Een verkenning naar de verbranding van Nederlands afval en de milieuprestatie in 2030 en 2050

TNO Publiek ⟩ TNO 2024 R10507
1 november 2024

Energy & Materials
Transition
www.tno.nl
+31 88 866 42 56
info@tno.nl

TNO 2024 R10507 – 1 november 2024

Een verkenning naar de verbranding van Nederlands afval en de milieuprestatie in 2030 en 2050

Auteurs	Rick Scholtes Tom Ligthart Toon van Harmelen

Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Aantal pagina's	65 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Programmasubsidie Onderzoeksprogramma Energietransitie Studies
Projectnummer	060.55402

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

Samenvatting

In het licht van de beleidsaanscherpingen voor afval reductie willen het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) inzicht in de toekomstige benodigde afvalverbrandingscapaciteit. Om zo ook het Nederlandse afvalbeheer veilig en milieuverantwoord te laten verlopen.

Als bouwstenen hiervoor zijn de onderstaande vragen bij TNO neergelegd:

1. Wat is de toekomstige hoeveelheid afval (in 2030 en 2050) die in Nederland geproduceerd wordt en die aangeboden zal worden aan afvalverbrandingsinstallaties? Hierbij rekening houdend met de toename van recycling (van met name kunststoffen), technische ontwikkelingen van kunststofrecycling en afvalverwerking, en de invulling van grondstoffenbeleid.
2. Wat is de te verwachten samenstelling van de te verbranden afvalstromen in de toekomst en wat is de bijbehorende milieuprestatie van het systeem van afvalverwerking?

Dit onderzoek analyseert alleen het afval dat in Nederland geproduceerd wordt en aangeboden wordt aan afvalverbrandingsinstallaties. Het geïmporteerde afval blijft buiten beschouwing. Wel worden de afvalstromen meegenomen die voor verbranding worden geëxporteerd. Daarnaast worden alleen de AVI's die stedelijk afval kunnen en mogen verbranden beschouwd.

Aanpak

Voor het jaar 2030 is een kwantitatieve analyse uitgevoerd voor de AVI-keten[1]. Hiervoor zijn een tweetal scenario's opgesteld.

1. Het basispad, gebaseerd op historische trends en regressieanalyse, waarbij tevens de verwachte energiemix voor het jaar 2030 wordt aangenomen zoals bepaald in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) (PBL, 2023).
2. Het beleidspad gebaseerd op dezelfde historische trends als het basispad, met energiemix van 2030, en waar bovenop de invloed van huidig en toekomstig beleid wordt meegenomen. Dit betreft beleid op basis van de Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen en specifiek toekomstig beleid t.b.v. verpakkingen (Single use plastic beleid, Packaging Waste Directive), textiel (uitgebreide producentenverantwoordelijkheid UPVs), incontinentiemateriaal, gft en scheidingsresiduen. Op het beleidspad worden een tweetal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Een eerste voor de veronderstelde vervanging van 30% van de plastics door biobased plastic. Een tweede voor de onzekerheid met betrekking tot de toename van de efficiency van de AVI (m.n. voor warmte productie), dat van belang is voor de vermeden emissies.

Voor het jaar 2050 is een kwalitatieve analyse uitgevoerd. De analyse is gebaseerd op een drietal factoren, waarbij aanvullend beleid buiten beschouwing is gelaten:

1. Invloed van de groei van de bevolking en de economie;
2. Toekomstige beleidstrends t.a.v. verdergaande circulariteit,
3. Invloed en rol van toekomstige technologieën zoals pyrolyse en vergassing.

[1] Met de AVI-keten wordt bedoeld van afvalinzameling tot aan de verbranding en de daarbij horende vermeden energieproductie.

Conclusies & Aanbevelingen

De in Nederland geproduceerde hoeveelheid afval die voor verbranding wordt aangeboden bedroeg in 2021 7.134 kton. Deze hoeveelheid neemt in 2030 af tot 6.039 kton volgens het basispad en tot 5.108 kton af in het beleidspad. De kwalitatief geschatte bandbreedte van de hoeveelheid afval in2050 is t.o.v. het beleidspad 2030 is een "lichte toename" tot "maximaal een halvering". Alle schattingen zijn gemaakt op basis van de aanname dat beleidsdoelen gehaald zullen worden. Mede daarom zijn de aangeven volumes afval omgeven met aanzienlijke onzekerheidsmarges, vooral in de richting van de hogere volumes.

In de AVI-keten nemen de netto CO_2-eq. emissies met gemiddeld 69% toe, van 1.031 kton in 2021 naar 1.880 kton (basispad) en 1.612 kton (beleidspad) in 2030. Ten gevolge van de afname in de hoeveelheid te verbranden afval nemen de directe emissies bij de AVI af, net zoals de emissies van transport. Echter, de vermeden emissies door energieproductie van afvalverbranding bij de AVI nemen nog sterker af waardoor er een netto toename van emissies ontstaat. Deze sterkere daling komt vanwege de lagere CO_2-intensiteit van de energiemix in 2030. Ofwel de energiemix van de toekomst heeft een groter 'groen' aandeel en daarmee lagere CO_2-eq. emissies dan in 2021. In de toekomst zal daarmee de milieuwinst bij de AVI-keten afnemen.

De milieueffecten (naast CO_2-eq. emissies) in de AVI-keten variëren sterk per milieu-impact categorie als gevolg van veranderende afval volumes en vermeden energieproductie (mix). Voor luchtkwaliteit gerelateerde milieueffectcategorieën nemen emissies in het basispad in 2030 toe ten opzichte van 2021. Net zoals bij de CO_2-eq. emissies komt dit doordat in 2030 de energiemix groener en schoner wordt en daarmee de energieproductie bij de AVI minder milieuwinst oplevert. In de lijn der verwachting, zijn de milieueffecten van het beleidspad in de meeste milieueffectcategorieën lager dan het basispad als gevolg van de verminderde afvalproductie door aanvullend beleid.

De milieuprestaties van de AVI's kunnen alleen in een systeemperspectief goed beoordeeld worden. In de praktijk betekent dit dat de milieuprestatie/-voordelen van AVI's afnemen naarmate het energie- en materiaalsysteem steeds meer circulair en duurzaam wordt. Daarvoor is het belangrijk dat de effectiviteit van circulariteitsbeleid in de vorm van bijv. de Richtlijn Verpakkingen en de UPV's nauwlettend gemonitord en indien nodig versterkt wordt. Daarnaast is de verwachting dat de CO_2-emissies in de gehele Nederlandse materiaalketen afnemen richting 2030 als gevolg van de vermeden nieuwe materiaalproductie door circulariteitsbeleid. Hoewel deze effecten in deze studie buiten beschouwing zijn gelaten, wordt voor toekomstige studies aanbevolen de analyse te verbreden van een afvalanalyse naar een materiaalsysteemanalyse van wieg tot graf / wieg.

Naar het zich nu laat aanzien zullen AVI's tot 2050 een kleinere maar nog steeds aanzienlijke rol spelen omdat er tot die tijd afvalstromen zullen zijn waarvoor (nog) geen 100% circulaire oplossing is gevonden.

