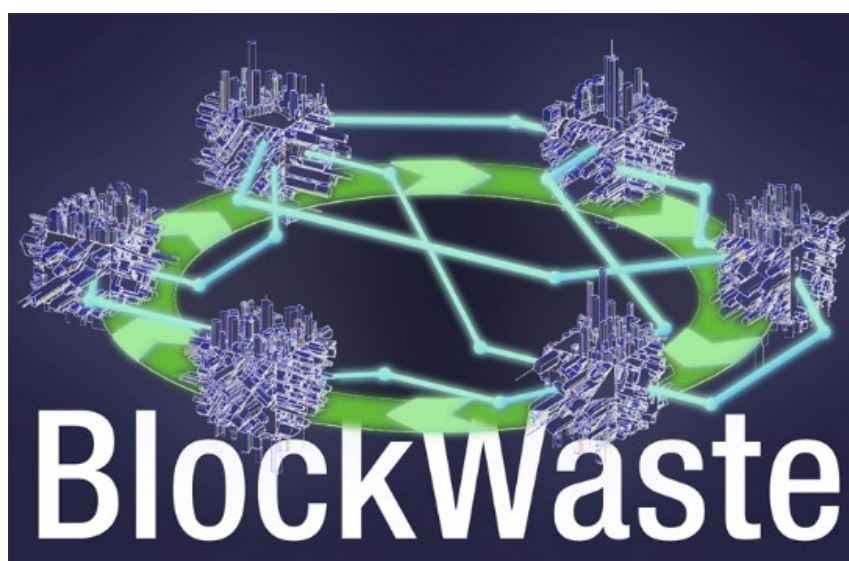


## O1.A3 Handboeken voor strategieën voor circulaire economie toegepast op gemeentelijk afvalbeheer met behulp van Blockchain-technologie

### *Handboek 1: Afvalbeheer en circulaire economie*



#### [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.

## Output factsheet:

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

## Uitvoergegevens:

**Titel van de output:** O1: Leermateriaal voor interdisciplinair Blockchain-MSW

**Titel van de taak:** O1/A3. Handboeken van strategieën voor circulaire economie toegepast op gemeentelijk afvalbeheer met behulp van Blockchain-technologie

**Outputleider:** NTUA

**Task leader:** Saxion UAS

**Auteur(s):** Maria Menegaki, menegaki@metal.ntua.gr, Dimitris Damigos, damigos@metal.ntua.gr, Athanassios Mavrikos, mavrikos@metal.ntua.gr, Nationale Technische Universiteit van Athene, Griekenland, Viktoria Voronova, Tallinn University of Technology, viktor.voronova@taltech.ee, Estonia, Juana María Torrecilla, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, juanamari-toabril@ctmarmol.es, Spain

**Beoordeeld door:** Rainer Lenz, rlenz@fh-bielefeld.de, Bielefeld UAS, Duitsland, David Caparros Perez, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, david.caparros@ctmarmol.es, Spain

## Documentcontrole

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

## Inhoud

Samenvatting .....	v
1 Inleiding.....	1
1.1 Korte projectbeschrijving.....	1
1.2 Doelstellingen en methodologische aanpak.....	1
2 Vast stedelijk afval.....	2
2.1 Definitie .....	2
2.2 Classificatie .....	3
2.3 Kenmerken van de MSW-stroom.....	3
2.3.1 Methoden voor de karakterisering van SVA .....	4
2.3.2 Materialen in MSW naar gewicht .....	4
2.3.3 Variabiliteit van de productie van SVA.....	8
2.4 SVA en het milieu .....	11
2.4.1 MSW milieueffecten .....	12
2.4.2 Percolaat en biogas.....	14
3 Bestaande strategieën voor het beheer van SVA .....	17
3.1 Inleiding tot het beheer van SVA .....	17
3.2 Afvalbeheerhiërarchie .....	19
3.3 Gemeenschappelijke beginselen bij het beheer van VHA.....	20
3.4 Behandeling van MSW.....	20
3.4.1 Stortplaats .....	20
3.4.2 Verbranding en energierterugwinning.....	21
3.4.3 Compostering en biomethanisering.....	22
3.4.4 Recycling.....	24
4 Circulaire economie.....	26
4.1 Het lineaire model van productie en consumptie.....	26
4.2 Circulaire economie: concept, oorsprong en beginselen.....	28
4.3 Uitdagingen en voordelen van circulaire systemen .....	33
4.3.1 Uitdagingen .....	33
4.3.2 Voordelen .....	33
4.3.3 Transversale strategieën.....	35
4.3.4 Directe strategieën .....	36
5 Circulaire economie en beheer van SVA.....	40
5.1 Beheer van SVA in een CE.....	40

5.2	Beleid en instrumenten voor het beheer van SVA in de richting van CE .....	41
5.3	Digitale technologieën voor een circulair beheer van VHA .....	43
6	Referenties en bronnen voor verdere lectuur en informatie .....	46
6.1	Referenties .....	46
6.2	Verdere bronnen .....	49

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Op Europees, regionaal en nationaal niveau gebruikte beleidsinstrumenten voor afvalbeheer .....	43
Tabel 2: Belangrijkste digitaliseringsgebieden in het beheer van SVA .....	44

## Lijst van figuren

Figuur 1: Productie gemeentelijk afval EU-27, 2005-2020 (Bron: Eurostat, 2021). .....	5
Figuur 2: Wereldwijde afvalsamenstelling (Bron: Kaza et. al., 2018).....	6
Figuur 3: Afvalsamenstelling naar inkomensniveau (Bron: Kaza et. al., 2018).....	6
Figuur 4: Afvalproductie van huishoudens in de EU-27 naar gewicht (in ton) (Bron: Eurostat, 2022 - eigen bewerking). .....	7
Figuur 5: Afvalproductie van huishoudens in de EU-27 naar gewicht (in ton) en categorie (Bron: Eurostat, 2022 - eigen bewerking).....	7
Figuur 6: Een momentopname van de ontwikkeling van vast afval tijdens industriële revoluties (Bron: Mavropoulos en Nielsen, 2020).....	10
Figuur 7: Verwachte afvalproductie, per regio (Bron: <a href="https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html">https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html</a> ). .....	11
Figuur 8: Wereldwijde verwerking en verwijdering van afval (Bron: <a href="https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html">https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html</a> ). .....	12
Figuur 9: De gemeentelijke stortplaats Dandora in Nairobi, Kenia (Bron: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg">https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg</a> ) .....	13
Figuur 10: Typische doorsnede van een moderne sanitaire stortplaats (Bron: <a href="https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump">https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump</a> ). .....	14
Figuur 11: Typische samenstelling van percolaat van Ierse stortplaatsen (Bron: Kalyuzhnyi et al, 2003).....	15
Figuur 12: Langetermijnmodel van de samenstelling van het stortplaatsgas. I aërobe fase, II zure fase, III instabiele methaanfase, IV stabiele methaanfase, V langetermijnfase, VI luchtinfiltratiefase, VII methaanoxidatiefase, VIII kooldioxidefase, IX luchtfase (Bron: Wagner et al, 2007). .....	15
Figuur 13: Geïntegreerd afvalbeheer: een levenscyclusinventarisatie (Aangepast van Zbizinski et al., 2006). .....	18
Figuur 14: Stortcijfers voor stedelijk afval in de EU-lidstaten en andere Europese landen (Bron: EMA, 2021).....	18
Figuur 15: Afvalhiërarchie. (Bron: Kaderrichtlijn afvalstoffen, 2008). .....	19
Figuur 16: Een typisch schema van een verbrandingsinstallatie voor vast stedelijk afval (overgenomen uit Worell & Vesilind, 2012). .....	22
Figuur 17: Anaërobe vergisting (grafiek Sara Tanigawa, EESI).....	24
Figuur 18: Recyclingpercentages in Europa per afvalstroom (Bron: EMA, 2022). .....	25
Figuur 19: Grondstofverbruik (RMC) (Bron: Europees Milieubureau 2012). .....	26
Figuur 20: Regeling voor lineaire economie (Bron: BIMgreen 2019).....	27
Figuur 21: Schets van het lineaire economische model (Bron: Marble and Stone Technology Centre, 2018).....	28

Figuur 22: Schets van het circulaire economische model (Bron: Marble and Stone Technology Centre, 2018)..... 29

Figuur 23: Ontkoppeling aangepakt door de EC (Bron: European Environmental Bureau, 2015).  
..... 32

Figuur 24: Schets transitie naar Circulaire economie (Bron: Caparrós-Pérez, D., 2017)..... 35

Figuur 25: Een vereenvoudigd model van de circulaire economie voor materialen en energie (Bron: EMA, 2017). ..... 40

## Samenvatting

Het beheer van stedelijk afval (MGO) ondergaat grote veranderingen als gevolg van ecologische, economische en politieke ontwikkelingen en uitdagingen.

Om deze uitdagingen aan te gaan, hebben de EU-instellingen, de nationale wetgevers en de afvalbeheerorganisaties aanzienlijke inspanningen geleverd om kaders voor regelgeving, classificatie, normalisatie en aanbevelingen tot stand te brengen die milieu- en economische verbeteringen harmoniseren en mogelijk maken. Er is een gedetailleerd, in de hele EU aanvaard repertoire van afvalclassificaties ontstaan dat beheer, behandeling, toezicht en waardecreatie met betrekking tot afval mogelijk maakt.

Ook de gemeentelijke afvalstromen zelf zijn aanzienlijk veranderd, met een trend naar minder gewicht per eenheid, meer verpakking, meer papier en meer e-afval. Voedsel- en groenafval blijven echter een groot deel (44%) van de totale hoeveelheid gemeentelijk afval uitmaken.

De productie van gemeentelijk afval per hoofd van de bevolking verschilt aanzienlijk binnen de EU, met een verschil van 250% tussen landen die veel en weinig afval produceren. Hoewel de toename van de hoeveelheid gemeentelijk afval in de EU een groot probleem is, is de groei in andere delen van de wereld nog sneller, zodat de totale impact van gemeentelijk afval dramatische proporties heeft aangenomen, waarbij percolaat en methaan de grootste bedreiging vormen voor schoon water en schone lucht.

Het huidige afvalbeheer heeft getracht deze trend tegen te gaan door geïntegreerde systemen van afvalbeheer in te voeren die steunen op interventiehiërarchieën zoals de afvalpiramide die zorgen voor vermindering van de milieu-effecten binnen de grenzen van de technologische haalbaarheid, de economische levensvatbaarheid en de maatschappelijke aanvaardbaarheid.

Pogingen om sneller grootschalige oplossingen te vinden voor de groei van het afvalvolume hebben het vertrouwen in lineaire afvalbeheermodellen ondermijnd en circulaire economische modellen in het middelpunt van de belangstelling geplaatst. De voordelen daarvan liggen in het feit dat zij hergebruik, terugwinning en recycling verkiezen boven verwijdering, verbranding en storting door lineaire stromen van stoffen te vervangen door circulaire cycli. De overgang van een "nemen-maken-weggoaien"-logica naar een ont koppeling van economische ontwikkeling en milieueffecten van het gebruik van hulpbronnen zal een drastische ommekeer vergen, niet alleen in het afvalbeheer, maar in de fundamentele processen van een economie. Dit vereist en leidt tot circulaire outputmodellen, circulaire innovatiemodellen en circulaire gebruiksmodellen.

Ook dit vergt doortastende politieke actie en regelgeving, te beginnen op EU-niveau, maar ook een drastische mentaliteitsverandering in de samenleving, waarbij het idee van afval als "probleem" wordt omgezet in afval als "waardevolle hulpbron". VHA-beheer moet dan een vitaal onderdeel worden van circulaire productie en consumptie.

# 1 Inleiding

## 1.1 Korte projectbeschrijving

Het BlockWASTE-project heeft tot doel de interoperabiliteit tussen afvalbeheer en blockchaintechnologie aan te pakken en de juiste behandeling ervan te bevorderen via educatieve opleidingen, zodat de verzamelde gegevens worden gedeeld binnen een veilige omgeving, waar geen ruimte is voor onzekerheid en wantrouwen tussen alle betrokken partijen. Daartoe zijn de doelstellingen van het BlockWASTE-project als volgt:

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

BlockWASTE wil transnationaal nieuwe onderwijsinhoud implementeren met als doel de studenten in de partnerlanden op te leiden en hen de nodige basisvaardigheden bij te brengen die hen in staat stellen professioneel op te treden als toekomstige werknemers in de sector, waarbij digitale competenties worden toegevoegd die vereist zijn door bedrijven die het proces van digitale transformatie omarmen. In die zin is het project gericht op:

- Ondernemingen en KMO's, IT-professionals, urbanisten en afvalbeheerders.
- Universiteiten (professoren, studenten en onderzoekers).
- Openbare instanties.

Het project omvat de volgende vier intellectuele outputs:

- O1. Leermateriaal voor interdisciplinair Blockchain-MSW
- O2. Europees gemeenschappelijk curriculum inzake VHA dat Blockchain-technologieën toepast op Circulaire Economie-strategieën
- O3. E-learning tool gebaseerd op Blockchain-MSW gericht op Circulaire Economie
- O4. BlockWASTE Open Educational Resource (OER)

## 1.2 Doelstellingen en methodologische aanpak

In dit document worden de belangrijkste definities en kenmerken van gemeentelijk vast afval (VHA), beheerspraktijken, alsmede beleidsmaatregelen en instrumenten voor VHA-beheer met het oog op CE gepresenteerd.



## 2 Vast stedelijk afval

### 2.1 Definitie

In de EU-storrichtlijn 1999/31 wordt vast stedelijk afval (VHA) gedefinieerd als "huishoudelijk afval, alsmede ander afval dat gezien zijn aard of samenstelling vergelijkbaar is met huishoudelijk afval". Volgens Richtlijn 2018/851 wordt onder gemeentelijk afval verstaan:

(a) gemengd afval en gescheiden ingezameld huishoudelijk afval, waaronder papier en karton, glas, metalen, kunststoffen, bio-afval, hout, textiel, verpakking, afgedankte elektrische en elektronische apparatuur, afgedankte batterijen en accu's, en grofvuil, waaronder matrassen en meubilair;

(b) gemengd afval en gescheiden ingezameld afval uit andere bronnen, wanneer dat afval qua aard en samenstelling vergelijkbaar is met huishoudelijk afval.

Gemeentelijk afval is afkomstig van huishoudens, handel en industrie, kleine bedrijven, kantoorgebouwen en instellingen (scholen, ziekenhuizen, overheidsgebouwen), en wordt huis-aan-huis ingezameld via traditionele inzameling (gemengd huishoudelijk afval), waarbij specifieke fracties gescheiden worden ingezameld voor terugwinningsdoeleinden (via huis-aan-huisinzameling en/of via vrijwillige storting). Deze afvalstroom omvat ook afval uit dezelfde bronnen en van vergelijkbare aard en samenstelling, dat rechtstreeks door de particuliere sector wordt ingezameld (voornamelijk gescheiden inzameling voor terugwinningsdoeleinden), niet namens de gemeenten, en afval uit landelijke gebieden die niet door een reguliere afvaldienst worden bediend. Gemeentelijk afval omvat geen afval van productie, landbouw, bosbouw, visserij, septic tanks en rioleringsnet en -behandeling, met inbegrip van zuiveringslib, autowrakken of bouw- en sloopafval.

Deze definitie wordt in vrijwel alle partnerlanden gevolgd. In Duitsland wordt vast stedelijk afval in de zin van de wet op de circulaire economie § 5a gedefinieerd (KrWG2020) als gemengd of gescheiden afval dat wordt ingezameld bij: i) particuliere huishoudens, met name papier en karton, glas, metaal, kunststoffen, organische stoffen, hout, textiel, verpakkingen, elektrische en elektronische apparaten, batterijen, grofvuil met inbegrip van matrassen en meubilair, en ii) andere bronnen indien dit afval qua aard en samenstelling vergelijkbaar is met huishoudelijk afval van particuliere huishoudens. In Griekenland omvat de categorie SVA volgens het Griekse bureau voor de statistiek huishoudelijk en soortgelijk afval dat wordt ingezameld via het gemeentelijke inzamelingssysteem of via derden. In Estland (Afvalstoffenwet, §2,7) omvat gemeentelijk afval huishoudelijk afval en afval dat in de handel, bij de verlening van diensten of elders wordt geproduceerd en dat door zijn samenstelling of eigenschappen vergelijkbaar is met huishoudelijk afval. In Nederland wordt gemeentelijk afval gedefinieerd als huishoudelijk afval: afvalstoffen afkomstig van particuliere huishoudens, met uitzondering van de bestanddelen van dat afval die als gevaarlijk afval zijn aangemerkt.

Ten slotte wordt in Spanje SVA gedefinieerd als afval dat in huishoudens ontstaat als gevolg van huishoudelijke activiteiten en soortgelijk afval dat in de dienstensector en de industrie ontstaat. Het omvat tevens huishoudelijk afval van elektrische en elektronische apparatuur, kleding, batterijen, accu's, meubilair en toebehoren, alsmede afval en puin van kleine bouw- en reparatiewerkzaamheden in huishoudens. Voorts wordt afval van het schoonmaken van openbare wegen, groenzones, recreatiegebieden en stranden, dode huisdieren en

achtergelaten voertuigen als huishoudelijk afval beschouwd (Wet 22/2011 van 28 juli betreffende afvalstoffen en verontreinigde grond).

## 2.2 Classificatie

Gemeentelijk afval bestaat volgens Eurostat (2017) uit de volgende categorieën:

### A. Gescheiden ingezameld huishoudelijk afval:

- Papier en karton
- Textiel
- Kunststoffen
- Glas
- Metalen
- Organisch materiaal van het huishouden (keukenafval, tuinafval - compostering thuis komt niet in aanmerking).
- Gevaarlijk huishoudelijk afval (bv. gebruikte oplosmiddelen, zuren, alkalines, fotochemicaliën, pesticiden, gebruikte olie, verf, AEEA, batterijen en accu's, detergenten, enz.)
- Ander afval (bv. spijsolie en -vet, rubberafval, enz.)
- Grofvuil

### B. Restafval:

- Gemengd afval van huishoudens en soortgelijke instellingen, met uitzondering van gescheiden ingezamelde fracties.

### C. Afval van gemeentelijke diensten:

- Organische materialen van gemeentelijke diensten
- Afval van openbare vuilnisbakken en straatvegen
- Marktopruimingsafval
- Afval van de begraafplaats

Vrijwel dezelfde indeling wordt gevolgd in Duitsland (Wet op de circulaire economie, 2012, gewijzigd 2020, KrWG2020), Griekenland (Nationaal afvalbeheersplan, Staatsblad 185/A/29-09-2020), Estland (Afvalstoffenwet, 2004, gewijzigd 01.01.21), Nederland (Nationaal afvalbeheersplan 2017) en Spanje (Wet 22/2011).

## 2.3 Kenmerken van de MSW-stroom

De karakterisering van gemeentelijk vast afval (MSW) vormt een belangrijk instrument voor lokale overheden en exploitanten van sanitaire voorzieningen bij het vaststellen en bereiken van doelstellingen voor recycling en terugwinning van afval. In die richting is het uitvoeren van een volledige analyse van de kenmerken en samenstelling van huishoudelijk afval een belangrijk element in nationale, regionale en lokale strategieën (Ciuta et. al., 2015).

### 2.3.1 Methoden voor de karakterisering van SVA

Er zijn twee primaire methoden voor het uitvoeren van een afvalkarakteriseringsstudie. De eerste is een locatiespecifieke aanpak waarbij de afzonderlijke componenten van de afvalstroom worden bemonsterd, gesorteerd en gewogen. Deze methode is nuttig om een lokale afvalstroom te definiëren, vooral als er gedurende meerdere seizoenen grote aantallen monsters worden genomen.

De resultaten van de bemonstering vergroten ook de kennis over variaties ten gevolge van klimaat- en seizoensveranderingen, bevolkingsdichtheid, regionale verschillen enz. Bovendien kunnen hoeveelheden VHA-componenten zoals voedselresten en snoeiafval alleen worden geschat door middel van bemonsterings- en weegstudies.

Hoewel deze methode nuttig is om een lokale afvalstroom af te bakenen, kan extrapolatie van een beperkt aantal studies een vertekend of misleidend beeld opleveren indien zich bijvoorbeeld tijdens de bemonstering atypische omstandigheden hebben voorgedaan. Deze omstandigheden kunnen bijvoorbeeld zijn: een ongewoon nat of droog seizoen, de levering van enkele ongewone afvalstoffen tijdens de bemonsteringsperiode of fouten in de bemonsteringsmethode. Dergelijke fouten worden sterk vergroot wanneer een beperkt aantal monsters wordt genomen om de gehele afvalstroom van een gemeenschap voor een jaar te vertegenwoordigen. De vergroting van de fouten zou nog ernstiger kunnen zijn indien voor de nationale schattingen van SVA een beperkt aantal monsters wordt gebruikt. Ook zou een uitgebreide bemonstering onbetaalbaar zijn voor het maken van de nationale schattingen. Een bijkomend nadeel van bemonsteringsstudies is dat zij geen informatie verschaffen over trends, tenzij zij over een lange periode op consistente wijze worden uitgevoerd (EPA, 1998).

