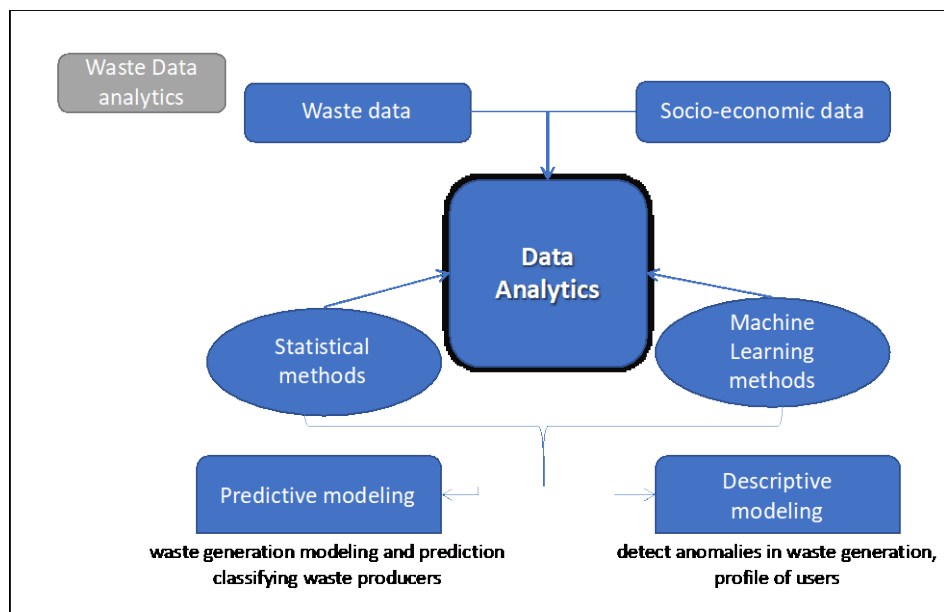
Figuur 7: IoT-oplossingen die moeten worden geïntegreerd in vuilniswagens (Berg en Sebestyén 2020, p. 22)

Voor een succesvolle implementatie van een op Blockchain gebaseerd afvalbeheersysteem is het een vereiste van de bevoegde autoriteiten dat het systeem gegevens verzamelt en analyseert over verschillende aspecten van afvalbeheer (operationeel, economisch, ecologisch en sociaal). Het kan daarbij gaan om inzameling, vervoer, behandeling, terugwinning van materiaal en energie en verwijdering. Door toepassing van geavanceerde digitale technologieën (Robotica, IoT, Data Analytics, Blockchain) kan een verschuiving naar een duurzaam materiaalbeheer tot stand worden gebracht die elke afvalbeheersector beïnvloedt. IoT zal bijvoorbeeld materiaal- en informatiestromen verbinden die nuttig kunnen zijn voor fabrikanten om nieuwe producten op te sporen, te monitoren, te controleren, te optimaliseren en uiteindelijk te leveren op basis van de concepten van de circulaire economie. Toenemende hoeveelheden afval, de klimaatcrisis en de uitgebreide producentenverantwoordelijkheid zijn de belangrijkste drijfveren voor een dergelijke verschuiving. Exploitanten moeten echter problemen aanpakken in verband met investeringskosten, het gebrek aan digitale geletterdheid en een digitaal ecosysteem, veiligheidsoverwegingen en de angst voor banenverlies. De huidige trend in afvalbeheerpraktijken die de nabije toekomst zal domineren, betreft de invoering van nieuwe bedrijfsmodellen zoals afvalhandelsplatforms, afvalspecifieke softwaresuites en bedrijfsanalyses. (Berg & Sebestyén, 2020).

Afvalinzamelingsactiviteiten spelen waarschijnlijk de belangrijkste rol in het hele proces, aangezien zij van invloed kunnen zijn op de daaropvolgende activiteiten van hergebruik, recycling en verwijdering (Bertanza, Ziliani, & Menoni, 2018). In alle gevallen moet elk van de bovengenoemde activiteiten worden aangepakt in overeenstemming met de prioriteiten die zijn overeengekomen in de Kaderrichtlijn afvalstoffen van de Europese Unie (EU) 2008/98/CE (Europese Unie, 2008) en de doelstellingen van de Europese Green Deal (Europese Commissie, 2019).

Voor de beoordeling van strategieën voor het beheer van vast stedelijk afval is er behoefte aan grote databanken, systematische gegevensverzameling en verschillende verwerkingsprocedures (Teixeira, Russo, Matos, & Bentes, 2014). Gegevens over afvalbeheer

worden beschouwd als cruciaal voor de uitvoering van passend beleid en planning voor lokale contexten (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018). In de meeste gevallen worden de gegevens in de huidige afvalbeheersystemen handmatig ingevoerd, waardoor de kans op fouten en onnauwkeurige informatie toeneemt. In een geavanceerd afvalinzamelingsysteem zullen echter slimme afvalbakken die zijn uitgerust met IoT-sensortechnologie die het afvalniveau in de bakken controleert en gegevens via internetdiensten naar een server doorstuurt, technologieën zoals RFID en GPS-sensoren die de locatie van een afvalinzamelingsvoertuig volgen, de belangrijkste gegevensbron zijn. Tonnen gegevens die op inzamelpunten worden gegenereerd, zijn in de meeste gevallen ongestructureerd. Met de juiste instrumenten voor gegevensanalyse zullen zij echter worden omgezet in zeer gestructureerde gegevens die kunnen worden verwerkt. Het vulniveau van een afvalbak, het niveau van de vluchtige organische stoffen (VOS), de temperatuur en de vochtigheid zijn belangrijke gegevens over de afvalproductie. Deze gegevens zullen, samen met gegevens over bevolkingsdichtheid, bestaande afvalstrategieën en -beleid, aantal en kenmerken van belanghebbenden en infrastructuren en ook de uitvoering van een gedetailleerde analyse van de afvalsamenstelling, informatie verschaffen aan beleidsmakers voor het bepalen van hun afvalbeheerstrategieën, bewustmakingsactiviteiten en motiveringsmaatregelen. (Yoo, Rhim, & Park, 2019; Zorpas, 2020). Volgens het ETC/WMGE-rapport (Berg & Sebestyén, 2020) "Data Analytics is het verwerken en analyseren van gegevens om patronen te identificeren, informatie te extraheren, trends te ontdekken of modellen te kalibreren". Data analytics omvat beschrijvende en voorspellende modellering met behulp van statistische en machinaal lerende methoden en technieken. Om precies te zijn kunnen boom-, neurale en evolutionaire algoritmen samen met het gebruik van het ivd nuttige informatie opleveren over een veelheid van factoren: profielen van belanghebbenden, anomalieën in de afvalproductie, classificatie van afvalproducenten, verbeterde logistiek dankzij geoptimaliseerde afvalinzamelingsroutes die onnodig verkeer verminderen, en de daaruit voortvloeiende luchtverontreiniging en de daarmee samenhangende kosten. (Anh Khoa et al., 2020).



Figuur 8: Hulpmiddelen voor afvalanalyse (de auteurs)

In het algemeen worden verbeteringen in het afvalinzamelings- en verwerkingsproces verwacht dankzij een geoptimaliseerde planning van middelen en routes, gegevensanalyse en

communicatie met burgers, consumenten en klanten. Aan de kant van de producenten kan recycling worden verbeterd door het gebruik van recyclaten te vergemakkelijken. Aan de kant van de consumenten kunnen verbeteringen worden aangebracht door betere aankoop- en sorteerbeoordelingen mogelijk te maken. Aan de kant van de recyclers zal de inkoop van afval worden verbeterd. Deze evolutie is in overeenstemming met de toekomstige focus van het afvalbeheer, die verschuift van afvalverwerking naar materiaalbeheer.

Geïndividualiseerde afvalgegevens zijn gevoelige gegevens over individueel consumentengedrag, die alleen in strikt geanonimiseerde vorm aan derden mogen worden doorgegeven, zodat er geen conclusies over de betrokkene kunnen worden getrokken. Burgers zullen zeker meer vertrouwen hebben in lokale gemeenten als overheidsinstanties dan in commerciële bedrijven als het gaat om gegevensbescherming. Ook voor bedrijven is gegevensbescherming, ook van bedrijfsspecifieke afvalgegevens, van absoluut belang om het bedrijfsgeheim te beschermen. In dit verband is het duidelijk dat niet iedere belanghebbende volledige toegang kan krijgen tot alle gegevens in de databank. Beperkte toegang in overeenstemming met het gegevensbeschermingsbeleid zal de norm zijn. Maar vanuit het oogpunt van efficiëntie is het veel kosteneffectiever om een gemeenschappelijke openbare gegevensbank op te zetten dan om een afzonderlijke gegevensbank (silo) te creëren voor de bovengenoemde doeleinden. Voor de lokale gemeenschappen en de lokale stroomafwaartse autoriteiten, d.w.z. de publieke sector, zorgt het gemeentelijk afvalbeheer voor de analyse van lokale afvalgegevens en de rapportage. In ruil daarvoor gebruiken particuliere belanghebbenden hun eigen analyse-instrumenten via geautomatiseerde interfaces met de databank.

2.2.4 Blockchain vergemakkelijkt het delen van gegevens in de circulaire economie

Een van de kernvragen van duurzaam ondernemen is hoe vertrouwen tussen onbekende partijen tot stand kan worden gebracht om transacties mogelijk te maken. Dit werd tot dusver mogelijk gemaakt door tussenpersonen die optreden als vertrouwensmakelaars, wier rol echter leidt tot een toename van de transactiekosten en de markten minder efficiënt maakt. Blockchaintechnologie kan helpen het noodzakelijke vertrouwensniveau en dus de transactiekosten voor de bij de transactie betrokken partijen te minimaliseren, bijvoorbeeld door de afhankelijkheid van tussenpersonen te verminderen.

Zoals Verhulst (2018) schrijft: In de kern zijn Blockchain-technologieën een nieuw type openbaarmakingsmechanisme dat het potentieel heeft om enkele van de hierboven genoemde informatie-asymmetrieën aan te pakken. Door gebruik te maken van een gedeelde en geverifieerde database van grootboeken die zijn opgeslagen in een gedistribueerde manier, probeert Blockchain informatie-ecosystemen op een meer transparante, onveranderlijke en vertrouwde manier opnieuw vorm te geven. Het oplossen van informatieasymmetrieën is wellicht het echte potentieel van Blockchain, en dit is - veel meer dan de huidige hype rond virtuele valuta's - de echte reden om het potentieel ervan te beoordelen.

Een Blockchain is een openbaar, onveranderlijk, gedistribueerd grootboek voor het opslaan van gegevens en het vastleggen van transacties.

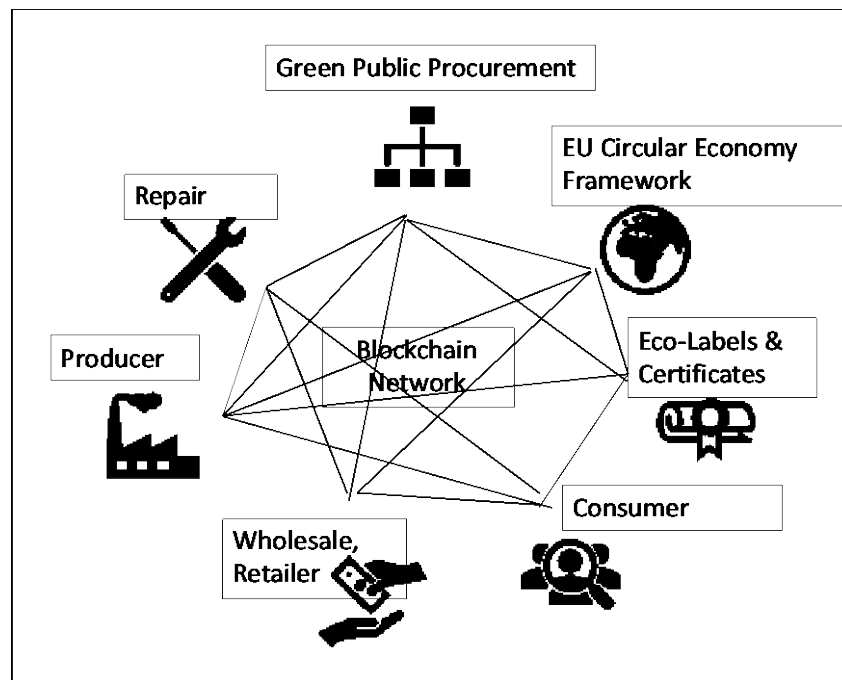
- In het algemeen kan een "grootboek" worden gedefinieerd als een database waarin transacties in chronologische volgorde worden geregistreerd met behulp van een tijdstempel. Een bankklant ziet het grootboek van zijn bankrekening wanneer hij

transacties (in- en uitgaande kasstromen) controleert via het portaal voor internetbankieren. Dit is echter een enkel privé-grootboek, want alleen de accountant van de bank kan het grootboek wijzigen.

- Een "openbaar" grootboek is toegankelijk voor alle deelnemers van een netwerk en allen hebben gelijke rechten zonder dat er hiërarchieën bestaan. Er is niet één beheerder die het exclusieve recht heeft de toestand van het grootboek te veranderen door nieuwe transacties op te nemen. In een gedistribueerd grootboek kan elke netwerkdeelnemer de volledige lijst van transacties (volledige geschiedenis) downloaden en heeft hij het recht het grootboek te lezen, gegevens toe te voegen en op te slaan.
- "Onveranderlijk" betekent dat wanneer de gegevens van een Blockchain eenmaal zijn opgeslagen en versleuteld, het vrijwel onmogelijk is om ze daarna nog te veranderen of te verwijderen. Het is dus alleen mogelijk om nieuwe gegevens toe te voegen.
- "Gedistribueerd" betekent dat een openbare Blockchain niet onderworpen is aan de controle van één deelnemer of één organisatie. In plaats daarvan beheert en beveiligt het netwerk (d.w.z. de totaliteit van alle deelnemers) de gegevens, en slaat elke deelnemer in principe een volledige kopie van alle gegevens op.

De kerncomponenten van een Blockchain bestaan regelmatig uit een combinatie van cryptografie, peer-to-peer netwerktechnologie, consensusmechanismen, grootboek en een reeks regels om geldige transacties vast te stellen. Een Blockchain is dus een gedistribueerde, state-of-the-art tamper-proof digitale datastructuur die gebruikt kan worden om allerlei soorten waardevolle gegevens op te slaan. Een van de belangrijkste kenmerken van Blockchains is dat er geen centrale autoriteit is die moet worden vertrouwd (zoals bij cloud computing) en dat elke individuele deelnemer aan een Blockchain-netwerk elke individuele transactie zelf kan controleren en valideren vanaf het begin van de records. Deze transparantie moet een afschrikkend effect hebben op wangedrag en het mogelijk maken om te allen tijde zonder reden controles uit te voeren. De Blockchain vereist dus geen vertrouwen in een tussenpersoon, aangezien de deelnemers zelf het vertrouwen kunnen vaststellen (BaFin, 2018).

Blockchain-technologie is bij uitstek geschikt om te dienen als een gedeeld datanetwerk voor de opslag en overdracht van gegevens tussen een groot aantal netwerkdeelnemers, waardoor informatieasymmetrie wordt overwonnen en tevens een gedecentraliseerde stimuleringsstructuur tot stand wordt gebracht. De term "openbare infrastructuur" past hier het best voor de op stimulansen gebaseerde en gecontroleerde uitwisseling van gegevens die de voorwaarde is voor het functioneren van de circulaire economie.



Figuur 9: Op blockchain gebaseerde informatiestroom (de auteurs)

Circulaire materiaalstromen vereisen een gedecentraliseerde informatiestroom tussen belanghebbenden. De basisvoorwaarde voor een circulaire materiaalstroom is een decentraal georganiseerde informatiestroom binnen een netwerk van belanghebbenden. Dit is precies wat de Blockchain kan doen. De gedecentraliseerde organisatie van het netwerk heeft twee doorslaggevende voordelen: Gezien het enorme aantal deelnemers is het een illusie te geloven dat een centrale database, met gecentraliseerd beheer, altijd up-to-date kan zijn of zelfs de massa gegevens die zich ophoopt efficiënt kan verwerken. In dit opzicht is het gedecentraliseerde karakter van het netwerk, in die zin dat elke individuele belanghebbende verantwoordelijk is voor het invoeren van de gegevens en daarvoor ook aansprakelijk kan worden gesteld, de meest efficiënte vorm om de informatiestroom te organiseren. Het stelt alle actoren in de toeleverings- en afvalketen, ongeacht hun relatie, in staat gemakkelijk, snel en veilig gegevens uit te wisselen, waardoor de handel voor alle partijen wordt geoptimaliseerd. Netwerkpaden zijn niet vooraf gedefinieerd maar ontwikkelen zich dynamisch, zodat elke deelnemer zijn informatie-uitwisseling op een zelfbepaalde manier kan vormgeven. Het gedecentraliseerde karakter van Blockchain-netwerken vereist geen centrale autoriteit voor de uitwisseling van informatie en digitale waarden. Peers zijn in staat om op eigen initiatief informatie en waarden te leveren en uit te wisselen.

2.2.5 Blockchain ondersteunt zelfsovereiniteit van identiteit en integriteit van gegevens

Dit gedecentraliseerde concept gaat gepaard met de soevereiniteit van identiteit en privégegevens. Het identiteitsbewijs, de kennis over wie een betrokkene is, is essentieel voor elke contractuele relatie in onze samenleving. Het identiteitsbewijs berust op persoonlijke informatie zoals naam, geboortedatum, vingerafdrukken, paspoortnummer, bankrekening enz. De contractpartijen moeten 100% zeker zijn van de identiteit van de tegenpartij en hun aansprakelijkheid in geval van contractbreuk. Identiteitsdiefstal en misbruik van persoonsgegevens door hackers vormen een groot risico. In het huidige systeem wordt het

bewijs van de identiteit van personen geleverd door organisaties, overheidsdiensten en bedrijven. De Blockchain volgt een gedecentraliseerd concept van identificatie: Iedere deelnemer aan het netwerk is de soeverein van zijn digitale identificatie en zijn gegevens.