Inhoudsopgave

Samenvatting 3
Inhoudsopgave 5
Afkortingen 6
1 Inleiding 8
2 Aanpak van de studie 9
2.1 Doel en reikwijdte van de studie 9
2.2 Scenario's en gevoeligheidsanalyses 9
2.3 Methodiek bepaling milieu-impact 10
3 Gegevensverzameling 15
3.1 Verbranding Nederlands afval 15
3.2 Samenstelling verbrand afval 2021 17
3.3 Transporten 21
3.4 Vermeden energieproductie 21
4 Scenario's en gevoeligheidsanalyses 22
4.1 Huidige situatie en toekomstig beleid 22
4.2 Beleidspad 24
4.3 Gevoeligheidsanalyses 26
5 Resultaten 28
5.1 Volumes in 2030 28
5.2 Resultaten kwalitatieve analyse 2050 31
5.3 Resultaten milieu afvalverbranding 34
6 Conclusies 43
6.1 Volumes 43
6.2 Klimaatimpact 43
6.3 Milieuprestaties 44
7 Aanbevelingen 45
7.1 Gebruik van resultaten 45
7.2 Aanvullend onderzoek 45
8 Referenties 47
Ondertekening 50

Bijlagen

Bijlage A: Tabellen resultaten milieuberekeningen 51
Bijlage B: Grafieken vergelijkingen 58
Bijlage C: Tabellen resultaten milieuberekeningen Scenario's 62
Bijlage D: Tabellen resultaten milieuberekeningen Gevoeligheidsanalyses 64

Afkortingen

Afkorting	Betekenis
ABS	Acrylonitril-butadieen-styreen
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
FE	Freshwater eutrophication
FPMF	Fine particulate matter formation
FWE	Freshwater ecotoxicity
FRS	Fossil resource scarcity
GFT	groente-, fruit- en tuinafval
GSA	Gemengd stedelijk afval
GWP	Global warming
HCT	Human carcinogenic toxicity
HDO	Handel, diensten en overheidssector
HNCT	Human non-carcinogenic toxicity
IR	Ionizing radiation
KCA	Klein chemisch afval
LCA	Levenscyclusanalyse
LCI	Levenscyclusinventarisatie
LU	Land use
ME	Marine eutrophication
MWE	Marine ecotoxicity
MRS	Mineral resource scarcity
NEE	Netto energie efficiency
OFHH	Ozone formation
OFTE	Ozone formation
PE	Polyethyleen
PET	Polyethyleentereftalaat
PMD	Plastic verpakkingen, metalen verpakkingen en drankkartons
PP	Polypropyleen
PS	Polystyreen
PVC	Polyvinylchloride
SOD	Stratospheric ozone depletion

Afkorting	Betekenis
SUP	Single Use Plastics
TA	Terrestrial acidification
TE	Terrestrial ecotoxicity
UPV	Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid
WS	Water consumption

1 Inleiding

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) willen inzicht in de toekomstige benodigde afvalverbrandingscapaciteit om het Nederlandse afvalbeheer veilig en milieuverantwoord te laten verlopen. Dit in het licht van de aanscherpingen van het beleid om de hoeveelheid restafval te reduceren.

Hiertoe zijn bij TNO de volgende onderzoeksvragen neergelegd:

1. Wat is de toekomstig benodigde capaciteit van afvalverbrandingsinstallaties, rekening houdende met de toename van recycling (van met name kunststoffen), technische ontwikkelingen van kunststofrecycling en afvalverwerking, en de invulling van grondstoffenbeleid?.
2. Wat is de te verwachten samenstelling van de te verbranden afvalstromen en wat is daarmee de milieuprestatie van het systeem van afvalverwerking?

Gedurende het project is de eerste vraag bijgesteld naar:

1. Wat is de toekomstige hoeveelheid afval die in Nederland geproduceerd wordt en die aangeboden zal worden aan afvalverbrandingsinstallaties? Dit rekening houdend met de toename van recycling (van met name kunststoffen), technische ontwikkelingen van kunststofrecycling en afvalverwerking, en de invulling van grondstoffenbeleid?
2. Wat is de te verwachten samenstelling van de te verbranden afvalstromen en wat is de bijbehorende milieuprestatie van het systeem van afvalverwerking?

De aanscherping volgde uit gesprekken tussen de ministeries en TNO. Met deze aanscherping ligt de primaire focus op de hoeveelheid afval die in Nederland geproduceerd wordt en verbrand gaat worden. Bedrijfsmatige keuzes worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Hierbij valt te denken aan de import van afval uit het buitenland en de benodigde overcapaciteit t.b.v. calamiteiten.

Voor het jaar 2030 is een kwantitatieve analyse uitgevoerd op basis van verwachte groei van het aantal inwoners in Nederland en voorgenomen beleid. Teven zijn hierop gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Voor 2050 is een meer kwalitatieve analyse uitgevoerd om inzicht te krijgen waar nog een potentiële reductie in afval is te bewerkstelligen. Hierbij worden naast autonome groei, beleidstrend ook toekomstige technologieën meegenomen.

2 Aanpak van de studie

2.1 Doel en reikwijdte van de studie

Het doel van de voorliggende studie is het bepalen van:

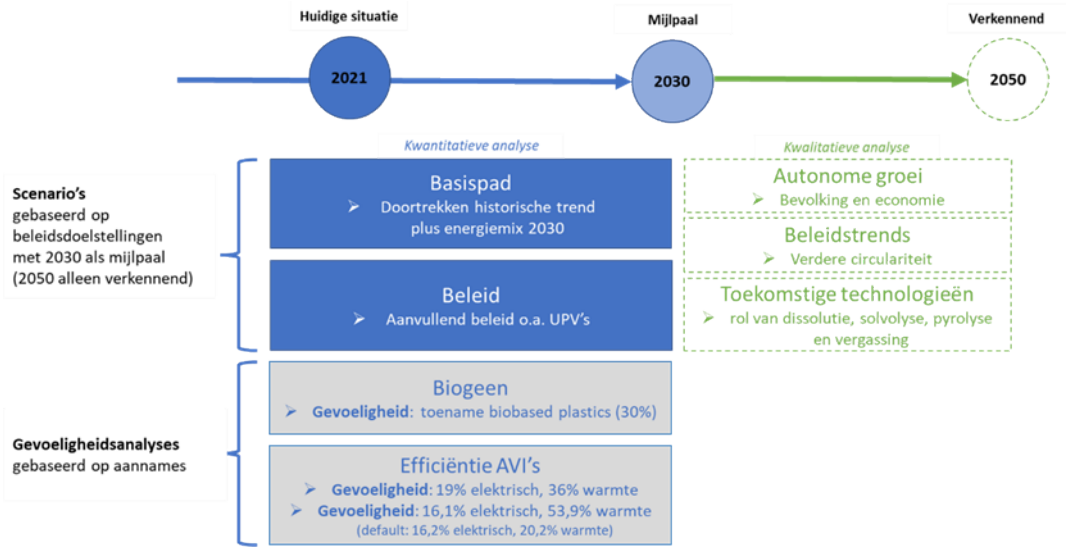
1. Wat is de toekomstige hoeveelheid afval die in Nederland geproduceerd wordt en die aangeboden zal worden aan afvalverbrandingsinstallaties? Dit rekening houdend met de toename van recycling (van met name kunststoffen), technische ontwikkelingen van kunststofrecycling en afvalverwerking, en de invulling van grondstoffenbeleid
2. Wat is de te verwachten samenstelling van de te verbranden afvalstromen en wat is de bijbehorende milieuprestatie van het systeem van afvalverwerking?

De scope van de studie betreft de toekomstige hoeveelheid afval die in Nederland geproduceerd wordt en die aangeboden zal worden aan afvalverbrandingsinstallaties. Deze stroom bevat expliciet niet de afvalstromen die geïmporteerd en in Nederland verbrand worden. Wel worden de afvalstromen meegenomen die voor verbranding worden geëxporteerd.

In deze studie zijn AVI's die stedelijk afval kunnen en mogen verbranden beschouwd. Biomassacentrales ofwel bio-energiecentrales (BEC) zijn niet meegenomen en tevens is ziekenhuisafval, dat minder dan 1% van de totaal te verbranden hoeveelheid uitmaakt, op verzoek van de ministeries buiten de scope gehouden.

2.2 Scenario's en gevoeligheidsanalyses

In Figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de scenario's en gevoeligheidsanalyses binnen de studie. Deze worden hieronder nader toegelicht.