De tweede methode wordt de "materiaalstromenmethode" genoemd. Het idee voor deze methode is begin jaren zeventig bij het EPA ontwikkeld. Deze methodologie is gebaseerd op productiegegevens (in gewicht) voor de materialen en producten in de afvalstroom. Om de productiegegevens te schatten, worden specifieke correcties aangebracht in de productiegegevens voor elke materiaal- en productcategorie. Er worden aanpassingen gemaakt voor in- en uitvoer en voor afleidingen van SVA (bv. voor bouwmaterialen van kunststof en karton die bouw- en slooafval worden). Er worden ook aanpassingen gemaakt voor de levensduur van producten. Ten slotte wordt rekening gehouden met voedselresten, snoeiafval en een kleine hoeveelheid ander anorganisch afval door gegevens uit diverse afvalbemonsteringsstudies samen te voegen.

Een probleem met de materiaalstroommethode is dat productresten die verband houden met andere artikelen in SVA (gewoonlijk containers) niet worden meegerekend. Deze residuen omvatten bijvoorbeeld voedsel dat in een pot blijft zitten, wasmiddel dat in een doos of fles blijft zitten en opgedroogde verf in een blik. Sommige gevaarlijke huishoudelijke afvalstoffen (bv. bestrijdingsmiddelen in een blik) vallen ook onder deze productresten.

### 2.3.2 Materialen in MSW naar gewicht

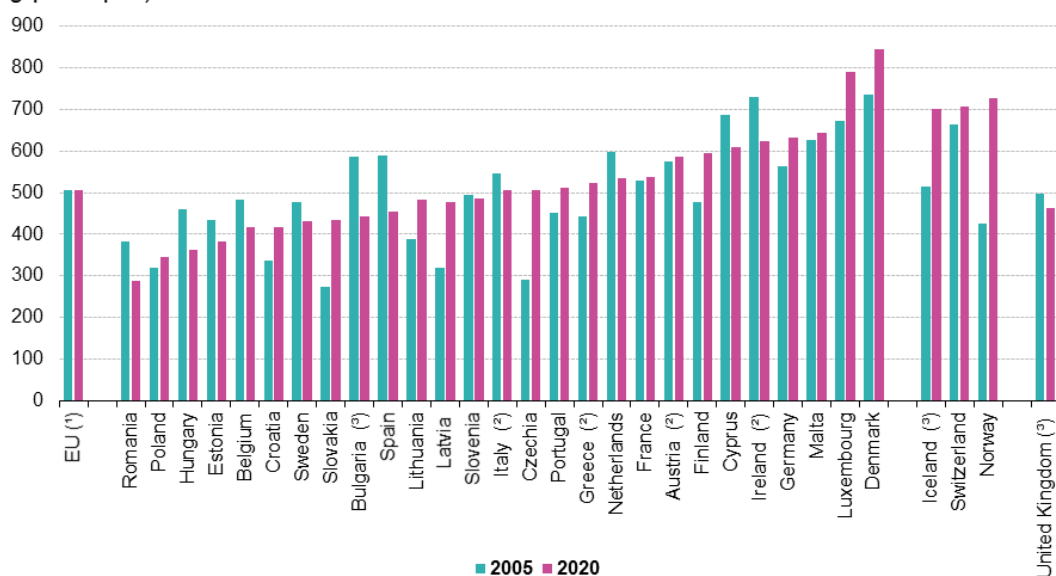
In 2018 bedroeg de totale afvalproductie in de EU-27 door alle economische activiteiten en huishoudens 2,337 miljoen ton. In de EU-27 droegen huishoudens 8,2 % van het totale geproduceerde afval bij. Hoewel gemeentelijk afval minder dan 10 % van het totale in de EU

geproduceerde afval uitmaakt, blijkt het een van de meest vervuilende afvalsoorten te zijn, vanwege het complexe karakter ervan, vanwege de samenstelling, de verdeling over vele afvalbronnen en het verband met consumptiepatronen.

Voor 2020 varieert de totale hoeveelheid geproduceerd stedelijk afval aanzienlijk, van 282 kg per inwoner in Roemenië tot 845 kg per inwoner in Denemarken, met een gemiddelde van ongeveer 500 kg in de EU-27. De verschillen weerspiegelen verschillen in consumptiepatronen en economische welvaart, maar hangen ook af van de wijze waarop gemeentelijk afval wordt ingezameld en beheerd.

### Municipal waste generated, 2005 and 2020

(kg per capita)



Note: Countries are ranked in increasing order by municipal waste generation in 2020.

(\*) Estimated.

(²) Ireland, Italy, Greece, Austria, 2019 data.

(³) Bulgaria, Iceland, United Kingdom 2018 data.

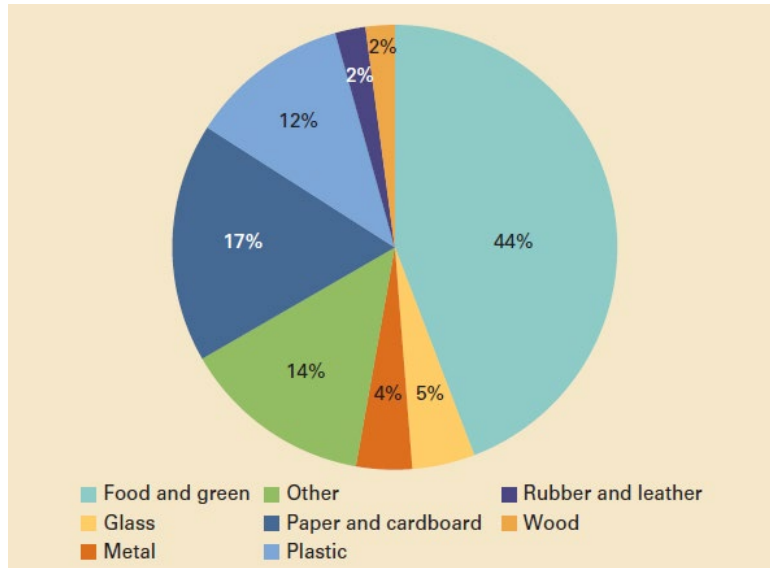
eurostat

Figuur 1: Productie gemeentelijk afval EU-27, 2005-2020 (Bron: Eurostat, 2021).

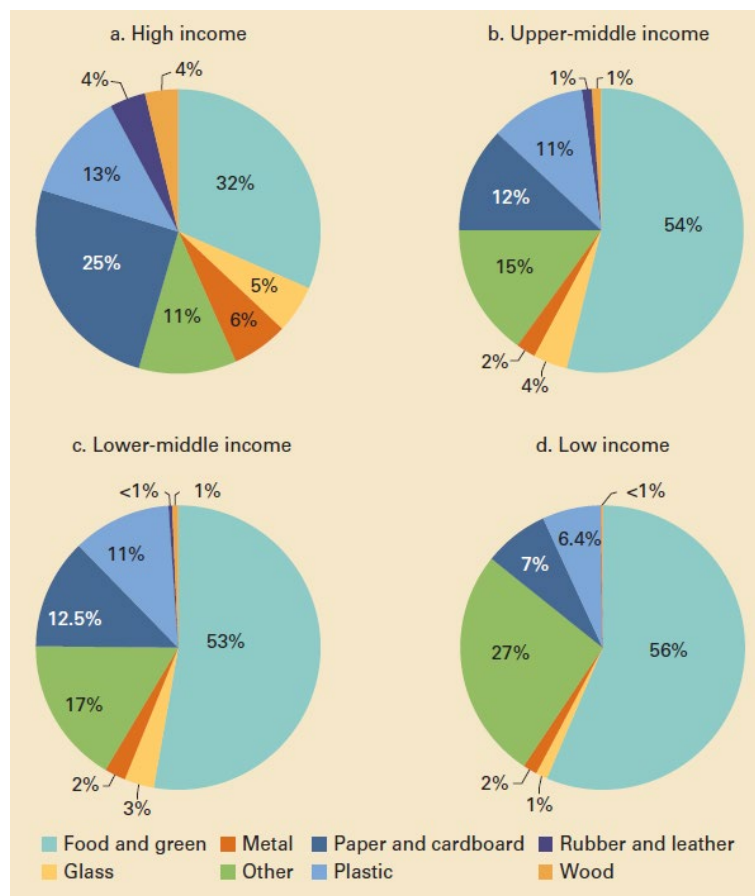
Wat de partnerlanden betreft, had Duitsland in 2019 de hoogste productie van stedelijk afval per hoofd van de bevolking (609 kg), gevolgd door Griekenland (524 kg) en Nederland (508 kg). De productie van gemeentelijk afval per hoofd van de bevolking in Spanje (476 kg) lag onder het gemiddelde van de EU-27 (namelijk 502 kg). Estland produceert, zoals gezegd, veel minder afval (namelijk 73,5% van het EU-gemiddelde of 369 kg per hoofd van de bevolking).

De samenstelling van afval is de indeling van soorten materialen in vast stedelijk afval. Op internationaal niveau is voedsel- en groenafval de grootste afvalcategorie, goed voor 44 procent van het wereldwijde afval (figuur 2). Droge recyclebare materialen (plastic, papier en karton, metaal en glas) vormen nog eens 38 procent van het afval. De samenstelling van het afval verschilt aanzienlijk per inkomensniveau. Het percentage organisch materiaal in afval neemt af naarmate het inkomensniveau stijgt. Consumptiegoederen in landen met hogere

inkomens bevatten meer materialen zoals papier en plastic dan in landen met lagere inkomens (figuur 3). De granulariteit van gegevens voor de samenstelling van afval, zoals gedetailleerde rekeningen van rubber- en houtafval, neemt ook toe per inkomensniveau (Kaza et. al., 2018).

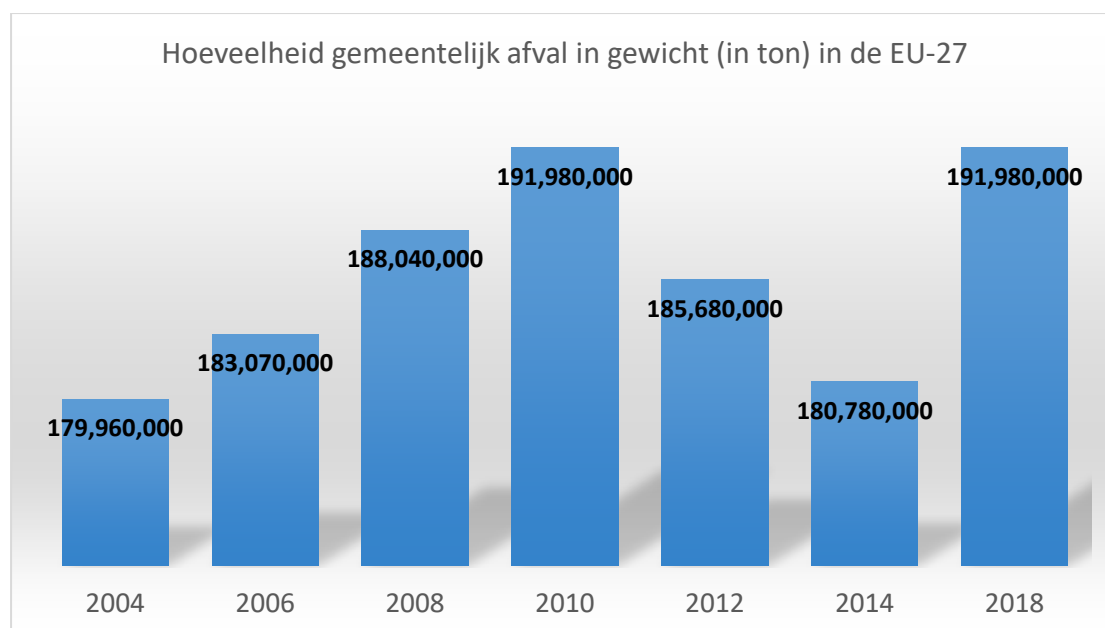


Figuur 2: Wereldwijde afvalsamenstelling (Bron: Kaza et. al., 2018).



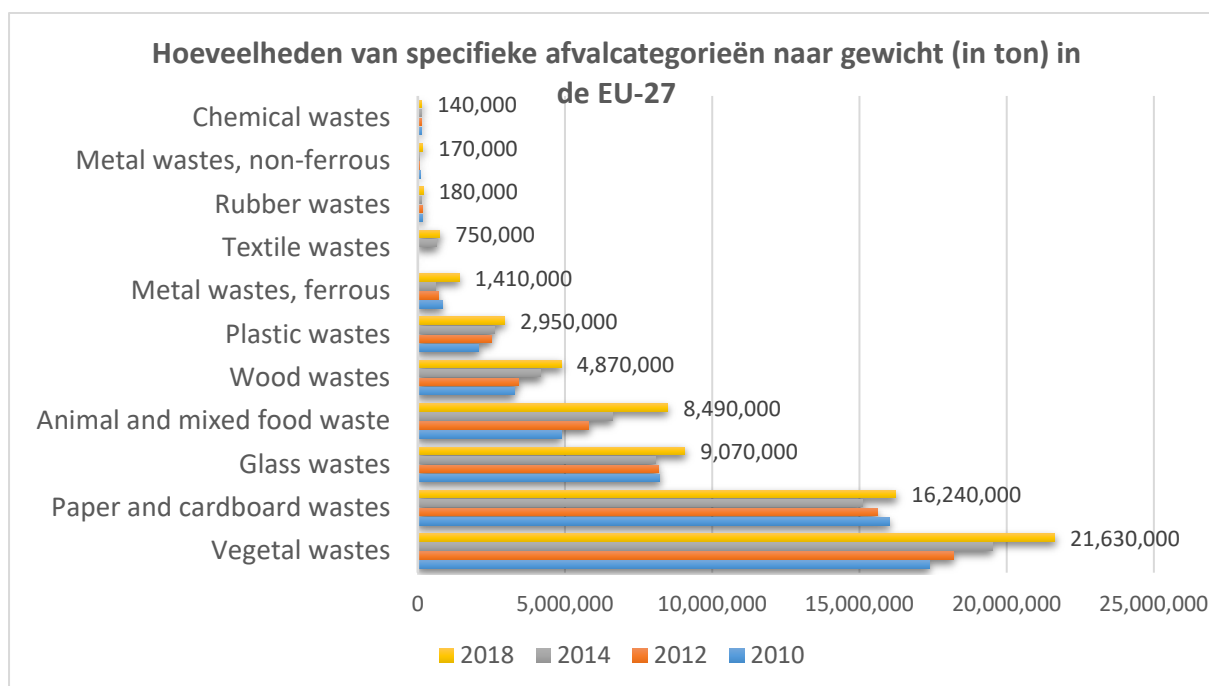
Figuur 3: Afvalsamenstelling naar inkomensniveau (Bron: Kaza et. al., 2018).

De hoeveelheden van het totale (gevaarlijke en niet-gevaarlijke) huishoudelijke afval in de EU-27 worden weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Afvalproductie van huishoudens in de EU-27 naar gewicht (in ton) (Bron: Eurostat, 2022 - eigen bewerking).

De hoeveelheden van specifieke categorieën bij huishoudens ingezameld afval zijn weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Afvalproductie van huishoudens in de EU-27 naar gewicht (in ton) en categorie (Bron: Eurostat, 2022 - eigen bewerking).

### 2.3.3 Variabiliteit van de productie van SVA

#### 2.3.3.1 Commercieel vs. huishoudelijk afval

In het algemeen zijn mensen zich het meest bewust van het afval dat uit hun eigen huis komt, of het nu gaat om eengezinswoningen, appartementsgebouwen of andere woonvormen. Er ontstaan echter ook grote hoeveelheden afval op plaatsen waar mensen werken, winkelen, reizen, lessen volgen of andere activiteiten ontplooiën. Dit laatste afval wordt over het algemeen geïnclassificeerd als commercieel afval. Om de verwarring nog groter te maken, classificeren afvalverwijderingsbedrijven afval uit appartementsgebouwen vaak als bedrijfsafval, hoewel de aard van het afval sterk kan lijken op die van eengezinswoningen (Tchobanoglous en Kreith, 2002).

#### 2.3.3.2 Lokale/regionale variabiliteit

Beheerders van vast stedelijk afval zijn het er in het algemeen over eens dat de hoeveelheid en de kenmerken van SVA in het land variëren, hoewel het niet gemakkelijk is met enige betrouwbaarheid te generaliseren. Op basis van ervaring kunnen echter wel enkele vaststellingen worden gedaan (ibid).

Ten eerste is men het erover eens dat het huishoudelijk afval minder verschilt van plaats tot plaats dan het commercieel afval (Hunt, 1990). Mensen in het hele land kopen over het algemeen vrijwel dezelfde soorten goederen, of zij nu in landelijke of stedelijke gebieden of in verschillende klimaten wonen. Uitzonderingen op deze generalisatie zijn:

- *Tuinafval*. In warmere, vochtiger delen van het land is er doorgaans veel meer snoeiafval. Bovendien zijn er duidelijke verschillen in de manier waarop snoeiafval wordt beheerd.
- *Voedselafval*. De verwijdering van voedselafval in SVA zal variëren naar gelang van de prevalentie van voedselverwijderaars, die het voedselafval in het afvalwaterzuiveringssysteem brengen.
- *Kranten*. Kranten, die meestal in woningen worden weggegooid, variëren sterk in omvang en dragen dus bij tot regionale en stedelijke/plattelandverschillen in de productie van VHA.

De productie van SVA in een bepaalde plaats wordt sterk beïnvloed door de commerciële activiteiten in het gebied. Een concentratie van kantoorgebouwen produceert kantoorpapier en ander afval. Winkelcentra, magazijnen en fabrieken produceren eveneens grote hoeveelheden golfkarton en ander afval. Scholen, ziekenhuizen, luchthavens, trein- en busstations, hotels en motels en sportfaciliteiten dragen allemaal bij tot de commerciële afvalstroom. Kleine steden en plattelandgebieden zonder concentraties van commerciële activiteiten produceren doorgaans minder SVA per persoon dan stedelijke gebieden.

#### 2.3.3.3 Seizoensgebonden variaties

Een ander bekend verschijnsel in het gemeentelijke afvalbeheer zijn de seizoensgebonden variaties in de afvalproductie. Voor de meeste gemeenten is snoeiafval de belangrijkste variabele, waarbij het seizoensgebonden opruimen van erven en garages vaak bijdraagt tot de weken met de hoogste afvalproductie. Het late voorjaar en de herfst zijn in veel gemeenten piekperiodes, terwijl de productie van snoeiafval in de wintermaanden in koude klimaten tot



nul kan dalen. Toeristische gebieden vertonen ook seizoensgebonden variaties, afhankelijk van het soort vakantie dat elk gebied aanbiedt.

#### 2.3.3.4 *Veranderingen in de tijd*

De productie van vast stedelijk afval vertoont schommelingen in de tijd tussen de verschillende materialen. Inzicht in dit verschijnsel is bijzonder belangrijk voor het maken van prognoses van de productie van vast stedelijk afval en voor de planning van afvalbeheersinstallaties.

Enkele factoren die de productie van VHA doen toenemen zijn:

- *Toenemende bevolking.* Het is duidelijk dat meer mensen meer dingen gebruiken en weggooien.
- *Toenemende welvaart.* Er bestaat een vrij sterke correlatie tussen de productie van VHA en de economische activiteit, gemeten aan de hand van het bruto binnenlands product (BBP) of de persoonlijke consumptieve bestedingen (PCE). De productie van papier- en kartonproducten is bijzonder gevoelig voor de economische activiteit. De redenen liggen voor de hand: wanneer er minder goederen worden besteld, worden er minder dozen en andere verpakkingen voor verzending besteld. Ook daalt de reclame in kranten en tijdschriften tijdens een recessie.
- *Veranderingen in levensstijl.* Veranderingen in levensstijl houden enigszins verband met welvaart. Zo zijn alleenstaanden, gezinnen met tweeverdieners en eenoudergezinnen geneigd meer voorverpakt voedsel te kopen en meer uit eten te gaan, vaak in fastfoodrestaurants waar wegwerpverpakkingen worden gebruikt. Zij doen wellicht ook meer inkopen via catalogi, waardoor de hoeveelheid post die thuis wordt ontvangen en weggegooid toeneemt. Bovendien moet elk nieuw huishouden, hoe klein ook, een aantal apparaten en meubels hebben.
- De explosieve groei van de informatie- en winkelmogelijkheden via on-line elektronische communicatie leidt ook tot veranderingen in de afvalproductie. Het aantal lezers van kranten neemt bijvoorbeeld af, maar mensen met computers thuis genereren wellicht meer kantoorpapier omdat zij informatie en e-mailberichten afdrukken.
- *Nieuwe producten.* Nieuwe producten voor eenmalig gebruik kunnen de hoeveelheid geproduceerd SVA doen toenemen. Wegwerpluiers zijn een voorbeeld van dit verschijnsel.

Hoewel de productie van SVA in de loop der tijd is toegenomen, zijn er factoren die de productie van SVA doen afnemen. Enkele van deze factoren zijn

- *Herontwerp van producten.* Sommige producten in SVA zijn in de loop der jaren lichter geworden. Apparaten zoals koelkasten zijn daar een voorbeeld van, grotendeels als gevolg van veranderingen in de isolatie en het gebruik van lichtere kunststoffen. Een ander voorbeeld zijn rubberbanden, die niet alleen kleiner zijn geworden maar ook langer meegaan. Krantenpapier is lichter geworden en soms zijn de pagina's kleiner geworden. Ook veel soorten verpakking zijn in de loop der jaren lichter geworden, vaak om transportkosten te besparen.