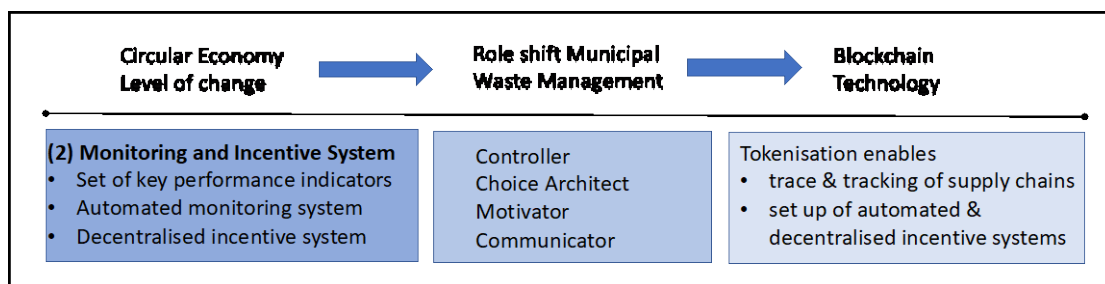
De privégegevens en de attributen ervan zijn eigendom van en worden gecontroleerd door individuen en door hen opgeslagen in een digitale kluis en kunnen gedeeltelijk of volledig, tijdelijk of permanent en voor beperkt of onbeperkt gebruik worden gedeeld met andere netwerkpeers via een openbare sleutel. Elke toegang van een derde tot de privégegevensbank wordt geregistreerd, geregistreerd en van een tijdstempel voorzien. Het concept van de zelfbeschikking omvat het recht op gegevensportabiliteit, d.w.z. het meenemen van persoonsgegevens van de ene organisatie naar een andere of naar een privé-opslagplaats (Lenz, 2019b, p. 22).

Dit aspect van controle over de eigen gegevens lijkt vooral voor bedrijven van groot belang bij het verstrekken van productinformatie (Rudolphi, 2018). Narayan en Tidström (2020) suggereren de levering van productinformatie zelf als een product te beschouwen. Het recyclingbedrijf heeft een economisch voordeel van de exacte informatie van de producent over de in het product gebruikte recycleerbare materialen. Hetzelfde geldt voor een extern bedrijf dat de producten repareert, dat economisch voordeel haalt uit nauwkeurige reparatie-instructies. Productinformatie vertegenwoordigt dus een digitale waarde en de rechten om de productinformatie te gebruiken zouden als tokens via de Blockchain kunnen worden verkocht.

Door productinformatie om te zetten in openlijk beschikbare en toegankelijke tokens in de Blockchain, zou niet informatie en kennis als zodanig, maar het vermogen om de informatie te gebruiken centraal staan bij het creëren van waarde. Bedrijven zouden gemakkelijk de herkomst van informatie en geschikte samenwerkingspartners kunnen identificeren om waardecreatie te bevorderen. (Narayan & Tidström, 2020)

2.3 Municipal Waste Manager - een keuzearchitect voor besluitvorming

Hierna wordt het belang van het opzetten van een slim controle- en stimuleringsysteem voor elke stakeholder van de Circulaire Economie belicht en wordt de rol van het gemeentelijk afvalbeheer hierin geanalyseerd. Aangezien de Blockchain de overdracht van digitale waarden in de vorm van tokens mogelijk maakt, zou dit het opzetten van een dergelijk monitoring- en stimuleringsysteem kunnen vergemakkelijken. Figuur 9 toont de weg naar de logische structuur van de volgende analyse.



Figuur 10: MWM als keuzearchitect voor besluitvorming (de auteurs)

2.3.1 Circulaire economie heeft slim systeem van gedecentraliseerde stimulansen nodig

Het economische model van de circulaire economie vormt een duidelijke breuk met het huidige lineaire model. Als het goed wordt uitgevoerd, zal de levensduur van producten aanzienlijk toenemen en zal de industrie worden gestimuleerd om duurzame en hoogwaardige goederen te produceren. De industrie moet afstappen van kortetermijngerichte opschaling van massaproductie als bron van winst. Meer inkomsten en winst worden gegenereerd uit de verkoop van lagere volumes van hogere kwaliteit en een hoger rendement per product. De marketing van bedrijven zal dienovereenkomstig veranderen en niet langer beloningen of kortingen toekennen aan klanten die zoveel mogelijk kopen ("koop vier voor de prijs van drie"). De nadruk zal komen te liggen op het benadrukken van de voordelen voor de klant die aansluiten bij de behoeften en voorkeuren van de klant. Klanten worden niet in de eerste plaats aangemoedigd om tien paar schoenen te kopen, maar minder paar van hoge kwaliteit. In de Circulaire Economie kan de aankoop van gloednieuwe producten op de tweede plaats komen, omdat dit het verbruik van nieuwe grondstoffen met zich meebrengt. Een voordeel wordt gezien in het besparen van grondstoffen, het kopen van tweedehands producten of het laten repareren van kapotte producten. Als het een nieuw product moet zijn, dan moet het een product zijn met een hoog percentage gerecycled materiaal.

Dit roept inderdaad herinneringen op aan verhalen van grootouders over de tijd na de Tweede Wereldoorlog, toen de productiecapaciteit was vernietigd en veel materialen en producten niet beschikbaar of niet betaalbaar waren. Mensen werden gedwongen te waarderen wat beschikbaar was en er zuinig mee om te gaan. Net als nu bij de afvalpiramide lag de nadruk toen op het vermijden van weggooiën, op hergebruik en reparatie van producten. In die tijd was het echter geen vrije keuze van burgers, maar een pure noodzaak om, vanwege aanbodschaarste, te kiezen voor tweedehands producten. Vandaag is dat anders. Burgers kunnen vrij kiezen en worden voortdurend gestimuleerd om nieuwe en meer producten te kopen. De meeste bedrijfsmodellen zijn gebaseerd op het principe van schaalvoordelen door het verkoopvolume te verhogen en de kosten per eenheid te verlagen.

Het huidige economische systeem is gebaseerd op het beginsel dat meer transacties tot meer winst leiden. Om dit principe om te keren, zodat uiteindelijk minder transacties tot meer winst leiden, is een sterk stimuleringsstelsel nodig dat belanghebbenden op alle niveaus in de toeleverings- en afvalketen motiveert om hun gedrag te veranderen. Als dit soort systeemverandering in een top-down (aanbod-en-bevel) benadering door een autoritaire overheid zou worden doorgevoerd, lijkt het natuurlijk gemakkelijk om de doelstellingen van een circulaire economie te bereiken, maar het is twijfelachtig of dit proces duurzame resultaten oplevert. In een markteconomie en een democratische omgeving zal alleen een gedecentraliseerde aanpak, met een sterk stimuleringsstelsel in combinatie met transparantie, open informatie- en kennisstromen, die ieder individu zijn economische vrijheid garandeert, duurzame resultaten opleveren. Deze aanpak is niet uitsluitend gericht op de rationaliteit van de burgers, maar laat ook economische belangen en stimulansen toe. De optie van de circulaire economie moet met overtuiging worden gekozen, maar moet ook gericht zijn op de concrete belangen van de burgers, zodat zij voor alle betrokkenen als lonend wordt ervaren.

2.3.2 Gemeentelijke afvalbeheerder - een keuzearchitect voor gedragsverandering

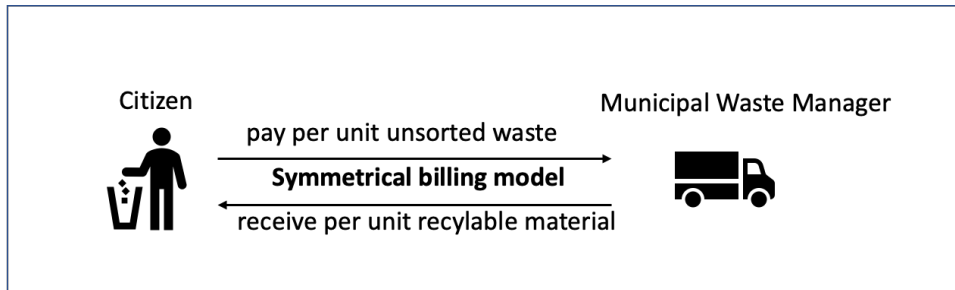
Niets is moeilijker dan iemands gedrag blijvend te veranderen. Om gedrag te veranderen, moet men weten waarom men het gedrag moet veranderen, naast het feit dat men de verantwoordelijkheid voor wangedrag bij een persoon persoonlijk moet leggen. Het vroegere gedrag moet als beslissingsoptie ongemakkelijk en/of duur worden, terwijl de beslissing om het gedrag te veranderen daarentegen volkomen gemakkelijk, vrij van ongemak en economisch gunstiger moet zijn. In de woorden van Richard Thaler (Thaler, Sunstein, & Balz, 2013) is de gemeente de architect van de beslissingssituatie van een burger met betrekking tot het kopen van een nieuw product in zware of lichte verpakking of het blijven gebruiken van het oude product, het repareren van het oude product, het kopen van een hergebruikt product of het weggooien en het scheiden van recycleerbaar materiaal. Helaas wordt de beslissingssituatie vaak niet alleen beïnvloed door het plaatselijke afvalverwerkingsbedrijf, maar ook door een aantal andere beslissingsarchitecten, die vaak tegenstanders blijken te zijn (bijvoorbeeld marketing).

De wijze waarop een gemeente de beslissingssituatie van een burger vormgeeft, heeft echter enige invloed. In veel EU-landen betalen burgers nog steeds een soort vast bedrag aan hun gemeente voor het ophalen en afvoeren van afval. Deze vergoeding hangt vaak af van de grootte van het huis of de flat en het aantal bewoners. Aangezien zwerfvuil negatieve maatschappelijke kosten met zich meebrengt, betekent deze vergoeding dat de burger nul marginale kosten betaalt voor een toenemende hoeveelheid zwerfvuil. Zoals Messina en Tomasi (2020) stellen, *bepaalt/leidt deze "wanverhouding tussen individuele en maatschappelijke kosten tot een buitensporige afvalproductie en bijgevolg tot een inefficiënte toewijzing van overheidsmiddelen"*. Het Pay-as-you throw (PAYT) tariefmodel is daarentegen ontworpen om elke extra eenheid afval te beprijzen en *"de individuele marginale kosten worden afgestemd op de maatschappelijke kosten, met als voordeel een vermindering van de hoeveelheid geproduceerd afval en een grotere geneigdheid om te recyclen"*.

Uit empirisch onderzoek van Messina en Tomasi (2020) en Kinnaman (2006) blijkt dat de invoering van het omslagstelsel het gedrag van de gebruikers aanzienlijk beïnvloedt: het totale afval daalt en het ongescheiden afval halveert bijna. De totale kosten van de gemeenten die op het omslagstelsel overstappen, dalen met ruwweg 10-20% in kapitaal, wat neerkomt op een vermindering met een derde van de kosten voor het beheer van niet-gescheiden afval.

Twee aspecten lijken in het bijzonder van belang bij de invoering van het "pay-as-you-throw"-systeem: Ten eerste kan de hoeveelheid geproduceerd afval rechtstreeks worden toegewezen aan het individuele huishouden of de respectieve burger door middel van sensoren in de afvalbak en op de vuilniswagen. Dit maakt de consument verantwoordelijk voor zijn daden en vermindert het gevaar van moral hazard of meeliften ten koste van de gemeenschap. Ten tweede moet het pay-as-you-throw-systeem symmetrischer worden opgezet, in die zin dat de burger ook een aandeel moet hebben in de winst van zijn afvalbeheerbedrijf via een statiegeld- of terugbetalingssysteem voor gerecycleerde materialen. Dit betekent dat het PAYT-systeem wordt aangevuld met een pay-and-receive-as-you-throw-systeem. Hier zou de gemeentelijke afvalbeheerder enerzijds zijn kosten voor de verdere verwerking van het ongesorteerde restafval en anderzijds zijn inkomsten uit de verkoop van het gescheiden recycleerbare materiaal bekend moeten maken. Burgers zouden op hun beurt dienovereenkomstig in de kosten (betalen) en opbrengsten (ontvangen) moeten participeren. Afval wordt zo een verhandelbare grondstof en een object van handelstransactie tussen

burgers en gemeente, die door haar symmetrie wellicht meer acceptatie bij de burgers zal vinden.



Figuur 11: Pay-and-Receive-as-you-throw model (de auteurs)

Uiteraard bestaat bij dit model het risico dat burgers meer restafval als recycleerbaar afval opgeven om hun kosten-batenverhouding te verbeteren. Voor slecht gescheiden recycleerbaar afval, vooral organisch afval, ontvangt de gemeente geen of minder inkomsten. Een ander risico van het model "de vervuiler betaalt" is dat het illegaal storten van afval in de natuur of het "afvaltoerisme" kan toenemen.

In dit verband moet het economische stimuleringsstelsel worden ondersteund door gerichte communicatie en gedragseconomische elementen. Om inzicht te krijgen in de besluitvormingssituatie van burgers moeten afvalgegevens ook persoonlijke gegevens bevatten, zodat op profielen gebaseerde communicatie en nudging van burgers mogelijk is. Het is belangrijk dat burgers na de afvalinzameling via SMS of boodschappers regelmatig worden benaderd met communicatie en informatie over mogelijkheden om afval te vermijden, afval correct te scheiden en onmiddellijk feedback te krijgen over het individueel geproduceerde volume en de scheidingskwaliteit. Met behulp van een op een vrachtwagen geïnstalleerde afvalscanner kan de scheidingskwaliteit worden gemeten wanneer een afvalbak wordt geleegd. Eenzelfde aanpak, stimulerings- en communicatieconcept zal niet voor alle groepen burgers effectief zijn, maar kennis over burgers stelt een gemeente in staat om groepen te segmenteren. Sommige burgers kunnen ook worden gemotiveerd door gamification of beloningsconcepten zoals gratis gebruik van openbare diensten (theater, zwembad, lokaal vervoer enz.). Gemeentelijke afvalmanagers worden zo keuzearchitecten van beslissingen van burgers over afval, maar in de geest van Thaler et al. (2013) moeten burgers altijd openlijk geïnformeerd worden over nudging-inspanningen.

2.3.3 Blockchain maakt stimulering door tokenization mogelijk

De Distributed Ledger Technology stelt peers in staat om zonder tussenpersonen en zonder het gebruik van platforms op een veilige en betrouwbare manier digitale activa uit te wisselen. Binnen het nieuwe Internet van Waarde berusten een uitwisseling van waarden, een legitimiteitscontrole van een eigendomsvergunning, een bewijs van identiteit en een toestemming voor een transactie om van eigenaar te veranderen volledig op de verantwoordelijkheid van peers en worden zij op gedecentraliseerde wijze binnen het netwerk uitgevoerd zonder gebruikmaking van een centrale autoriteit.

Een token is de digitale weergave van een waarde die rechtstreeks kan worden uitgewisseld tussen belanghebbenden. Tokens kunnen een gebruiksrecht (utility token) of activa (asset token) of betaalmiddelen (payment token) vertegenwoordigen. Tokens kunnen idealiter

worden gebruikt als stimuleringsmechanismen voor het belonen van gedragsverandering in de richting van de circulaire economie.

Als een producent bijvoorbeeld kennis over zijn product als materiaalpaspoort uitwisselt met een recycler of hersteller, heeft dit een economisch voordeel voor de ontvangers van de kennis. In ruil voor het verstrekken van specifieke kennis zou de producent dus rechtstreeks, peer-to-peer, via een betalingstoken betaald kunnen worden, zonder tussenkomst van een bank.

Een markteconomie is gebaseerd op een veelheid van gedecentraliseerde economische beslissingen die worden genomen op basis van prikkels. De overgang van het lineaire economische systeem naar de Circulaire Economie kan niet top-down worden georganiseerd, maar vereist een slim ontwerp van economische prikkels voor marktdeelnemers. Met tokens kunnen peer-to-peer gebaseerde stimuleringsystemen voor een netwerk van Blockchain-deelnemers uiterst efficiënt en op maat van elke toepassing worden ontworpen.

Zoals PwC (2018) schrijft in haar rapport: "Het stimuleren van circulaire economieën: Blockchain zou de manier waarop materialen en natuurlijke hulpbronnen worden gewaardeerd en verhandeld fundamenteel kunnen veranderen, door individuen, bedrijven en overheden te stimuleren om financiële waarde te ontsluiten uit dingen die momenteel worden verspild, weggegooid of behandeld als economisch onbetaalbaar. Dit zou een wijdverspreide gedragsverandering teweeg kunnen brengen en een echte Circulaire Economie helpen realiseren."

2.3.4 Blockchain gebruiken om productlevenscycli te traceren en te volgen

Blockchaintechnologie verhoogt de transparantie in de toeleveringsketen van producten, aangezien elk onderdeel van een eindproduct in chronologische volgorde kan worden gevolgd vanaf de oorsprong tot het uiteindelijke verkooppunt. Zelfs gegevens zoals de duur van het gebruik door een klant en de kosten van afval zouden kunnen worden geregistreerd. De volledige informatie over de levenscyclus van een product zou kunnen worden verrijkt met aanvullende gegevens over de milieukosten van de productie door gebruik te maken van sensoren en camera's met hun eigen netwerk-ID's. Op die manier zouden monetaire waarden zoals de prijs van een product of de winst van een onderneming duidelijk kunnen worden gekoppeld aan waarden van natuurlijk kapitaal en milieukosten. Gedistribueerde grootboektechnologie zou een hulpmiddel kunnen zijn voor een op duurzaamheid gebaseerde waardeboekhouding.

In zekere zin maakt Blockchain-technologie het mogelijk de nominale sfeer van boekhouding en waarde te herenigen met de fysieke wereld van de goederenhandel in de toeleveringsketen. De decentralisatie van beide systemen zal de complexiteit van de boekhouding radicaal verminderen en daarmee de kosten van toezicht en controle.