Figuur 2.1: Overzicht van de scenario's en gevoeligheidsanalyses binnen de studie

Voor het jaar 2030 is een kwantitatieve analyse uitgevoerd. Hiervoor zijn een tweetal scenario's opgesteld:

1. Basispad: dit scenario is gebaseerd op historische trends en middels regressieanalyse worden doorgetrokken naar 2030. Tevens wordt in dit scenario de energiemix voor het jaar 2030 aangenomen zoals deze is bepaald in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) (PBL, 2023).
2. Beleidspad: in dit scenario wordt de invloed van het beleid meegenomen, aanvullend op het basispad. Dit betreft voorgenomen toekomstig beleid t.b.v. verpakkingen, textiel, incontinentiemateriaal, gft en scheidingsresiduen. Tevens wordt in dit scenario de energiemix voor het jaar 2030 aangenomen zoals deze is bepaald in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) (PBL, 2023). Naast bovenstaande is er nog meer beleid, bestaand of in de maak, dat uiteindelijk invloed kan hebben op de hoeveelheden en samenstelling van het afval.

Op het beleidspad worden een tweetal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd:

1. Biobased: hierin wordt verondersteld dat kunststoffen op basis van fossiele grondstoffen voor 30% vervangen zijn door biobased kunststoffen.
2. Efficiency AVI: (a) 19% elektrisch en 36% warmte; (b) 16,1% elektrisch en 53,9% warmte. De referentiewaarden[2] zijn 16,2% elektrisch en 20,2% warmte op basis van (Werkgroep Afvalregistratie, 2018).

In hoofdstuk 4 worden het beleid en de gevoeligheidsanalyses nader beschreven.

Voor het jaar 2050 wordt een kwalitatieve analyse uitgevoerd. Deze is gebaseerd op een drietal factoren:

- Groei van de bevolking en de economie
- Beleidstrend t.a.v. verdergaande circulariteit
- Rol van toekomstige technologieën

2.3 Methodiek bepaling milieu-impact

De berekeningen worden uitgevoerd voor de afvalverbranding van in Nederland geproduceerd te verbranden afval per jaar met 2021 als referentiesituatie en 2030 als toekomstige situatie.

De milieu-impact wordt berekend met behulp van een levenscyclusanalyse (LCA). LCA is een instrument dat wordt gebruikt om de milieu-impact van producten of systemen gedurende hun levenscyclus te kwantificeren. LCA biedt een gestandaardiseerde methodologie waarmee we een breed beeld verkrijgen van de milieu-impact, vanaf de inzameling van afval tot aan de uiteindelijke verbranding ervan.

Voor de LCA worden de richtlijnen van ISO 14040/14044 (ISO, 2006, 2022) gevolgd, waarin de procedures voor het uitvoeren van een Levenscyclusanalyse (LCA) zijn gedefinieerd. Deze procedures zijn gestructureerd in vier fasen:

1. het vaststellen van het doel en de reikwijdte;
2. de inventarisatiefase: waarbij inputs en outputs worden gekwantificeerd in functionele eenheden binnen de vastgestelde reikwijdte;
3. het vertalen van de inventaris naar milieu-impact en mogelijke standaardisatie en weging van de resultaten;
4. interpretatie, inclusief het formuleren van evaluaties en conclusies.

[2] Bron voor de referentiewaarden is de Werkgroep Afvalregistratie. (2020).

Deze vier hoofdonderdelen zijn in dit rapport opgenomen. Het doel en de reikwijdte zijn reeds in paragraaf 2.1 beschreven. De scope, functionele eenheid, methode, allocatie, geldigheid, evenals gegevenskwaliteit, volledigheid en consistentie worden in volgende paragrafen van dit hoofdstuk beschreven.

2.3.1 Scope

De scope van de LCA wijkt af van veel andere LCA's, omdat deze start op het punt waar producten afval worden en eindigt bij de verbranding. De levenscyclusfasen die in de beschouwing zijn opgenomen, betreffen processen in de einde levensduurfase en zijn weergegeven in Figuur 2.2. Het sorteerproces is niet voor alle afvalstromen van toepassing en daar waar het wel van toepassing is, is de milieu-impact buiten beschouwing gelaten. De behandeling van gegenereerde afvalstromen wordt volledig toegewezen aan de afvalproducent. De scheidingsresiduen worden als afval verbrand en zijn geen te vermarkten product van de sortering. Daarom wordt het sorteerproces zelf niet meegenomen in de milieuberekeningen. In het achtergrondproces van de verbranding van afval is ook opgenomen de mogelijke verwerking van slak (die voortkomt uit het verbrandingsproces). Bij verbranding is ook de vermeden energieproductie (elektrisch en thermisch) als gevolg van de verbranding van afval meegenomen.

Figuur 2.2: Scope van de LCA

2.3.2 Functionele eenheid

Om de resultaten van de milieu-impact van twee verschillende jaren met elkaar te vergelijken, is een functionele eenheid geformuleerd. Dit beschrijft de functionele basis waarop ze met elkaar vergeleken kunnen worden. De functionele eenheid in dit onderzoek is als volgt:

- De afvalverbranding van in Nederland geproduceerd afval in een kalenderjaar. Het gaat hierbij om het binnenlands afval dat zowel in Nederland wordt verbrand als om het afval dat geëxporteerd wordt naar het buitenland om daar verbrand te worden. Afval dat niet in Nederland is geproduceerd, maar is geïmporteerd vanuit het buitenland om hier verbrand te worden is buiten beschouwing gelaten.

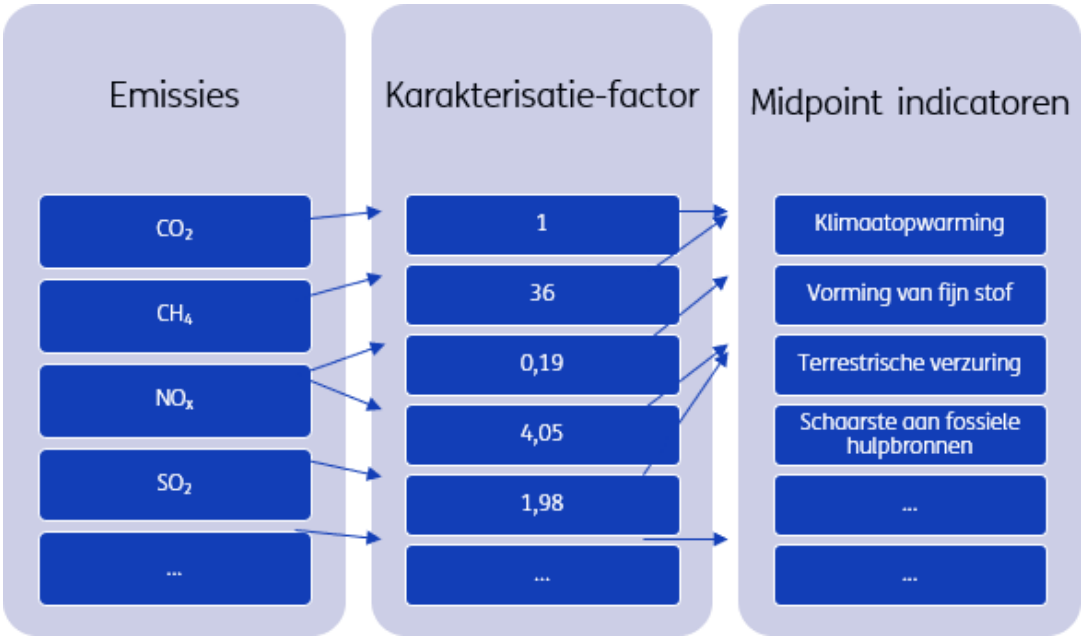
2.3.3 Methode effectbeoordeling

Voor deze studie is de LCA-software SimaPro 9.5.0.1 gebruikt. De implementaties van de impactbeoordelingsmethoden in SimaPro zijn gebruikt zonder wijzigingen. De richtlijnen zoals uiteengezet in de normen ISO 14040 en ISO 14044 werden gevolgd.