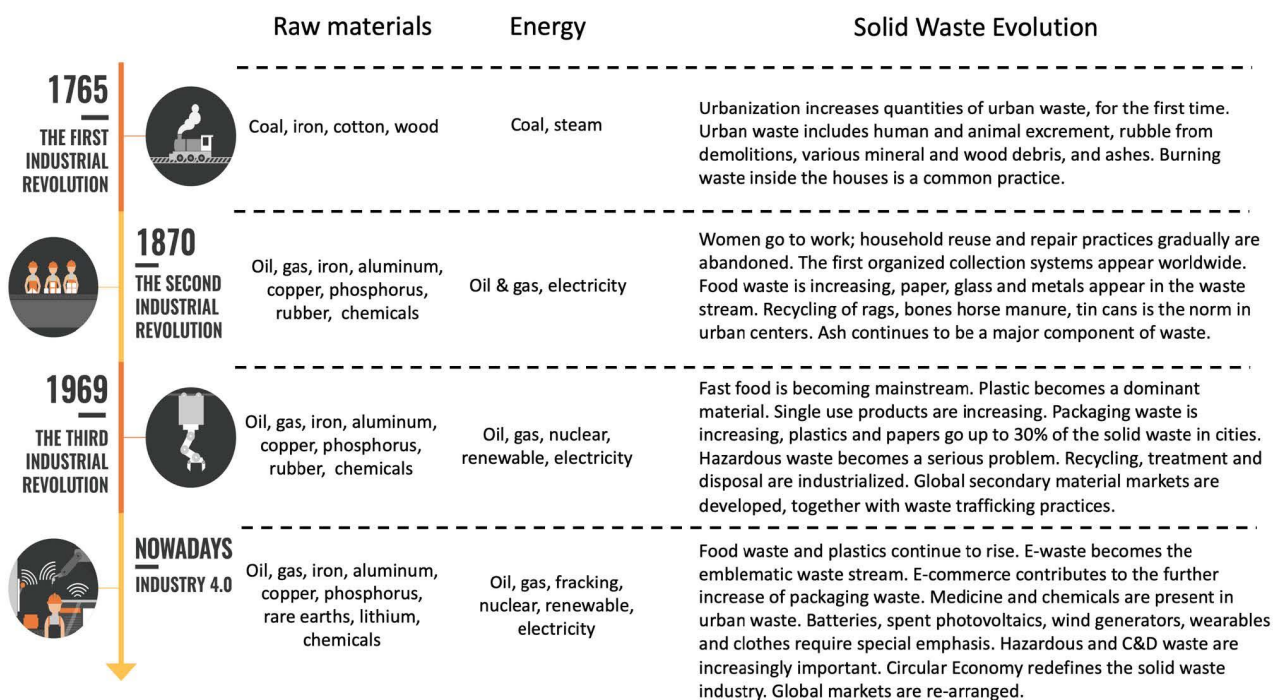
Plastic afval heeft de laatste tijd veel aandacht gekregen, vooral de plastic stromen voor eenmalig gebruik, vooral vanwege de massale onderzoeksresultaten over de effecten van



plasticvervuiling op oceanen<sup>1</sup>. De EU lanceerde haar plasticstrategie in 2018, met als doel dat alle plastic verpakkingen tegen 2030 herbruikbaar of recycleerbaar zijn. Ook moet tegen 2025 90% van alle plastic flessen worden gerecycled. Verwacht wordt dat deze strategie de manier waarop plastic producten in de EU worden ontworpen, gebruikt, geproduceerd en gerecycled, zal veranderen (Mavropoulos en Nielsen, 2020)<sup>2</sup>.

- *Vervanging van materialen.* Vooral bij verpakkingen is er een tendens om voor veel toepassingen lichtere materialen te vervangen. Zo hebben aluminiumblikjes stalen blikjes vervangen bij drankverpakkingen en zijn plastic flessen in de plaats gekomen van glas. Dit komt tot uiting in een dalende of "vlakke" productie van stalen en glazen verpakkingen, terwijl aluminium en kunststoffen een snelle groei vertonen. Kunststoffen hebben in veel toepassingen ook papier vervangen. Hoewel de productie van papieren verpakkingen in het algemeen is toegenomen, is de productie van papieren zakken bijvoorbeeld afgenomen, voornamelijk door het toegenomen gebruik van plastic zakken, die veel lichter zijn.

Figuur 6 toont de veranderende aard van afval naarmate de wereld van de ene industriële revolutie naar de andere gaat.



Figuur 6: Een momentopname van de ontwikkeling van vast afval tijdens industriële revoluties (Bron: Mavropoulos en Nielsen, 2020).

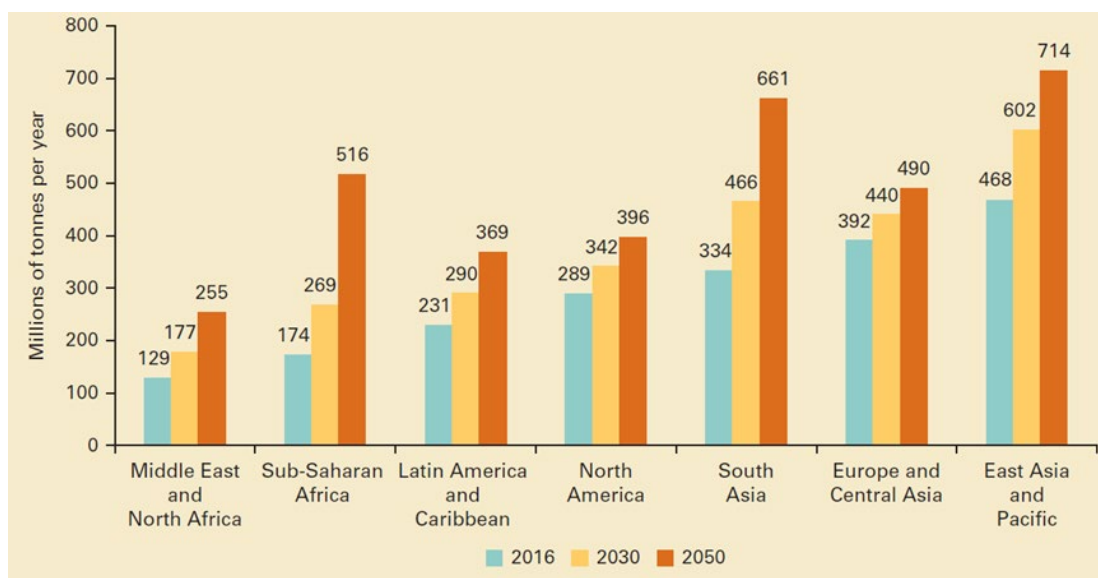
<sup>1</sup> Davies, S. The Great Horse-Manure Crisis of 1894 | Stephen Davies <https://fee.org/articles/the-great-horse-manure-crisis-of-1894/> (bekeken op 13 feb 2020).

<sup>2</sup> Mavropoulos A., en Nielsen A.W., 2020, Industry 4.0 and Circular Economy: Towards a Wasteless Future or a Wasteful Planet?, Wiley, ISBN: 978-1-119-69927-9.

## 2.4 SVA en het milieu

Stedelijk vast afval (VHA), beter bekend als afval of vuilnis, bestaat uit alledaagse dingen die mensen gebruiken en vervolgens weggooien, zoals productverpakkingen, grasmaaisel, meubels, kleding, flessen, etensresten, kranten, apparaten, verf en batterijen. De bronnen van SVA zijn huishoudens, scholen, ziekenhuizen en bedrijven<sup>3</sup>.

Volgens de Wereldbank<sup>4</sup> genereert de wereld jaarlijks 2,01 miljard ton vast stedelijk afval, waarvan volgens voorzichtige schattingen minstens 33% niet op een milieuveilige manier wordt beheerd. Wereldwijd wordt gemiddeld 0,74 kilogram afval per persoon per dag geproduceerd, maar dit varieert sterk, van 0,11 tot 4,54 kilogram. Hoewel zij slechts 16% van de wereldbevolking uitmaken, produceren hoge-inkomenslanden ongeveer 34%, of 683 miljoen ton, van het wereldwijde afval. Voor de toekomst wordt verwacht dat de hoeveelheid afval zal toenemen tot 3,40 miljard ton in 2050, meer dan het dubbele van de bevolkingsgroei in dezelfde periode (fig. 7). In het algemeen is er een positieve correlatie tussen afvalproductie en inkomensniveau. Verwacht wordt dat de dagelijkse afvalproductie per hoofd van de bevolking in landen met hoge inkomens tegen 2050 met 19% zal toenemen, in vergelijking met landen met lage en middeninkomens, waar een toename met ongeveer 40% of meer wordt verwacht.



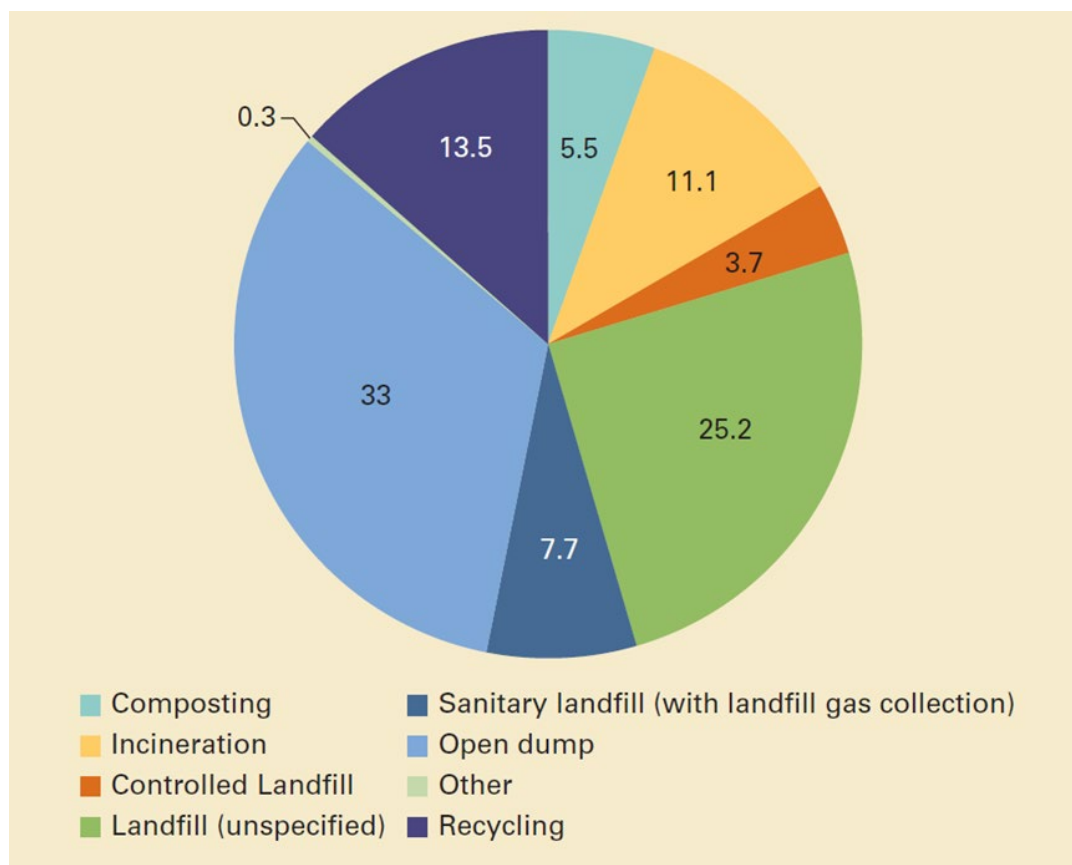
Figuur 7: Verwachte afvalproductie, per regio (Bron: [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)).

Enmaal geproduceerd, moet SVA worden beheerd door middel van hergebruik, recycling, opslag, behandeling en/of verwijdering. Wereldwijd wordt het meeste afval momenteel in de een of andere vorm gestort of verwijderd. Ongeveer 37% van het afval wordt in de een of

<sup>3</sup> <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/>

<sup>4</sup> [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)

andere vorm gestort, waarvan 8% in sanitaire stortplaatsen met opvangsystemen voor stortgas. Ongecontroleerde stortplaatsen zijn goed voor ongeveer 31% van het afval, 19% wordt teruggewonnen via recycling en compostering, en 11% wordt verbrand voor definitieve verwijdering (fig. 8). Adequate afvalverwijdering of -verwerking, zoals gecontroleerde stortplaatsen of strenger beheerde faciliteiten, is bijna uitsluitend te vinden in landen met hoge en hogere middeninkomens. Landen met lagere inkomens zijn over het algemeen aangewezen op open stort (fig. 9): 93% van het afval wordt gestort in lage-inkomenslanden en slechts 2% in hoge-inkomenslanden. Verbranding wordt vooral gebruikt in landen met een hoge capaciteit, hoge inkomens en weinig grond<sup>5</sup>.



Figuur 8: Wereldwijde verwerking en verwijdering van afval (Bron: [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)).

#### 2.4.1 MSW milieueffecten

Het beheer van vast afval is een universeel probleem dat iedereen ter wereld aangaat. Onjuiste verwijdering kan leiden tot nadelige gevolgen voor de gezondheid, bijvoorbeeld door verontreiniging van water, bodem en lucht. Gevaarlijk afval of onveilige afvalverwerking zoals verbranding in de open lucht kan rechtstreeks schade toebrengen aan afvalwerkers of andere mensen die bij afvalverbranding betrokken zijn, en aan naburige gemeenschappen. Kwetsbare

<sup>5</sup> [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)



groepen zoals kinderen lopen een verhoogd risico op negatieve gezondheidsresultaten<sup>6</sup>. Slecht beheerd afval vervuult de wereldzeeën, verstopt afvoerkanalen en veroorzaakt overstromingen, brengt ziekten over via het kweken van vectoren, vergroot ademhalingsproblemen door in de lucht zwevende deeltjes van afvalverbranding, brengt schade toe aan dieren die onbewust afval eten, en tast de economische ontwikkeling aan<sup>7</sup>.

Ongeveer 54 miljoen ton e-waste, zoals tv's, computers en telefoons, wordt jaarlijks aangemaakt (gegevens van 2019) met een verwachte toename tot 75 miljoen ton in 2030. In 2019 werd slechts 17% van het e-waste gedocumenteerd als correct ingezameld en gerecycled. Blootstelling aan onjuist beheerd e-afval en onderdelen daarvan kan meerdere nadelige gevolgen voor de gezondheid en de ontwikkeling hebben, vooral bij jonge kinderen<sup>6</sup>.



Figuur 9: De gemeentelijke stortplaats Dandora in Nairobi, Kenia (Bron: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora\\_2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg))

In het algemeen bevatten vaste stedelijke afvalstoffen diverse verontreinigende en gevaarlijke stoffen. Een soort stortplaats is wereldwijd de belangrijkste methode voor vast stedelijk afval<sup>8</sup>

<sup>6</sup>[https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who\\_compendium\\_chapter4\\_v2\\_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc\\_5](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_chapter4_v2_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc_5)

<sup>7</sup> <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

<sup>8</sup> Mavropoulos, A., (2015). Verspilde gezondheid: het tragische geval van stortplaatsen, ISWA (beschikbaar)

. Zonder voorbij te gaan aan het belang van bronsscheiding van afval, om bijvoorbeeld te voorkomen dat batterijen of andere gevaarlijke materialen op een stortplaats worden gestort, zijn de twee meest urgente milieuproblemen met betrekking tot stortplaatsen het percolaat en het methaangas (fig. 10).



Figuur 10: Typische doorsnede van een moderne sanitaire stortplaats (Bron: <https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump>).

## 2.4.2 Percolaat en biogas

Percolaat, een vloeistof die wordt geproduceerd door neerslagwater dat door het afvalvolume op stortplaatsen stroomt, kan hoge ammoniakgehalten bevatten (fig. 11). Wanneer ammoniak in ecosystemen terecht komt, wordt het genitreerd tot nitraat. Dit nitraat kan vervolgens eutrofiëring, of een gebrek aan zuurstof door de toegenomen plantengroei, veroorzaken in nabijgelegen waterbronnen. Eutrofiëring leidt tot "dode zones" waar dieren niet kunnen overleven bij gebrek aan zuurstof. Naast ammoniak bevat het percolaat giftige stoffen zoals kwik door de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen op stortplaatsen<sup>9</sup>. Bij de afbraak van de organische massa in stortplaatsen komt methaangas vrij (fig. 12). Methaan is 84 keer effectiever in het absorberen van zonnewarmte dan koolstofdioxide, waardoor het een van de krachtigste broeikasgassen is en een enorme bijdrage levert aan de klimaatverandering. Naast methaan produceren stortplaatsen ook kooldioxide en waterdamp, en sporen van zuurstof, stikstof, waterstof en niet-methaanhoudende organische verbindingen. Deze gassen

op: [https://www.researchgate.net/publication/281774422\\_Wasted\\_Health\\_the\\_tragic\\_case\\_of\\_dumpsites](https://www.researchgate.net/publication/281774422_Wasted_Health_the_tragic_case_of_dumpsites)).

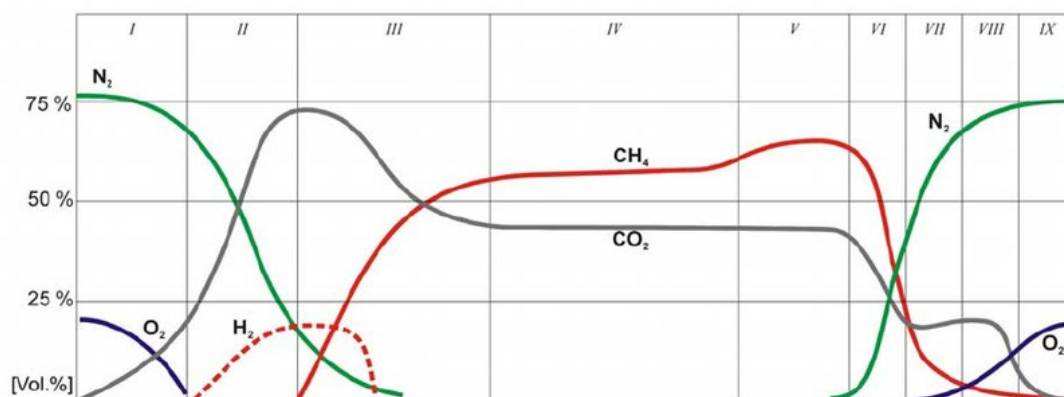
<sup>9</sup> <https://www.colorado.edu/center/2021/04/15/hidden-damage-landfills>

kunnen ook bijdragen tot klimaatverandering en smog veroorzaken als ze ongecontroleerd blijven<sup>7</sup>.

Parameters	Overall values		Overall range	
	Median	Mean	Minimum	Maximum
pH value	7.1	7.2	6.4	8.0
Conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	7,180	7,789	503	19,200
Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	3,580	3,438	176	8,840
COD (mg/l)	954	3,078	<10	33,700
BOD <sub>20</sub> (mg/l)	360	>834	4.5	>4,800
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	270	>798	<0.5	>4,800
TOC (mg/l)	306	717	2.8	<5,690
Fatty acids (as C) (mg/l)	5	248	<5	3,025
Kjeldahl-N (mg/l)	510	518	1	1,820
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	453	491	<0.2	1,700
Nitrate-N (mg/l)	0.7	2.4	<0.2	32.8
Nitrite-N (mg/l)	<0.1	0.2	<0.1	1.4
Sulphate (mg/l)	70	136	<5	739
Chloride (mg/l)	1,140	1,256	27	3,410
Phosphate (mg/l)	1.1	3.0	<0.1	15.8
Sodium (mg/l)	688	904	12	3,000

\* National Waste Database (1998)

Figuur 11: Typische samenstelling van percolaat van Ierse stortplaatsen (Bron: Kalyuzhnyi et al, 2003).



Figuur 12: Langetermijnmodel van de samenstelling van het stortplaatsgas. I aërobe fase, II zure fase, III instabiele methaanfase, IV stabiele methaanfase, V langetermijnfase, VI luchtinfiltratiefase, VII methaanoxidatiefase, VIII kooldioxidefase, IX luchtfase (Bron: Wagner et al, 2007).

Bovendien kunnen stortplaatsen ook sociale gevolgen hebben. De emissies van stortplaatsen vormen een bedreiging voor de gezondheid van degenen die rond stortplaatsen wonen en werken. Grote stortplaatsen doen de waarde van de aangrenzende grond gemiddeld met 12,9



% dalen. Ten slotte brengen stortplaatsen gevaren met zich mee zoals stank, rook, lawaai, insecten en verontreiniging van de watervoorziening<sup>7</sup>.

Een andere gebruikelijke strategie voor de verwerking van VHA is verbranding. Verbranding vermindert de hoeveelheid vast afval (tot 70%) en het volume (tot 90%) voor storting en doodt tegelijkertijd ziekteverwekkers. Tegenover deze voordelen staat echter de uitstoot van koolstofoxiden, zwaveloxiden, deeltjes, zware metalen en andere verontreinigende stoffen door de verbrandingsovens. Voor elke ton SVA die wordt verbrand, wordt doorgaans 15-40 kg gevaarlijk afval geproduceerd, dat verder moet worden verwerkt<sup>10</sup>. Tegenwoordig maken verbrandingsinstallaties gebruik van geavanceerde controles op luchtverontreiniging en kunnen zij technologieën omvatten die 99% van de bij verbranding vrijkomende dioxines en furanen verwijderden<sup>11</sup>. Bovendien kan verbranding met energierecuperatie leiden tot een nettobesparing in broeikasgasemissies ten opzichte van verbranding van bulkvuilnis, hoewel de robuustheid van deze optie sterk afhangt van de vervangen energiebron<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0175-y>

<sup>11</sup> <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-reducing-waste/municipal-solid/environment.html>

<sup>12</sup> [https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate\\_change\\_xsum.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate_change_xsum.pdf)

## 3 Bestaande strategieën voor het beheer van SVA

### 3.1 Inleiding tot het beheer van SVA

De hoeveelheid afval neemt overal ter wereld toe als gevolg van de bevolkingsgroei, de economische groei, de snelle verstedelijking en de stijging van de menselijke levensstandaard.