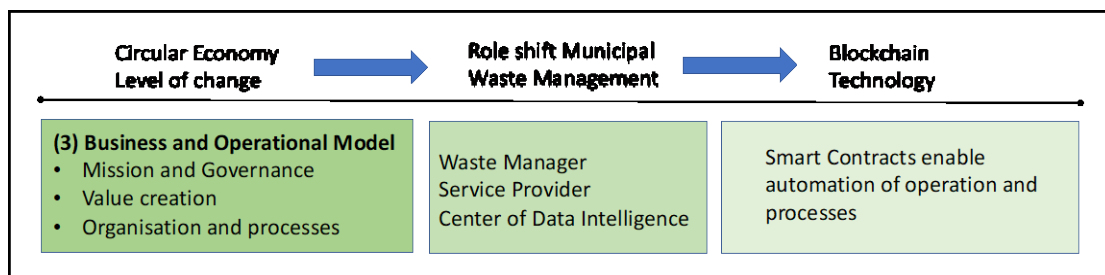
Zoals IBM (2017, p. 5) schrijft over een "Message-based versus state-based communicatie": *"Vandaag de dag sturen organisaties berichten heen en weer om verschillende taken te volbrengen, waarbij elke organisatie zijn staat van de taak lokaal onderhoudt. Op Blockchains vertegenwoordigen berichten de gedeelde staat van de taak, waarbij elk bericht de taak naar de volgende staat in zijn levenscyclus brengt. Blockchains verschuiven het paradigma van informatie in het bezit van één eigenaar naar een gedeelde levenslange geschiedenis van een*

goed of transactie. In plaats van op berichten gebaseerde communicatie is het nieuwe paradigma op staten gebaseerd."

De uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (EPR) vereist dat producenten betalen voor het beheer aan het einde van de levensduur van een product en de verpakking die zij op de markt brengen. De Blockchain-toepassing zou het mogelijk maken om met minder bureaucratische inspanningen na te gaan of de vergoedingen van een producent werkelijk de kosten voor afvalverwerking dekken, en bovendien zou hiermee een stimuleringsmechanisme kunnen worden gecombineerd: Minder verpakking, minder afval, langere gebruikstijden, enz. zouden lagere kosten voor een producent moeten betekenen.

2.4 Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer

De overgang naar een circulaire economie impliceert het einde van massaproductie en bedrijfsmodellen die louter gebaseerd zijn op een vermindering van de kosten per eenheid. In een circulaire economie gaan waardecreatie en duurzaamheid hand in hand. Niet-duurzame bedrijfsmodellen verliezen waarde en duurzame activiteiten winnen waarde. De herschikking van het waardesysteem wordt weerspiegeld door een verandering in de missies, het zelfbegrip en de organisatie van bedrijven. De veranderde taken en uitdagingen (rolverschuiving) impliceren een nieuwe oriëntatie zowel in de organisatie als in de missie van gemeentelijk vast afvalbeheer. Zoals bij elke digitale transformatie is niet de software of IT bepalend voor het succes, maar de heroriëntatie van een organisatie, haar processen en mensen. De Blockchain kan hier een substantiële bijdrage leveren, enerzijds bij het automatiseren van processen met behulp van smart contracts, anderzijds bij de interactie met bestaande IoT-oplossingen. Figuur 12 toont de weg naar de logische structuur van de volgende analyse.



Figuur 12: Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer (de auteurs)

2.4.1 Waardecreatie van MGO in de circulaire economie

Enerzijds vloeit de waardepropositie van MGO's voort uit de levering van middelen en verhandelbare producten die worden gegenereerd uit door gegevens beheerste stofstromen die in een netwerkeconomie circuleren. Dit schept zakelijke kansen voor dienstverleners en zorgt zo voor "trickling down"-effecten in termen van het scheppen van banen en welvaart. Dit voorstel is vooral gericht op zakelijke klanten. Afhankelijk van het gebruikte distributiekanaal kan deze propositie worden gezien als een Producent of een Merchant model in de typologie van Michael Rappa (Michael Rappa, 2010).

Anderzijds leveren de MGO's een aanzienlijke bijdrage aan de behoeften van de burgers inzake het opruimen van hun containers en de toegang tot hun afvalgegevens, en in veel globalere zin, aan een veilig en schoon milieu door een vermindering van de milieueffecten

en een hoge kwaliteit van de geleverde goederen. Het eerste aspect wordt door Michael Rappa (Michael Rappa, 2010) gekarakteriseerd als een abonnementsmodel.

Tot voor kort waren de kwaliteitsnormen van de MGO's gericht op de ingezamelde en aan recyclers/hergebruikers of verbrandingseenheden verkochte hoeveelheden stoffen. Inkomsten werden, strikt genomen, meestal gegenereerd door activiteiten die resulteerden in een devaluatie van activa, waardevernietiging en verlies van hulpbronnen.

Als het succes en de prestatienormen van MGO's niet langer gebaseerd zijn op de hoeveelheid ingezameld en verwijderd afval, wat kan dan in de plaats komen van de meetcriteria van de "oude wereld"?

1. normen en indicatoren die de doelstellingen van de ruimere circulaire economie weerspiegelen, zoals circulatie van materialen, verlenging van de levenscyclus van producten, upcycling en herwaardering van recycleerbaar materiaal en betrokkenheid van burgers en belanghebbenden (zie punt 2.4 voor een gedetailleerder overzicht van de KPI's)
2. Vermindering van de hoeveelheid algemeen afval en verwijdering
3. Recycling- en afvalvermijdingsgedrag van burgers en hun gebruik van de datadiensten van MWM's
4. Traceerbaarheid en transparantie van huishoudelijk afval en recyclingstromen
5. Waarde gecreëerd uit digitaal ingedeelde afvalstromen
6. Door MWMO's gecreëerde zakelijke kansen voor dienstverleners

Het spreekt voor zich dat een aantal van deze benchmarks, afhankelijk van de lokale contractuele aanpak, van toepassing kan zijn op activiteiten die door andere dienstverleners en actoren dan MGO's worden uitgevoerd.

2.4.2 Veranderingen in operaties en processen van MWM

De centrale rol van MGO's voor de circulaire economie ligt in drie factoren:

1. MWM's zijn onder meer de toegangspoort van de stofstromen die van huishoudens uitgaan.
2. Het zijn ook multistakeholder-knooppunten die alle gebruikers en dienstverleners in de sector afval- en stofstromen met elkaar verbinden.
3. MGO's zijn de belangrijkste verzamelaars, producenten en handelaren van gegevens die de afval-/waardestromen en het afvalgedrag van consumenten weerspiegelen en van goederen die hun levenscyclus doorlopen.

Deze multilaterale blootstelling aan en interactie met meerdere markten, cycli en belanghebbenden/doelgroepen leidt tot aanzienlijke complexiteit. Het vereist flexibele en transparante processen die alle betrokken partijen kunnen begrijpen of waarin zij kunnen participeren. Voor uiteenlopende processen als het aansporen van consumenten om het afvalvolume te verminderen, het kanaliseren van stofstromen naar recycling of upcycling, het sturen van goederen naar hergebruik of rehabilitatie, het analyseren van stromen naar waarde-inhoud, het genereren of verzamelen van afvalgegevens enz. zijn specifieke technologieën, communicatie, interactie en iteratiepatronen nodig. Dit vraagt om een ontmanteling van de oude silostructuren binnen MWM-organisaties, zodat de typische routines van het vroegere openbaar bestuur kunnen worden overwonnen en veranderd in moderne organisatievormen die worden gekenmerkt door netwerkorganisatie, platte

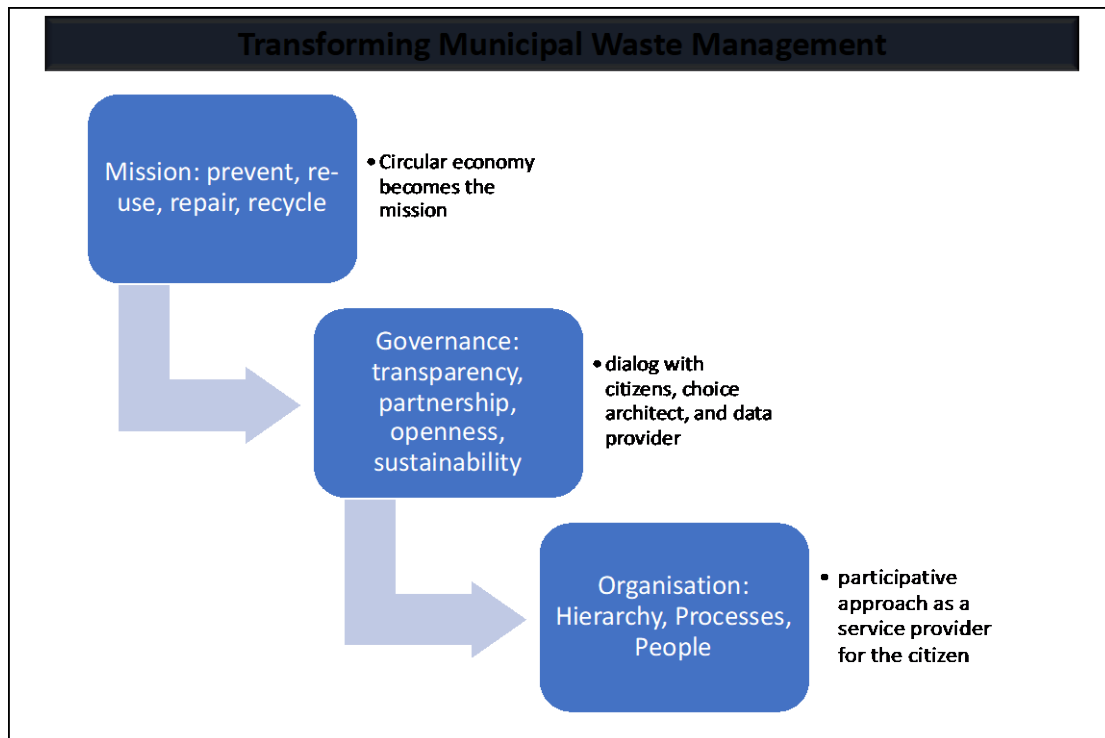
hiërarchieën, empowerment van het personeel, interdisciplinaire teams en wendbaar leiderschap. Deze verandering vereist ook dat MWM's hun bedrijfsgrenzen openstellen voor dienstverleners, klanten en andere belanghebbenden en zagezegd meer "osmotisch" worden.

2.4.3 Veranderingen in operaties en processen van MWM

Gemeentelijk afvalbeheer staat centraal in de circulaire economie, omdat het producenten, consumenten, kleinhandelaars en groothandelaars ertoe aanzet minder afval te produceren, producten langer te gebruiken, de voorkeur te geven aan tweedehands producten, enz. De circulaire economie is ook een middel om afval te verminderen. Net als bij alle andere belanghebbenden in een markteconomiesysteem rijst echter de vraag of de stimuleringsstructuren die gemeentelijke afvalbeheerorganisaties bieden, verenigbaar zijn met de bovengenoemde doelstellingen en of zij de doelstellingen van de Circulaire Economie op duurzame wijze ondersteunen. In het huidige systeem zijn de processen van MWM's optimaal georganiseerd als zij het door burgers geproduceerde afval zo efficiënt mogelijk (tegen de laagste kosten) inzamelen en verwerken of doorsturen. In de circulaire economie moeten de bestaande kernprestatie-indicatoren die van toepassing zijn op gemeentelijk afvalbeheer worden herzien en uitgebreid: Hier moet de kwaliteit van de organisatie ook worden beoordeeld aan de hand van de mate waarin MVO-organisaties erin slagen het afvalvolume te verminderen, het gebruik van tweedehands producten te vergroten, reparatieactiviteiten te ondersteunen en het recyclingpercentage te verhogen door

- a. het verstrekken van gegevens en informatie
- b. vaststelling van stimuleringsstructuren voor consumenten en producenten (pay-and-receive-as-you-throw-model)
- c. het vergemakkelijken van communicatie op basis van gebruikersprofielen.

Afvalpreventie door burgers en lokale bedrijven moet verankerd zijn in het DNA van een gemeentelijke afvalbeheerorganisatie. Afvalpreventie is de missie waarop de hele organisatie, haar personeelsstructuur en alle processen moeten zijn afgestemd. Simpel gezegd: hoe minder afval gemeentelijke afvalbeheerorganisaties bij burgers hoeven op te halen, hoe meer succes hun inspanningen zullen hebben.



Figuur 13: Transformatie van gemeentelijk afvalbeheer (de auteurs)

De missie en het bestuur van gemeentelijke afvalbeheerorganisaties moeten veranderen wat betreft hun kijk op de burger. De focus ligt niet langer alleen op de verwijdering van het afval van burgers, maar op burgers als partners en klanten van gemeentelijke afvalorganisaties. Om de toestemming van huishoudens en burgers te verkrijgen dat hun afvalgegevens worden verzameld en geanalyseerd, is een hoge mate van vertrouwen in gemeentelijke dienstverleners noodzakelijk. Naast vertrouwen in gegevensbescherming is het ook noodzakelijk dat burgers een fundamenteel vertrouwen hebben in een gemeente als openbaar lichaam en autoriteit die ervan afziet burgers te controleren en hen te beperken in hun individuele vrijheid en autonomie. Het verstrekken van gegevens en het gebruik ervan moeten dus voordelen opleveren voor zowel gemeenten als hun burgers en het milieu. Net zoals van de burgers wordt verwacht dat zij hun gedrag met betrekking tot hun afval veranderen, zal ook de rol van de openbare dienstverleners fundamenteel moeten veranderen:

- Op mesoniveau moet een publieke organisatie zich ontwikkelen tot een op partnerschap gebaseerde dienstverlener voor wie de belangen van de burgers op de eerste plaats komen. Publieke geloofwaardigheid omvat dan ook een hoge mate van transparantie en openheid van organisaties.
- Dialooggerichte communicatie met de burgers impliceert een hervorming van het bestuur van de organisatie, met als doel een nauw partnerschap met de gemeenschap en haar burgers tot stand te brengen. Deelname van lokale maatschappelijke organisaties aan de adviesraden van gemeentelijke afvalbeheerorganisaties kan ook een vertrouwenwekkende maatregel zijn.
- Geloofwaardigheid in termen van duurzaamheid vereist ook dat publieke organisaties zich committeren aan de doelstellingen van duurzaamheid, deze in processen implementeren en rapporteren over de voortgang van de duurzaamheidsdoelstellingen. In dit proces moet elke gemeentelijke

afvalbeheersorganisatie haar duurzaamheidsstrategie bepalen met indicatoren voor organisatie en personeel, interne processen en hun bijdrage aan de waardewinning uit afvalketens. Belangrijke prestatie-indicatoren moeten worden gekoppeld aan duurzaamheid en worden opgenomen in de jaarlijkse rapportage.

De noodzakelijke transformatie van het gemeentelijk afvalbeheer met het oog op de invoering van de Circulaire Economie is, zoals hierboven ruwweg geschetst, een transversale opgave die de hervorming van de gehele organisatie met zich meebrengt. Dit transformatieproces vereist een duidelijke strategie en kost veel investeringen en tijd. Dit geldt waarschijnlijk vooral voor publieke organisaties die afgeschermd zijn van de dynamische concurrentie van de markt.

2.4.4 Wijzigingen stap voor stap doorvoeren

De hierboven beschreven ontwikkelingen zullen MWM's met een achtergrond in openbaar bestuur en nutsbedrijven uitdagen om een grote sprong voorwaarts te maken.

In een groter aantal gevallen kunnen de volgende stappen nuttig zijn:

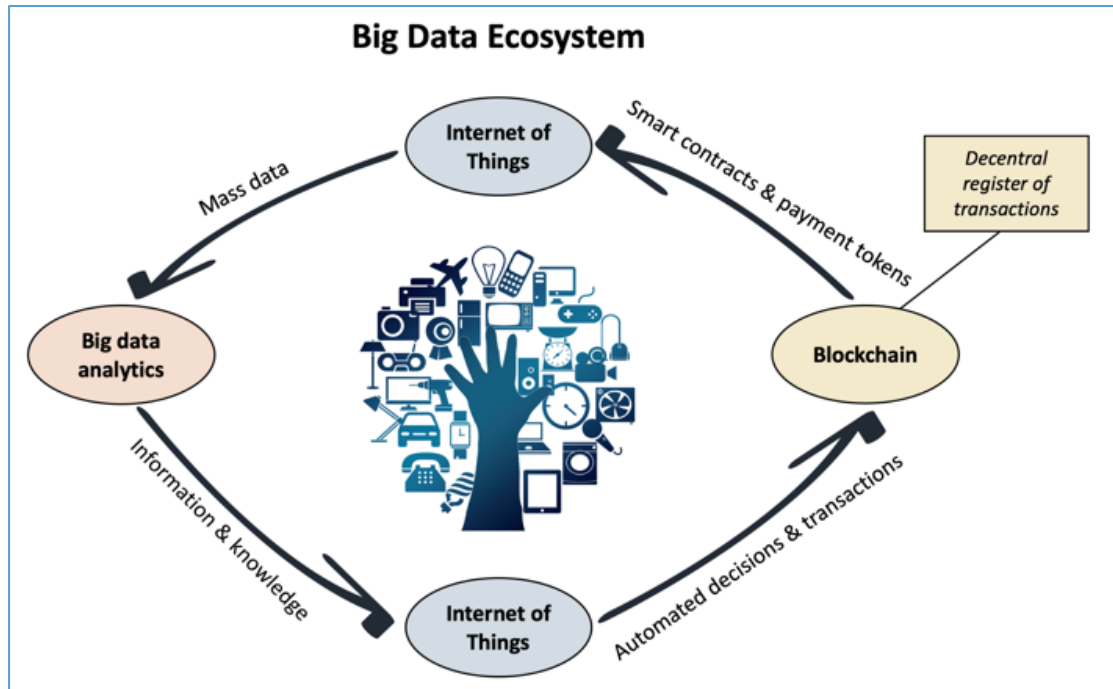
- Interne processen in kaart brengen
- In kaart brengen van bestaande partners / belanghebbenden en de met hen onderhouden processen
- Bepalen van doelgebieden / functies / capaciteiten die de specifieke MWMO opnieuw moet vormgeven voor zakendoen in een circulaire economie (bv. mission statement, vaardigheidsprofielen, digitale infrastructuur, hiërarchieën en bedrijfsorganisatie, nieuwe processen, bedrijfscultuur, veranderingsbeheer, prestatiemeting enz.)
- Beslissen over de voor verandering vereiste ecosystemen (bv. laboratoria, satellietorganisaties of dochterondernemingen, overlegorganen, feedback- of participatieprocedures, beheersaanpak, rol van veranderingsactivisten en evangelisten, IT-infrastructuur en gegevensuitwisseling, enz.)
- Consumenten, klanten, partners en belanghebbenden in een vroeg stadium erbij betrekken
- Het definiëren van communicatieprocessen die de transformatie begeleiden
- Bepalen van prioriteiten (en niet-prioriteiten), experimenteergebieden, scenario's en pi-lot projecten
- Opstellen van tijdschema's en resultaten
- Planning voor alternatieve scenario's
- Vaststelling van stimulansen en aanmoedigingsacties voor het personeel
- Lancering van proefprojecten en pleitbezorging

Aangezien MWM's gewoonlijk sterk lokaal geworteld zijn, lopen de transformatieagenda's sterk uiteen. Het is daarom van vitaal belang dat de MWM's hun eigen specifieke prioriteiten vaststellen in plaats van een standaard transformatieagenda te volgen.