ReCiPe 2016 midpoint (H) V1.08 / World (2010) H (Huijbregts et al., 2016) is gekozen om de effecten in de categorieën vermeld in de tabel te beoordelen. Deze methode is gekozen omdat het een van de meest wetenschappelijk actuele en direct beschikbare impactbeoordelingsmethoden is.

Deze methode classificeert eerst alle inputs vanuit de natuur en outputs (emissies van stoffen en straling) naar de relevante impactcategorieën zoals klimaatverandering, humane toxiciteit en ecotoxiciteit. Elke impactcategorie heeft zijn eigen referentie-eenheid, bijvoorbeeld kilogram CO_2-equivalenten voor klimaatverandering of kilogram 1,4-dichloorbenzeen-equivalenten voor de impactcategorieën gerelateerd aan toxiciteit.

De milieueffecten van de inputs en outputs naar een impactcategorie worden bepaald met behulp van de karakteriseringsfactor, die de impact uitdrukt in equivalenten van de referentiesubstantie. De karakteriseringsfactor is de weergave van de relatieve bijdrage aan een impactcategorie. Het proces van het omzetten van eenheid van emissie naar de impact uitgedrukt als een midpoint wordt weergegeven in Figuur 2.3.



Figuur 2.3: Proces van omzetten van emissies naar midpoint indicatoren.

Het begrip midpoint drukt uit dat het de relatieve grootte is van een milieueffect, in tegenstelling tot een endpoint[3] dat bijvoorbeeld schade is aan de menselijke gezondheid of schade aan ecosystemen. De zogenaamde gekarakteriseerde resultaten zijn in lijn met de midpoints van de ReCiPe 2016 methode.

De indicatoren en hun eenheden die in dit rapport worden gebruikt, worden weergegeven in Tabel 2.1. Elk van de impactcategorieën weerspiegelt één individueel milieueffect.

[3] In LCA, er wordt onderscheid gemaakt tussen midpoint- en endpoint-indicatoren. Midpoint-indicatoren relateren de milieuprobleemgebieden zoals beschreven in Tabel 2.1 en liggen dichter bij de oorzaak van milieuschade dan endpoint-indicatoren, die deze indicatoren samenvoegen tot beschermingsgebieden (menselijke gezondheid, ecosysteemgezondheid, beschikbaarheid van hulpbronnen).

Tabel 2.1: Afkortingen en eenheden van de van toepassing zijnde milieu-impactcategorieën.

Impact Categorie (NL)	Afkorting	Unit
Klimaatverandering	GWP	kg CO_2-eq
Stratosferische ozonafbraak	ODP	kg CFC-11-eq
Ioniserende straling	IRP	kBq Co-60-eq
Ozonvorming	OFP	kg NO_x-eq
Vorming van fijn stof	FPMF	kg PM2.5-eq
Ozonvorming, terrestrische ecosystemen	OFTP	kg NOx-eq
Terrestrische verzuring	TAP	kg SO_2-eq
Zoetwater eutrofiëring	FEP	kg P-eq
Zoutwater eutrofiëring	MEP	kg N-eq
Terrestrische ecotoxiciteit	TETP	kg 1,4-DCB-eq
Ecotoxiciteit van zoetwater	FWE	kg 1,4-DCB-eq
Ecotoxiciteit van zoutwater	MWE	kg 1,4-DCB-eq
Humane carcinogene toxiciteit	HCT	kg 1,4-DCB-eq
Humane non-carcinogene toxiciteit	HNCT	kg 1,4-DCB-eq
Landgebruik	LU	m^2 jaar
Schaarste aan minerale hulpbronnen	MRS	kg Cu-eq
Schaarste aan fossiele hulpbronnen	FRS	kg olie-eq
Watergebruik	WS	m^3 water-eq verbruikt

2.3.4 Allocatie

Een deel van het afval dat wordt opgehaald komt terecht bij een sorteerlocatie. Het afval wordt gesorteerd in fracties die gerecycled kunnen worden en een fractie die bedoeld is voor AVI's. Het sorteerproces zelf heeft een milieu-impact. Deze milieu-impact moet verdeeld worden over de verschillende fracties die uit het proces komen. In dit onderzoek is de milieu-impact van het sorteerproces toegekend aan de stromen die gerecycled worden (maar verder geen onderdeel zijn van deze studie). De reden hiervoor is dat de scheidingsresiduen als afval worden verbrand en geen te vermarkten product zijn. Oftewel: het doel van het sorteerproces is het scheiden van materialen die gerecycled worden van materialen die verbrand worden en niet andersom.

Het transport van het ingaande materiaal dat verbrand wordt[4] is wel in beschouwing genomen. (Zie hoofdstuk 5 Resultaten). Het sorteerproces is dus gealloceerd aan de gerecyclede materialen zelf en niet aan de materialen die naar het afvalverbrandingsproces gaan. Het transport en de verdere verwerking (verbranding) van de materialen in AVI's uit het sorteerproces is wel in de beschouwing meegenomen.

[4] Het transport van het materiaal dat vrijkomt na het sorteerproces, en dus bedoeld is voor recycling, wordt ook gealloceerd aan het gerecyclede materiaal. In de berekening wordt dus alleen het transport meegeteld van het materiaal dat verbrand wordt in een AVI.

Van de ecoinvent database wordt de allocatie methode 'cut-off by classification' gebruikt. Dit betekent dat bij de achtergrondprocessen bij recyclebare materialen alle milieueffecten van de verwerkingsprocessen worden toegewezen aan het productsysteem waar deze materialen ontstonden. Dat betekent ook dat gerecyclede materialen zonder milieulast in de volgende levenscyclus terechtkomen. Hiermee wordt de behandeling van gegenereerde afvalstromen dus volledig toegewezen aan de afvalproducent.

2.3.5 Validatie

Geografische representativiteit
De resultaten van de studie zijn geldig voor de afvalverbranding van afval dat in Nederland is geproduceerd. Van het afval dat in Nederland is geproduceerd, maar geëxporteerd is naar het buitenland om verwerkt te worden in een AVI, zijn dezelfde uitgangspunten gebruikt als voor de Nederlandse situatie. Er is niet gecorrigeerd op de extra transportafstand en er is uitgegaan van eenzelfde efficiency van de AVI. Bovendien is in de berekening de Nederlandse energiemix uitgespaard bij de vermeden energieproductie. Aangezien het aandeel van de hoeveelheid geëxporteerd afval beperkt is en het verschil in de efficiency en energiemix in andere Europese landen beperkt vergeleken met die van Nederland, zal dit een zeer beperkte invloed hebben op de resultaten.

Tijdsgebonden representativiteit
De mate waarin de resultaten van de studie geldig zijn in de loop van de tijd, hangt onder andere af van veranderingen in beleid en de mate waarin beleidsmaatregelen hun doel behalen. Voor het jaar 2030 is daarom de representativiteit enigszins onzeker. Voor het jaar 2021 zijn voor de hoeveelheden van het afval van dit jaar gebruikt en daarmee representatief voor dit jaar. Voor de energiemix is gebruik gemaakt van data uit het jaar 2020.

2.3.6 Datakwaliteit

Voor de LCA wordt gebruik gemaakt van materiaal- en procesgegevens uit de ecoinvent 3.9.1-database.

De LCI-gegevens zijn verzameld uit verschillende literatuurbronnen door TNO en de opdrachtgever. De meerderheid van de bronnen is niet ouder dan vijf jaar. Voor de hoeveelheden afval is gebruik gemaakt van gegevens uit 2021, specifiek voor Nederland.