Afval is ook een probleem voor elk Europees land en de hoeveelheid afval blijft toenemen. Stedelijk vast afval (VHA) is goed voor ongeveer 10% van de totale afvalproductie in Europa (Eurostat, 2022). Inzameling en beheer van SVA is echter een uitdagende taak vanwege de gemengde samenstelling van het afval, de verdeling over vele bronnen en de afhankelijkheid van consumptiepatronen.

In 2020 werd in de EU meer dan 225 miljoen ton VHA ingezameld, gemiddeld 505 kg per hoofd van de bevolking (Eurostat, 2022). De inzameling van VHA varieert aanzienlijk tussen landen en ligt tussen 282 kg per hoofd van de bevolking in Roemenië en 845 kg per hoofd van de bevolking in Denemarken (Eurostat, 2022). Deze variaties weerspiegelen verschillen in consumptiepatronen en economische welvaart, maar zijn ook afhankelijk van de nationale aanpak van afvalinzameling en -verwerking. In het algemeen stijgt de afvalproductie ook in landen met een hoger bbp, hoewel in deze landen meer geavanceerde afvalbeheerprocessen worden gebruikt (STOA, 2017).

Slecht beheer van VHA leidt tot ernstige verontreinigingsproblemen, zoals verontreiniging van water, bodem en atmosfeer, negatieve gevolgen voor de volksgezondheid en de bijdrage aan de klimaatverandering. Vroeger werd VHA gewoonlijk gestort of verbrand. Beide methoden hebben ernstige nadelen door het weglekken van giftige stoffen uit stortplaatsen of de luchtverontreiniging bij verbranding. Moderne verwijderingstechnologieën hebben de kans op milieuverontreiniging verkleind, maar het afvalbeleid van de EU is gericht op de totstandbrenging van een circulaire economie, waarin materialen en hulpbronnen zo lang mogelijk in de economie behouden blijven en waarin het verwijderen van afval en verbranding de minst wenselijke opties van afvalbeheer zijn.

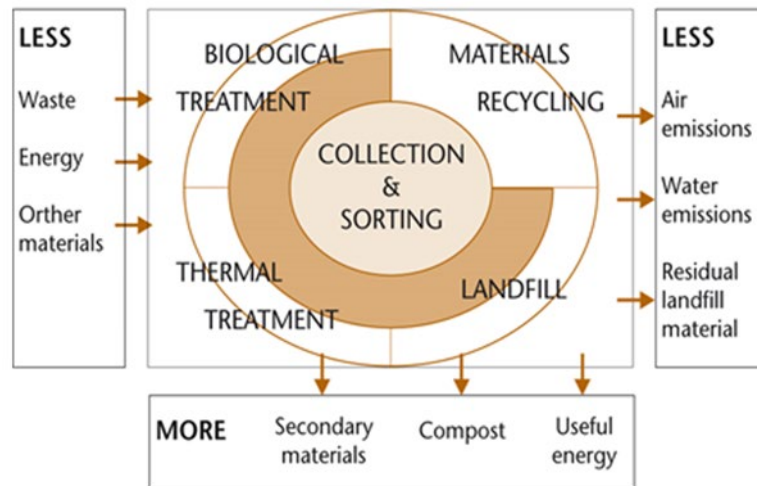
Tegenwoordig vereist het beheer van VHA een complexe aanpak om zo efficiënt mogelijk met hulpbronnen om te gaan en technisch geschikte, economisch haalbare en sociaal aanvaardbare oplossingen voor afvalbeheerproblemen te bevorderen. Daarom is het concept geïntegreerd afvalbeheer ontwikkeld.

IMW consolideert afvalstromen, afvalinzameling, transport, verwerking en verwijdering in een complex afvalbeheersysteem. Elk IMW-systeem is uniek en combineert een mix van afvalbeheertechnieken om de verschillende soorten afval te behandelen op een manier die ecologisch, financieel en sociaal duurzaam is. Gegevens over afvalproductie en -beheer spelen een belangrijke rol bij IMWM. Kennis over verschillende technologieën en hun negatieve effecten op het milieu, alsmede ramingen van de hoeveelheid en de samenstelling van het geproduceerde afval in combinatie met prognoses van de bevolkingsgroei helpen lokale overheden bij het selecteren van geschikte afvalinzamelings- en verwerkingstechnologieën en bij het plannen van toekomstige behoeften (Sharma en Jain, 2020). De selectie van geschikte IWM-afvalverwerkingstechnieken is gebaseerd op de beginselen van de afvalhiërarchie.

Om de milieu- en economische prestaties van IWM-systemen te beoordelen worden instrumenten als de levenscyclusinventarisatie (LCI) gebruikt.

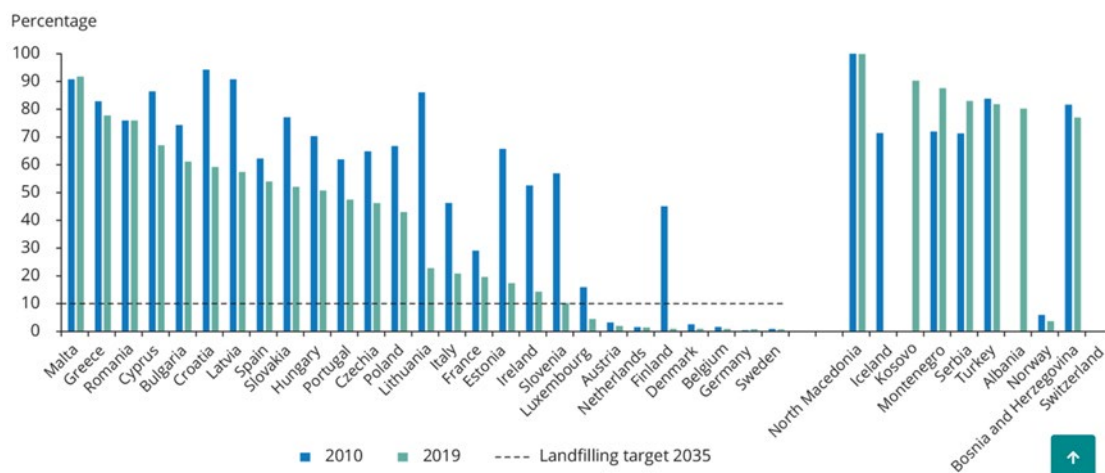


De veelheid van de taak en het aantal voorlopige aannames wordt weergegeven in figuur 13. De levenscyclusinventarisatie onderzoekt de verschillende routes van de afvalstroom en de omzetting ervan, samen met de bijbehorende milieueffecten.



Figuur 13: Geïntegreerd afvalbeheer: een levenscyclusinventarisatie (Aangepast van Zbizinski et al., 2006).

Een belangrijk doel van het EU-afvalbeleid is de efficiëntie van het afvalbeheer te vergroten en de hoeveelheid afval die wordt gestort te verminderen. In het algemeen is de hoeveelheid gestort afval in Europa afgenomen (in 2018 was dat 7,6% minder dan in 2010), hoewel de totale hoeveelheid geproduceerd afval is blijven toenemen. Voor SVA en soortgelijk afval is tussen 2010 en 2018 een daling van 51% gerealiseerd om afval van het storten af te leiden (EMA, 2021). Overeenkomstig de EU-afvalstortrichtlijn moeten de lidstaten de hoeveelheid gemeentelijk afval die wordt gestort tegen 2035 echter verminderen tot 10% of minder van de totale hoeveelheid geproduceerd gemeentelijk afval. In 2019 hadden slechts negen lidstaten deze doelstelling gehaald (Oostenrijk, België, Denemarken, Finland, Duitsland, Luxemburg, Nederland, Slovenië en Zweden), evenals Noorwegen, waarbij verschillende van deze landen een aanzienlijke hoeveelheid stedelijk afval verbranden (figuur 14).



Figuur 14: Stortcijfers voor stedelijk afval in de EU-lidstaten en andere Europese landen (Bron: EMA, 2021).

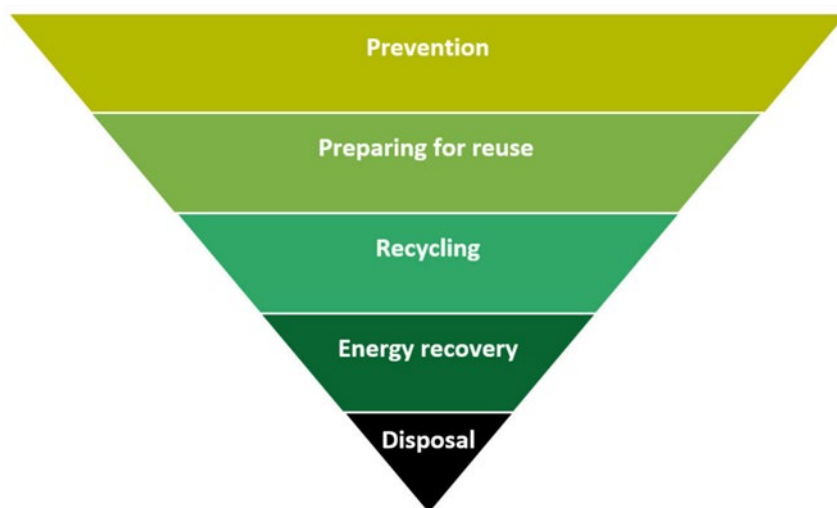
Afvalbeleid dat succesvol is gebleken bij het verminderen van het storten van afval, omvat stortbelastingen. Binnen de EU-lidstaten hebben alleen Cyprus, Duitsland, Kroatië en Malta (en Noorwegen) geen stortbelasting. De belastingtarieven variëren aanzienlijk tussen de lidstaten, van 5 euro/ton in Litouwen tot meer dan 100 euro/ton in België (CEWEP, 2021). Er bestaat een zekere correlatie tussen stortbelasting en storten, met een duidelijk patroon van lage storniveaus naarmate de stortbelasting stijgt (STOA, 2017).

Andere belangrijke beleidsmaatregelen die bijdragen tot een verschuiving in de afvalhiërarchie zijn onder meer een verbod op het storten van biologisch afbreekbaar stedelijk afval of niet-voorbehandeld stedelijk afval, verplichte regelingen voor gescheiden inzameling voor de recycling van stedelijk afval of economische steun voor het opzetten van infrastructuur voor afvalinzameling en recycling. Duitsland is er bijvoorbeeld in geslaagd een van de hoogste recyclingpercentages van stedelijk afval in Europa te bereiken zonder stortbelasting, maar met een combinatie van andere politieke en financiële instrumenten.

Sommige landen heffen ook belastingen op afvalverbranding. Voor een meer gedetailleerde analyse worden geïnteresseerde lezers verwezen naar BlockWASTE deliverable "[O1.A1 - Vergelijkende studie van de regelgeving inzake het beheer van gemeentelijk vast afval \(MSW\) in elk land](#)".

### 3.2 Afvalbeheerhiërarchie

Het afvalhiërarchiesysteem in vijf stappen werd voor het eerst ingevoerd bij de EU-kaderrichtlijn afvalstoffen (Richtlijn 2008/98/EG) en is op grote schaal gebruikt als sleutel voor het nemen van beslissingen over afvalbeheer op lokaal, nationaal en internationaal niveau (figuur 15).



Figuur 15: Afvalhiërarchie. (Bron: Kaderrichtlijn afvalstoffen, 2008).

De afvalhiërarchie illustreert het milieueffect van verschillende afvalbeheermethoden en heeft gevolgen voor de duurzaamheid van het afvalbeheer.

Afvalpreventie staat helemaal bovenaan in de afvalhiërarchie. Wanneer afval ontstaat, wordt prioriteit gegeven aan de voorbereiding voor hergebruik, vervolgens aan recycling (inclusief

compostering), dan aan andere nuttige toepassingen (bijvoorbeeld energierugwinning), terwijl afvalverwijdering via stortplaatsen de allerlaatste optie is. De EU-afvalwetgeving bevat ook specifieke doelstellingen om de recycling van specifieke afvalstromen, zoals elektronische apparatuur, auto's, batterijen, bouw-, sloop-, gemeente- en verpakkingsafval, te vergroten en het storten van biologisch afbreekbaar afval te verminderen (Europese Commissie, 2022).

### 3.3 Gemeenschappelijke beginselen bij het beheer van VHA

Het moderne beheer van SVA is gebaseerd op verschillende beginselen:

#### **Efficiënt gebruik van hulpbronnen**

Efficiënt gebruik van hulpbronnen betekent de vermindering van de milieueffecten van de productie en het verbruik van goederen, van de winning van de laatste grondstoffen tot het laatste gebruik en de verwijdering. Vanuit het oogpunt van afvalbeheer betekent dit dat het ontstaan van afval niet alleen een milieuprobleem is, maar ook een economisch verlies. Het MSW-beginsel is dan ook dat de productie- en consumptiepatronen zodanig worden gewijzigd dat er minder afval wordt geproduceerd, terwijl al het gecreëerde afval als hulpbron wordt gebruikt. Deze benadering komt ook tot uiting in de afvalhiërarchie - het voorkomen van afvalproductie als zodanig, het gebruiken van afval als nieuwe hulpbron en het minimaliseren van de hoeveelheid afval die wordt gestort. Hulpbronnenefficiëntie bij afvalbeheer is ook gerelateerd aan de beginselen van de circulaire economie, waarbij de input van hulpbronnen, emissies en energielekken tot een minimum worden beperkt door alle processen te optimaliseren en de afvalproductie tot het absolute minimum te beperken.

#### **De vervuiler betaalt en uitgebreide producentenverantwoordelijkheid**

De vervuiler betaalt is een eenvoudig beginsel dat inhoudt dat degenen die vervuiling veroorzaken daarvoor verantwoordelijk zijn en moeten betalen om schade aan de volksgezondheid en/of het milieu te voorkomen. In het afvalbeheer verwijst het beginsel dat de vervuiler betaalt naar de eis dat een afvalproducent betaalt voor de adequate verwijdering van niet-terugwinbaar materiaal. Een regeling voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid is een praktische methode om het beginsel "de vervuiler betaalt" toe te passen. Het wordt bijvoorbeeld toegepast voor AEEA, voertuigen, batterijen, verpakkingsafval en landbouwafval. Voor de inzameling van flessen omvat dit systeem een statiegeldregeling.

**Het "Pay as You Throw"-beginsel (PAYT):** Dit model prijst de verwijdering van VHA op basis van de hoeveelheid afvalmateriaal per eenheid, in plaats van op basis van een vast tarief. Deze economische prikkel is in sommige lidstaten ingeburgerd en heeft een aanzienlijk effect op het gedrag van de mensen.

### 3.4 Behandeling van MSW

#### 3.4.1 Stortplaats

De verwijdering van afval volgens de afvalhiërarchie is tegenwoordig een van de minst geprefereerde opties. Het storten van vast afval op het land wordt storten of dumpen genoemd (Worell & Vesilind, 2012), wat tot 1960 een van de oorspronkelijke methoden was voor bijna alle binnenlandse gemeenschappen. Eind jaren 1960 begonnen de ontwikkelde

landen technische oplossingen te gebruiken voor het storten van afval, wat leidde tot de ontwikkeling van sanitaire stortplaatsen. De sanitaire stortplaats omvat bodemlagen, systemen voor het opvangen van percolaat, percolaatbehandeling, gasopvang, gasbehandeling, eindafdekking en systemen voor lucht- en watercontrole (EREF, 2022). In een stortplaats vindt afvalafbraak plaats op basis van de complexe chemische, fysische en biologische processen. Deze processen worden beïnvloed door milieuomstandigheden (zoals temperatuur, pH, aanwezigheid van toxines, vochtgehalte en het oxidatiereductiepotentieel). Als gevolg van deze processen worden afvalstoffen afgebroken of omgezet. De afbraaknelheid hangt ook af van de samenstelling van het afval en leidt tot het ontstaan van percolaat en stortgas.

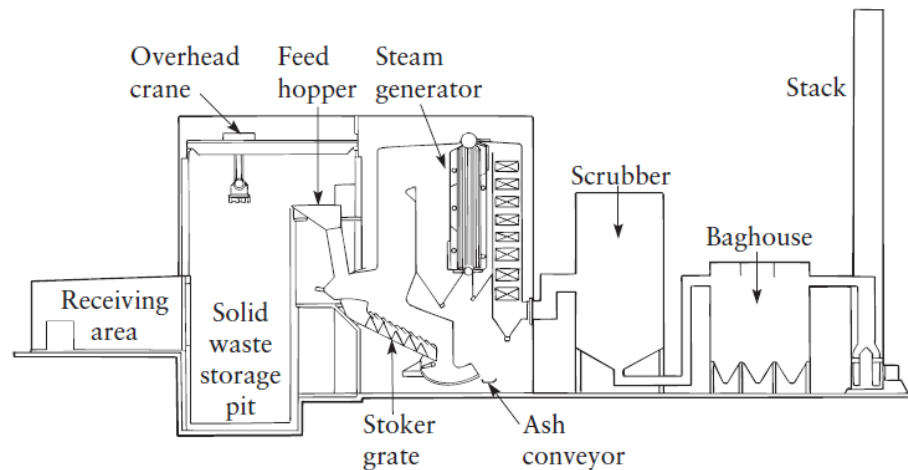
Percolaat ontstaat door de percolatie van water door het afval na plaatsing en omvat ook het vocht dat in het afval wordt vastgehouden vóór verwijdering (EREF, 2022). De kwaliteit van het percolaat hangt af van de samenstelling van het vaste afval, de neerslaghoeveelheden, de hydrologie van de locatie, de verdichting, het ontwerp van de afdekking, de ouderdom van het afval, de bemonsteringsprocedures, de interactie van het percolaat met het milieu en het ontwerp en de exploitatie van de stortplaats (Worell & Vesilind, 2012). Na inzameling moet het percolaat ter plaatse worden behandeld of voor verdere behandeling naar de gemeentelijke riolering worden gestuurd.

Het stortplaatsgas dat ontstaat bij de biologische afbraak van vast stedelijk afval (VHA). Wiskundige en computermodellen kunnen de samenstelling van het stortplaatsgas voorspellen, die voornamelijk gebaseerd is op de samenstelling van het gestorte afval en het vochtgehalte.

De Europese Unie probeert de hoeveelheid gestort afval tot een minimum te beperken. De belangrijkste wet die in 1999 van kracht werd, was de richtlijn betreffende het storten van afvalstoffen. De richtlijn betreffende het storten van afvalstoffen bevat strenge operationele eisen voor stortplaatsen, met als doel zowel de volksgezondheid als het milieu te beschermen (EG, 2022).

### 3.4.2 Verbranding en energierugwinning

Het meeste VHA is brandbaar en kan met terugwinning van energie worden verbrand in massaverbrandingsinstallaties om de hoeveelheid afval te verminderen. Dergelijke verbrandingsinstallaties hebben een opslagruimte voor vast afval om het binnenkomende afval op te slaan en te sorteren, een kraan om het afval in het verbrandingsblok te laden, een verbrandingskamer bestaande uit bodemroosters, het warmteterugwinningssysteem van buizen waarin water in stoom wordt omgezet, het asbehandelingssysteem en het luchtverontreinigingscontrolesysteem, dat gaswassers en doekenfilters omvat voor de verwijdering van vliegias en deeltjes.



Figuur 16: Een typisch schema van een verbrandingsinstallatie voor vast stedelijk afval (overgenomen uit Worell & Vesilind, 2012).

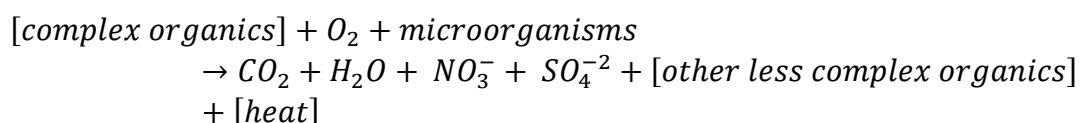
Waste to Energy (WtE) of energie uit afval (Efw) wordt gedefinieerd als een proces waarbij afval wordt verbrand met terugwinning van energie. De belangrijkste soorten WtE-processen zijn:

- meeverbranding van afval in verbrandingsinstallaties (bv. elektriciteitscentrales) en bij de productie van cement en kalk;
- afvalverbranding en meeverbranding in speciale installaties;
- anaërobe vergisting van biologisch afbreekbaar afval
- productie van van afval afgeleide vaste, vloeibare of gasvormige brandstoffen en
- andere processen, waaronder indirecte verbranding na een pyrolyse- of vergassingsstap;

Wat betreft de Europese Commissie COM(2017)34, over de rol van waste-to-energy in de circulaire economie, wordt alleen de anaërobe vergisting met productie van biogas gepositioneerd als recyclingoptie volgens de Afvalhiërarchie. Alle andere soorten WtE-processen zijn meestal gerelateerd aan de terugwinningsoptie. Verbranding en meeverbranding met beperkte energierugwinning worden onderaan de hiërarchie geplaatst onder de optie verwijdering, samen met het storten van afval. Verbranding in de open lucht wordt in de Europese Unie ontmoedigd vanwege de problemen in verband met hoge luchtverontreiniging.