2.4.5 Betere automatisering door IoT & Smart Contracts en Blockchain

De vooruitgang in robotica en sensortechnologie, gecombineerd met big data-analyse en zelflerende algoritmen, heeft geleid tot netwerken van fysieke apparaten die verbinding kunnen maken, gegevens kunnen verzamelen en uitwisselen en autonome beslissingen kunnen nemen. De opkomst van Blockchain-technologie vergemakkelijkt de algemene trend van geautomatiseerde en snelle besluitvorming door te voorzien in een gedeelde database

voor het vastleggen en registreren van gedecentraliseerde transacties tussen P2P's, P2M's en machine-to-machine (M2M). Daarnaast maakt Blockchain-technologie de opslag van softwarecode met 'als-dan'-relaties binnen de database mogelijk, wat het gebruik van zogenaamde smart contracts vergemakkelijkt waarin Blockchain-gebruikers geautomatiseerde transacties opslaan, klaar om te worden uitgevoerd gegeven een bepaalde externe gebeurtenis als trigger (Lenz, 2019a).



Figuur 14: Data en IoT ecosysteem (Lenz 2019a)

Voor de uitvoering van autonome beslissingen in de reële fysieke wereld zijn machines nodig met een verscheidenheid aan ingebouwde sensoren en een snelle internetverbinding. De ontwikkeling van het internet der dingen (IoT) zorgt voor de noodzakelijke koppeling tussen de digitale en de reële wereld, zonder welke Big Data analytics zowel de massa gegevens die sensoren genereren voor analyse als de uitvoerende kracht van machines voor geautomatiseerde besluitvorming zou missen. Apparaten in het IoT voeden algoritmen met gegevens en worden tot op zekere hoogte door diezelfde algoritmen aangestuurd.

Treleaven, Barnett, en Koshiyama (2019, p. 34) beschrijven de nauwe samenhang tussen Big Data, AI, IoT en Blockchain als vier kerntechnologieën die "...nauw met elkaar verbonden zijn, d.w.z. AI levert de algoritmen, Blockchain levert de infrastructuur voor dataopslag en -verwerking, het IoT levert de data en Big Data (gedrags-/predictief) levert de analyse."

Uit een vergelijkende studie over de "stand van de digitalisering in het Europese gemeentelijke afvalbeheer" in vijf EU-lidstaten blijkt dat gemeentelijke afvalbeheerorganisaties momenteel een breed scala aan innovatieve ivd-projecten uitvoeren, maar de meeste projecten zijn geïsoleerde benaderingen en

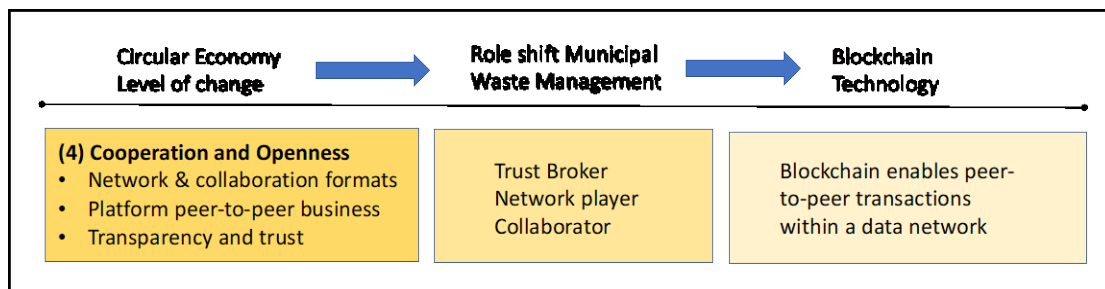
"...ook niet-collaboratief van aard wat betreft het delen van gegevens met een groot aantal groepen belanghebbenden en het genereren van synergie-effecten tussen de betrokken partners. Maar de Circulaire Economie vereist, om succesvol te zijn, samenwerking tussen belanghebbenden, of het nu gaat om producenten, consumenten, supermarkten, gemeenten of PRO's, die in hun samenwerking gegevens moeten delen. (Lenz et al., 2021, blz. 27)"

"...De beschreven digitaliseringsprojecten in het gemeentelijk afvalbeheer worden sterk gedreven door het gebruik van nieuwe technologie. De installatie van telematica en IoT op vuilniswagens zijn typische taken van werktuigbouwkundigen. Het volbrengen van deze taken is van het grootste belang voor het goed verlopen van logistieke processen binnen een organisatie. Maar Blockchain gaat over het creëren van een win-win situatie tussen stakeholders van een keten zodat elk van de betrokken partners uiteindelijk profiteert van de samenwerking. (Lenz et al., 2021, p. 28). "

"Bij de beantwoording van vragen over de gereedheid van gemeentelijk afvalbeheer voor de Blockchain realiseert men zich dat oplossingen voor technische problemen soms gemakkelijker en sneller aan te pakken zijn dan het veranderen van een heel organisatiemodel met het oog op nauwe samenwerking in een netwerk van partners. Om tot slot de vraag over de gereedheid voor de toepassing van Blockchain-technologie te beantwoorden, kan worden gesteld dat, ja, puur technisch gezien, de meeste gemeentelijke afvalbeheerbedrijven up-to-date zijn en veelvuldig gebruik maken van IoT. Wat ontbreekt is een duidelijke datastrategie die de analyse en het delen van gegevens met diverse belanghebbenden omvat. Dit zijn echter geen technische problemen maar problemen van de organisatorische ontwikkeling van gemeentelijke afvalbedrijven (Lenz et al., 2021, p. 28). "

2.5 Gemeentelijk afvalbeheer wordt vertrouwensmakelaar

Het delen van gegevens en de informatiestroom tussen een groot aantal belanghebbenden vereist een gezamenlijke aanpak die vertrouwen vereist. Gezien het grote aantal en de heterogeniteit van de belanghebbenden en hun geografische spreiding kan er geen sprake zijn van interpersoonlijk vertrouwen tussen verschillende actoren. Het moet institutioneel vertrouwen zijn, in dit geval in een lokale gemeente en haar afvalbeheerseenheid. Dit soort vertrouwen kan mogelijk worden gemaakt door technologisch vertrouwen dat wordt gecreëerd door de transparantie van een gedecentraliseerde Blockchain-database. Figuur 15 illustreert dit faciliterende "scharnier"-patroon.



Figuur 15: Gemeentelijk Afvalbeheer wordt vertrouwensmakelaar (de auteurs)

2.5.1 Betere automatisering door IoT & Smart Contracts en Blockchain

Organisaties voor gemeentelijk afvalbeheer moeten vertrouwen opbouwen bij zowel burgers als marktdeelnemers. Burgers worden partners en zowel klanten als leveranciers van producten en da-ta. Marktpartijen worden klanten, waarde agenten en scheppers. De dubbele rol van burgers ligt in het feit dat zij zorgen voor het aanbod van materialen en stoffen, maar ook de vraag naar inzameldiensten articuleren.

Dit complexe netwerk van transacties vereist, vooral aan de kant van de burgers, een grote mate van vertrouwen in gemeentelijke dienstverleners. Dit 'vertrouwenkapitaal' is nodig om de instemming van huishoudens en burgers te krijgen met het verzamelen en analyseren van hun afvalgegevens door MGO's. Daarom moeten de missie en het leiderschap van gemeentelijke afvalbeheerorganisaties een nieuwe kijk krijgen op burgers, die als partners, gewaardeerde leveranciers en klanten moeten worden behandeld.

Gemeentelijke afvalbeheerorganisaties moeten zich daarom ontwikkelen tot partnerschapsgerichte dienstverleners voor wie de belangen van de burgers voorop staan. De aldus verkregen geloofwaardigheid van het publiek vereist ook een hoge mate van transparantie, openheid en verantwoordingsplicht van MWM-organisaties. Burgers moeten in staat worden gesteld om na te gaan of MZB-organisaties voldoen aan de doelstellingen en normen van duurzaamheid en de implementatie daarvan in processen en rapportage.

Deze verantwoordingsplicht vereist nieuwe benaderingen van gegevensopslag, gegevenstoegang en gegevensverspreiding.

Willen de MGO's deze rol vervullen, dan volstaat het niet hun taak opnieuw vorm te geven. In het kader van de circulaire economie vereist de transformatie van de gemeentelijke afvalbeheersector een hervorming van het hele organisatiemodel van de MGO's.

Een belangrijke activiteit die deze behoefte weerspiegelt is de verstrekking en het gebruik van (burger- en deelstroom)gegevens. Alleen als deze nieuwe cyclus van transacties leidt tot wederzijdse voordelen voor gemeenten, dienstverleners, burgers en het milieu, wordt hij breed geaccepteerd. Dit legt aanzienlijke verantwoordelijkheden bij de MWM's en vereist een nieuwe aanpak van gegevensopslag, gegevenstoegang en gegevensverspreiding.

Zoals hierboven geschetst, is de rol van MGO's als toegangspoorten voor afval en transactieknooppunten niet louter een uitbreiding van een lineair proces van "inzameling tot sortering tot doorzending tot levering of verwijdering", maar een "synaptische" nexus die functioneert in een omgeving van meervoudige transacties en dynamische landschappen van cycli en netwerken.

De interactie tussen de deelnemers aan de "afval"-markt laat een steeds complexer beeld zien en vereist dat alle belanghebbenden zich bezighouden met clustervormige netwerken. Voor deze verandering is een digitale ruggengraat nodig in de vorm van platforms die een snelle en transparante samenwerking en gegevensuitwisseling mogelijk maken.

Wat MGO's betreft, zou de uitdaging kunnen zijn om

- nieuwe kennis en vaardigheden te verwerven
- hun hele organisatie en processen te vernieuwen
- een bedrijfscultuur van openheid, symmetrie en verantwoordelijkheid voor zichzelf opnieuw uitvinden
- nieuwe boekhoud- en controlesystemen invoeren die geschikt zijn om circulaire en duurzame waardecreatie te meten
- nieuwe samenwerkings- en netwerkvormen aannemen
- de digitalisering vastberaden omarmen
- digitale netwerkinfrastructuur te bouwen die horizontale samenwerking in een peer-to-peer-logica kan vergemakkelijken

Het opkomende massale transformatieproces van MGO's dat deze uitdagingen doorkruist, vereist een duidelijke strategie en kost aanzienlijke investeringen in financiering, tijd en transactie-inspanningen.

2.5.2 Blockchain als facilitator van P2P-samenwerking

Samenwerking vereist een hoge mate van vertrouwen tussen de partners, omdat het gewenste resultaat alleen samen kan worden bereikt. Iedereen is van elkaar afhankelijk, zoals deelnemers aan een touwfeest bij het beklimmen van bergen. Vertrouwen kan ontstaan als iedere deelnemer op hetzelfde moment toegang heeft tot dezelfde betrouwbare informatie over activiteiten en transacties. Als er in het gedistribueerde netwerk slechts één gedeelde database bestaat, waarin alle transacties uit het verleden als één enkele bron van waarheid voor alle deelnemers zijn vastgelegd, is dit waarschijnlijk het geval.

Dat is precies wat de Blockchain-technologie mogelijk maakt. Het is een databanktechnologie voor het vastleggen van transacties binnen een netwerk van peer-to-peer bedrijven. Blockchain heeft het voordeel dat gegevens in individuele "blokken" kunnen worden opgeslagen op een fraudebestendige manier, waardoor deelnemers aan de Blockchain de authenticiteit, oorsprong en integriteit van de opgeslagen gegevens kunnen controleren. Als peer-to-peer netwerk, gecombineerd met een gedistribueerde tijdstempelservers, kunnen Blockchain-databases autonoom worden beheerd. Er is geen behoefte aan één beheerder, aangezien de beheerdersrechten over alle deelnemers aan het netwerk worden verdeeld.

Blockchain is een zeer eenvoudige databasetechnologie die samenwerking mogelijk maakt, maar het is geen wondermiddel voor succes. Het is slechts een technologie om bepaalde informatieproblemen op te lossen, maar als het probleem zelf niet goed gedefinieerd is (nr. 1), als deelnemers terughoudend zijn om informatie te delen (nr. 2), als besluitvormingsprocessen statisch zijn en ingebed in een sterke hiërarchie (nr. 3), als data-interfaces niet geautomatiseerd en gestandaardiseerd zijn (nr. 4), en als het bedrijfsproces zelf niet duurzaam is (nr. 5), dan kan een Blockchain-toepassing een verspilling van tijd en middelen zijn.

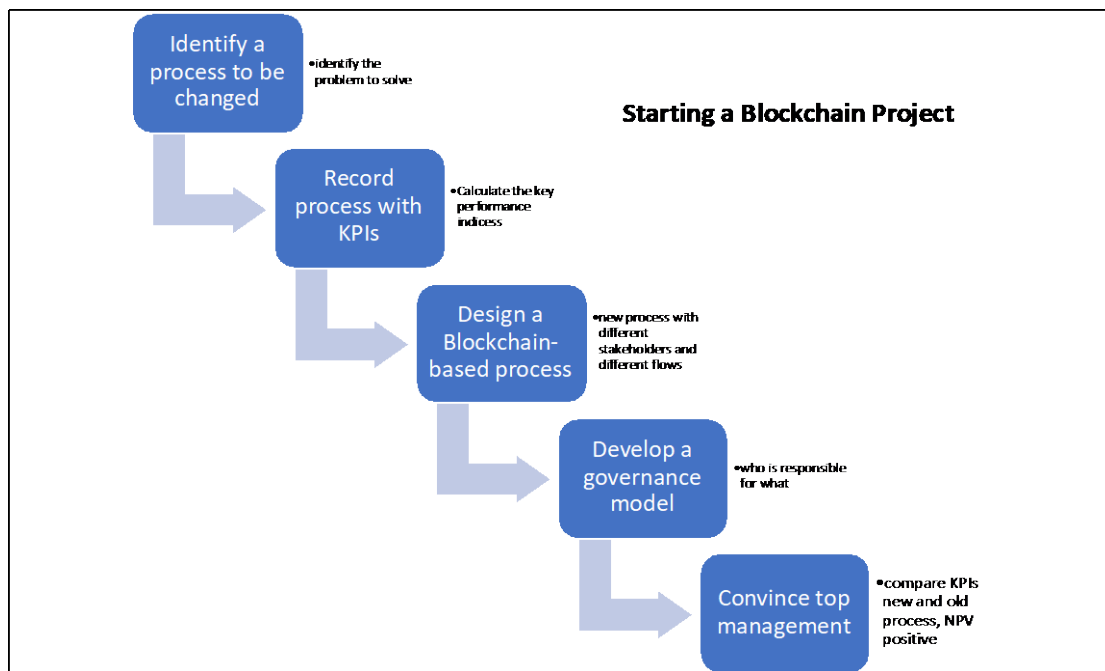
PwC (2016) verwoordt het goed in hun [Q&A Blockchain FinTech](#)

"Collaboratieve technologie, zoals Blockchain, belooft de mogelijkheid om de bedrijfsprocessen tussen bedrijven te verbeteren, waardoor de "kosten van vertrouwen" radicaal worden verlaagd. Om die reden kan het een aanzienlijk hoger rendement bieden voor elke uitgegeven investeringsdollar dan traditionele interne investeringen. Wat is het addertje onder het gras? Je kunt het rendement niet alleen halen; je moet bereid en in staat zijn om samen te werken met klanten, leveranciers en concurrenten op manieren die je nooit eerder hebt gedaan."

3 Richtlijnen voor het starten van op Blockchain gebaseerde afvalbeheerprocessen

3.1 Fasen van een Blockchain-project

De ontwikkeling en implementatie van een Blockchain project bestaat grotendeels uit change management en procesmanagement werkzaamheden. Tegen de verwachting in speelt de selectie van de technische Blockchain oplossing een ondergeschikte rol. Intensieve communicatie, elkaars belangen begrijpen, medewerkers en stakeholders meenemen en overtuigen, de technische mogelijkheden van de Blockchain eenvoudig uitleggen - dat zijn de factoren van het succes van een project en van een gelukkige selectie van projectteamleden (Lenz, 2019).



Figuur 16: Fasen van een Blockchain-project (de auteurs)

Een typisch Blockchain-project verschilt niet echt van andere projecten. Mentaal kan het werk worden verdeeld in vijf fasen: (1) Identificatie van een geschikt proces voor de conversie naar Blockchain, (2) Documentatie van de bestaande key performance indicators zodat het succes later na de conversie kan worden gemeten. (3) Herontwerp van de nieuwe processtroom. Voor de invoering van Blockchain-technologie kan wellicht worden afgezien van sommige tussenpersonen. (4) De invoering van de Blockchain impliceert het opzetten van een collaboratief bedrijfsmodel dat alle belanghebbenden voordelen moet bieden. Bijgevolg moet gezamenlijk een governance model voor dit proces met bindende spelregels worden overeengekomen. (5) Als dit proof of concept voor het Blockchain-project succesvol is, moet het management overtuigd worden van de voordelen van een investering in een prototype. De vijf fasen worden hieronder in detail beschreven.