3 Gegevensverzameling

3.1 Verbranding Nederlands afval

In Nederland wordt sinds decennia bijgehouden welke hoeveelheden afval worden verbrand, de resultaten worden gepresenteerd in de rapporten van het project 'Afvalverwerking in Nederland'. De gegevens uit deze rapporten, samengevat in de Afvaldatabase (Rijkswaterstaat, 2023), zijn gebruikt voor zowel het voorspellen van de toekomstige hoeveelheid verbrand afval in Nederland, alsook voor de huidige en toekomstige samenstelling van dat afval. In het meest recente rapport zijn de gegevens voor 2021 gepresenteerd (Werkgroep Afvalregistratie, 2023) en daaruit bleek dat in dat jaar in totaal 7.462 kton afval was verbrand (zie Figuur 3.1).

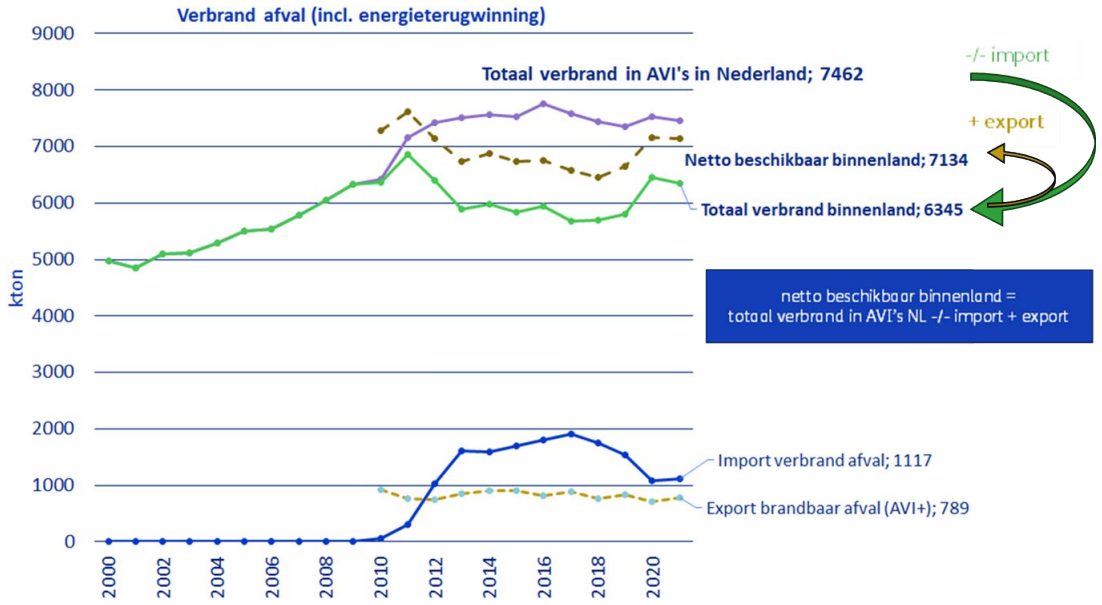
De belangrijkste soorten afval waren, in volgorde van hoeveelheid, gemengd stedelijk afval en residuen van afvalverwerking. Bij de residuen van afvalverwerking gaat het voornamelijk om reststoffen na scheiding. Het gaat hierbij voornamelijk om afval dat ongesorteerd wordt aangeleverd en op de sorteerlocatie wordt gescheiden in een stroom afval voor verbranding en een stroom die gerecycled kan worden (de nascheiding dus). Een overzicht van de verbrande afvalsoorten is gegeven in Figuur 3.2.

Dit onderzoek analyseert alleen het afval dat in Nederland geproduceerd wordt en aangeboden wordt aan afvalverbrandingsinstallaties. Een aantal stromen worden dus buiten beschouwing gelaten, zoals het naar Nederland geïmporteerde afval en het ziekenhuisafval dat bij Zavin in Dordrecht wordt verwerkt. Het geïmporteerde afval blijft buiten beschouwing omdat het dit geen Nederlands afval is. Ziekenhuisafval, dat minder dan 1% van de totaal te verbranden hoeveelheid afval uitmaakt is buiten de scope gehouden. Dit afval wordt niet bij de reguliere AVI-capaciteit aangeboden maar alleen bij Zavin en is daarom op verzoek van de ministeries buiten de scope gehouden. Het geëxporteerde te verbranden afval wordt wel in beschouwing is genomen. De te analyseren stroom wordt vanaf nu *netto beschikbaar binnenland* genoemd.

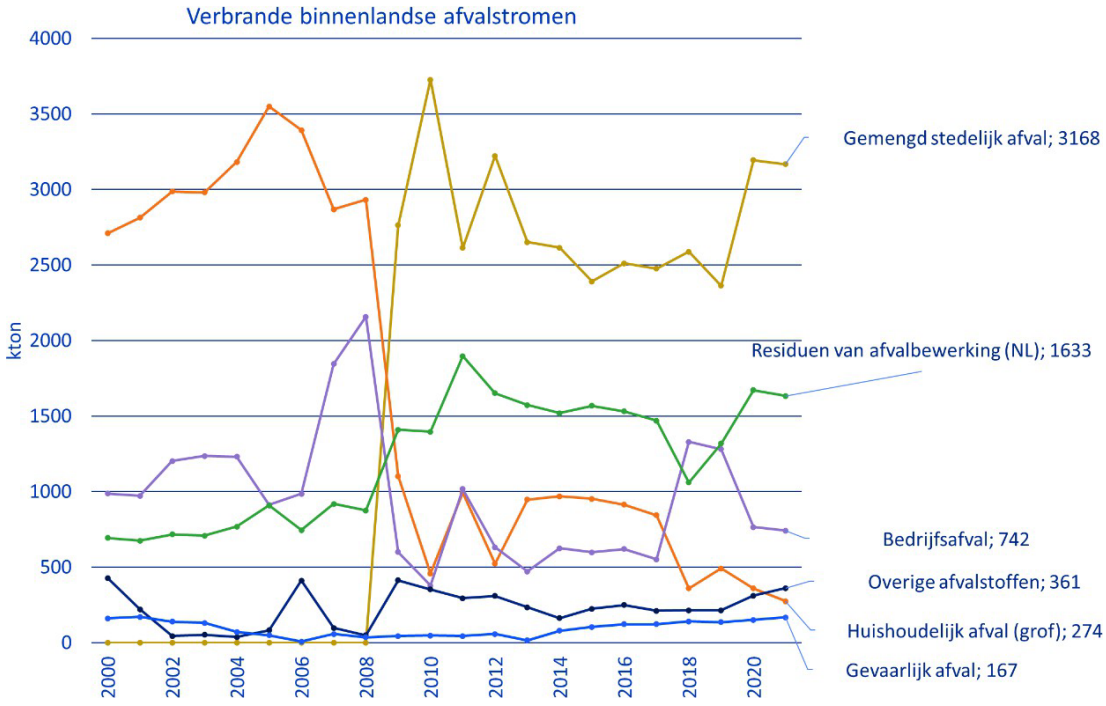
netto beschikbaar binnenland = totaal verbrand in AVI's NL +/- import + export

Voor het jaar 2021 bedragen de totale hoeveelheid verbrand afval in de Nederlandse AVI's 7.462 kton[5], de import van verbrand afval 1.117 kton (Werkgroep Afvalregistratie, 2023) en de export 789 kton op basis van het ministerie van IenW (RWS, 2023)[6]. Hiermee komt *netto beschikbaar binnenland* uit op 7.134 kton. De genoemde export hoeveelheid is een samengestelde stroom die bestaat uit afval met de bestemming AVI (eventueel met energieterugwinning), cementoven (scheidingsresiduen, etc.) en energie. Deze stroom is kleiner dan de import stroom.

[5] Volgens de Werkgroep Afvalregistratie komt het totaal uit op 7.504 kton uit voor het jaar 2021, maar dit is inclusief het ziekenhuisafval. Wanneer de hoeveelheid ziekenhuisafval hier vanaf wordt getrokken, blijft er 7.462 kton over.
[6] Hoewel de publicaties uit 2023 zijn, hebben de hier genoemde getallen betrekking op de situatie in 2021.