### 3.4.3 Compostering en biomethanisering

Compostering kan worden gedefinieerd als een afbraakproces van organisch materiaal in aanwezigheid van micro-organismen tot water, kooldioxide en microbiële biomassa. Bij compostering zetten micro-organismen organisch materiaal om in een waardevol product dat "humus" wordt genoemd. De basisreactie verloopt als volgt (Worell & Vesilind, 2012):



Compostering verloopt hoofdzakelijk in vier fasen:

- a) **Mesofiele beginfase** - In de mesofiele beginfase beginnen de bacteriën die organisch materiaal afbreken zich intensief te vermenigvuldigen, de composteerbare massa warmt op en de pH daalt.
- b) **Thermofiele fase** - Tijdens de thermofiele fase, waarin de temperatuur stijgt tot 60-70°C, worden de meeste ziekteverwekkers, ongedierte en parasieten in het afval gedood en worden de onkruidzaden vernietigd.
- c) **Mesofiele rijpingsfase** - In de mesofiele rijpingsfase blijft de temperatuur op 35-55 °C en begint deze te dalen door uitputting van voedingsstoffen. Het gehalte aan persistente verbindingen neemt in de loop van de tijd af.
- d) **Koel- en narijpingfase** - Tijdens de koel- en rijpingsfase wordt de microbiologische activiteit verder verminderd. De temperatuur stijgt niet meer boven de 40°C, zelfs niet wanneer de compost wordt gemengd. Regenwormen verschijnen in de compost. Tijdens de post-rijping rijpt de compost en wordt de meest waardevolle "humus" gevormd.

De belangrijkste composteringssystemen zijn (Atalia et al., 2015):

- Open wiersen - een mengsel van organisch afval in lange, smalle hopen.
- Beluchte statische hoop - organisch afval wordt in een hoop geplaatst die wordt belucht door op regelmatige afstanden lucht door de geperforeerde buizen te blazen.
- In vessel composting - compostering vindt plaats in verschillende reactoren. Deze systemen omvatten gewoonlijk voorzieningen voor beluchting, mengen, temperatuurregeling en geurbestrijding.
- Vermicompostering - gecombineerde activiteit van micro-organismen en regenwormen.
- Biomineralisatie - De voedingsstoffen in de vorm van oplosbare mineralen worden gebruikt die door het wortelstelsel worden opgenomen uit vruchtbare, goed gemineraliseerde compostgrond.

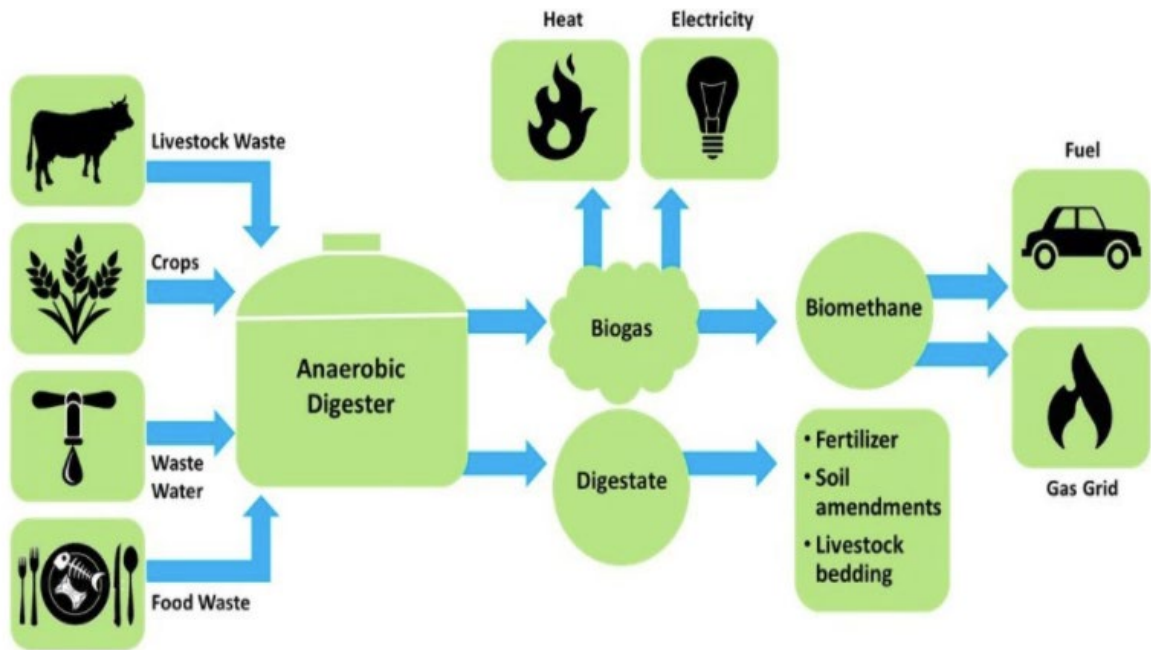
Biomethanisatie

Anaërobe afbraak van organisch materiaal (zonder zuurstof) wordt ook wel biomethanisatie genoemd. De belangrijkste eindproducten zijn methaan (CH<sub>4</sub>), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), kleine hoeveelheden waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en enkele andere (Worell & Vesilind, 2012).

Het proces van anaërobe vergisting kan in drie fasen worden beschreven:

- Hydrolyse, d.w.z. bacteriën breken hoogmoleculaire organische verbindingen af tot laagmoleculaire verbindingen (monomeren).
- Acidogenis, acetogene bacteriën zetten in de eerste fase verschenen afgebroken producten om in vluchtige vetzuren, kooldioxide en waterstof.
- Bij methanogenese zetten bacteriën organische zuren en alcoholen om in azijnzuur en moleculaire waterstof. Aan het eind van deze fase ontstaat methaan uit azijnzuur, waterstof en kooldioxide.





Figuur 17: Anaërobe vergisting (grafiek Sara Tanigawa, EESI).

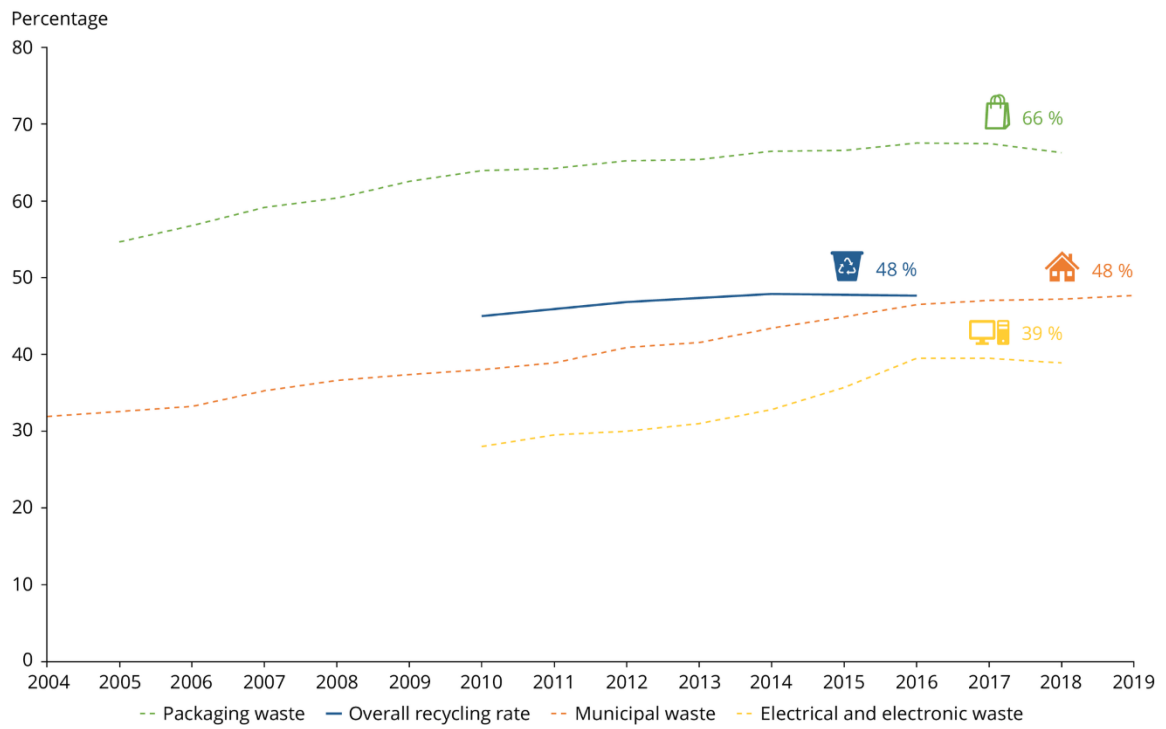
De belangrijkste grondstoffen voor anaërobe vergisting zijn voedselresten, dierlijk afval, gewasresten en zuiveringslib van waterzuiveringsinstallaties.

Het geproduceerde biogas kan worden gebruikt voor warmtekrachtkoppeling (WKK), of biogas kan gewoon worden omgezet in elektriciteit met behulp van een verbrandingsmotor, brandstofcel of gasturbine. Bovendien kan het worden omgevormd tot hernieuwbaar aardgas (RNG) of biomethaan door kooldioxide, waterdamp en andere sporengassen te verwijderen. RNG kan worden geïnjecteerd in het bestaande aardgasnet (inclusief pijpleidingen) en door elkaar worden gebruikt met conventioneel aardgas (EESI, 2017). Net als conventioneel aardgas kan RNG worden gebruikt als voertuigbrandstof nadat het is omgezet in gecompriemd aardgas (CNG) of vloeibaar aardgas (LNG).

### 3.4.4 Recycling

Het belangrijkste principe van het afvalbeheer in de EU is het voorkomen, hergebruiken of recyclen van de productie van VHA, volgens het principe van de circulaire economie, en het minimaliseren van de negatieve effecten van het gebruik van primaire hulpbronnen, door deze te vervangen door secundaire materialen (EEA, 2022).

Volgens de kaderrichtlijn afvalstoffen 2008/98/EG is recycling elke terugwinningshandeling waarbij afvalstoffen worden opgewerkt tot producten, materialen of stoffen, hetzij voor het oorspronkelijke doel, hetzij voor een ander doel. Het omvat de opwerking van organisch materiaal, maar niet de terugwinning van energie en de opwerking tot materialen die als brandstof of voor opvulwerkzaamheden worden gebruikt. In Europa is de tendens tot recycling van verschillende afvalstromen de afgelopen 10 jaar toegenomen (figuur 18).



Figuur 18: Recyclingpercentages in Europa per afvalstroom (Bron: EMA, 2022).



## 4 Circulaire economie

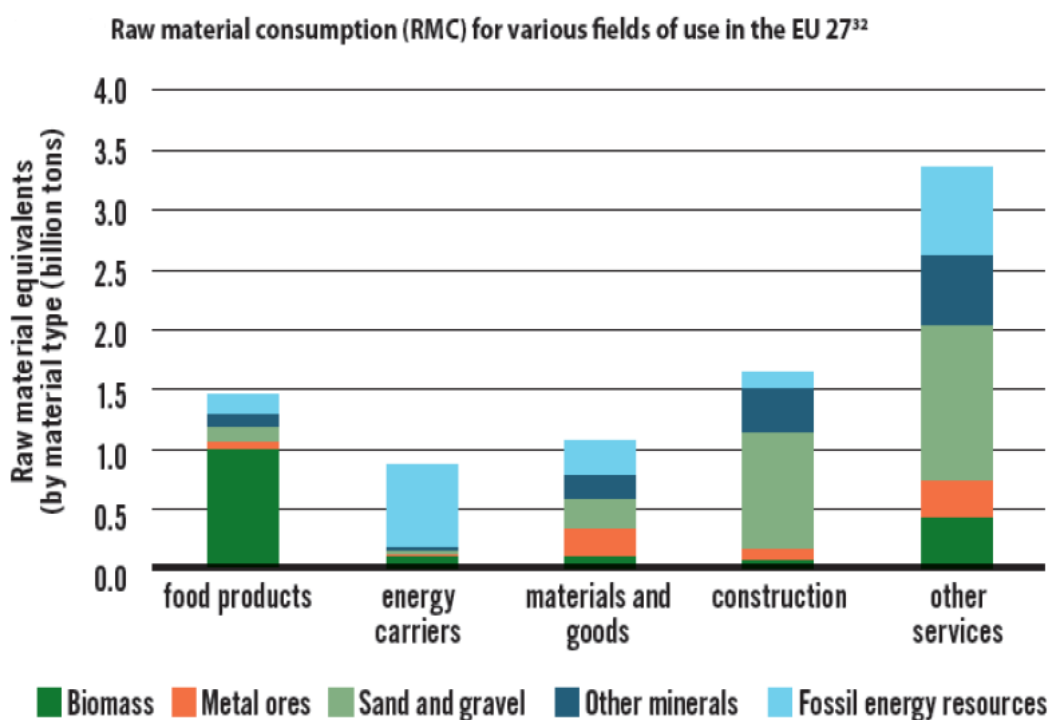
### 4.1 Het lineaire model van productie en consumptie

De groei van de bevolking dwingt tot wijziging van de tot dusver toegepaste beheerssystemen. De bevolking van de EU is sinds de jaren zeventig met bijna honderd miljoen mensen gegroeid. Dit feit heeft directe gevolgen voor de afvalproductie: meer bevolking, meer afval. Ondanks nationale en EU-inspanningen neemt de hoeveelheid geproduceerd afval niet af. De afvalproductie van alle economische activiteiten in de EU bedraagt 2,5 miljard ton per jaar en elke burger produceert gemiddeld een halve ton huishoudelijk afval.

Volgens Richtlijn 2018/851 van het Europees Parlement en de Raad maakt gemeentelijk afval ongeveer 7-10% uit van de totale hoeveelheid afval die in de Europese Unie wordt geproduceerd.

Deze afvalstroom is echter een van de meest complexe om te beheren, en de manier waarop zij wordt beheerd geeft over het algemeen een goede indicatie van de kwaliteit van het algemene afvalbeheersysteem van een land.

Het totale EU-middelenverbruik, gemeten in massa, is weergegeven in figuur 19.



Figuur 19: Grondstofverbruik (RMC) (Bron: Europees Milieubureau 2012).

De traditionele lineaire economie, gebaseerd op "nemen-maken-weggooien", en het verbruik van grote hoeveelheden energie en goedkope grondstoffen die gemakkelijk te leveren zijn, is het fundamentele element geweest van de sociale en industriële ontwikkeling, en heeft in de geschiedenis van de mensheid ongekende groeiniveaus gegenereerd.

Het traditionele lineaire economische model wordt voornamelijk gekenmerkt door:

- Goedkope en gemakkelijk verkrijgbare middelen.
- Fossiele brandstoffen.
- Winning-Productie-Gebruik-Verwijdering.
- Overexploitatie van grondstoffen.
- Grote hoeveelheid geproduceerd afval.



*Figuur 20: Regeling voor lineaire economie (Bron: BIMgreen 2019).*

Wat de milieuproblematiek betreft, brengt het lineaire model verschillende effecten met zich mee op het gebied van hulpbronnen, consumptie en productie.

**Hulpbron-gerelateerd:**

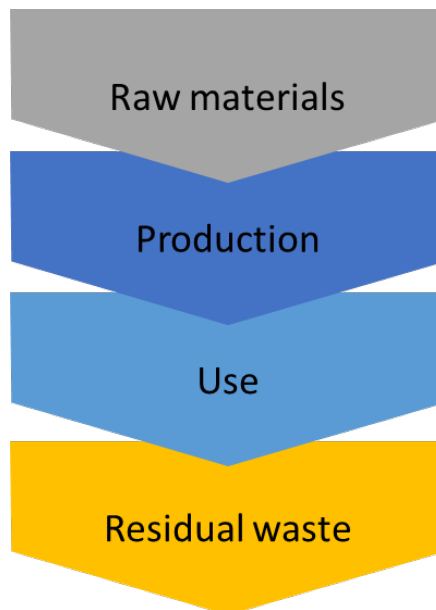
- Grote hoeveelheid afval.
- Traditionele exploitatiesystemen.
- Eenmalig gebruik van grondstoffen (slechts eenmaal).
- Ongecontroleerde exploitatie zonder voorafgaand ontwerp.
- Grote invloed op het milieu.
- Uitputting van natuurlijke hulpbronnen en fossiele brandstoffen.

**Consumptiegerelateerd:**

- Ongecontroleerde consumptie.
- Geen hergebruik van het product.

**Productiegerelateerd:**

- Laag rendement van hulpbronnen en energie.
- Traditionele bedrijfsmodellen.



Figuur 21: Schets van het lineaire economische model (Bron: Marble and Stone Technology Centre, 2018).

De lineaire "neem-maak-verwijder" economie bereikt haar grenzen:

- Vertrouwt op grote hoeveelheden goedkope, gemakkelijk toegankelijke materialen en energie.
- 2025: Groeiende wereldbevolking (1,1 miljard) en groeiende middenklasse (3 miljard):
  - 24% hogere voedselconsumptie.
  - 47% meer verpakking.
  - 41% meer afgedankte materialen (afval).
- Ook de uitdagingen voor bedrijven en economieën in verband met hulpbronnen nemen toe:
  - De druk op de natuurlijke hulpbronnen neemt toe.
  - Weinig en slechte recycling -> Niet in staat om de voorraad kwaliteitsmateriaal op peil te houden.
  - Hogere prijsvolatiliteit-> hogere onzekerheid over bedrijfsinvesteringen.
  - De grondstofprijzen zijn in de periode 2002-2010 met 150% gestegen (metalen, levensmiddelen en non-food uit de landbouw).

#### 4.2 Circulaire economie: concept, oorsprong en beginselen

De planetaire economie is geblokkeerd in een systeem waarin alles, van de productie-economie en de contractering tot de regulering en het gedrag van mensen, het lineaire model van productie, distributie en consumptie bevordert. Deze blokkade wordt echter steeds zwakker door de druk die wordt uitgeoefend door het optreden van krachtige ontwrichtende tendensen. Deze gunstige combinatie van economische, technologische en sociale factoren moet worden benut om de overgang naar een circulaire, herstellende en regeneratieve

economie te versnellen, waarin producten, bijproducten en afval zo lang mogelijk in de productiecyclus worden gehouden en steeds opnieuw worden gebruikt.

In een circulaire economie ontwerpen fabrikanten producten zo dat ze herbruikbaar zijn. Elektrische apparaten worden bijvoorbeeld zo ontworpen dat ze gemakkelijker te repareren zijn. Ook worden producten en grondstoffen zoveel mogelijk hergebruikt. Bijvoorbeeld door plastic te recyclen tot pellets voor het maken van nieuwe plastic producten. In een circulaire economie gaan we verantwoord om met onze omgeving. Bijvoorbeeld door zwerfvuil op straat of in de natuur te voorkomen.

Een circulaire economie werkt volgens de 3V-benadering van "Reduce, Reuse & Recycle". Materiaalwinning wordt waar mogelijk verminderd door minder materiaal te gebruiken, producten worden gemaakt van hergebruikte onderdelen en materialen en na afdanking van een product worden materialen en onderdelen gerecycleerd. In een circulaire economie wordt waarde gecreëerd door te focussen op waardebehoud. Door een materiaalstroom gedurende de gehele waardeketen zo zuiver mogelijk te houden, blijft de waarde van dit materiaal behouden. Zuivere materiaalstromen kunnen meerdere keren worden gebruikt om een bepaalde functionaliteit of dienst te leveren, terwijl er maar één investering nodig is.



*Figuur 22: Schets van het circulaire economische model (Bron: Marble and Stone Technology Centre, 2018).*

In een circulaire economie wordt de duurzaamheid verbeterd door de eco-effectiviteit van het systeem te vergroten. Dit betekent dat naast het minimaliseren van de negatieve impact van het systeem, de nadruk wordt gelegd op het maximaliseren van de positieve impact van het systeem door radicale innovaties en systeemverandering.

In een circulaire economie is het de bedoeling dat hergebruik zo hoogwaardig mogelijk is. Een reststroom moet worden hergebruikt voor een functie die gelijk (functioneel hergebruik) of van hogere waarde (upcycling) is dan de oorspronkelijke functie van de materiaalstroom.

Dit zorgt ervoor dat de waarde van het materiaal behouden blijft of wordt versterkt. Beton kan bijvoorbeeld worden vermalen tot korrels waarmee een soortgelijke muur als voorheen kan worden gemaakt, of zelfs een sterker constructief element.

Circulaire economie - een nieuw concept wordt voornamelijk gekenmerkt door:

- Onderscheid maken tussen technische en biologische kringen.
- Cirkelvormig ontwerp.
  - Modulaire producten, zuiverder materiaalstromen, eenvoudigere demontage.
- Steeds meer mensen die in stedelijke gebieden wonen, maken delen, repareren en recyclen gemakkelijker.
- Innovatieve bedrijfsmodellen: van eigendom naar prestatie- en toegangssystemen.
- Kerncompetenties en technologieën langs omgekeerde cycli en cascades: RFID-tags voor eenvoudigere identificatie en recycling; 3D-printing voor reserveonderdelen.