3.2 Identificatie van een geschikt proces voor Blockchain-conversie

Blockchainprojecten zijn geschikt voor gedecentraliseerde processen met een groter aantal externe deelnemers, voor wie het absoluut essentieel is om te allen tijde betrouwbare

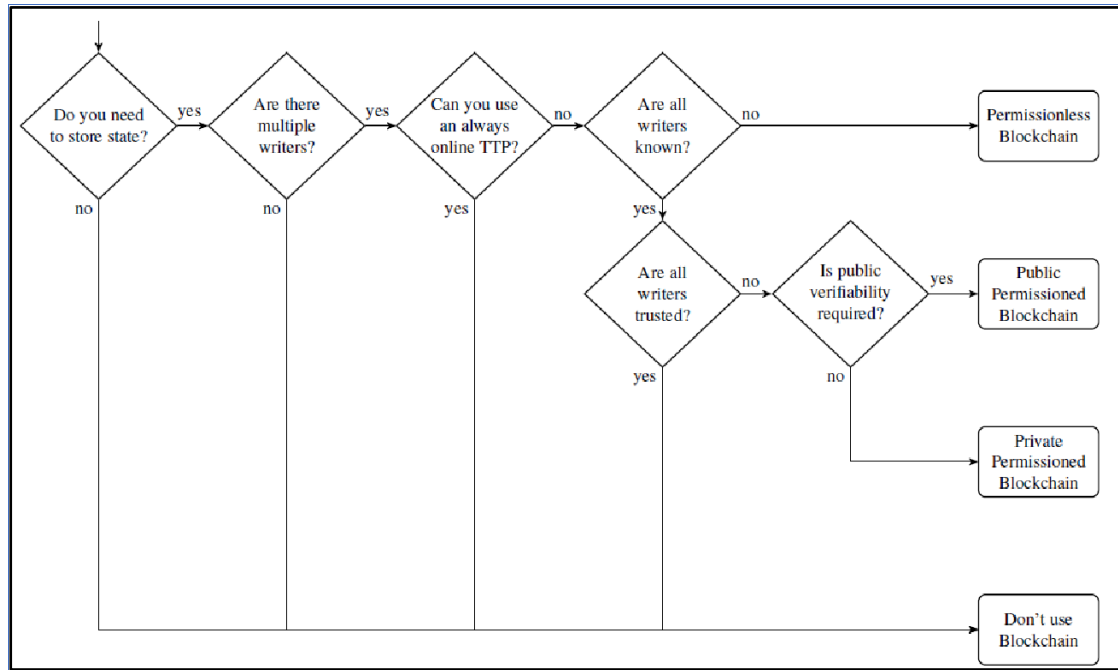
informatie te krijgen over de status van een project of proces. Iedere manager in een bedrijf of zijn organisatie kent toch wel dergelijke processen van samenwerking met een veelheid aan externe partners. Gewoonlijk worden deze inter-organisatorische processen gekenmerkt door een groot aantal mislukkingen, zeer lange doorlooptijden, hoge kosten van toezicht en grote ontevredenheid van degenen die bij dit proces betrokken zijn. Om een geschikt proces te identificeren is een verschuiving van perspectief nodig: van een intra-organisatorisch perspectief naar een interorganisatorisch perspectief dat het mogelijk maakt de belangen van alle betrokkenen te begrijpen.

De vervanging van het vertrouwen in een centrale autoriteit door transparantie is precies het voordeel van een Blockchain. In een openbare Blockchain-database die voor iedereen toegankelijk is, kan elke deelnemer tegelijkertijd nagaan wie wat heeft geschreven en hoe de toestand van een grootboek is veranderd. Eenmaal opgeslagen is de informatie onomkeerbaar en onveranderlijk, anders zou de logische consistentie van de in blokken opgeslagen gegevens worden vernietigd. De twee essentiële elementen van de Blockchain vullen elkaar dus aan: Openbare verifieerbaarheid en integriteit van gegevens.

Zoals Wüst en Gervais (2018, p. 2) opmerken: *"De integriteit van informatie is nauw verbonden met publieke verifieerbaarheid. Als een systeem publieke verifieerbaarheid biedt, kan iedereen de integriteit van de gegevens verifiëren."* Bovendien wordt de Blockchain-data redundant bewaard, omdat elke schrijver binnen het netwerk een replicatie van de data bezit, die permanent gesynchroniseerd wordt.

Blockchainoplossingen zijn daarom voordelig voor processen waarbij een groot aantal deelnemers betrokken is en waarbij het van immanent belang is dat de deelnemers te allen tijde volledige en betrouwbare informatie krijgen over de actuele status van een proces. De betrouwbare informatie over de huidige processtatus stelt de deelnemers in staat om te allen tijde te reageren op veranderingen, zodat het proces niet statisch verloopt maar dynamisch blijft.

Wüst en Gervais (2018) schetsen dit in de volgende beslisboom die aantoont voor welk geval Blockchain-oplossingen het meest geschikt zijn en voor welk geval een centrale database wellicht de betere oplossing is.



Figuur 17: Heb je een Blockchain nodig? (Wüst en Gervais 2018, p. 3)

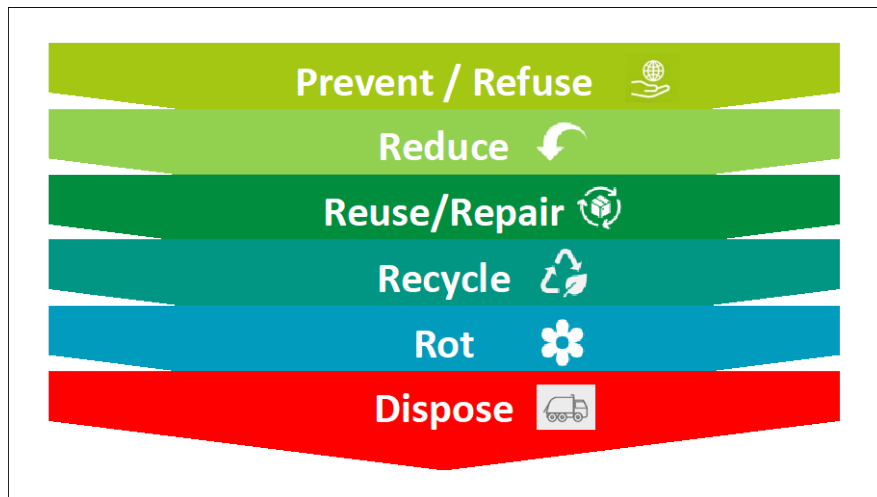
Blockchain-oplossingen zijn aanzienlijk minder schaalbaar dan centrale databases. Dit geldt met name voor openbare Blockchain-netwerken zonder toegangsbeperkingen. Het proces van openbare validatie binnen een toestemmingsvrij netwerk is tijdrovend, zodat Blockchain-toepassingen niet geschikt zijn om massale gegevens met hoge snelheid op te slaan en te verwerken.

Uit de bovenstaande vergelijking van de voor- en nadelen van Blockchain-toepassingen met die van een centrale databank kan worden afgeleid dat Blockchain-technologie haar grootste voordeel heeft in toepassingen waarbij het voor de deelnemers belangrijk is om een bepaalde toestand in een proces of in een project op een betrouwbare en fraudebestendige manier te documenteren en waarbij gedecentraliseerde en autonome gegevensverzameling door een groot aantal deelnemers nuttig is. Blockchaintoepassingen bereiken hun grenzen bij de verwerking van massale gegevens met hoge snelheid. Hier hebben ze duidelijke nadelen ten opzichte van centrale databasetoepassingen (Lenz, 2019b).

3.3 Registratie van de afvalketen met belangrijke prestatie-indicatoren

Zodra een dergelijk proces is geïdentificeerd, is de volgende stap het vastleggen van de workflow en de belangrijkste prestatie-indicatoren van het huidige proces. Gemakkelijk identificeerbare en meetbare operationele kernprestatie-indicatoren, samen met parameters die het afvalbeheerbeleid beïnvloeden, worden beschouwd als cruciale elementen van elk afvalbeheermodel. De autoriteiten kunnen ze gebruiken om op kwantitatieve wijze de vooruitgang en de verbetering van het ontwikkelde model of de toegepaste afvalbeheerstrategie te evalueren.

Eerst en vooral zijn het de doelstellingen die bereikt moeten worden. De ontwikkeling van KPI's dient om te meten en te kwantificeren in welke mate de doelstellingen zijn bereikt. Ook hier kunnen we verwijzen naar de eerder genoemde 9 V's als doelen van de Circulaire Economie (zie figuur 2), of de veelgebruikte voorstelling van de afvalpiramide kan richtinggevend zijn.



Figuur 18: Doelstellingen van de afvalpiramide (de auteurs baseren zich op de EU-afvalhiërarchie, zie artikel 4 van de EU-kaderrichtlijn betreffende afvalstoffen)

Het algemene doel is afval zoveel mogelijk te verminderen. De optimale mogelijkheid om dit te doen is simpelweg het voorkomen/weigeren van afval door een materiaal niet te gebruiken. Als dit niet mogelijk is, kan het gebruik van een materiaal zoveel mogelijk worden beperkt, bijvoorbeeld door een materiaalbesparende technologie toe te passen. Indien een materiaal moet worden gebruikt, moet hergebruik of reparatie worden beoogd, waarbij onder hergebruik wordt verstaan elke handeling waarbij producten of onderdelen die geen afval zijn, opnieuw worden gebruikt voor hetzelfde doel als waarvoor zij zijn ontworpen. Reparatie door de gebruiker is mogelijk als het technisch ontwerp niet te ingewikkeld is en als er reserveonderdelen beschikbaar zijn - optimalisering van beide wordt momenteel in de EU besproken. Indien dit niet mogelijk is, moet recycling mogelijk worden gemaakt, waarbij onder recycling wordt verstaan elke terugwinningshandeling waarbij afvalstoffen opnieuw worden verwerkt tot producten, materialen of stoffen, hetzij voor het oorspronkelijke doel, hetzij voor een ander doel. Dit omvat de opwerking van organisch materiaal, maar niet de terugwinning van energie en de opwerking tot materialen die als brandstof of voor opvulling worden gebruikt. (Europese Unie, 2008 Art. 3 Kaderrichtlijn afvalstoffen 2008/98/EG). Indien dit niet mogelijk is, moet natuurlijk (!) materiaal worden verrot, anders moet verwijdering door verbranding inclusief energiewinning plaatsvinden. Verwijdering in de vorm van storten moet absoluut worden vermeden. Er zijn dus verschillende mogelijkheden om het afval te verminderen, wat de controle complexer maakt.

Uit een literatuurstudie komt de volgende lijst naar voren van de meest geschikte operationele KPI's die veel worden gebruikt bij afvalbeheeranalyses en die door gemeenten kunnen worden beoordeeld: Analyse van de afvalsamenstelling, productie van gemeentelijk vast afval, recycling van gemeentelijk afval, afvalproductiepercentage, terugwinningspercentage, afvalproductiepercentage, afvalinfrastructuur. (AlHumid, Haider, AlSaleem, Shafiqzaman, & Sadiq, 2019; Pappas et al., 2022; Zorpas, 2020)..

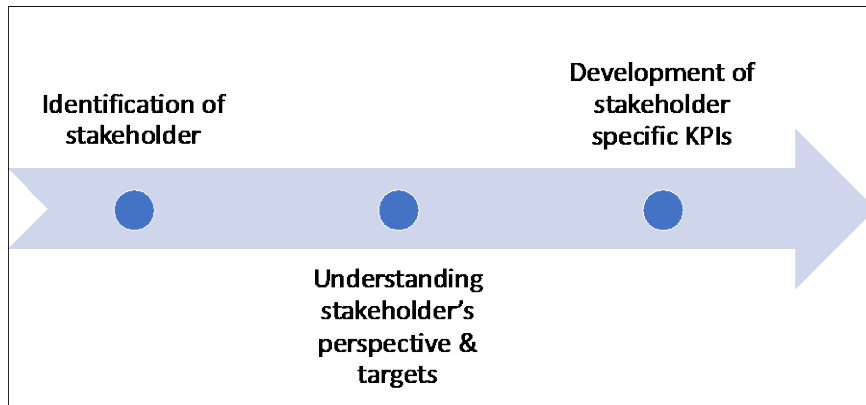
- Analyse van de samenstelling van het afval (WCA) kan worden beschouwd als de belangrijkste KPI, die wordt gebruikt om de autoriteiten te informeren over het soort afvalmaterialen dat in een bepaald gebied wordt geproduceerd (plastic, aluminium, papier, glas, organisch afval en andere materialen), informatie die nuttig kan zijn bij het opstellen van een strategie voor afvalpreventie en -beheer. (Pappas et al., 2022; Vardopoulos et al., 2021). De ruwe gegevens stromen naar het systeem

via IoT-apparaten die op elke afvalbak zijn geïnstalleerd, waardoor het percentage van elk type geproduceerd afval binnen een specifiek gebied op een specifiek tijdstip kan worden berekend.

- Een andere belangrijke KPI, die grotendeels afhangt van de omvang en de bevolking van de stad, is de productie van gemeentelijk vast afval, de verhouding tussen de gemiddelde hoeveelheid afval per hoofd van de bevolking (Loizia et al., 2021). Deze wordt berekend door de totale hoeveelheid geproduceerd afval te delen door de bevolking van een bepaald gebied.
- Recycling van gemeentelijk afval is ook een belangrijke KPI voor afvalbeheer, omdat het de hoeveelheid gerecycled afvalmateriaal uitdrukt in vergelijking met de totale hoeveelheid vast afval die in een bepaald gebied op een bepaald tijdstip wordt geproduceerd. (Vardopoulos et al., 2021). Dergelijke gegevens en de daarvan afgeleide informatie zijn zeer nuttig voor gemeentelijke autoriteiten, omdat zij bestaande preventieactiviteiten en -strategieën kunnen evalueren, maar ook operationele aspecten met betrekking tot inzamelingssystemen (type en capaciteit van de prullenbak).
- Afvalproductiesnelheid, die de verandering van de hoeveelheid jaarlijks geproduceerd afval uitdrukt, kan worden beschouwd als een KPI die de prestaties van een door de autoriteiten gevoerde afvalbeheerstrategie evalueert of kan worden gebruikt als metriek om acties uit te voeren die een toename van de hoeveelheid voorkomen. (Loizia et al., 2021). De KPI wordt berekend door de prognose van de totale hoeveelheid jaarlijks geproduceerd afval te delen door de totale hoeveelheid in het voorgaande jaar geproduceerd afval.
- Waste Recovery Rate is een KPI die de terugwinning van gegenereerd afval in een specifieke periode uitdrukt. Waste Recovery Rate wordt berekend door de hoeveelheid teruggewonnen afval te delen door de hoeveelheid gemeentelijke vaste afvalproductie per type afval, terwijl de beschikbare terugwinningsopties recycling, hergebruik, waste-to-energy, refurbishing (Rhyner, Schwartz, Wenger, & Kohrell, 2017).
- De verhouding afvalproductie schat de afvalproductie in het geselecteerde gebied in tijdseenheden, d.w.z. dagelijks, wekelijks, maandelijks of jaarlijks, en kan dienen als een maatstaf voor de doeltreffendheid van een afvalbeheerstrategie volgens de toe- of afname van de waarde ervan. (Pappas et al., 2022).
- Afvalinfrastructuur is ook een zeer belangrijke KPI omdat het de milieuprestaties van de huidige infrastructuur voor afvalbeheer kan meten. Het gaat om het aantal en type afvalbakken in een bepaald gebied. Het geeft nuttige informatie over de huidige infrastructuur in relatie tot de bevolkingsdichtheid van dat gebied. Het is duidelijk dat naarmate de bevolkingsdichtheid toeneemt, het aantal afvalbakken evenredig toeneemt. (Zorpas, Lasaridi, Voukkali, Loizia, & Chroni, 2015)..

De hierboven genoemde key performance indicators zijn belangrijk, maar niet voldoende voor de omschakeling van een heel proces naar Blockchain-technologie. Het doel van de Circulaire Economie is het bereiken van een vermindering van afval, een langer gebruik van producten, een hoger reparatiepercentage, een hoger recyclingpercentage, enz. door gedragsveranderingen van de betrokken belanghebbenden. Om de algemene doelstellingen te bereiken, moeten de KPI's dus worden afgestemd op de respectieve groepen belanghebbenden. Daarom kan de registratie van het gehele proces met zijn kernprestatie-indicatoren nauwelijks door een enkele organisatie worden uitgevoerd en vereist zij de

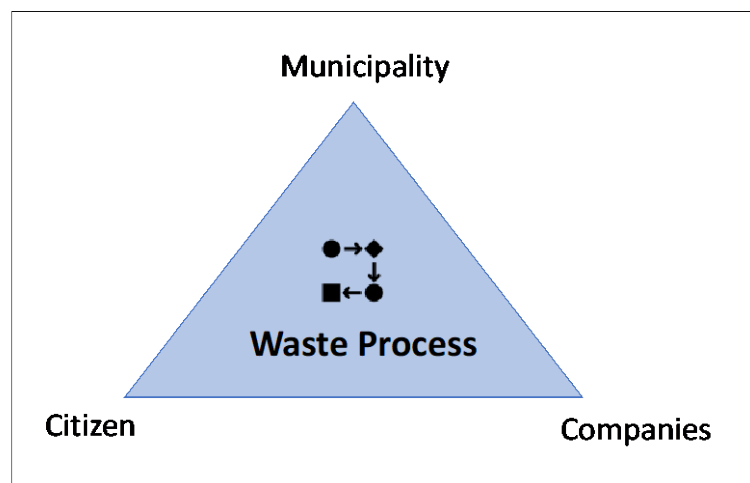
medewerking van alle deelnemers. Aanbevolen wordt het proces te registreren met eenvoudige software zonder hoge mate van detail en de selectie van indicatoren te beperken tot de belangrijkste, zodat het coördinatieproces en de hoeveelheid werk beheersbaar blijven.



Figuur 19: Ontwikkeling van stakeholder-specifieke KPI's in een samenwerkingsproces (de auteurs)

Belanghebbenden

Alle deelnemers zijn belanghebbenden van het gemeentelijk afvalbeheersysteem, terwijl zij belang (moeten) hebben bij een optimaal systeem dat hun doelstellingen dient. Maar aangezien de perspectieven of doelstellingen van de groepen belanghebbenden kunnen verschillen, moeten de KPI's voor het meten van het MSW-systeem worden gediversifieerd en aangepast voor elke groep. Deze belanghebbenden kunnen worden onderverdeeld in overheid, burgers en bedrijven.



Figuur 20: Bij het afvalproces betrokken groepen belanghebbenden (de auteurs)

- Administraties / Gemeenten

In deze context moeten overheden worden gedefinieerd als alle overheidsinstellingen die direct of indirect te maken hebben met het beheer van gemeentelijk afval. Dit zijn in de eerste plaats de gemeentelijke administraties die rechtstreeks verantwoordelijk zijn voor het MSW-beheerproces. Dit omvat procesorganisatie, afvallogistiek, afvalinzameling, exploitatie van verbranding en facturering, boekhouding en afrekening van diensten aan burgers en bedrijven. In de tweede plaats zijn er de overheids- en politieke instellingen als superieure instellingen die toezicht houden op de algemene netwerken en deze financieren en die de wettelijke kaders beheren.