Figuur 3.1: Door de Nederlandse AVI's totale hoeveelheid verbrand afval, inclusief het geïmporteerde afval, en de export van brandbaar afval met bestemming AVI, cementoven en energieterugwinning



Figuur 3.2: De samenstelling van door de Nederlandse AVI's verbrand afval. 'Residuen van afvalbewerking (NL)' betreft alleen de binnenlandse residuen

3.2 Samenstelling verbrand afval 2021

Op basis van de gegevens van de Werkgroep Afvalregistratie (Werkgroep Afvalregistratie, 2023) is een overzicht gemaakt. In Tabel 3.1 staat een overzicht van de soorten afval die in 2021 in de Nederlandse AVI's werden verbrand. Zoals eerder beschreven is ziekenhuisafval, zowel gevaarlijk als niet-gespecificeerd, niet meegenomen in dit onderzoek en daarom niet opgenomen in de tabel. De overige afvalcategorieën worden hier beschreven op volgorde van grootte van de categorie. De verschillende afvalcategorieën zijn vervolgens naar de materiaalsamenstelling uitgewerkt, omdat voor het bepalen van het milieueffect van de verbranding het type materiaal bekend moet zijn. De onderste stookwaarde van een materiaal bepaalt de hoeveelheid teruggewonnen energie. De materiaalsamenstelling van gemengd stedelijk afval en daarop gelijkend bedrijfsafval is gebaseerd op sorteeranalyses (Rijkswaterstaat, 2022). In de volgende paragrafen worden de grootste fracties toegelicht.

Tabel 3.1 In 2021 verbrand afval per categorieën in ton en procentueel per AVI. De kleuren geven de relatieve bijdrage aan het totaal weer (oranje –hoogste, wit –laagste bijdrage). Op basis van (Werkgroep Afvalregistratie, 2023). In de scheidingsresiduen is in deze tabel het totaal inclusief de hoeveelheid van 1117kton geïmporteerd gegeven.

Hoeveelheden verbrand afval per afvalcategorie, 2021															
			Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland		Noord-Holland		Zuid-Holland			Noord-Brabant	
	Totaal verwerkt		EEW Energy From Waste Delfzijl B.V.	REC Harlingen	Attero Noord BV GAVI Wijster	Twence Afval en energie	ARN B.V.	AVR Afvalverwerking B.V.	HVC afvalcentrale locatie Alkmaar	Afval Energie Bedrijf	AVR Afvalverwerking Rijnmond	HVC afvalcentrale locatie Dordrecht	Zavin C.V.	AEC Moerdijk (Afval Energie Centrale Moerdijk)	PreZero Energy
Afvalcategorie	[ton]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Gemengd stedelijk afval	3,168,084	**42%**	1.9%	0.0%	0.0%	5.0%	1.9%	3.9%	0.1%	7.3%	12.1%	0.0%	0.0%	6.5%	3.8%
(Grof) huishoudelijk afval	273,530	4%	0.1%	0.3%	0.0%	0.2%	0.2%	0.0%	1.9%	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	0.1%
Bedrijfsafval (hdo)	677,410	9%	0.0%	1.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	4.7%	0.1%	0.2%	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Industrieel afval, niet gevaarlijk	63,802	1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
Overig afval	218,570	3%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	1.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Reinigingsdienstafval	21,062	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Residu composteren / vergisten	122,213	2%	0.1%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	1.2%	0.0%
Scheidingsresiduen	2,749,953	**37%**	3.9%	2.0%	8.2%	2.1%	0.9%	1.0%	1.7%	7.8%	3.8%	0.0%	0.0%	4.8%	0.7%
Gevaarlijk afval, niet gespecificeerd	167,458	2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.3%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Totaal	**7,462,082**	100%	7.1%	3.4%	8.2%	7.5%	3.7%	5.2%	8.5%	17.7%	18.3%	3.7%	0.1%	12.6%	4.7%

* Zavin C.V. is strikt genomen geen AVI, maar voor de volledigheid in deze tabel wel meegenomen. Ziekenhuisafval is in dit onderzoek niet in beschouwing genomen.

3.2.1 Gemengd stedelijk afval

De sorteeranalyses geven voor 2020 de samenstelling van gemengd stedelijk afval (fijn huishoudelijk restafval) weer van het driejaarlijks gemiddelde over 2019-2021, de resultaten zijn gepresenteerd in Tabel 3.2 (Rijkswaterstaat, 2022). Deze samenstelling is verder opgesplitst naar een indeling in materialen en verpakkingen en niet-verpakkingen. In totaal maken verpakkingen in 2020 ruim 21% uit van het gemengd stedelijk afval (GSA).

In de toekomst kunnen ook maatregelen zoals statiegeld op kleine flesjes en blikjes effect hebben op het aandeel van kunststoffen en metalen in het GSA. Papier en karton en gft-afval, die de belangrijkste afvalcomponenten zijn, zijn stabiel wat betreft hun aandeel. In hoeverre beleidsontwikkelingen, consumentengedrag en veranderingen in het aanbod van materialen de veranderingen in de componenten bepalen valt niet te zeggen.

Tabel 3.2: Samenstelling gemengd stedelijk afval, driejaarlijks en 2020 (Rijkswaterstaat, 2022)

Afvalcomponent	Aandeel 2020 (%)	Verpakkingen 2020 (%)
KCA	0,19	-
Non-ferro	1,7	1,14
Ferro	2,2	1,34
Textiel	4,35	-
Glas	4,77	4,2
Incontinentiemateriaal	7,3	-
Kunststoffen	12,03	7,83
Overig	14,5	-
Papier en karton*	19,3	7,1*
Gft-afval	33,4	-
Totaal	100	21,6

*Inclusief drankenkartons

3.2.2 Scheidingsresiduen

Scheidingsresiduen zijn na gemengd stedelijk afval de tweede afvalcategorie die de AVI als bestemming hebben. De precieze samenstelling van gemengd stedelijk afval is niet bekend. Wel is bekend dat het met name gaat om de sorteerresten die ontstaan bij de sortering van gescheiden ingezameld PMD en nagescheiden verpakkingsafval uit huishoudelijk restafval. Op basis van gegevens uit de sector is een inschatting gemaakt van de materialen in de scheidingsresiduen, het resultaat is gegeven in Tabel 3.3 Door de huidige maatregelen ten gevolge van het beleid voor verpakkingsafval en single use plastics zal het residu, van met name de nascheiding, nu en in de toekomst waarschijnlijk minder metalen en kunststoffen bevatten. Ook de totale hoeveelheid residu zal hierdoor afnemen. Voorbeelden van maatregelen zijn de plastic doppen die vast moeten blijven zitten aan de verpakking en statiegeld op kleine flesjes en blikjes. De effecten zijn echter niet goed voorspelbaar en zijn daarom niet apart meegenomen in de toekomstscenario's (zie hoofdstuk 4 Scenario's en gevoeligheidsanalyses).

De deelstromen 'restafval' en 'vocht & vuil' in de residuen zijn in de modellering samengenomen in het ecoinvent proces "Municipal solid waste {CH}| treatment of municipal solid waste, municipal incineration with fly ash extraction | Cut-off, U". De onderste calorische waarde die in ecoinvent is opgegeven is 11,7 MJ/kg, deze waarde zal voor vocht en vuil veel te hoog zijn door het hoge vochtgehalte. Aangenomen is dat voor 'vocht & vuil' inclusief vocht de LHV 6,5 MJ/kg is. Er is daarom een correctie toegepast door 55% van het oorspronkelijke proces te gebruiken en aan te nemen dat 45% bestaat uit vocht. Dit geeft een reductie van de hoeveelheid terug te winnen energie alsook van de emissies van bijvoorbeeld CO_2.

Tabel 3.3: Inschatting van de samenstelling van de te verbranden scheidingsresiduen in 2021.