De belangrijkste kenmerken van de circulaire economie zijn de volgende:

- Economische prestaties verbeteren en tegelijk het gebruik van hulpbronnen verminderen.
- Bestrijding van klimaatverandering en vermindering van de milieueffecten van het gebruik van hulpbronnen.
- Overschakeling van fossiele brandstoffen op het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen.
- Hergebruik en reparatie: een tweede leven vinden voor verslechterde producten.
- Energiek gebruik maken van afval dat niet kan worden gerecycleerd.
- Behoud en verbetering van natuurlijk kapitaal om veerkracht door diversiteit te bereiken.
- Het gebruik van hulpbronnen optimaliseren en het gebruik van biogebaseerde materialen aanmoedigen.

Er zijn enkele concepten die noodzakelijk zijn voor de uitvoering van het model van de circulaire economie:

- **Eco-concept:** Het houdt rekening met de milieueffecten gedurende de hele levenscyclus van een product en integreert deze vanaf het ontwerp.
- **Industriële en territoriale ecologie:** De totstandbrenging van een industriële organisatievorm op hetzelfde grondgebied die gekenmerkt wordt door een optimaal beheer van voorraden en stromen van materialen, energie en diensten.
- **De economie van "functionaliteit":** Bevoorrecht het gebruik tegenover het bezit, de verkoop van een dienst tegenover een goed.
- **Het tweede gebruik:** Herintroductie in het economisch circuit van producten die niet meer voldoen aan de oorspronkelijke behoeften van de consumenten.
- **Het hergebruik:** Hergebruik van bepaalde afvalstoffen of delen daarvan, die nog kunnen werken voor de ontwikkeling van nieuwe producten.
- **Repareren:** Vind een tweede leven voor de beschadigde producten.
- **Recycling:** Maak gebruik van de materialen in het afval.
- **Valorisatie:** Profiteren van energieafval dat niet kan worden gerecycleerd.

Circulaire economie vloeit voort uit de steeds duidelijker wordende schaarste aan grondstoffen, de toenemende vraag naar grondstoffen en het feit dat sommige daarvan eindig zijn, hetgeen leidt tot afhankelijkheid van derde landen.

Een andere reden voor de opkomst van de circulaire economie is het effect ervan op het milieu. De winning en het gebruik van grondstoffen betekent een toename van het energieverbruik en een toename van de uitstoot van vervuilende stoffen.

Circulaire economie is goed voor zowel het milieu als de samenleving, omdat het een manier is om het gebruik van hulpbronnen te behouden en te optimaliseren en de efficiëntie van het systeem te bevorderen.

De beginselen en gevraagde resultaten door de uitvoering van een circulaire economie zijn:

- Producten, onderdelen en materialen altijd op hun hoogste nut en waarde houden.
- Beheersing van voorraden van eindige materialen en het in evenwicht brengen van hernieuwbare hulpbronnenstromen.
- Ontkoppeling van de mondiale economische ontwikkeling en het verbruik van eindige hulpbronnen.

#### **Voordelen van de circulaire economie:**

Circulaire economie heeft vele voordelen. Vermindering van afval en hergebruik van materialen levert aanzienlijke besparingen op, terwijl tegelijkertijd de jaarlijkse uitstoot van broeikasgassen wordt verminderd.

Consumenten profiteren ook van duurzamere producten, wat meer besparingen en een hogere levenskwaliteit betekent.

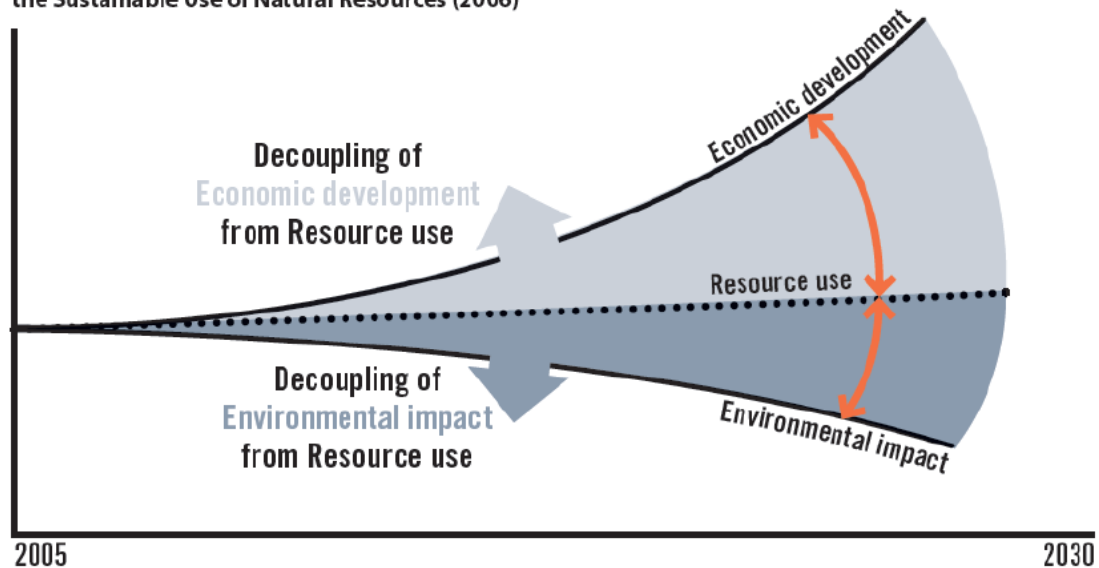
#### **Nadelen van de circulaire economie:**

Het bereiken van een circulaire economie en het verminderen van het gebruik van hulpbronnen betekent op zijn beurt het beperken van het energieverbruik en het verminderen van de afvalproductie. Voor velen is deze heroriëntatie van de mondiale productiviteit moeilijk te verwezenlijken.

Een van de problemen is dat sommige producten moeilijk te recyclen zijn, omdat degenen die ze ontwerpen geen waarde hechten aan afvalbeheer. Anderzijds vereist dit model intensieve samenwerking tussen bedrijven, waartoe veel bedrijven niet bereid zijn.

Ontkoppeling van economische ontwikkeling, verbruik van hulpbronnen en milieueffecten:

The two-level 'decoupling' addressed by the European Commission's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources (2006)



Figuur 23: Ontkoppeling aangepakt door de EC (Bron: European Environmental Bureau, 2015).

Een van de belangrijkste beginselen die ten grondslag liggen aan de circulaire economie is **design**. Ontwerp in alle stadia en/of aspecten van de levenscyclus van producten.

#### Ontwerp en materialen:

- Vermijd zware metalen als cadmium, lood en gevaarlijke stoffen (RoHS).
- Gebruik van gerecycleerde materialen (metalen, enz.).
- Recycleerbaarheid en terugwinbaarheid.
- Vermindering van het gewicht (dematerialisatie).

#### Ontwerp, duurzaamheid en reparatie:

- Modulair ontwerp, standaardcomponent, gemakkelijk te repareren en op te waarderen.
- Gemakkelijk te demonteren met gewoon gereedschap.
- Bill of Material (BoM).
- Monomaterialen en weinig verschillende materialen.

#### Ontwerp voor het levenseinde:

- Vermijd stoffen die recycling duur / problematisch maken.
- Terugname van producten + organisatie van afvalstromen om down-cycling te voorkomen.
- Hergebruik van onderdelen.

## 4.3 Uitdagingen en voordelen van circulaire systemen

### 4.3.1 Uitdagingen

Momenteel wordt het steeds duidelijker dat de lineaire economie niet langer een houdbaar model is binnen de grenzen van onze planeet. De nadelen van de lineaire economie schetsen de urgentie voor een alternatief model, dat geïnterpreteerd kan worden als kansen voor de circulaire economie. De belangrijkste nadelen van een lineaire economie zijn te vinden in het gebrek aan oplossingen voor het groeiende tekort aan materialen, de toenemende vervuiling, de toenemende vraag naar materialen en de groeiende vraag naar verantwoorde producten.

In een lineaire economie neemt de onzekerheid over de beschikbaarheid van materialen toe. Deze onzekerheid is gebaseerd op het feit dat de planeet een eindig aantal materialen heeft en dat de beschikbaarheid ervan afhangt van verschillende mechanismen. Deze onzekerheid wordt ingevuld door een toename van prijsschommelingen, de groei van industrieën die afhankelijk zijn van kritieke materialen, de onderlinge koppeling van producten en processen, en geopolitieke ontwikkelingen.

#### *Aantasting van ecosystemen*

Het volgen van het lineaire model van "nemen-maken-weggoien" leidt tot het ontstaan van afval. Tijdens productieprocessen en door het weggooien van producten ontstaan grote stromen materiaal die niet worden gebruikt maar verbrand of achtergelaten op een vuilnisbelt. Dit leidt uiteindelijk tot een overmaat aan onbruikbaar materiaal bergen overbelasting van ecosystemen. Dit zorgt ervoor dat het ecosysteem wordt belemmerd in het leveren van essentiële ecosystemediensten (zoals het leveren van voedsel, bouwmaterialen en onderdak, en het verwerken van voedingsstoffen).

#### *Afnemende levensduur van producten*

De laatste jaren is de levensduur van producten drastisch afgenomen. Dit is een van de drijvende krachten achter de toenemende materiaalconsumptie in de westerse wereld. De levensduur van producten neemt nog steeds af, door een proces van positieve feedback: Consumenten willen vaker nieuwe producten en gebruiken hun "oude" producten minder lang. Dit leidt tot een verminderde behoefte aan kwaliteitsproducten die op lange termijn kunnen worden gebruikt, waardoor de consument nog sneller nieuwe producten koopt.

### 4.3.2 Voordelen

Een circulaire economie is een economisch systeem waarin producten en diensten in gesloten kringlopen of "cycli" worden verhandeld. Een circulaire economie wordt gekenmerkt als een economie die door haar ontwerp regeneratief is, met als doel zoveel mogelijk waarde van producten, onderdelen en materialen te behouden. Dit betekent dat moet worden gestreefd naar een systeem dat een lange levensduur, optimaal hergebruik, renovatie, revisie en recycling van producten en materialen mogelijk maakt.

#### *Lussen sluiten*

In de circulaire economie worden materiaalkringlopen gesloten naar het voorbeeld van natuurlijke ecosystemen: Giftige stoffen worden geëlimineerd, er is geen afval omdat alle reststromen waardevol zijn als grondstof, producten worden na gebruik teruggenomen voor



reparatie en remanufacturing om de producten een tweede, derde of vierde keer te hergebruiken en reststromen worden gescheiden in een biologische en technische cyclus.

### *Systeemdenken*

Circulaire economie vraagt om systeemdenken. Alle actoren (bedrijven, personen, organismen) maken deel uit van een netwerk waarin de acties van één actor gevolgen hebben voor andere actoren. In de circulaire economie wordt hiermee rekening gehouden in besluitvormingsprocessen door zowel korte- als langetermijnevolgen van een beslissing in aanmerking te nemen, de impact van de volledige waardeketen te overwegen en te streven naar de totstandbrenging van een veerkrachtiger systeem dat op elke schaal doeltreffend is.

### *Ontkoppeling van de economische groei*

Het doel van een circulaire economie is economische groei los te koppelen van het verbruik van hulpbronnen door de nadruk te leggen op waardebehoud. Om de ecosystemen en het natuurlijke kapitaal waarvan wij afhankelijk zijn veilig te stellen, is meer dan financieel kapitaal van waarde.

Ook sociaal kapitaal en natuurlijk kapitaal spelen een rol in de stabiliteit van onze systemen. In de circulaire economie worden deze waarden weerspiegeld in de kosten van producten en diensten. De energie die nodig is voor deze kringloop moet van nature hernieuwbaar zijn.

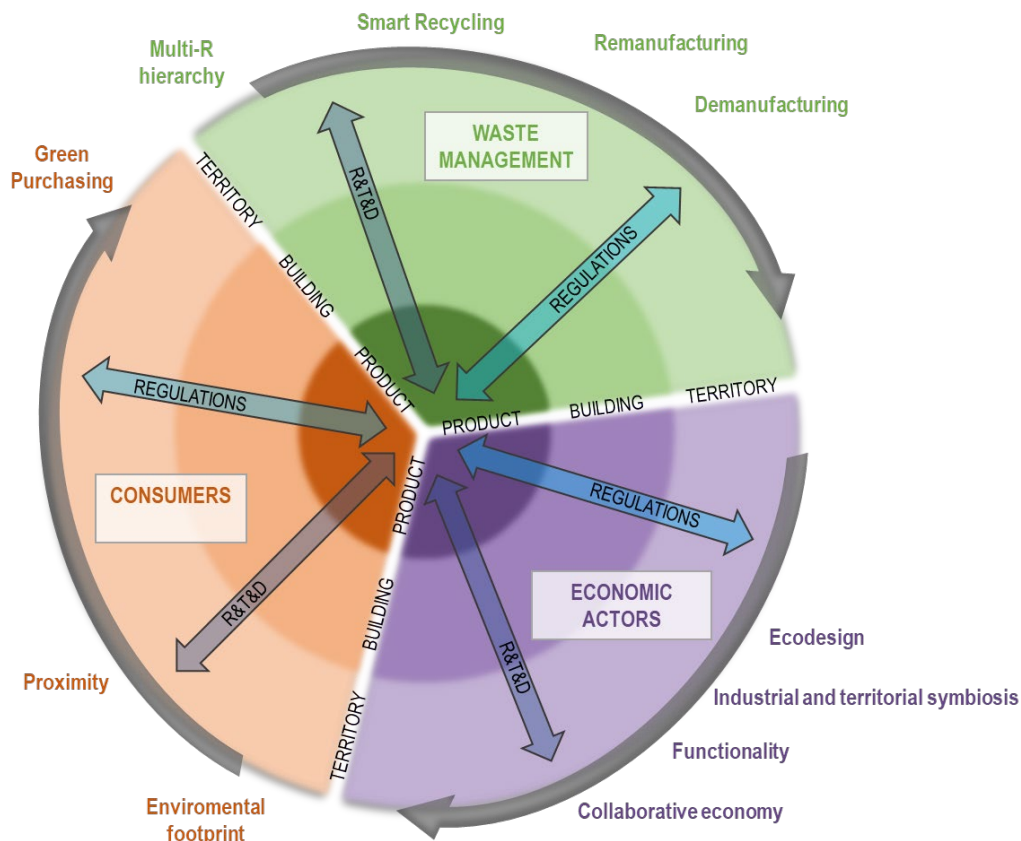
Er worden verschillende strategieën voorgesteld om de overgang van de lineaire naar de circulaire economie te bewerkstelligen:

#### **Transversale strategieën**

- Regels.
- R&T&D.

#### **Directe strategieën**

- Afvalbeheer.
- Economische actoren.
- Consumenten.



Figur 24: Schets transitie naar Circulaire economie (Bron: Caparrós-Pérez, D., 2017).

### 4.3.3 Transversale strategieën

In 2015 heeft de Europese Commissie het EU-actieplan voor de circulaire economie aangenomen (december 2015) met als doel te wijzen op de verschillende maatregelen (tot een totaal van 54) waarvoor volgens de Europese Commissie in de komende 5 jaar maatregelen nodig zijn om de circulaire economie vooruit te helpen. In die richting zijn vijf gebieden door de Commissie als prioritair aangemerkt (kunststoffen, voedselafval, kritieke grondstoffen, bouw en sloop, biomassa en producten op biobasis), die via de volgende mededelingen worden aangepakt:

- MEDEDELING VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT, DE RAAD, HET EUROPEES ECONOMISCH EN SOCIAAL COMITÉ EN HET COMITÉ VAN DE REGIO'S.

Naar een kringloopeconomie: Een afvalnulprogramma voor Europa /\* COM/2014/0398 def.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>

- MEDEDELING VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT, DE RAAD, HET EUROPEES ECONOMISCH EN SOCIAAL COMITÉ EN HET COMITÉ VAN DE REGIO'S (COM/2015/0614 def.).

De kringloop sluiten - Een EU-actieplan voor de circulaire economie.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614&qid=1524124780099>

- VERSLAG VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT, DE RAAD, HET EUROPEES ECONOMISCH EN SOCIAAL COMITÉ EN HET COMITÉ VAN DE REGIO'S (COM/2017/033 def.).

Over de uitvoering van de actie "Circulaire economie

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033&qid=1524125695611>

- COMMISSIE VAN DE EUROPESE GEMEENSCHAPPEN. MEDEDELING NR. 29, 2018. MONITORINGKADER VOOR DE CIRCULAIRE ECONOMIE; COM NR. 29.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN>

- COMMISSIE VAN DE EUROPESE GEMEENSCHAPPEN. MEDEDELING NR. 98, 2020. EEN NIEUW ACTIEPLAN VOOR DE CIRCULAIRE ECONOMIE VOOR EEN SCHONER EN CONCURRERENDER EUROPA.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

Ook bevorderen tal van Europese initiatieven circulariteit via oproepen tot het indienen van voorstellen en programma's. De Europese Commissie heeft in maart 2020 het nieuwe actieplan voor de circulaire economie (CEAP) aangenomen. Het is een van de belangrijkste bouwstenen van de Europese Green Deal, Europa's nieuwe agenda voor duurzame groei. De overgang van de EU naar een circulaire economie zal de druk op natuurlijke hulpbronnen verminderen en duurzame groei en banen creëren. Het is ook een voorwaarde om de EU-doelstelling van klimaatneutraliteit in 2050 te halen en het verlies aan biodiversiteit een halt toe te roepen.

In het nieuwe actieplan worden initiatieven voor de hele levenscyclus van producten aangekondigd. Het richt zich op de manier waarop producten worden ontworpen, bevordert processen van de circulaire economie, stimuleert duurzame consumptie en wil ervoor zorgen dat afval wordt voorkomen en de gebruikte hulpbronnen zo lang mogelijk in de economie van de EU blijven. Het actieplan bevat wetgevende en niet-wetgevende maatregelen op gebieden waar actie op EU-niveau een echte meerwaarde oplevert.

#### 4.3.4 Directe strategieën

Onder het bewustzijn van alle bij het proces betrokken actoren worden drie categorieën circulaire bedrijfsmodellen onderscheiden:

- Circulaire uitgangsmoedellen.
- Circulaire innovatiemoedellen.
- Circulaire gebruiksmoedellen.

##### 4.3.4.1 Afvalbeheer

###### *Circulaire uitgangsmoedellen*

Deze bedrijfsmodellen richten zich op de output en toegevoegde waarde van de fase na gebruik van een product. In deze bedrijfsmodellen worden inkomsten gegenereerd door producten na gebruik om te zetten in nieuwe producten of nuttige hulpbronnen om waarde

toe te voegen, kosten te verlagen of afval te verminderen. De ontwikkeling van omgekeerde logistiek is essentieel voor dit model.

Voorbeelden van bedrijfsmodellen in deze categorie zijn:

- Leverancier van hergebruikt materiaal: Verkoopt hergebruikte materialen en componenten die in plaats van nieuw of gerecycleerd materiaal worden gebruikt.
- Refurbish & Maintain: Knapt gebruikte producten op en onderhoudt ze om ze te verkopen.
- Recyclingbedrijf: Zet afval om in grondstoffen. Extra inkomsten kunnen worden gecreëerd door baanbrekend werk op het gebied van recyclingtechnologie.
- Leverancier van terugwinning: Zorgt voor terugnamesystemen en inzameldiensten om nuttige hulpbronnen terug te winnen uit afgedankte producten of bijproducten;
- Ondersteuning levenscyclus: Verkoopt verbruiksartikelen, reserveonderdelen en add-ons om de levenscyclus van duurzame producten te ondersteunen.

#### 4.3.4.2 Economische actoren

##### *Circulaire innovatiemodellen*

Circulaire innovatiemodellen richten zich op de ontwikkelingsfase van een product. Producten worden ontworpen om langer mee te gaan en zijn gemakkelijk te onderhouden, repareren, upgraden, opknappen, opnieuw te vervaardigen of te recyclen. Daarnaast worden nieuwe materialen ontwikkeld en ingekocht, bijvoorbeeld biogebaseerde of volledig recycleerbare materialen.

Voorbeelden van bedrijfsmodellen in deze categorie zijn:

- Productontwerp: Biedt producten die zo zijn ontworpen dat zij een lange en nuttige levensduur hebben en/of gemakkelijk te onderhouden, repareren, upgraden, opknappen of opnieuw te vervaardigen zijn.
- Procesontwerp: Ontwikkelt processen die het hergebruikpotentieel en de recycleerbaarheid van industriële en andere producten, bijproducten en afvalstromen vergroten.
- Circulaire leveringen: Levert inputmaterialen zoals hernieuwbare energie, biogebaseerde, minder hulpbronintensieve of volledig recycleerbare materialen.

#### 4.3.4.3 Consumenten

##### *Circulaire gebruiksmodellen*

Deze bedrijfsmodellen richten zich op de gebruiksfase door het product optimaal te gebruiken en toegevoegde waarde te behouden. Deze bedrijfsmodellen maken het mogelijk eigenaar te blijven van het product (bv. door een product te onderhouden in plaats van het te verkopen) en verantwoordelijkheid te nemen voor het product gedurende zijn nuttige levensduur (bv. via onderhoudsdiensten of add-ons om de levensduur van een product te verlengen).

Voorbeelden van bedrijfsmodellen in deze categorie zijn:

- Product-as-a-service: Levert productprestaties in plaats van het product zelf door een combinatie van product en diensten. De dienstverlener blijft eigenaar van het product.
- Verkoop en terugkoop: Verkoopt een product op basis van het feit dat het na een bepaalde periode zal worden teruggekocht.