Aangezien de overheden officieel verantwoordelijk zijn voor het beheer van SVA hebben zij de grootste behoefte aan efficiënte controle en adequate KPI's. Administraties hebben transparantie en regels, wetten en stimuleringsystemen nodig die efficiënt zijn wat betreft resultaten en kosten. De indicatoren kunnen voor alle overheidsniveaus dezelfde zijn, maar met een verschillende mate van nauwkeurigheid.

- **Burgers**
Burgers zijn alle inwoners van gemeenten die afval produceren en verantwoordelijk zijn voor het verzamelen en sorteren van afval. En zij moeten aan de overheid vergoedingen betalen voor VHA-diensten. Sommige burgers hebben weliswaar een extra belang bij duurzaam gedrag en willen bijdragen aan de toekomst van de wereld, maar aangenomen wordt dat alle burgers als particulieren gemiddeld dezelfde belangen en doelstellingen hebben. Burgers zijn dus geïnteresseerd in KPI's die hun belangen transparant maken.
- **Bedrijven**
Bedrijven zijn in gemeenten gevestigde economische rechtspersonen. Zij kunnen in het algemeen zeer divers zijn, maar hebben vrijwel hetzelfde belang bij lokale SVA-systemen. Het kan gaan om producenten van grondstoffen, producenten van verpakkingen, producenten van eindproducten, handelaren/detailhandelaren en logistieke of dienstverlenende bedrijven. Zelfs reparatie-, voorbehandelings- en recyclingbedrijven zijn speciale bedrijven die verantwoordelijkheden hebben in het SVA-proces. Een ander bijzonder geval zijn overheidsbedrijven die zich bezighouden met afvalinzameling, voorbehandeling, verbranding en storting. Deze taken kunnen worden uitbesteed aan particuliere bedrijven.
- Bedrijven zijn zelfs verantwoordelijk voor het verzamelen en sorteren van afval. En zij moeten vergoedingen betalen aan overheden voor VHA-diensten. Voor bedrijven kan er een extra belang zijn om hun resultaten op het gebied van "groen gedrag" te tonen via rapportage en vooral jaarverslagen.

Stakeholderspecifieke doelstellingen

De belanghebbenden streven bij het afvalbeheer uiteenlopende doelstellingen na die als volgt kunnen worden omschreven: De algemene doelstelling van alle belanghebbenden lijkt te zijn het verminderen van alle soorten afval om de wereld te redden. Afval is een bijzondere vorm van vervuiling: lucht- en watervervuiling zijn ook belangrijk, maar in dit verband moet alleen worden gesproken over het specifieke soort VHA, rekening houdend met het feit dat VHA luchtvervuiling kan veroorzaken door verbranding in verbrandingsinstallaties of watervervuiling in stortplaatsen of directe verwijdering.

De doelstellingen en streefcijfers van het afvalbeheer kunnen worden onderverdeeld in directe streefcijfers die betrekking hebben op de belangrijkste doelstellingen en indirecte streefcijfers die motiverende factoren of outputs en maatregelen kunnen zijn die de directe streefcijfers helpen bereiken.

Tabel 1: Vaststelling van specifieke doelstellingen voor de belanghebbenden (de auteurs)

Niveau	Interesse / Doel	Beschrijving
Algemeen	Direct: vermindering van de totale hoeveelheid afval per soort	▶ Groot doel voor iedereen om de wereld te redden

Administraties (Gemeenten)	Direct: vermindering van de verwerkingskosten	▶ Gemeenten ontwerpen kostenefficiënte MSW-processen
	Indirect: prijs-/factureringsafval	▶ Facturering is noodzakelijk om de kosten en de opbrengsten in evenwicht te houden. Maar in de prijsstelling kunnen kortingen worden geïntegreerd.
	Indirect: goede inzameling en verwerking stimuleren	▶ Stimuleringsmaatregelen voor burgers en bedrijven kunnen nuttig zijn om de doelstellingen te verfijnen en snel te bereiken.
	Indirect: bestraffing van vervuiling	▶ Naast stimulansen kan straf nodig zijn om verkeerde handelingen te onderdrukken.
	Indirect: toenemende reparatie	▶ Verhoging van de reparatiequota door ondersteuning van burgers en bedrijven leidt tot minder afval
Burgers	Direct: verlaging van de kosten	▶ Aangenomen wordt dat alle burgers belang hebben bij een vermindering van
	Direct: prikkels	▶ Prikkels ontvangen
	Indirect: bijdragen aan milieubescherming	▶ Voor sommige burgers kan het redden van het milieu een intrinsieke motivatie zijn
	Indirect: optimalisering van de inzameling	▶ Als burgers de inzameling optimaliseren door correct te sorteren, vergroten zij de kans op optimale afvalverwerking
	Indirect: toenemende reparatie	▶ Reparatie vermindert afval en kosten. Burgers kunnen worden ondersteund door gemeentelijke instellingen of bedrijven die wettelijk kunnen worden omschreven
Bedrijven	Direct: verlaging van de kosten	▶ Vermindering van afvalkosten door optimalisering van afvalprocessen leidt tot hogere winsten
	Direct: prikkels	▶ Stimulansen ontvangen
	Indirect: het vermijden van straf	▶ Straf leidt tot hogere kosten en imago's
	Indirect: rapportage van groene activiteiten	▶ Afvalprestaties kunnen deel gaan uitmaken van de jaarlijkse verslaglegging en zijn een factor van imagooversterking
	Indirect: informatie over de input	▶ Als bedrijven via Blockchain de hoeveelheden en prijzen kennen van inputmaterialen verkregen uit hergebruik en recycling, kunnen productie en logistiek worden

geoptimaliseerd. Consumentenrechten om defecte producten wettelijk te retourneren, bijvoorbeeld voor huishoudelijke apparaten, worden transparant.

- Indirect: optimalisering van de output ► Adequate afvalrapportage en transparantie, mogelijk gemaakt door het gebruik van Blockchain, kan helpen om de productie te optimaliseren, vooral door het verminderen van verpakkingen. Het recht van de consument om producten met gebreken terug te sturen kan een duurzamere ontwikkeling van producten afdwingen.
- Indirect: toenemende reparatie (wettelijke verplichting) ► Reparatie kan wettelijk verplicht zijn of als dienst worden aangeboden. Verhoogde reparatiequota kunnen inkomsten genereren.

Op basis van de vooraf vastgestelde belangen van de belanghebbenden bij informatie over de materiaal-, informatie- en betalingsstromen zouden de kernprestatie-indicatoren kunnen worden afgeleid. Toegespitst op de materiaalstroom binnen het proces konden deze doelstellingen worden omgezet in de volgende stakeholder-specifieke kernprestatie-indicatoren. Sommige van de onderstaande KPI's zijn reeds bekend uit eerder gepresenteerde en uit literatuuronderzoek verkregen KPI's. Maar in dit geval zijn deze KPI's aangepast en toegesneden op de behoeften en doelstellingen van specifieke groepen belanghebbenden.

Tabel 2: Stakeholderspecifieke KPI's (de auteurs)

Niveau	Interesse / Doel	KPI
Algemeen	Direct: vermindering van de totale hoeveelheid afval per soort	<ul style="list-style-type: none"> ► Hoeveelheid per soort in t in totaal en per hoofd, verandering ► Recyclingquota ► Hergebruik van quota ► Vermindering van de vervolgcosten voor toekomstige generaties
Administraties (Gemeenten)	Direct: vermindering van de verwerkingskosten	<ul style="list-style-type: none"> ► Proceskosten in totaal in EUR
	Indirect: prijs-/factureringsafval	<ul style="list-style-type: none"> ► Facturatieprijs per type
	Indirect: goede inzameling en verwerking stimuleren	<ul style="list-style-type: none"> ► (1- foutenpercentage) x aanmoedigingsprijs per type
	Indirect: bestraffing van vervuiling	<ul style="list-style-type: none"> ► Prijs per ton voor materiaalverlies, met uitzondering van verwerking
	Indirect: toenemende reparatie	<ul style="list-style-type: none"> ► Reparatiequota

Burgers	Direct: Vermindering van de kosten	▶ Afvalkosten per soort en per hoofd van de bevolking in een huishouden
	Direct: prikkels	▶ $(1 - \text{foutenpercentage}) \times \text{aanmoedigingsprijs per type}$
	Indirect: bijdragen aan milieubescherming	▶ "milieupunten" in %
	Indirect: optimalisering van de inzameling	▶ Foutenpercentage per type
	Indirect: toenemende reparatie	▶ Reparatiequota
Bedrijven	Direct: vermindering van de kosten	▶ Totale afvalkosten per type
	Direct: prikkels	▶ $(1 - \text{foutenpercentage}) \times \text{aanmoedigingsprijs per type}$
	Indirect: het vermijden van straf	▶ Prijs per ton voor materiaalverlies, met uitzondering van verwerking
	Indirect: rapportage van groene activiteiten	▶ Hoeveelheid per soort in t in totaal, verandering
	Indirect: input kennen	▶ Hoeveelheid per type in t in totaal per leverancier
	Indirect: optimalisering van de output	▶ Hoeveelheid per soort in t in totaal, verandering
	Indirect: toenemende reparatie (wettelijke verplichting)	▶ Reparatiequota

3.4 Ontwerp van een op Blockchain gebaseerd proces

Hier ligt de grootste uitdaging. Distributed Ledger Technology maakt volledig nieuwe probleemoplossingen mogelijk en vereist daarom niet alleen een diepgaand begrip van de technologische mogelijkheden, maar ook het vermogen om "out of the box" te denken. Er zijn drie stromen waarmee rekening moet worden gehouden bij het ontwerpen van processen: materiaalstroom, informatiestroom en betalingsstroom.

Materiaalstroom

Een eerste aandachtspunt is uiteraard de materiaalstroom, die in elke fase van het proces meetbaar en kwantificeerbaar moet zijn. In een optimale oplossing zou een gekwantificeerde tracering van een specifiek materiaal langs de gehele materiaalketen, inclusief hergebruik- en recyclingcircuits, mogelijk zijn. De levensduur van een glazen fles kan dus als volgt worden beschreven: Glas wordt geproduceerd uit silica en gevormd tot een fles. De fles wordt geëtiketteerd en gevuld, vervoerd naar een handelaar en gebruikt door een klant (burger). Na gebruik wordt de fles verzameld, schoongemaakt, opnieuw gevuld enzovoort. Na 50 cycli moet de fles worden gerecycled en dus vermalen en gesmolten. Het glas komt terug in nieuwe flessen enzovoort totdat de onderdelen niet meer kunnen worden gebruikt om nieuwe flessen

te maken wegens materiaalmoetheid. Dan kan het glas worden gebruikt als glasvuller voor snelwegen. Het probleem van de tracering is duidelijk: één specifieke fles mag dan nauwelijks "gelabeld" zijn (niet als papieren etiket) voor tracering, op een gegeven moment moet de fles worden vernietigd en dus ook het "etiket". Voor een correcte tracering moet niet de fles maar het glasmateriaal zelf of zelfs de silica als grondstof worden geëtiketteerd. Dit kan alleen worden bereikt door een soort "label" (marker) te integreren in de chemische structuur. Aangezien dit veel te ingewikkeld lijkt, lijkt "etikettering" geen oplossing voor tracering.

Hoewel dergelijke etiketteringsinformatie dus gemakkelijk in een Blockchain kan worden opgeslagen, is om technische redenen een andere oplossing vereist. Vanuit pragmatisch oogpunt lijkt kwantificering van alle genoemde materialen mogelijk in de vorm van gewicht (voor sommige producten zoals glazen flessen misschien als het aantal flessen vermenigvuldigd met het gewicht per fles).

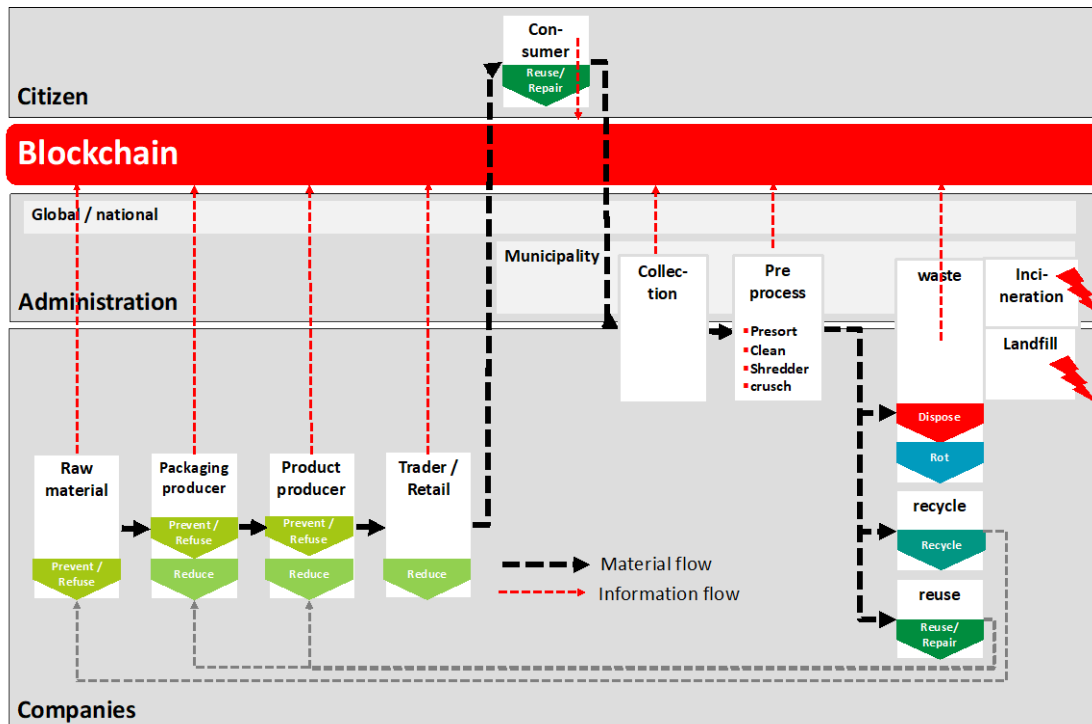
Bijgevolg moet elke bij de materiaalstroom betrokken agent de input (inkomende goederen) en output (uitgaande goederen en afval) van elke genoemde materiaalsoort kwantificeren in gewicht. Zo kunnen de materiaalverliezen binnen een bedrijf of in een consumptieproces worden gemeten. Aangezien producten heel vaak uit meer dan één of zelfs samengesteld materiaal bestaan, moeten de materiaalhoeveelheden van elk product worden opgeslagen in de master dataset van een product. Een fles bruisend water bestaat bijvoorbeeld uit glas, een papieren etiket en plastic voor de dop van de fles. Deze informatie over de hoeveelheid materiaal kan voor elke inkomende of uitgaande fles worden geregistreerd. Maar zelfs dit eenvoudige voorbeeld toont aan dat er grenzen aan de tracering moeten worden gesteld die door de wet of de regels worden bepaald: de kwantificering van het papieren etiket lijkt niet zinvol. In het algemeen moet kwantificering bij de in- en uitvoer dus alleen plaatsvinden voor grote categorieën materiaal die bij scheiding worden gewogen of in volume worden samengevoegd aan de hand van de stamgegevens. Deze gegevens moeten dagelijks per soort materiaal worden opgeslagen in een Blockchain. Gegevens over het resterende materiaal moeten worden opgeslagen in het IT-systeem van het bedrijf.

Deze aanpak lijkt in bijna elke materiaalstroom te werken, behalve bij particuliere klanten/burgers, aangezien er hier geen directe IT-koppeling is. Kwantificering van de output van burgers kan plaatsvinden door scheiding in verschillende bakken per materiaalsoort (of latere sortering) en weging en/of scanning tijdens het inzamelingsproces. De geaggregeerde output van een handelaar zou dus op dezelfde manier kunnen worden behandeld als de input van particuliere klanten, indien er tussentijds geen verliezen optreden. Zodra de hoeveelheidsmeting is uitgevoerd, moeten in een volgende stap de materiaalstromen worden geanalyseerd.

Aangezien materiaalstromen de basis vormen waarop KPI's worden ontwikkeld, moeten deze materiaalstromen worden geanalyseerd. Een probleem is dat materiaalstromen kunnen verschillen door hun speciale materiaaleigenschappen. Maar omdat de toegepaste principes vrijwel identiek zijn, moet een gegeneraliseerde materiaalstroom worden gemodelleerd die op alle soorten past. Het standaardproces is gelineariseerd zonder lussen:

Een materiaalstroom begint met de productie van grondstoffen die afhankelijk van de behoeften aan verpakkingen en producenten worden geleverd. Verpakking is uiteraard zelf een soort product, maar wordt hier apart vermeld vanwege het bijzondere belang ervan in de afvalketens. Producenten kunnen producenten zijn van eindproducten voor eindgebruikers of producenten van halffabrikaten die als voorproducten aan andere producenten worden geleverd. Er is dus eigenlijk een materiaalkringloop in deze stap. Er moet rekening mee

worden gehouden dat de producenten van grondstoffen en halffabrikaten zich in andere gemeenten bevinden dan de producenten van eindprodukten. Na de fabricage worden de eindprodukten aan de handelaren geleverd. Tot hier kunnen alle deelnemende bedrijven vrijwel dezelfde belangen hebben wat het afvalbeheer betreft. Er zij op gewezen dat sommige bedrijven in feite SVA produceren dat door de gemeenten moet worden ingezameld en gefactureerd, maar deze stappen zijn in de volgende grafiek ter vereenvoudiging weggelaten.



Figuur 21: Ontwerp van een Blockchain-gebaseerd afvalbeheerproces

Vervolgens "verlaten" producten de proceslaag die door bedrijven wordt bedekt wanneer zij worden verkocht aan klanten die een andere kijk op het proces hebben. Huishoudelijke klanten sorteren afval bijvoorbeeld in aparte bakken en het afval wordt ingezameld. Vervolgens wordt afval voorbereid en gerecycled, hergebruikt/gerepareerd of verwerkt door rotting, verbranding of storting.

Informatiestroom

De informatiestroom in een op Blockchain gebaseerd proces ziet er heel anders uit dan conventionele procesbesturing, aangezien de conventionele lineaire informatiestroom die tot grote vertragingen en inefficiënties kan leiden, wordt overwonnen. Alle deelnemers hebben tegelijkertijd toegang tot dezelfde (bijna) real-time informatie over de voortgang van een project. Er is slechts één enkele bron van "waarheid" binnen het netwerk. De permanente synchronisatie van gegevens en het bestaan van meerdere kopieën maakt de database ook bestand tegen aanvallen van hackers.