Deelstroom	Aandeel	Opmerking
Kunststoffen	8%	Dezelfde verhouding van polymeren als die in GSA is aangehouden
Drankenkartons	5%	
Metalen (ferro, non-ferro)	2%	Dit aandeel is het meest onzeker
Restafval	47%	Samenstelling GSA aangehouden
Vocht & vuil	38%	Voornamelijk een natte meest organische stroom
Totaal	100%	

Voor de verdeling van de verschillende polymeren is de verdeling van 34% PET, 37% PE, 23% PP, 2% PVC en 4% PS (Brouwer et al., 2018), tabel c1 aangehouden.

Omdat de scheidingsresiduen als afval worden verbrand en geen te vermarkten product zijn van de sortering wordt het sorteerproces zelf niet meegenomen in de milieuberekeningen. Het transport van het ingaande materiaal is wel genomen. (Zie hoofdstuk 5 Resultaten).

3.2.3 Bedrijfsafval (HDO)

Het LAP3 geeft aan dat het bij deze categorie gaat om restafval van bedrijven dat vergelijkbaar is met fijn huishoudelijk restafval. "Dit kan afkomstig zijn van bedrijven uit de handel, diensten en overheidssector (HDO-sector), industriële bedrijven en overige niet-industriële bedrijven (ook ziekenhuizen)." (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & Rijkswaterstaat, 2021). Het gaat hierbij alleen om niet-procesafhankelijk afval. In de praktijk gaat het om restafval dat vergelijkbaar is met fijn huishoudelijk restafval, ofwel GSA. In dit onderzoek is voor HDO daarom de samenstelling van gemengd stedelijk afval aangehouden, dit is in overeenstemming met de samenstelling van dit afval zoals die voor de emissieregistratie wordt gebruikt (Honig et al., 2023).

3.2.4 Grof huishoudelijk afval

Onder grof huishoudelijk afval wordt huishoudelijk afval bedoelt dat zo afwijkt naar aard, samenstelling of omvang (volume of afmetingen) dat deze apart aan een inzameldienst of een verwerker van afvalstoffen wordt aangeboden. Voorbeelden zijn grof huishoudelijk restafval, grof tuinafval, meubels, tapijten en particulier verbouwingsafval (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021d, 2021b). Een onderzoek van VROM Inspectie gaf een aanname voor de samenstelling van deze afvalcategorie die voor 50% uit huisraad bestaat en voor de rest uit een 'overige' fractie (VROM-Inspectie, 2011). In Tabel 3.4 te zien dat hout en steenachtig materiaal de belangrijkste deelfracties zijn, het aandeel biogeen koolstof is dus relatief hoog.

Tabel 3.4: Aanname samenstelling grof huishoudelijk afval, op basis (VROM-Inspectie, 2011).

Fractie	Hout	Metalen	Kunststoffen	Textiel	Steenachtig
Huisraad	60%	10%	20%	10%	0%
Overig	25%	5%	15%	10%	45%
Gemiddeld	43%	8%	18%	10%	23%

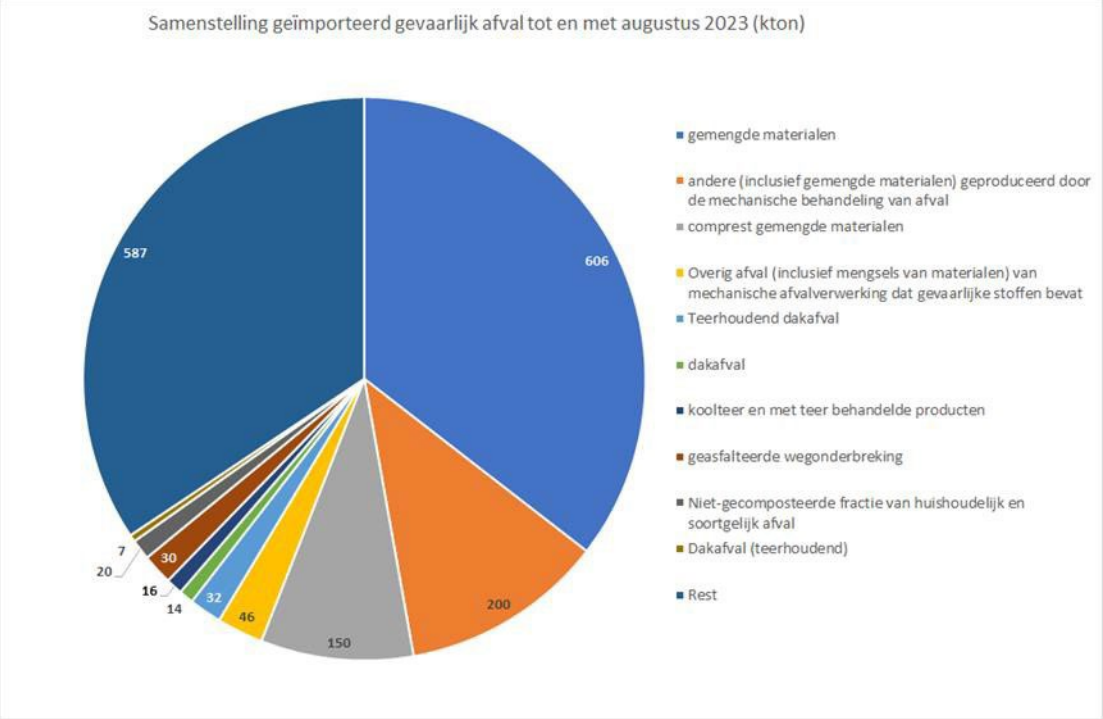
De hier getoonde samenstelling is wellicht achterhaald maar gegevens over de huidige samenstelling en eventuele trends ontbreken. Voor de fractie metalen hebben we aangenomen dat deze voor 65% uit ferro bestaan met daarnaast 30% aluminium en 5% koper. De aanname voor de samenstelling van de kunststoffen is: 60% PP, 15% PVC, 15% ABS en 10% Nylon. Aangezien het bij textiel zowel om bijvoorbeeld gordijnen als meubelbekleding zal gaan, is aangenomen dat dit bestaat uit 50% polyester, 40% katoen en 10% wol.

3.2.5 Overig afval

Zoals de naam doet vermoeden is de categorie 'Overig afval' divers en het gaat hierbij om afval dat niet onder een Euralcode (Los & Ooms, 2019) valt. De enigszins grove aanname is gedaan dat deze afvalcategorie qua samenstelling gelijk is aan die van gemengd stedelijk afval. Met een aandeel van minder dan 3% zal het effect op de resultaten waarschijnlijk beperkt zijn.

3.2.6 Gevaarlijk afval

Van de materiaalsamenstelling van gevaarlijk afval op het niveau waar het voor een LCA te gebruiken is, is weinig bekend. Daarom is gebruik gemaakt van de EVOA kennisgevingen (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2023). In Figuur 3.3 zijn de kennisgevingen van 2023 verwerkt waarbij alle hoeveelheden naar een hoeveelheid per jaar zijn omgerekend, dit omdat er ook opgaven zijn voor een periode van meerdere jaren. Deze gegevens geven een beter inzicht, maar nog steeds onvoldoende voor een goede modellering. Er is daarom voor gekozen om gebruik te maken van het ecoinvent proces: "Hazardous waste, for incineration {CH}". Dit proces geeft een indicatie van de te verwachte milieubelasting waarbij het onzeker is of het resultaat een goede afspiegeling is van de werkelijkheid.



Figuur 3.3: Samenstelling van in Nederland geïmporteerd gevaarlijk afval met bestemming AVI's voor 2023 (tot en met augustus) (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2023). De hoeveelheden, gebaseerd op aangevraagde verguninningen, zijn per jaar gegeven.