- Platforms voor gedeeld gebruik (Access provider): Maakt een verhoogd gebruik van producten mogelijk door gedeeld gebruik, toegang of eigendom mogelijk te maken of aan te bieden.
- Verlenging van de levensduur: Verlengt de levensduur van producten en componenten door reparatie, onderhoud of upgrade.
- Traceringsfaciliteit: Het verlenen van diensten om de tracering, de afzet en de handel in secundaire grondstoffen te vergemakkelijken.

#### 4.3.4.4 Definitieve doelstellingen

De volgende acties zullen de overgang naar een circulaire economie bevorderen:

- Vooruitgang bij de **vermindering van het gebruik van niet-hernieuwbare natuurlijke hulpbronnen**, hergebruik in de productiecycli van de materialen in het afval als secundaire grondstoffen indien de gezondheid van de mensen en de bescherming van het milieu gewaarborgd zijn.
- De analyse van de levenscyclus** van de producten en de opneming van criteria inzake ecologisch ontwerp bevorderen, zodat bij de vervaardiging ervan minder schadelijke stoffen worden gebruikt, de reparatiebaarheid van de geproduceerde goederen wordt vergemakkelijkt, hun nuttige levensduur wordt verlengd en zij aan het eind daarvan kunnen worden teruggewonnen.
- De **daadwerkelijke toepassing van het beginsel van de afvalhiërarchie** aanmoedigen, door het voorkomen van het ontstaan ervan te bevorderen, hergebruik aan te moedigen, recycling te versterken en de traceerbaarheid ervan te bevorderen.
- Richtsnoeren bevorderen die **de innovatie en de algemene efficiëntie van de productieprocessen verhogen**, door de aanneming van maatregelen zoals de toepassing van milieubeheersystemen.
- innovatieve vormen van **duurzame consumptie** bevorderen, waaronder duurzame producten en diensten, alsmede het gebruik van digitale infrastructuren en diensten.
- Een model van **verantwoorde consumptie** bevorderen, gebaseerd op transparante informatie over de kenmerken van goederen en diensten, de duur en de energie-efficiëntie ervan, met behulp van maatregelen zoals het gebruik van het ecolabel.
- De oprichting van passende kanalen vergemakkelijken en bevorderen om de **uitwisseling van informatie** en de coördinatie met de overheid, de wetenschappelijke en technologische gemeenschap en de economische en sociale actoren te vergemakkelijken, teneinde synergieën tot stand te brengen die de overgang bevorderen.
- Verspreiden van **het belang van de overgang van de lineaire economie naar een circulaire economie**, bevorderen van de transparantie van de processen, het bewustzijn en de bewustmaking van de burgers.
- Het gebruik aanmoedigen van **gemeenschappelijke, transparante en toegankelijke indicatoren die het mogelijk maken de mate van uitvoering van de circulaire economie te kennen**.

- Bevorderen dat **sociale en milieueffectindicatoren** van de werking van bedrijven worden opgenomen, om naast de economische voordelen die zij genereren, ook hun inzet voor de kringloopeconomie te evalueren.

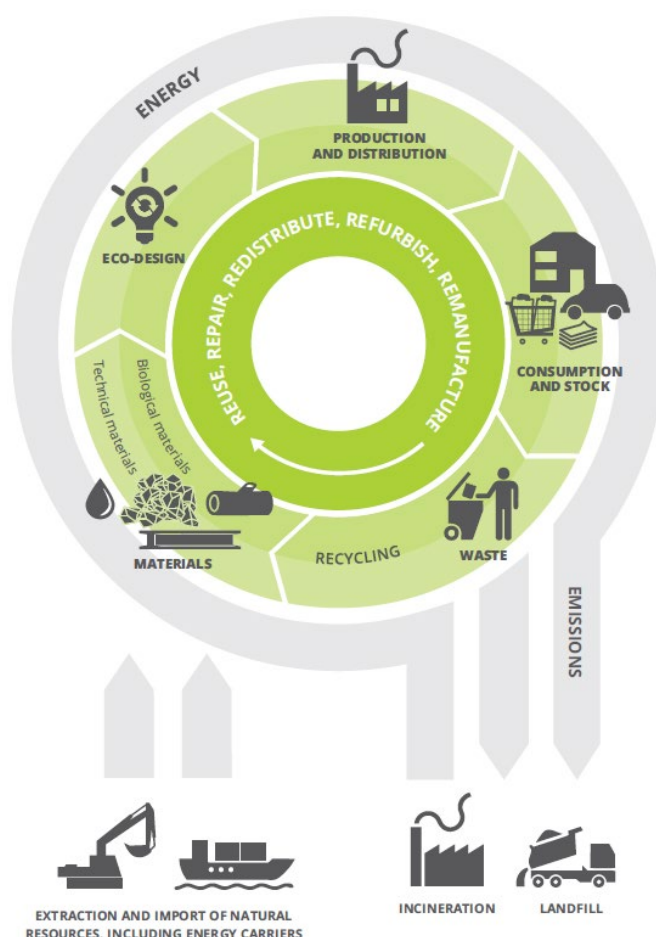


## 5 Circulaire economie en beheer van SVA

### 5.1 Beheer van SVA in een CE

Tot nu toe blijft het huidige economische model van productie en consumptie lineair, d.w.z. grondstoffen worden gewonnen, verwerkt, gebruikt en aan het einde van hun levensduur voor het grootste deel typisch verwijderd door verbranding of storting. Bijgevolg worden materialen aan de circulatie onttrokken en vernietigd, ook al levert thermisch gebruik ten minste energie op (Hollins et al., 2017). In dit verband is het beheer van vast stedelijk afval (VHA) een belangrijk onderdeel van het EU-plan voor de transformatie naar een circulaire economie (CE).

De belangrijkste uitdaging in CE is de perceptie dat afval niet als een "probleem" maar als een "waardevolle hulpbron" moet worden gezien. Het fundamentele idee is om materialen en producten zo lang mogelijk en zo hoog mogelijk in het productie- en consumptiesysteem te houden op basis van "...delen, leasen, hergebruiken, repareren, opknappen en recyclen, in een (bijna) gesloten kringloop..." (Bourguignon, 2016). Om dat perspectief te bereiken zal het VHA-beheer in een CE een integraal onderdeel moeten worden van een circulair productie- en consumptiemodel, zoals weergegeven in figuur 25.



Figuur 25: Een vereenvoudigd model van de circulaire economie voor materialen en energie (Bron: EMA, 2017).

In overeenstemming met de beginselen van de CE is het fundament van het EU-afvalbeheer, volgens de kaderrichtlijn afvalstoffen, de "afvalhiërarchie" in vijf stappen, die een volgorde van voorkeur voor het beheer en de verwijdering van afval vaststelt.

Afvalpreventie is vastgesteld als een prioriteit, met vermindering als topprioriteit, via de afvalhiërarchie, gevolgd door verlenging van de levensduur van waardevolle hulpbronnen door hergebruik, reparatie, opknappen of revisie is cruciaal voor het bevorderen van CE. Infrastructurele lock-in moet worden overwonnen, vooral als de vraag naar energieopwekking en recycling concurreert met het geven van prioriteit aan hergebruik, reparatie en renovatie (Hollins et al., 2017). CE kan echter niet bestaan zonder functionerende markten voor secundaire materialen, hoewel virgin materialen tegenwoordig in veel gevallen goedkoper zijn dan de teruggewonnen materialen (Silva Filho et al., 2021). Door de invoering van de afvalhiërarchie is het afvalbeheer verschoven van de verwerking van materialen met een groot volume en een lage waarde naar materialen met een klein volume en een hoge waarde (Berg et al., 2020).

## 5.2 Beleid en instrumenten voor het beheer van SVA in de richting van CE

Voortbouwend op het werk dat sinds 2015 is verricht, heeft de Europese Commissie op 11 maart 2020 een nieuw actieplan voor de circulaire economie aangenomen, dat maatregelen omvat voor de hele cyclus, van productie en consumptie tot afvalbeheer en de markt voor secundaire grondstoffen. Wat afvalbeheer betreft, ligt de nadruk op het volledig vermijden van afval en het omzetten ervan in een hoogwaardige en goed functionerende markt voor secundaire grondstoffen. In dit verband voorziet het actieplan in een geharmoniseerd model voor de hele EU voor de gescheiden inzameling van afval en etikettering, en stelt het maatregelen voor om de EU-uitvoer van afval tot een minimum te beperken en illegale overbrenging aan te pakken.

Het actieplan omvat vier wetgevingsacties waarbij nieuwe streefcijfers voor afvalbeheer met betrekking tot hergebruik, recycling en storten worden ingevoerd, de bepalingen inzake afvalpreventie en uitgebreide producentenverantwoordelijkheid worden aangescherpt en de definities, rapportageverplichtingen en berekeningsmethoden voor de streefcijfers worden gestroomlijnd.

De belangrijkste en meest recente wetgevingsbesluiten<sup>13</sup> met betrekking tot SVA-beheer en CE zijn de volgende:

- COM(2020) 798/3, Voorstel voor een verordening van het Europees Parlement en de Raad inzake batterijen en afvalbatterijen, tot intrekking van Richtlijn 2006/66/EG en tot wijziging van Verordening (EU) nr. 2019/1020.

---

<sup>13</sup> Er zij op gewezen dat er bepaalde verschillen bestaan tussen EU-richtlijnen, verordeningen, besluiten en aanbevelingen ([https://europa.eu/european-union/law/legal-acts\\_en](https://europa.eu/european-union/law/legal-acts_en)). De meeste EU-wetgeving met betrekking tot circulaire economie en VHA bestaat uit richtlijnen en biedt de nationale EU-lidstaten veel ruimte om het doel te bereiken en de snelheid van uitvoering te verhogen door de "omzetting" aan de nationale wetgevers over te laten.

- COM/2020/98 def., Een nieuw actieplan voor de circulaire economie - Voor een schoner en concurrerender Europa, mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's.
- Gedelegeerde verordening (EU) 2020/2174 van de Commissie van 19 oktober 2020 tot wijziging van de bijlagen IC, III, III A, IV, V, VII en VIII van Verordening (EG) nr. 1013/2006 van het Europees Parlement en de Raad betreffende de overbrenging van afvalstoffen
- Richtlijn 2019/904 van het Europees Parlement en de Raad van 5 juni 2019 betreffende de vermindering van het effect van bepaalde kunststofproducten op het milieu
- Richtlijn 2018/852 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 94/62/EG betreffende verpakking en verpakkingsafval
- Richtlijn 2018/851 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 2008/98/EG betreffende afvalstoffen
- Richtlijn 2018/850 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 1999/31/EG betreffende het storten van afvalstoffen
- Richtlijn 2018/849 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 2000/53/EG betreffende autowrakken, Richtlijn 2006/66/EG inzake batterijen en accu's, alsook afgedankte batterijen en accu's, en Richtlijn 2012/19/EU betreffende afgedankte elektrische en elektronische apparatuur.
- COM(2017) 34 definitief, *De rol van afvalenergie in de circulaire economie*, Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's.

Op basis van de laatste richtlijnen en de wijzigingen daarop is het volgende tijdschema vastgesteld:

- Gescheiden inzameling van bioafval tegen 31/12/2023 en van textiel en gevaarlijk afval van huishoudens tegen 1/1/2025.
- Hergebruik en recycling van stedelijk afval voorbereiden tot een minimum van 55 gewichtsprocent in 2025, 60% in 2030 en 65% in 2035.
- Recycling van verpakkingsafval tot ten minste 65% op 31 december 2025 en 70% op 31 december/2030.
- Vermindering van het storten van afval tot maximaal 10% van het geproduceerde stedelijke afval in 2035.
- Verbod op het storten van voor recycling geschikt afval vanaf 2030
- Recyclingpercentage per materiaal tegen 2025: Kunststoffen: 50%; Hout: 25%; Ferro metalen: 70%; Aluminium: 50%; Glas: 70%; Papier en karton: 75%
- Recyclingpercentage per materiaal tegen 2030: Kunststoffen: 55%, Hout: 30%, Ferro metalen: 80%, Aluminium: 60%, Glas: 75%, Papier en karton: 85%
- Gescheiden inzameling van plastic flessen tot 3 lt, om tegen 2029 90% recycling te bereiken, met een tussentijdse doelstelling van 77% tegen 2025. Deze flessen moeten minstens 25% gerecycleerde kunststoffen als grondstof bevatten tegen 2025 (voor PET-flessen), en 30% tegen 2030 (voor alle flessen).

Om de bovengenoemde doelstellingen te bereiken worden op Europees, regionaal en nationaal niveau verschillende instrumenten ingezet (tabel 1).

Tabel 1: Op Europees, regionaal en nationaal niveau gebruikte beleidsinstrumenten voor afvalbeheer

<b>Beleidsinstrument</b>	<b>Voorbeelden van afvalbeheer</b>
<i>Wetgeving</i>	Richtlijnen en verordeningen gebruikt om: <ul style="list-style-type: none"> <li>● streefcijfers en rapportagevoorschriften voor afzonderlijke afvalstromen vast te stellen               <ul style="list-style-type: none"> <li>● (bijvoorbeeld streefcijfers voor recycling en vermindering van het storten van afval)</li> <li>● regelingen voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid vast te stellen</li> <li>● economische instrumenten vast te stellen</li> <li>● een beter ecologisch ontwerp aan te moedigen</li> </ul> </li> </ul>
<i>Economische stimulansen</i>	investeringen in infrastructuur voor afvalinzameling met steun uit het Cohesiefonds, financiering van O&O en innovatie
<i>Marktconforme instrumenten</i>	Stortbelasting en stortheffingen, verbrandingsbelasting en -heffingen, belastingen op plastic zakken; "Pay As You Throw" (PAYT) regelingen.
<i>Vereiste informatie</i>	Consumenteninformatie over verpakkingen, vrijwillige rapportage over afvalproductie en vaststelling van doelstellingen door bedrijven
<i>Vrijwillige instrumenten</i>	bewustmakingscampagnes voor het publiek, vrijwillige verbintenissen van de industrie, productontwerp en -etikettering (bv. via de EU-milieukeur) verstrekking van informatie over goede praktijken, door het bedrijfsleven geleide initiatieven

Voor een meer gedetailleerde analyse worden geïnteresseerde lezers verwezen naar BlockWASTE deliverable "[O1.A1 - Vergelijkende studie van de regelgeving inzake het beheer van gemeentelijk vast afval \(MSW\) in elk land](#)".

### 5.3 Digitale technologieën voor een circulair beheer van VHA

De overgang van de sector SVA-beheer naar de CE vereist ongetwijfeld de toepassing van Industrie 4.0-technologieën, die de momenteel gebruikte technologieën en processen zullen aanvullen of in sommige gevallen vervangen (Mastos et al., 2021). Tegenwoordig worden verschillende technologieën die voornamelijk betrekking hebben op de terugwinning van de materiaalstromen goed aangehaald. Zo worden mechanische sorteertechnologieën, bijvoorbeeld trommelzeven, permanent magnetische en elektromagnetische wervelstroomafscidders, flotatietanks, röntgenstralen en infrarood- of nabij-infraroodsensoren (NIR), enz. gebruikt in installaties voor mechanisch-biologische behandeling (BMB) voor de aanpak van gemengd afval, teneinde de technische materialen en de biologische fase te scheiden en de resterende hoeveelheid voor storting te beperken. Afhankelijk van hun configuratie kunnen MBT-installaties de vereiste prestaties leveren op het gebied van recycling, terugwinning en biologisch afbreekbare stoffen. Soortgelijke

sorteertechnologieën worden gebruikt in sorteerinstallaties voor lichte verpakkingen en plastic. Lichtgewichtverpakkingsinstallaties kunnen verschillende soorten verpakkingsafval sorteren en classificeren die zijn ingezameld als gemengde recyclingstromen en kunststofsorteerinstallaties kunnen verschillende soorten en kwaliteiten kunststofpolymeren sorteren (Hollins et al., 2017). Naast scheiding bestaan er gevestigde recyclingtechnologieën voor de verwerking en recycling van technische materialen zoals glas, aluminium, staal en zelfs kunststof (voornamelijk PET en HDPE). In het geval van kunststoffen wordt bijvoorbeeld meestal mechanische recycling toegepast, terwijl er meer geavanceerde technologieën ontstaan voor het verwijderen van verontreinigingen en om teruggewonnen kunststof om te zetten in polymeren van voedselkwaliteit (Hollins et al., 2017). Tot slot zijn er verschillende technologieën om waarde te genereren (in meer algemene zin) uit bioafval, zoals anaerobe vergisting, compostering en valorisatie (hoewel veel van de technologieën voor afvalvalorisatie in opkomst zijn en momenteel niet op grote schaal worden toegepast). Er zij echter op gewezen dat, ongeacht de gebruikte technologieën, de verbetering van de CE-doelstellingen, zowel kwalitatief als kwantitatief, in meer of mindere mate de gescheiden inzameling van afvalstromen vereist. Daarom wordt de gescheiden inzameling benadrukt en verplicht gesteld in de desbetreffende wetgeving.

De 4<sup>th</sup> industriële revolutie (Industrie 4.0) zal naar verwachting op vele manieren bijdragen aan een beter MSW-beheer in het kader van het CE. Berg et al. (2020) onderscheiden drie hoofdgebieden van digitalisering in het MSW-beheer: communicatie, afvalinzameling en interne processen (tabel 2).

Tabel 2: Belangrijkste digitaliseringsgebieden in het beheer van VHA

Communicatie	Afvalinzameling	Interne processen
Websites	Met sensoren uitgeruste voertuigen	Facturering
Mobiele apps	Routeplanning	Boekhouding
Integratie in andere diensten	Planning van middelen	Controle op
Sociale media-apps van derden	Inventaris bijhouden	Proces van bestellingen
	Documentatie	Documentatie

(Bron: Berg et al., 2020)

Berg et al. (2020) stellen dat de afvalindustrie vooral beïnvloed zal worden door zes digitale technologieën:

- Robotica: hiermee kunnen afvalstromen van hoge zuiverheid worden geproduceerd en worden het inzamelingsproces en de logistiek van de afvalverwerking vergemakkelijkt.
- Internet of things (IoT): het zal de logistiek verbeteren via door sensoren ondersteunde bakken en containers, elektronische verwerking van documenten en netwerkvorming tussen vuilniswagens.

- Cloud computing: Het kan helpen bij de opslag en verwerking van sensorgegevens of softwareoplossingen voor het beheer, de verzameling, de administratie en de documentatietaken.
- Kunstmatige intelligentie en neurale netwerken: AI en NN kunnen oplossingen bieden bij sorteertoepassingen door het gebruik van beeldherkenning, autonome voertuigen en veegrobots, bij de optimalisatie van afvalinzameling, bij klantendiensten, bij burgerinformatiediensten, enz.
- Gegevensanalyse: het ondersteunt de dispositie van voertuigen voor afvalinzameling, evaluatie van sensorgegevens voor automatische sorteerinstallaties, controle van afvalverbrandingsinstallaties, registratie van afvalhoeveelheden en materiaalstromen, enz.
- Distributed ledger technology ("Blockchain"): dit zal het traceren van materiaalstromen en het doorgeven van gegevens over materialen en producten in de toeleveringsketen vergemakkelijken, aangezien de levenscyclus van een product in de blockchain wordt opgeslagen.

Mavropoulos en Nilsen (2020) vermelden dat de digitale revolutie het afvalbeheer althans tot op zekere hoogte heeft veranderd. Zo bieden GPS-trackers de laatste jaren logistieke operaties real-time informatie over afvalwagens en containers. Sensoren meten de hoeveelheid afval in bakken en containers, waardoor nieuwe mogelijkheden voor routeoptimalisatie ontstaan. Robots, scanners en optische herkenningsalgoritmen vinden hun weg naar geautomatiseerde MSW-sorteerfaciliteiten. Newton (2021) wijst erop dat Industrie 4.0-innovaties belangrijke verbeteringen brengen in de afvalbeheersector door het identificeren van afvalbronnen en -patronen, door de afvalinfrastructuur in topconditie te houden en door het energieverbruik te verminderen, onder meer via IoT-sensoren en algoritmen voor gegevensanalyse. Jamrozik (2019) geeft een voorbeeld uit de New York City waar IoT-aangedreven vuilnisbakken met real-time monitoring en meldingen erin slaagden de totale vuilnis capaciteit met bijna 200% te verhogen en tegelijkertijd de ophaalfrequentie per vuilnisbak met 50% te verlagen.