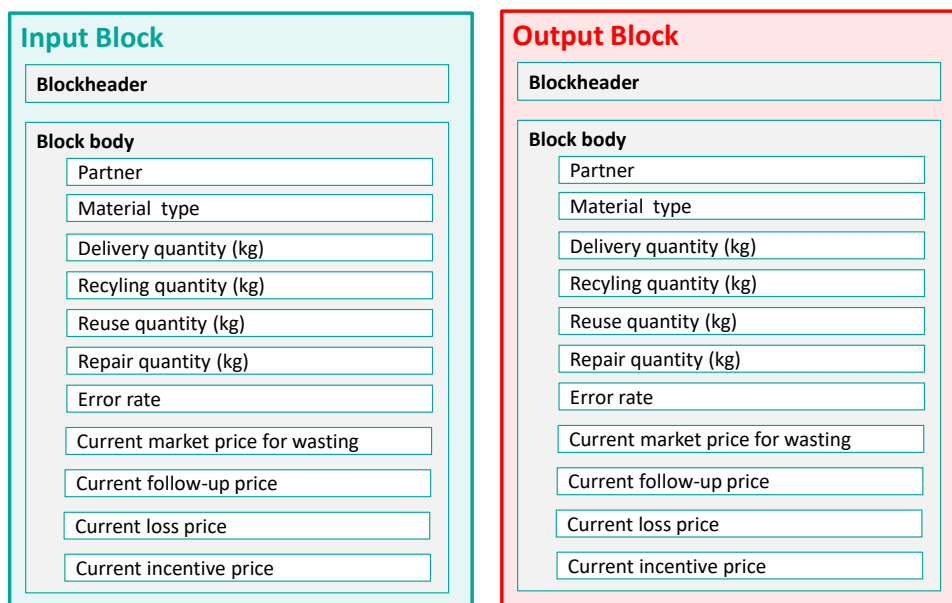
IBM (2017, p. 5) verwoordt het, in "Message-based versus state-based communications", als volgt:

"Tegenwoordig sturen organisaties berichten heen en weer om verschillende taken uit te voeren, waarbij elke organisatie zijn staat van de taak lokaal bijhoudt. Op Blockchains vertegenwoordigen berichten de gedeelde staat van de taak, waarbij elk bericht de taak naar de volgende staat in zijn levenscyclus brengt. Blockchains verschuiven het paradigma van

informatie in het bezit van één eigenaar naar een gedeelde levenslange geschiedenis van een goed of transactie. In plaats van op berichten gebaseerde communicatie is het nieuwe paradigma op staten gebaseerd."

Elk basisgegeven dat relevant is voor het genereren van KPI's moet worden opgeslagen in de MSW-Blockchain. Daarom moet elke deelnemer (behalve burgers) een blok per type genereren zodat aggregatie mogelijk is. De hoeveelheden worden gemeten zoals hierboven beschreven.

Actuele prijzen moeten worden geüpload via een functie-oproep op afstand van een gemeentelijke server. Deze redundantie van prijsinformatie (gemeentelijke server en elk blok) is suboptimaal vanuit het oogpunt van de informatietheorie, maar leidt tot veel hogere prestaties wanneer het gaat om het genereren van KPI's op verzoek. Over het geheel genomen zou de blokstructuur er dus uit moeten zien zoals in figuur 24.



Figuur 22: Blokstructuur van op Blockchain gebaseerd afvalbeheerproces (de auteurs)

Uit deze informatie kunnen op verzoek KPI's worden geproduceerd als de Blockchain performant genoeg is.

Samenwerking vereist een hoge mate van vertrouwen tussen de partners, omdat het gewenste resultaat alleen samen kan worden bereikt. Iedereen is van elkaar afhankelijk, zoals deelnemers aan een touwfeest bij het beklimmen van bergen. Vertrouwen kan worden gecreëerd als iedere deelnemer tegelijkertijd toegang heeft tot dezelfde betrouwbare informatie over activiteiten en transacties. Aan deze voorwaarde is voldaan als er in een gedistribueerd netwerk slechts één gedeelde database is waarin alle transacties uit het verleden worden vastgelegd als één enkele bron van waarheid voor alle deelnemers.

Betalingsstroom

Met de Blockchain kunnen betalingstransacties peer-to-peer worden georganiseerd zonder extra financiële tussenpersoon en zelfs worden geautomatiseerd met behulp van slimme contracten. Zogenaamde betalingstokens, d.w.z. digitale waarden die monetaire functies aannemen, kunnen als geld worden gebruikt.

Volgens de Bank voor Internationale Betalingen (2018, p. 97), "...combineren cryptocurrencies drie belangrijke kenmerken. Ten eerste zijn ze digitaal, streven ze ernaar een handig betaalmiddel te zijn en vertrouwen ze op cryptografie om vervalsing en frauduleuze transacties te voorkomen. Ten tweede, hoewel ze privé worden gecreëerd, zijn ze niemands eigendom, d.w.z. ze kunnen niet worden terugbetaald, en hun waarde vloeit alleen voort uit de verwachting dat ze door anderen zullen worden aanvaard. Dit maakt ze verwant aan goederengeld (hoewel zonder intrinsieke gebruikswaarde). Ten slotte maken ze digitale peer-to-peer uitwisseling mogelijk".

Het belangrijkste punt in deze BIS-verklaring is het laatste: "Payment tokens maken digitale peer-to-peer uitwisseling mogelijk". De huidige betaalmiddelen die in het financiële systeem circuleren maken digitale peer-to-peer uitwisseling niet mogelijk, aangezien zij worden uitgegeven door centrale autoriteiten binnen de tweeledige systemen van commerciële banken en centrale banken. Wil de Distributed Ledger Technology dus ingang vinden in de reële economie door rechtstreekse peer-to-peer handel, dan zullen betaalmunten de natuurlijke aanvulling moeten worden voor het uitwisselen van waarde op digitale basis.

Zoals de BIB stelt, worden betaalmunten particulier gecreëerd en vloeit hun waarde alleen voort uit de verwachting dat zij door anderen zullen worden aanvaard. Zij dienen niet als een door een rechtsstelsel erkend wettig betaalmiddel zoals munten en bankbiljetten. Volgens de huidige discussie zouden sommige centrale banken in de toekomst echter digitale vormen van op waarde gebaseerd contant geld kunnen uitgeven. Momenteel zijn het stabiele munten waarvan de particuliere uitgevers een 1-op-1 wisselkoers van de betalingstoken in alle belangrijke valuta's (US-dollar, euro, yen of Zwitserse frank) garanderen, die het meest geschikt lijken voor peer-to-peer gebruik. Zo vormen stabiele munten een brug tussen het bestaande fiatgeld van de banken en de cryptowereld.

3.5 Ontwikkeling van een governancemodel voor Blockchain-toepassingen

De governance van de Blockchain is een stakeholderovereenkomst die door alle betrokken stakeholders gezamenlijk wordt ontwikkeld en aangenomen. Het kernelement van de Blockchain is zijn decentralisatie, waardoor beslissingen en toezicht worden gedelegeerd aan het netwerk van belanghebbenden en niet aan een centrale instelling of autoriteit. Bijgevolg moeten de belanghebbenden het eerst eens worden over de essentiële elementen van samenwerking bij het beheer van het datanetwerk. De invoering van een op tokens gebaseerd stimuleringsstelsel maakt het mogelijk een win-winsituatie te creëren voor alle deelnemers, en motiveert hen aldus om deel te nemen aan deze gezamenlijke gegevensbank. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de essentiële elementen van governance voor Blockchain-gebaseerd afvalbeheer.

Blockchain-governance als samenwerkingsproces

Dit is zeker het belangrijkste onderdeel van het samenwerkingsproces. Er moet een bestuursstructuur worden gecreëerd die door alle belanghebbenden wordt gedeeld. Uiteindelijk gaat het om hiërarchieën en de verdeling van macht. Werken alle deelnemende bedrijven samen met dezelfde rechten als eigenaar van een proces, of zijn de rechten gecentraliseerd in een kleine kring van bedrijven of alleen verdeeld binnen één bedrijf?

In dit verband moeten vooral de volgende vragen aan de orde komen:

- Wie bepaalt de deelname aan het bedrijfsproces?

- Wie verdeelt de lees- en schrijfrechten onder de deelnemers aan de Blockchain-database?
- Hoe wordt een nieuwe vermelding in de Blockchain gevalideerd, automatisch via een algoritme, zoals Proof of Work, of meer centraal via Proof of Stake of Proof of Authority? De beslissing over het consensusmechanisme bepaalt zowel de schaalbaarheid als de latentie van een dergelijk proces. Zoals Wüst en Gervais (2018, p. 2) schrijven: *"In gecentraliseerde systemen zijn de prestaties in termen van latentie en doorvoer over het algemeen veel beter dan in Blockchain-systemen, omdat Blockchains door hun consensusmechanisme extra complexiteit toevoegen."*
- Worden wijzigingen in de processtroom bekrachtigd via een gemeenschappelijk, democratisch akkoord tussen de deelnemers of via de hiërarchie van de onderneming met het hoogste kapitaaldeel?
- Hoe wordt het proces gecontroleerd? Zijn er geïnstitutionaliseerde oplossingen voor geschillen tussen deelnemers?

Het zal voor zeer hiërarchische, centraal geleide bedrijven moeilijk zijn om zich in te zetten voor een bestuursmodel waarin elke deelnemer vrijwel gelijke rechten heeft. Maar de economische voordelen van de Blockchain-oplossing kunnen alleen worden bereikt als de hoge kosten van gecentraliseerd toezicht door één individu worden vervangen door een zelfsturend, gedecentraliseerd stimuleringsstelsel en transparantie (Lenz, 2019).

On-chain en off-chain Blockchain governance

Governance voor Blockchain consortia bestaat uit "on-chain" en "off-chain" overeenkomsten. De on-chain overeenkomsten zijn een aantal afspraken die betrekking hebben op het operationele gedeelte van de technologie: node hosting, consensusmechanismen, toegang en permissies, en tokenization indien van toepassing. De keuze van het protocol vormt dus de basis van deze on-chain overeenkomsten. In een Blockchain-consortium omvatten de off-chain overeenkomsten de fundamentele regels van het zakelijke gedeelte. De actoren moeten een bestuursstructuur ontwerpen die voor alle deelnemers aanvaardbaar is. Er moet ook overeenstemming zijn over hoe gegevens zullen worden gedeeld, hoeveel input/controle elke deelnemer zal hebben, en hoe kwesties in verband met de algemene prestaties van het consortium en zijn deelnemers zullen worden behandeld.

Blockchains kunnen bijdragen tot betere samenwerking door opportunistisch gedrag te ontmoedigen of onmogelijk te maken. Het kan ook bijdragen tot betere coördinatie door communicatie en het delen van informatie te vergemakkelijken. Vertrouwen is inherent aan Blockchain-technologie. Blockchains zijn niet rechtstreeks afhankelijk van juridische systemen om overeenkomsten af te dwingen, zoals contracten normaliter doen, en Blockchains vereisen geen persoonlijk vertrouwen of directe verbindingen tussen samenwerkers. Actoren moeten echter wel vertrouwen krijgen in de technologie en technologisch vertrouwen opbouwen om het consortium in een Blockchain-ecosysteem te ontwikkelen.

Blockchain maakt een tokenized incentive systeem mogelijk

Zoals eerder vermeld is een belangrijk element van Blockchain governance de ontwikkeling van een tokenized incentive systeem om de verschillende actoren in de afvalketen te motiveren. Een dergelijk tokensysteem kan met name interessant zijn voor het motiveren van burgers. Afhankelijk van het aangenomen beleid kunnen fungibele of niet-fungibele tokens worden verstrekt aan de Blockchain-adressen van elke gebruiker in hoeveelheden en soorten die beantwoorden aan het gedrag van de gebruiker. Doorgaans stelt een mobiele app de gebruiker in staat de tokens op de Blockchain-adressen te beheren door middel van een

Blockchain-wallet waarin de privé-sleutels voor het tokenbezit zijn opgeslagen. Andere ad-hoc oplossingen kunnen voor bepaalde categorieën burgers worden uitgetekend. Een reeks Smart Contracts dwingt automatisch het verdienen van tokens af door gebruikers die afval op de juiste manier splitsen en verminderen en het recyclingpercentage helpen verbeteren. De set van Token Smart Contracts kan rechtstreeks interageren met de set van Smart Contracts die de afvaltraceerketen beheren, waar correct gedrag van huishoudens is geregistreerd aan de hand van scheidingskwaliteit, afvalvermindering en andere criteria, zodat de overeenkomstige beloning in tokens automatisch door een huishouden wordt verdiend en in zijn Blockchain-portemonnee wordt gestort. Dankzij de transparantie en onveranderlijkheid van de Blockchain kan het huishouden de verdiende tokens in zijn portefeuille controleren en de overeenstemming met de in de afvalvolgketen geregistreerde gegevens verifiëren. Een Blockchain-browser kan samen met de portemonnee aan de gebruikers worden verstrekt in een mobiele app. De tokens behoren toe aan de gebruiker en kunnen in principe worden verzameld, geruild, geschonken, verkocht, verbrand volgens het beleid dat in het Smart Contract voor elk soort token is vastgesteld.

Gemeenten of andere hoofdrolspelers kunnen beloningsstrategieën (zoals gratis gebruik van openbare diensten) aannemen op basis van tokens, aangezien deze dankzij de Blockchain-technologie bestand zijn tegen manipulatie. De gehele levenscyclus van elk token kan worden gevolgd door Blockchain-transacties, van de creatie tot de verbranding. Tokens kunnen niet worden vervalst, dubbel uitgegeven of gereproduceerd.

3.6 Het topmanagement overtuigen

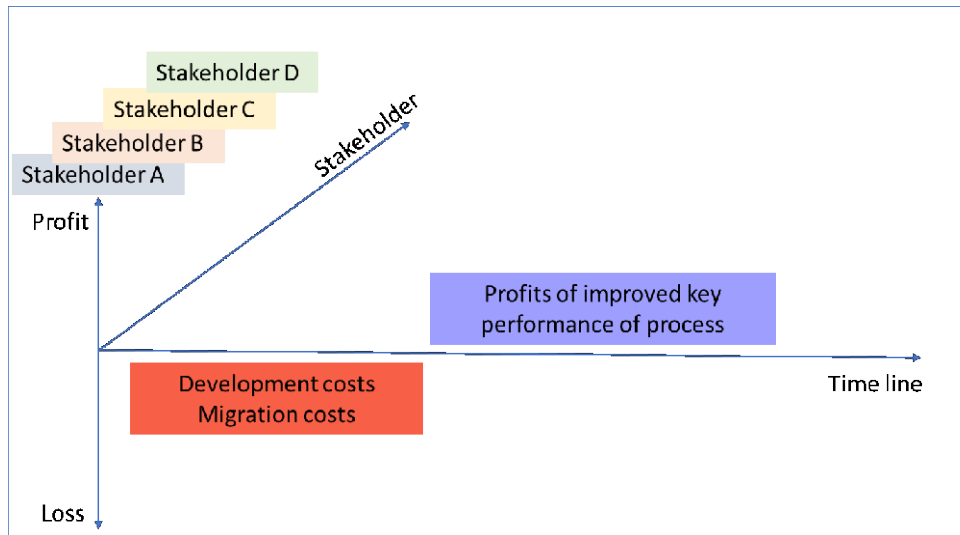
Blockchaintechnologieën hebben potentieel een ontwrichtend effect op waardeketens en de manier waarop waarde wordt gecreëerd en gedistribueerd. Een van de effecten is een grote mate van desintermediatie. Via een analyse per bedrijfstak brachten Carson, Romanelli, Walsh en Zhumaev (2018) meer dan 90 discrete use cases van verschillende maturiteit voor Blockchain in de belangrijkste industrieën aan het licht en presenteerden ze de volgende belangrijke inzichten over de strategische waarde van Blockchain:

1. Blockchain hoeft geen disintermediator te zijn om waarde te genereren, een feit dat toestemmende commerciële toepassingen aanmoedigt.
2. De waarde van blockchain op korte termijn zal vooral liggen in het terugdringen van de kosten, alvorens transformatieve bedrijfsmodellen te creëren, en
3. Blockchain staat nog in de kinderschoenen en moet nog groeien om haalbaar te zijn op schaal, voornamelijk omdat het moeilijk is de "coopetition paradox" op te lossen om gemeenschappelijke normen vast te stellen. Wat wordt eigenlijk bedoeld met de "coöptatieparadox"?

Aan het eind van de dag moet het lonen...

Uiteindelijk zal een beslissing om complexe processen om te zetten naar een op Blockchain gebaseerde transactiedatabase met een groot aantal externe interfaces altijd worden genomen door de raad van bestuur van een onderneming. Het doorslaggevende argument om de technologie te testen zal uiteindelijk het vooruitzicht op aanzienlijke kostenbesparingen en hogere winsten zijn. De belangrijkste prestatie-indicatoren van het huidige proces moeten dus worden vergeleken met die van het nieuwe, op Blockchain gebaseerde proces. Bij gemeentelijk afvalbeheer, waarbij een gemeente een openbare instelling is, moet echter naast de bedrijfsrelevante kernprestatie-indicatoren (winst en kosten) ook rekening worden gehouden met niet-monetaire KPI's zoals minder afval, betere kwaliteit van de afvalscheiding, hogere recycling- en reparatiepercentages, enz.

Een Raad zou ook graag antwoord hebben op het vraagstuk van de migratiekosten, d.w.z. de kosten die de conversie van bestaande processen met zich meebrengt. De toekomstige besparingen die een nieuw ontworpen Blockchain-proces biedt, moeten duidelijk groter zijn dan de kosten van de procesconversie, anders zou een dergelijke investering niet lonend zijn. In een win-win-situatie moet de netto contante waarde van een dergelijke investering echter positief zijn voor elke bij het proces betrokken stakeholder.