## 6 Referenties en bronnen voor verdere lectuur en informatie

### 6.1 Referenties

- Atalia K.R., Buha D.M., Bhavsar K.A., Shah N.K., (2015). Een overzicht van compostering van gemeentelijk vast afval. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT). e-ISSN: 2319-2402, p-ISSN: 2319-2399. Volume 9, Issue 5 Ver. I (May. 2015), PP 20-29. DOI: 10.9790/2402-095 12029
- Berg, H., Sebestyén, J., Bendix, P., Le Blevenc, K., Vrancken, K. (2020). Digitaal afvalbeheer, Eionet Report - ETC/WMGE 2020/4, European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy, Mol, België.
- Bourguignon, D. (2016). De kringloop sluiten: Nieuw pakket circulaire economie. European Parliamentary Research Service (EPRS), Briefing aan het Europees Parlement. ([https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS\\_BRI%282016%29573899\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf)) Geraadpleegd op 30 september 2021
- Caparrós-Pérez D. (2017). Haalbaarheid om duurzame gebieden te genereren. Eco-efficiënte toepassing van materialen en bouwsystemen in stedelijke ontwikkeling en rehabilitatie.
- CEWEP, (2021). Overzicht van stortbelastingen en -verboden in de EU-lidstaten. Beschikbaar op: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/10/Landfill-taxes-and-bans-overview.pdf>
- Ciuta, S., Apostol, T. & Rusu, Valentin. (2015). Urban and Rural MSW Stream Characterization for Separate Collection Improvement. Duurzaamheid. 7. 916-931. 10.3390/su7010916. ([https://www.researchgate.net/publication/271528610\\_Urban\\_and\\_Rural\\_MS\\_W\\_Stream\\_Characterization\\_for\\_Separate\\_Collection\\_Improvement](https://www.researchgate.net/publication/271528610_Urban_and_Rural_MS_W_Stream_Characterization_for_Separate_Collection_Improvement)) Geraadpleegd in september 2021.
- Davies, S. The Great Horse-Manure Crisis of 1894 | Stephen Davies <https://fee.org/articles/the-great-horse-manure-crisis-of-1894/> (bekeken op 13 feb 2020).
- EG, (2022). Stortafval. Beschikbaar op: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en)
- EMA, (2021). Afvoer van afvalstoffen van stortplaatsen in Europa. Europees Milieuagentschap. Beschikbaar op: <https://www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill>
- EMA, (2022). Afvalrecycling in Europa. Beschikbaar op: <https://www.eea.europa.eu/ims/waste-recycling-in-europe>
- EESI, (2017). Factsheet Biogas: Afval omzetten in energie. Beschikbaar op: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>
- EREF, (2022). Inleiding tot het storten van vast stedelijk afval. Beschikbaar op: <https://erefdn.org/introduction-municipal-solid-waste-landfilling-2/>
- Ergene Şentürk, D., & Alp, E. (2016). Planning voor de sluiting van ongecontroleerde stortplaatsen in Turkije om de milieueffecten te verminderen, Waste management &

research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 34(11), 1173-1183, <https://doi.org/10.1177/0734242X16665915>.

Europese Commissie COM(2017) 34. De rol van afvalenergie in de circulaire economie. Beschikbaar op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017DC0034&from=EN#footnote17>

Europese Commissie, (2022). Afvalpreventie en -beheer. Beschikbaar op: [https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index_en.htm)

Europees Milieuagentschap (2017). Circulair door ontwerp. Producten in de circulaire economie. EMA-rapport nr. 6/2017, Kopenhagen (<https://www.eea.europa.eu/publications/circular-by-design>) Toegang 29 september 2021.

Europese Unie, Richtlijn 1999/31/EG van de Raad van 26 april 1999 betreffende het storten van afvalstoffen (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>).

Europese Unie, Richtlijn (EU) 2018/851 van het Europees Parlement en de Raad van 30 mei 2018 tot wijziging van Richtlijn 2008/98/EG betreffende afvalstoffen (Voor de EER relevante tekst) (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>).

Eurostat (2021). Statistieken over gemeentelijk afval. ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)) Geraadpleegd op 20 januari 2022.

Eurostat (2022). Productie van afvalstoffen naar afvalcategorie, gevaarlijkheid en NACE Rev. 2-activiteit ([http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env\\_wasgen](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env_wasgen)) Geraadpleegd op 29 januari 2022.

Eurostat, (2022). Statistieken over gemeentelijk afval. Beschikbaar op: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)

Hollins, O., Lee, P., Sims, E., Bertham, O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., en Sjögren, P. (2017). Naar een circulaire economie - Afvalbeheer in de EU. Europees Parlement. ([https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS\\_STU%282017%29581913\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU%282017%29581913_EN.pdf)) Geraadpleegd op 29 september 2021

Hunt, R. G., et al., (1990). Estimates of the Volume of MSW and Selected Components in Trash Cans and Landfills. Franklin Associates, Ltd., met The Garbage Project voor de Council for Solid Waste Solutions.

Jamrozik, N. (2019). Slim afvalbeheer (<https://medium.com/@NadJam/smart-waste-management-17db1bd5bc6b#>;) Toegang 16 november 2021.

Kalyuzhnyi, Sergey & Epov, A & Sormunen, Kai & Kettunen, R & Rintala, Jukka & Privalenko, V & Nozhevnikova, Alla & Pender, S & Colleran, E. (2003). Evaluation of the current status of operating and closed landfills in Russia, Finland and Ireland with regard to water pollution and methane emission. Water science and technology: a journal of the

International Association on Water Pollution Research. 48. 37-44  
(<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/48/4/37/10950/Evaluation-of-the-current-status-of-operating-and?redirectedFrom=fulltext>).

Kaza S., Yao, L., Perinaz Bhada-Tata, P. en Van Woerden, F. (2018). Wat een Afval 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Wereldbank Groep. (<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>) Geraadpleegd 15 september 2021.

Klundert, A. van de, Anschutz, J. (2001) Integraal duurzaam afvalbeheer - het concept. Gouda, 2001, 44 p.

Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., Ioannidis, D., Votis, K. en Tzovaras, D. (2021). Introductie van een toepassing van een industrie 4.0-oplossing voor circulair ketenbeheer. Journal of Cleaner Production, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886>

Mavropoulos, A., (2015). Verspilde Gezondheid: het tragische geval van stortplaatsen, ISWA ([https://www.researchgate.net/publication/281774422\\_Wasted\\_Health\\_the\\_tragic\\_case\\_of\\_dumpsites](https://www.researchgate.net/publication/281774422_Wasted_Health_the_tragic_case_of_dumpsites)). Geraadpleegd op 25 januari 2022.

Mavropoulos, A. en Nilsen, A.W. (2020). Industrie 4.0 en circulaire economie: Towards a Wasteless Future or a Wasteful Planet?. International Solid Waste Association Series, Wiley, New York, pp. 448.

Newton, E. (2021). Hoe optimaliseert Industrie 4.0 de afvalindustrie? Het IOT Magazine (<https://theiotmagazine.com/how-is-industry-4-0-optimizing-the-waste-industry-bfd4d35770f4>) Geraadpleegd op 15 december 2021.

Shaoli De, Biswajit Debnath, (2016). Prevalence of Health Hazards Associated with Solid Waste Disposal- A Case Study of Kolkata, India, Procedia Environmental Sciences, Volume 35, pp. 201-208, ISSN 1878-0296, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.081>.

Sharma, K.D. en Jain, S. (2020), "Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario", Social Responsibility Journal, Vol. 16 No. 6, pp. 917-948. <https://doi.org/10.1108/SRJ-06-2019-0210>.

Silva Filho, C. RV, Appelqvist, B. en Woolridge, A. (2021). De toekomst van de afvalbeheersector - trends, kansen en uitdagingen voor het decennium 2021-2030. International Solid Waste Association - ISWA. (<https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2021/10/ISWA-The-Future-of-Waste-Management-1.pdf>) Geraadpleegd op 15 november 2021

STOA, (2017). Naar een circulaire economie - Afvalbeheer in de EU. Science and Technology Options Assessment. EPRS/European Parliamentary Research Service. 140 pp. doi: 10.2861/978568.

Tamiru, A., (2001). Het effect van ongecontroleerde afvalverwijdering op de kwaliteit van het oppervlaktewater in Addis Abeba, Ethiopië, SINET: Ethiopian Journal of Science, Vol. 24 No. 1, <https://doi.org/10.4314/sinet.v24i1.18177>

Tchobanoglous, G. en Kreith, F. (2002). Handboek voor het beheer van vast afval. 2e editie, McGraw Hill Handbooks. New York.

- U.S. Environmental Protection Agency (1998). Karakterisering van gemeentelijk vast afval in de Verenigde Staten: 1997 update, Municipal and Industrial Solid Waste Division Office of Solid Waste, Report No. EPA530-R-98-007.
- Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medicott K, Tudor T, Zurbrügg C, Vaccari M., (2021). Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8):4331. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084331>.
- Wagner, Jean-Frank & Rettenberger, G & Reinert, P. (2007). Moderne storttechnologie - Stortgedrag van mechanisch-biologisch voorbehandeld afval, Proceedings Sardinia 2007, 11e Internationaal Symposium voor afvalbeheer en storten, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italië, 1 - 5 oktober 2007 ([https://www.researchgate.net/publication/267996591\\_MODERN\\_LANDFILL\\_TECHNOLOGY\\_-\\_LANDFILL\\_BEHAVIOR\\_OF\\_MECHANICAL-\\_BIOLOGICAL\\_PRE-TREATED\\_WASTE](https://www.researchgate.net/publication/267996591_MODERN_LANDFILL_TECHNOLOGY_-_LANDFILL_BEHAVIOR_OF_MECHANICAL-_BIOLOGICAL_PRE-TREATED_WASTE)).
- Warell, W.A. & Vesilind, P.A., (2012). Solid waste engineering tweede editie. Cengage Learning. ISBN-13: 978-1-4390-6215-9.
- Kaderrichtlijn afvalstoffen, (2008). Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen (Voor de EER relevante tekst). Beschikbaar op: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Zbicinski, I., Stavenuiter, J., Kozłowska, B., van de Coevering, H., (2006). Productontwerp en levenscyclusanalyse. The Baltic University Press © 2006. Gedrukt door Nina Tryckeri, Uppsala 2006. ISBN 91-975526-2-3
- Ziraba, A.K., Haregu, T.N. & Mberu, B., (2016). Een overzicht en kader voor het begrijpen van de potentiële impact van slecht vast afvalbeheer op de gezondheid in ontwikkelingslanden. *Arch Public Health* 74, 55, <https://doi.org/10.1186/s13690-016-0166-4>.

## 6.2 Verdere bronnen

### Video's

Webinar: Inleiding tot slim afvalbeheer | WasteHero:

<https://www.youtube.com/channel/UCbKk5uAsVfRmkJLOg0DsdXQ>

Circulaire economie en beheer van vast afval:

<https://www.youtube.com/watch?v=1UePkisQqJs>

Circulaire economie in het afvalbeheer: <https://www.youtube.com/watch?v=fpDrUwd1uq4>

Kan een circulaire economie afval overbodig maken:

[https://www.youtube.com/watch?v=JgcWmE\\_2T6Q](https://www.youtube.com/watch?v=JgcWmE_2T6Q)

Naar een kringloopeconomie - afvalbeheer in de EU:

[https://www.youtube.com/watch?v=8pxM0\\_uRzbE](https://www.youtube.com/watch?v=8pxM0_uRzbE)

Afvalbeheer en circulaire economie bij POLIMI (deel 1):

[https://www.youtube.com/watch?v=yQJOkBEJhQc&list=RDCMUcOKtBGblWKIkE-KIf-SOFvg&start\\_radio=1&rv=yQJOkBEJhQc&t=36](https://www.youtube.com/watch?v=yQJOkBEJhQc&list=RDCMUcOKtBGblWKIkE-KIf-SOFvg&start_radio=1&rv=yQJOkBEJhQc&t=36)

Afvalbeheer 4.0 en technologische trends - afvalmeting aangedreven door AI:

<https://www.youtube.com/watch?v=H95YRZydijg>

Recycling Robots - Bedrijven wenden zich tot robots om te helpen bij het sorteren van recyclebare materialen en afval - Waste Robotics:

<https://www.youtube.com/watch?v=QbKA9uNgzYQ>

Robotics & AI Innovation Network | RAI gebruiken ter ondersteuning van afvalbeheer:

<https://www.youtube.com/watch?v=YI62S5BU178>

Casestudy: Op IoT gebaseerd afvalbeheer voor Santander smart city:

<https://www.youtube.com/watch?v=lmk9kMO4MsY>

Een nieuw op IOT en AI gebaseerd slim afvalbeheersysteem:

<https://www.youtube.com/watch?v=WVWyvcisdIA>

Milieueffecten van percolatiewater van stortplaatsen:

<https://www.youtube.com/watch?v=QYBvntdO6YM>

Hoe werkt een stortplaats?

<https://www.youtube.com/watch?v=n8KdoMYWnE>

Leer de principes van het genereren van stortgas:

<https://www.youtube.com/watch?v=p-CQqXf5N4E>

Hoe gassen en vloeistoffen uit stortplaatsen worden afgevoerd:

[https://www.youtube.com/watch?v=QHWxQgbmo\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=QHWxQgbmo_k)

Voordelen en nadelen van afvalverbranding:

<https://www.youtube.com/watch?v=6vzcbgBAewU>

Effecten en beperkingen van recycling:

<https://www.youtube.com/watch?v=1biGAcRIM3I>

Wat een Afval 2.0: Everything You Should Know About Solid Waste Management:

<https://www.youtube.com/watch?v=1CSm4GG2VrU>

Waarom verbranden we niet gewoon ons afval?

<https://www.youtube.com/watch?v=OPVUrO-7SM>

Video over afvalhiërarchie:

<https://www.youtube.com/watch?v=LaT07IeDVR4>

Korte inleiding tot stortplaatsen:

<https://youtu.be/2Ot2C4FKzts>

Afbraak van organische stoffen in een stortplaats:

<https://youtu.be/A2J74wxQ9-4>

Stortplaats percolaat:

<https://youtu.be/C-j1jGB8CiM>

Stortgas:

<https://youtu.be/8z7lbX5CSQo>

Afval naar energie - procesuitleg:

<https://youtu.be/DROZUstnsnw>

Waste to Energy: Binnen in de SYSAV-fabriek in Malmo, Zweden:

[https://youtu.be/l8\\_i1gU3gRg](https://youtu.be/l8_i1gU3gRg)

Pyrolyse omzettingsproces van afval naar energie:

<https://youtu.be/7P5WF53KfdI>

Afval naar energie door geavanceerde vergassing:

<https://youtu.be/vVvCEkKxWs0>

Lezing "RDF uit gemeentelijk vast afval" door Dirk Lechtenberg:

<https://youtu.be/MwT3lepTFag>

Behandeling van organisch afval (18videos) beschikbaar:

[https://youtube.com/playlist?list=PLNG\\_YQG6XtkXxCFHJCy2APfkxYJwsrRrj](https://youtube.com/playlist?list=PLNG_YQG6XtkXxCFHJCy2APfkxYJwsrRrj)

Recycling van gemeentelijk afval:

<https://youtu.be/bxF3-wdxUKk>

Lineair economisch model:

<https://youtu.be/eETqWSDwCh4>

Uitleg over de circulaire economie en hoe de samenleving de vooruitgang opnieuw kan bekijken | Animated Video Essay: <https://youtu.be/zCRKvDyyHml>

Circulaire economie: Verder dan recycling:

<https://youtu.be/eOgXxTj5kGk>

Wat is een lineair economisch model?

[https://youtu.be/q\\_6GalOImPc](https://youtu.be/q_6GalOImPc)

Definitie van lineaire versus circulaire economie:

[https://youtu.be/fF\\_H07BrJOE](https://youtu.be/fF_H07BrJOE)

Hoe gaan we van een lineaire economie naar een circulaire economie:

<https://youtu.be/ECHiWnSvklo>

## EU-beleid, -wetgeving en -instrumenten

Actieplan voor de circulaire economie: [https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en)

Afval en recycling: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling_en)



Kaderrichtlijn afvalstoffen: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)

De kringloop sluiten - Een EU-actieplan voor de circulaire economie COM/2015/0614 definitief: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>

Monitoringkader voor de circulaire economie: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework>

Europese Commissie. Commissie van de Europese Gemeenschappen. Mededeling nr. 398, 2014. Naar een circulaire economie: Een nulafvalprogramma voor Europa; COM nr. 398; Europese Commissie: Brussel, België, 2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>

Europese Commissie. Commissie van de Europese Gemeenschappen. Mededeling nr. 614, 2015. Closing the Loop-An EU Action Plan for the Circular Economy; COMno. 614; Europese Commissie: Brussel, België, 2015. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

Europese Commissie. VERSLAG VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT, DE RAAD, HET EUROPEES ECONOMISCH EN SOCIAAL COMITÉ EN HET COMITÉ VAN DE REGIO'S (COM/2017/033 definitief) - Over de uitvoering van de actie inzake de circulaire economie, 2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033&qid=1524125695611>

Europese Commissie. Commissie van de Europese Gemeenschappen. Mededeling nr. 29, 2018. Toezichtskader voor de circulaire economie; COM nr. 29; Europese Commissie: Brussel, België, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN>

Europese Commissie. Commissie van de Europese Gemeenschappen. Mededeling nr. 98, 2020. Een nieuw actieplan voor de circulaire economie voor een schoner en concurrerender Europa; COM nr. 98; Europese Commissie: Brussel, België, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

Europese Commissie. Afvalstoffenwetgeving. [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-law\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-law_en)

Studie over de modellering van de economische en milieueffecten van het grondstoffenverbruik: [https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/RMC.pdf](https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf)

### Boeken/Papers/Rapporten

Berg, H., Bendix, P., Jansen, M., Le Blévenec, K., Bottermann, P., Magnus-Melgar, M., Pohjalainen, E. en Wahlström, M. (2021). Het potentieel van Industrie 4.0 ontsluiten om de milieueffecten van de productie te verminderen, Eionet Report - - ETC/WMGE 2021/5, European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy, Mol, Belgium. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/unlocking-the->

[potential-of-industry-4-0-to-reduce-the-environmental-impact-of-production/@@download/file/Final%20for%20website.pdf](#)

Europees Milieugentschap - EMA (2016). Beheer van gemeentelijk afval in alle Europese landen. Europees Milieugentschap.

<https://www.eea.europa.eu/themes/waste/municipal-waste>

Europees Milieugentschap (2016). Meer uit minder-materiële hulpbronnefficiëntie in Europa. 2015 overzicht van beleid, instrumenten en doelstellingen in 32 landen, EMA-rapport, nr. 10/2016. <https://www.eea.europa.eu/publications/more-from-less>

Europees Milieugentschap - EMA (2020). Afvalbeheer. Europees Milieugentschap.

<https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/waste-management>

Europees Milieugentschap - EMA (2020). Recycling van stedelijk afval. Europees Milieugentschap. <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/resource-efficiency-and-low-carbon-economy/recycling-of-municipal-waste>

Europees Milieubureau - EEB (2018). Naar een EU-kader voor productbeleid dat bijdraagt tot de circulaire economie. <https://eeb.org/publications/79/resource-efficiency/89942/briefing-on-the-eu-product-policy-framework.pdf>

ISWA (2019). Hoe Industrie 4.0 de afvalsector transformeert, International Solid Waste Association. [https://www.pac.gr/bcm/uploads/ind\\_4-0\\_final\\_compressed\\_web.pdf](https://www.pac.gr/bcm/uploads/ind_4-0_final_compressed_web.pdf)

World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (2018). LINEAR RISKS. [https://docs.wbcsd.org/2018/06/linear\\_risk\\_report.pdf](https://docs.wbcsd.org/2018/06/linear_risk_report.pdf)

### Andere bronnen

<https://www.epa.gov/landfills/municipal-solid-waste-landfills#whatis>

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000Q3ZF.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976%20Thru%201980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&&ExtQFieldOp=0&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C76THRU80%5CTXT%5C0000004%5C2000Q3ZF.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1>

[https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/msw\\_infographic\\_jan2021-sm.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/msw_infographic_jan2021-sm.pdf)

<https://www.eea.europa.eu/soer/2015/countries-comparison/waste>

<https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>

[https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/challenges\\_to\\_the\\_solid\\_waste\\_sector.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/challenges_to_the_solid_waste_sector.html)

[https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)

<https://www.iswa.org/climate-change-and-waste-management/?v=f214a7d42e0d>

<https://www.colorado.edu/ecenter/2021/04/15/hidden-damage-landfills>

<https://www.epa.gov/report-environment/wastes>

[https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate\\_change\\_xsum.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate_change_xsum.pdf)

<https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0175-y>

Wereldgezondheidsorganisatie, (2021). Vast afval. In: Compendium van WHO- en andere VN-richtlijnen inzake gezondheid en milieu, Genève. ([https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who\\_compendium\\_chapter4\\_v2\\_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc\\_5](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_chapter4_v2_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc_5)). Geraadpleegd op 26 januari 2022.

In EU-landen geproduceerd stedelijk afval (kg/capita) in 2005 en 2020

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/policy-context>

Generation Awake' - de bewustmakingscampagne van de Europese Commissie over efficiënt hulpbronnengebruik:

[https://ec.europa.eu/environment/generationawake/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/generationawake/index_en.htm)

Voorbeeld van een statiegeldsysteem in Estland: <https://eestipandipakend.ee/en/how-does-the-deposit-system-work/>

Stichting voor milieuonderzoek en onderwijs (EREF) - Inleiding tot het storten van vast stedelijk afval: <https://erefdn.org/introduction-municipal-solid-waste-landfilling-2/>

Eionet Portal - Beoordeling van de afvalverbrandingscapaciteit en afvaltransporten in Europa: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/assessment-of-waste-incineration-capacity-and-waste-shipments-in-europe>

Springer Link - Status en mogelijkheden voor energieteterugwinning uit gemeentelijk vast afval in Europa: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12649-018-0297-7>

Bio-afval in Europa - <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/>

Een pleidooi voor meer recycling: Schatting van het recyclingpotentieel in Europa: <https://www.eea.europa.eu/publications/the-case-for-increasing-recycling>

Grenzen van recycling 2020: <https://trinomics.eu/project/2119-limits-of-recycling/>

Geïntegreerd afvalbeheer voor een slimme stad:

<https://www.classcentral.com/course/youtube-integrated-waste-management-for-a-smart-city-47757/classroom>