Figuur 23: Positieve Return of Investment voor iedere stakeholder? (Lenz 2019)

Als voor elke betrokken stakeholder de verwachte toekomstige winst groter is dan de initiële kosten van de procestransformatie, dan kan het respectieve management besluiten deze investering of dit project uit te voeren. Realistisch gezien zal de omschakeling naar een Blockchain-gebaseerd afvalbeheerproces niet voor alle betrokkenen een netto voordeel opleveren. Voor sommige belanghebbenden kunnen de kosten van de migratie van het bestaande proces naar een op Blockchain gebaseerd proces ook opwegen tegen de potentiële voordelen, vooral omdat deze met enige onzekerheid gepaard gaan en de raming van de migratiekosten relatief zeker is. Dit is waar het hierboven in "3.5 Governance" geschetste gedecentraliseerde stimuleringsysteem om de hoek komt kijken. Hoe belangrijk is het voor de belanghebbenden met een duidelijk voordeel om de migratie naar de Blockchain te steunen die wordt ondernomen door de deelnemers met minder voordelen? Met andere woorden, hoeveel van het voordeel dat eerstgenoemden alleen kunnen genereren door over te stappen op de Blockchain zijn zij bereid weg te geven via een op tokens gebaseerd incentivesysteem, zodat er uiteindelijk een win-winsituatie of, preciezer gezegd, een positieve return on investment ontstaat voor elke deelnemer?

Er is een ecosysteemperspectief nodig

In de onderling verbonden wereld van vandaag leven bedrijven in ecosystemen die verder reiken dan de grenzen van hun eigen bedrijfstak. Dit geldt ook voor het beheer van vast stedelijk afval. Dit is een ecosysteem met vele spelers, waaronder producenten, consumenten, gemeenten, wetgevers en regelgevers, afvalinzamelaars, afvalverwerkers, recyclingbedrijven enz. Zij zijn allemaal actoren in het ecosysteem van het beheer van vast stedelijk afval. Een ecosysteem is een entiteit die bestaat uit een heterogene reeks actoren die met elkaar verbonden zijn. Deze actoren hebben hun eigen autonomie en werken tegelijkertijd samen en concurreren met elkaar. In het MGO ecosysteem werken de verschillende actoren samen om (op een zo duurzaam mogelijke manier) waarde te genereren

en te vangen uit de verwerking van gemeentelijke afvalstromen. Maar tegelijkertijd hebben zij tegenstrijdige belangen. Producenten willen bijvoorbeeld een zo goedkoop mogelijke verpakking, met een herkenbaar marketingverhaal. Consumenten willen gemak bij het scheiden en aanbieden van hun afval. Gemeenten willen binnen hun budget blijven en tegelijkertijd hun (afval)processen meer circulair organiseren, enzovoort. Daarnaast zijn in een ecosysteem bepaalde actoren in directe concurrentie met elkaar, bijvoorbeeld de verschillende afvalinzamelaars. Of partijen in ecosystemen die Blockchain-innovaties implementeren dreigen geminimaliseerd of geëlimineerd te worden, vanwege het disintermediaire karakter van Blockchain.

De juiste Blockchain kiezen

Blockchains zijn er in vele vormen, maar een van de sleutelconcepten van Blockchain is het bestaan van een netwerk van knooppunten in het netwerkproces. Blockchains kunnen grofweg worden onderverdeeld in drie soorten Blockchain: Private, public en consortium. Deze types hebben veel overeenkomsten, en het verschil zit hem in wie mag deelnemen aan het netwerk, hoe 'waarheidsovereenkomst', 'consensus' genoemd, tot stand komt, en hoe het grootboek wordt bijgehouden. Blockchain-initiatieven in MWM zullen waarschijnlijk beginnen met consortium Blockchains, waarin twee of meer partijen deelnemen aan het ecosysteem, bijvoorbeeld consumenten die een slimme container gebruiken en afvalinzamelaars die slimme contracten gebruiken om de facturering per afvalinzameling per huishouden uit te voeren. Meerdere partijen kunnen zich dan aansluiten bij dit Blockchain ecosysteem. Dit is ook nodig om de keten (meer) circulair te maken. Consortium Blockchains bestaan uit meerdere entiteiten en zijn deels gedecentraliseerd omdat de consensusmacht en leesrechten beperkt zijn tot een set personen of nodes. In de praktijk kunnen consortium Blockchains worden toegepast op vele zakelijke toepassingen, hebben ze verschillende groottes en kunnen ze verschillen in hun bestuursmodellen en strategische doelen.

Wees ervan bewust dat Blockchain meer is dan een technologie

Blockchain is niet alleen een technologie, maar biedt mogelijkheden om op andere manieren waarde te creëren en te distribueren. Ecosysteemontwerp vereist een systeemperspectief. Naast waardecreatie en een leveringsmodel moet ecosysteemontwerp rekening houden met de distributie van waarde in een ecosysteem. Dit vereist bewuste afstemming op het ecosysteem en governance. Het vereist een paradigmaverschuiving, en om deze verschuiving mogelijk te maken is betrokkenheid en pleitbezorging van het topmanagement van de organisatie nodig.

Begin klein maar maak het schaalbaar

Een valkuil in het adoptieproces van Blockchain-innovaties is dat, hoewel het disruptieve karakter van Blockchain in potentie groot is, actoren meteen heel groot denken, terwijl de kans op succes groter is als ze klein beginnen. De Blockchain-technologie is relatief nieuw en het ontbreekt potentiële stakeholders aan ervaring. Dit zorgt uiteraard voor grote onzekerheid en een niet te verwaarlozen risico op mislukte investeringen. Bijgevolg is het raadzaam te beginnen met een klein simulatieproject dat schaalbaar moet zijn. Bij een geslaagde testrun ("Proof of Concept") zou het project op grotere schaal kunnen worden uitgevoerd.

Er kan bijvoorbeeld worden begonnen met één activiteit in de MGO-keten of een activiteit die door twee schakels of partijen in een ecosysteem wordt gedeeld. Ervaring opdoen en kennis delen is essentieel om andere actoren in het MGO ecosysteem te overtuigen om deel te

nemen. Circulariteit kan alleen worden bereikt als de hele keten wordt gesloten, wat brede adoptie en participatie vereist.

Het management voorlichten

Hierboven zijn een aantal key performance indicators genoemd die het management zouden kunnen overtuigen. Maar voor het zover is, moet het management worden voorgelicht over de fundamentele van Blockchain. 'Onbekend' maakt Blockchain 'onbemind'. Daarnaast bestaan er veel misvattingen over Blockchain, bijvoorbeeld het idee dat het alleen iets te maken heeft met cryptocurrency, of dat Blockchain puur een ICT-technologie is. Ook een gebrek aan Blockchain-kennis binnen de organisatie of wachten tot andere spelers in het ecosysteem verder gaan met het ontwikkelen van initiatieven zijn vertragende factoren bij de adoptie van Blockchain.

4 Definitieve aanbevelingen

Dit handboek is bedoeld om Europese gemeentelijke afvalbeheerbedrijven aan te moedigen een andere en innovatieve aanpak te kiezen voor de implementatie van Blockchain-oplossingen. Hieronder volgen enkele laatste aanbevelingen om een dergelijke weg in te slaan.

Leren van mislukte Blockchain-projecten

Kortom, Blockchain heeft een potentieel ontwrichtende impact op ecosystemen en de bestaande bedrijfsmodellen van de actoren die aan deze ecosystemen deelnemen. Het is daarom essentieel dat het topmanagement wordt betrokken bij het besluitvormingsproces voor de invoering van Blockchain-innovaties. Hoewel Blockchain een opkomende populaire technologie is, mislukken veel Blockchain-projecten. Trujillo, Fromhart, en Srinivas (2017) onderzochten dat slechts 8% van alle Blockchain-projecten in Github 1,2 jaar na hun activering actief zijn. Een belangrijke reden voor dit hoge faalpercentage is het ontbreken van een (financieel) houdbare business case. De meeste Blockchain projecten zijn gericht op het begrijpen en verkennen van de technologie (door Proof-of-Concept, POC) maar zijn niet voldoende disruptief in termen van het herscheppen van waarde en begrijpen niet dat een herontwerp van het ecosysteem noodzakelijk is voor een succesvolle Blockchain adoptie.

Volgens Trujillo et al. (2017, p. 11), kunnen de volgende conclusies worden getrokken uit de GitHub-gegevens:

- *Projecten van organisaties hebben een hogere overlevingskans dan projecten van individuen.*
- *Projecten die overleven hebben meestal meerdere committers met minder concentratie van activiteiten toegeschreven aan één bepaalde committer.*
- *Projecten die vaak gekopieerd worden, zullen eerder overleven*
- *Projecten die "forks" zijn van andere projecten hebben vaak een hoog sterftecijfer*

De boodschap die hieruit voortvloeit lijkt duidelijk: Blockchain-projecten vergen veel middelen (geld en mankracht), een project moet worden opgezet en uitgevoerd op een collaboratieve manier, en het is niet raadzaam andere projecten te kopiëren in plaats van een eigen project op te zetten dat individueel is ontworpen om een specifiek probleem op te lossen.

Stel het juiste projectteam samen

De ontwikkeling en implementatie van een Blockchain project bestaat grotendeels uit change management en procesmanagement werkzaamheden. Tegen de verwachting in speelt de selectie van de technische Blockchain oplossing een ondergeschikte rol. Intensieve communicatie, elkaars belangen begrijpen, mensen meenemen en overtuigen, de technische mogelijkheden van de Blockchain in eenvoudige bewoordingen uitleggen - dat zijn de componenten voor het slagen van een project en voor de selectie van projectteamleden. Naast IT-experts, business controllers en procesontwerpers moeten in het team ook verandermanagers zitten met onderscheidende communicatievaardigheden.

Gemeentelijk afvalbeheer als lokale en burgergerichte oplosser

Uit de speltheorie is bekend dat gezamenlijke benaderingen tot betere oplossingen leiden dan niet-samenwerkende benaderingen wat betreft het vergroten van de welvaart. De overgang naar een circulaire economie vereist fundamentele gedragsveranderingen van alle belanghebbenden, of het nu gaat om consumptiegedrag, afvalverwijdering of het gekozen

bedrijfsmodel. Onder samenwerking moet worden verstaan dat het gemeenschappelijke doel alleen kan worden bereikt door samenwerking van alle partijen. Een gewenste collaboratieve oplossing voor een bepaald probleem zou zeker sneller worden bereikt in een autoritaire staat die volledige controle over de burgers uitoefent. Of deze oplossing ook duurzaam zou zijn, valt echter te betwijfelen. In ieder geval zou een dergelijke top-down benadering elk individu zijn economische vrijheid en grondrechten ontnemen. In democratieën en markteconomieën moet over dergelijke gezamenlijke oplossingen worden onderhandeld met alle groepen belanghebbenden en beslissen de burgers vrij.

Het gemeentelijk afvalbeheer heeft een doorslaggevend voordeel bij een dergelijk onderhandelingsproces: het probleem kan lokaal worden opgelost. Mensen kennen elkaar, er kan een vertrouwensrelatie worden opgebouwd tussen een gemeente en haar burgers en er kunnen lokale oplossingen worden gevonden. Dit maakt het des te belangrijker om de participatieve betrokkenheid van burgers bij lokale oplossingen binnen steden en gemeenten te benadrukken. Daarom moet de rol van gemeenten als publieke afvalbeheerders worden benadrukt. Deze rol wordt niet gedreven door een commercieel belang bij volledige gegevensverzameling bij burgers, noch door de wil om als lokale autoriteit op te treden. Gemeenten moeten zichzelf veeleer zien als agenten die namens de burgers optreden. Dergelijke lokale agenten, wier acties uitsluitend gericht zijn op het belang van gemeenten en gecontroleerd worden door burgers, zouden zeker meer bereid zijn hun afvalgegevens af te staan dan mondiale spelers.

Deze lokale oplossingen voor gemeentelijk afvalbeheer kunnen in heel Europa volledig verschillend zijn, maar moeten uiteindelijk leiden tot het doel van duurzaam gebruik van schaarse hulpbronnen. Er zal geen "one-size-fits-all"-aanpak op afvalgebied zijn vanwege culturele verschillen, maar ook vanwege verschillen in nationale afvalverwerking. Wat veeleer moet worden gestimuleerd is het wederzijds leren van innovatieve lokale benaderingen.

5 Referenties en bronnen voor verdere lezing

- AlHumid, H. A., Haider, H., AlSaleem, S. S., Shafiquzamman, M., & Sadiq, R. (2019). Prestatie-indicatoren voor gemeentelijke systemen voor het beheer van vast afval in Saoedi-Arabië: selectie en rangschikking met behulp van fuzzy AHP en 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). Afvalbeheersysteem met behulp van IoT-based machine learning in de universiteit. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020.
- BaFin. (2018). Digitalisering. *BaFin Perspektiven*, 01-2018. Opgehaald van https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/BaFinPerspektiven/2018/bp_18-1_Beitrag_Fusswinkel.html?nn=11056122#U9
- Bank voor Internationale Betalingen. (2018). *V. Cryptocurrencies: verder kijken dan de hype*. Opgehaald uit Bazel:
- Beede, D. N., & Bloom, D. E. (1995). The economics of municipal solid waste. *The World Bank Research Observer*, 10(2), 113-150.
- Berg, H., & Sebestyén, J. (2020). Phillip Bendix (Wuppertal Instituut), Kévin Le Blevennec (VITO), Karl Vrancken (VITO).
- Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economische prestatie-indicatoren van gemeentelijke strategieën voor de inzameling van vast afval. *Afvalbeheer*, 74, 86-97.
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P., & Zhumaev, A. (2018). Blockchain voorbij de hype: Wat is de strategische bedrijfswaarde. *McKinsey & Company*, 1.
- Europese Commissie. (2019). *Resolutie van het Europees Comité van de Regio's-De Green Deal in partnerschap met lokale en regionale overheden. In Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, De Europese Raad, Het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's de Europese Green Deal*. Ontleend aan
- Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen (kaderrichtlijn afvalstoffen, (2008).
- IBM. (2017). Blockchain voordelen voor elektronica: Complexiteit temmen met betere zichtbaarheid van de toeleveringsketen. Opgehaald van 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). *Wat een afval 2.0: een wereldwijde momentopname van het beheer van vast afval tot 2050*: World Bank Publications.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualisering van de circulaire economie: Een analyse van 114 definities. *Hulpbronnen, behoud en recycling*, 127, 221-232.
- Lenz, R. (2019a). Big Data: Ethiek en Recht. *Beschikbaar op SSRN 3459004*.
- Lenz, R. (2019b). Managing Distributed Ledgers: Blockchain en verder. Opgehaald van <https://ssrn.com/abstract=3360655>
- Lenz, R., Kleinheyer, B., Barkel, C., Veuger, J., Klöga, M., Torrecilla, J. M., & Menegaki, M. (2021). State of Digitalization in European Municipal Waste Management Comparative Study-vijf EU-lidstaten Estland, Duitsland, Griekenland, Nederland en Spanje.
- Loizia, P., Voukkali, I., Zorpas, A. A., Pedreno, J. N., Chatziparaskeva, G., Inglezakis, V. J., . . . Doula, M. (2021). Het meten van het niveau van milieuprestaties in eilandgebieden, door middel van sleutelprestatie-indicatoren, in het kader van de ontwikkeling van afvalstrategieën. *Science of The Total Environment*, 753, 141974.

- Luttenberger, L. R. (2020). Uitdagingen voor afvalbeheer in de overgang naar een circulaire economie-case van Kroatië. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120495.
- Narayan, R., & Tidström, A. (2020). Tokenizing coepetition in a blockchain for a transition to circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121437.
- Pappas, G., Papamichael, I., Zorpas, A., Siegel, J. E., Rutkowski, J., & Politopoulos, K. (2022). Modelling Key Performance Indicators in a Gamified Waste Management Tool. *Modelling*, 3(1), 27-53.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circulaire economie: het meten van innovatie in de productketen*: PBL Uitgevers.
- PwC. (2016). V&A: Wat is een blockchain? Opgehaald van <https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/qa-what-is-blockchain.pdf>
- PwC. (2018). Bouwen aan bock(keten)s voor een betere planeet: Vierde industriële revolutie voor de aarde Series. Opgehaald van <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). *Afvalbeheer en terugwinning van hulpbronnen*: CRC Press.
- Rudolphi, J. T. (2018). *Blockchain voor een circulaire economie, verkennend onderzoek naar de mogelijkheden voor blockchaintechnologie om de implementatie van materiële paspoorten te versterken*. (Master). Technische Universiteit Eindhoven, Opgehaald van https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/97558362/Rudolphi_0913284.pdf
- Settlement", B. f. I. (2018). Cryptocurrencies: verder kijken dan de hype. In (pp. 91-114).
- Teixeira, C. A., Russo, M., Matos, C., & Bentes, I. (2014). Evaluatie van operationele, economische en milieuprestaties van gemengde en selectieve inzameling van gemeentelijk vast afval: Porto case study. *Waste Management & Research*, 32(12), 1210-1218.
- Treleaven, P., Barnett, J., & Koshiyama, A. (2019). Algoritmen: wet en regelgeving. *Computer*, 52(2), 32-40.
- Trujillo, J. L., Fromhart, S., & Srinivas, V. (2017). Evolutie van blockchaintechnologie: Inzichten van het GitHub-platform. *Deloitte Insights*, 24.
- Vardopoulos, I., Konstantopoulos, I., Zorpas, A. A., Limousy, L., Bennici, S., Inglezakis, V. J., & Voukkali, I. (2021). Perspectieven voor duurzame grootstedelijke gebieden door beoordeling van de bestaande strategieën voor afvalbeheer. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(19), 24305-24320.
- Vehlow, J. (1996). Beheer van gemeentelijk vast afval in Duitsland. *Afvalbeheer*, 16(5-6), 367-374.
- Verhulst, S. G. (2018). Informatieasymmetrieën, Blockchain-technologieën en sociale verandering. Opgehaald van <https://sverhulst.medium.com/information-asymmetries-blockchain-technologies-and-social-change-148459b5ab1a>
- Wüst, K., & Gervais, A. (2018). *Heb je een blockchain nodig?* Paper gepresenteerd op de 2018 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT).
- Yoo, S. H., Rhim, H., & Park, M.-S. (2019). Duurzame afval- en kostenreductiestrategieën in een strategische koper-leverancier relatie. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117785.
- Zarzycka, E., & Krasodomska, J. (2021). Environmental key performance indicators: the role of regulations and stakeholder influence. *Environment Systems and Decisions*, 41(4), 651-666.
- Zorpas, A. A. (2020). Strategieontwikkeling in het kader van afvalbeheer. *Science of The Total Environment*, 716, 137088.

Zorpas, A. A., Lasaridi, K., Voukkali, I., Loizia, P., & Chroni, C. (2015). Huishoudelijk afval compositie analyse variatie van eilandgemeenschappen in het kader van afvalpreventie strategieplannen. *Afvalbeheer*, 38, 3-11.