3.3 Transporten

Voor het transport is voor al het afval uitgegaan van inzameling naar sorteer- en/of tijdelijke opslaglocatie van 10 km met afvalinzamelingsvrachtwagen. Vanaf deze locatie wordt het afval nog eens 100 km getransporteerd naar een AVI met een vrachtwagen (16-32 ton, EURO5) (Stichting Bouwkwaliteit, 2019). Deze uitgangspunten zijn toegepast op zowel het afval dat verbrand wordt in Nederland als het afval dat geëxporteerd wordt naar het buitenland om daar verbrand te worden.

3.4 Vermeden energieproductie

Bij de verbranding van afval in Nederlandse AVI's vindt energieterugwinning in de vorm van elektriciteit en warmte plaats, hierbij worden de volgende efficiënties op basis van de onderste stookwaarde van het afval gebruikt:

- Elektrisch: 16,2%
- Warmte: 20,2%

Deze waarden zijn gebaseerd op de methode beschreven door (Otten & Bergsma, 2010) en data voor de afvalverwerking door de AVI's (Werkgroep Afvalregistratie, 2020).

4 Scenario's en gevoeligheidsanalyses

In dit hoofdstuk wordt het huidige beleid dat invloed heeft op de hoeveelheden afval in 2030 besproken, alsook de invloed van toekomstig beleid de vertaling naar kwantitatieve scenario's.

4.1 Huidige situatie en toekomstig beleid

De momentele hoeveelheid binnenlands te verbranden afval wordt mede bepaald door het huidige beleid, voor de situatie in de toekomst zijn de toekomstige beleidsontwikkelingen van belang. Zo wordt op dit moment 52,5% van het huishoudelijk afval in Nederland gerecycled. Op basis van de Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen is vereist dat in 2025 minimaal 55% van het stedelijk afval gerecycled wordt (VANG-HHA, 2022). Meer recycling kan worden behaald door meer bronscheiding, een betere nascheiding van stedelijk afval en een betere sortering van te recyclen materialen. Meer recycling leidt dan tot minder te verbranden GSA, minder verpakkingen in de sorteerrest en minder te verbranden bedrijfsafval (HDO).

Naast het huidige beleid is er zowel op Europees als op Nederlands niveau wet- en regelgeving in de maak die de hoeveelheid en samenstelling van het te verbranden restafval gaat veranderen:

- Aanpassing Packaging and Packaging Waste Directive (European Parliament, 2023):
  - transport en e-commerce packaging ratio lege ruimte in verpakking t.o.v. verpakt product is maximaal 40% (artikel 21, waarschijnlijk beperkte invloed)
  - meer gebruik herbruikbare en hervulbare verpakkingen (artikel 26, zekere invloed)
  - alle verpakkingen moeten recyclebaar zijn in 2030 (zekere invloed), per 2030 tenminste 70% gerecycled (zekere invloed, artikel 46)
  - meer recycled content in verpakkingen (geen directe invloed)
  - meer biodegradeerbare verpakkingen (effect op CO_2-emissies)
  - ten opzichte van 2018 in 2030 5% en in 2040 15% minder verpakkingsafval per capita (artikel 38, invloed)
- SUP regelgeving: drinkbekers en wegwerpvoedselverpakkingen 40% reductie en inzameling 90% in 2026 (zekere invloed)
- Circulair textiel: 50% van het ingezamelde textiel dat niet herbruikbaar is, wordt gerecycled. 2050 volledig circulair (zekere invloed)
- Circulaire plastic norm (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023): in 2030 moet minimaal tussen de 25% en 30% (precieze getal is nog niet vastgesteld) recyclaat en bio-gebaseerd plastic wordt toegepast (geen invloed op de hoeveelheid afval, het aandeel bio-gebaseerd plastic heeft effect op CO2-emissies bij verbranding).

Het Europese verpakkingsbeleid is in Nederland vertaald naar materiaalspecifieke doelstellingen voor het gewichtspercentage dat wordt hergebruikt of gerecycled in 2030. Deze zijn vastgelegd in de Richtlijn verpakkingen (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, 2021):

- 55 gewichtsprocent van kunststof verpakkingen;
- glas in de verpakkingen ten minste 86 gewichtsprocent;
- papier en karton in de verpakkingen ten minste 85 gewichtsprocent;
- hout in de verpakkingen ten minste 55 gewichtsprocent;
- aluminium in 2025 80 gewichtsprocent;
- van de ferrometalen in de verpakkingen ten minste 94 gewichtsprocent hergebruik of recycling.

Hout en ferrometalen in verpakkingen halen deze doelstelling al zoals in Tabel 4.1 te zien is en daarom wordt een wijziging in het aandeel in het te verbranden afval niet voorzien. Het aandeel in 2030 is gebaseerd op de procentuele afname in het restafval. Het veranderde aanbod van verpakkingsmaterialen is niet meegenomen omdat een goede inschatting niet kon worden gemaakt.

Tabel 4.1: Percentages hergebruik of recycling van verpakkingsmaterialen, de doelstellingen tot 2030 en de aandelen van deze materialen in het gemengd stedelijk afval. Het aandeel in 2030 is gebaseerd op de procentuele afname in het restafval. (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, 2021).

Materiaal	Huidige situatie	Doelstelling 2025/2030	Aandeel 2021	Aandeel 2030
Glas	71%	86%	4.2%	2.0%
Kunststof	37%	55%	7.8%	5.6%
Papier en karton	85%	85%	7.1%	7.1%
Aluminium	74%	80%	1.1%	0.9%
Ferrometalen	96%	94%	1.3%	1.3%
Hout	73%	55%	2.1%	2.1%
Verpakkingen in GSA			23.7%	19.0%

De aandelen van de diverse verpakkingsmaterialen, zoals glas, in het GSA zijn bekend evenals het huidige recyclingspercentage (zie Tabel 4.1). Vanuit de verandering van het huidige percentage recycling naar het toekomstige percentage is, onder de aanname dat het niet-gerecyclede deel nu in het GSA zit, het toekomstige aandeel van een verpakkingsmateriaal in het GSA te berekenen. Voor glas is de recycling momenteel 71% en in 2030 moet dit 86% zijn, dat betekent dat het niet-gerecyclede deel van 29% naar 14% gaat een afname met een factor 0.483. Het aandeel verpakkingsglas in het GSA gaat hiermee dus van 4,2% naar 2,0%, zie hier voor Tabel 4.1.

Deze aanpak is ook toegepast voor de andere verpakkingsmaterialen. Daar waar het huidige recyclingspercentage al tenminste gelijk is aan de toekomstige doelstelling verandert het aandeel van dat materiaal niet in het GSA. Bij de berekeningen is aangenomen dat het aandeel niet-verpakkingen ongewijzigd blijft, in de praktijk kan het zo zijn dat ook dit aandeel onder invloed van het verpakkingsbeleid wijzigt. Meer verpakkingsglas naar de glasbak brengen voor recycling kan ook leiden tot meer ingezameld vlakglas bijvoorbeeld.

Textiel maakt 4,3% uit van het GSA (Rijkswaterstaat, 2022) en ruim de helft (55%) hiervan komt terecht in het huishoudelijk restafval (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Volgens het besluit uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV) textiel moet in 2030 75% van de in de handel gebrachte textielproducten worden voorbereid voor hergebruik of recycling, we nemen aan dat dit betekent dat in 2030 nog maar 25% van het textiel in het GSA belandt. Het aandeel textiel in het GSA zou dan met een factor 0,45 moeten afnemen, ofwel 2,0% moeten worden.

Volgens Milieu Centraal verdwijnt 35% van het groente-, fruit en tuinafval, gft een onderdeel van bioafval, in het GSA (Milieu Centraal, 2021) en maakt daarmee 33,6% van de totale hoeveelheid GSA uit. Volgens de Afvalstoffenrichtlijn (RICHTLIJN 2008/98/EG, 2024) moet Nederland ervoor zorgen dat bioafval, met onder andere groente-, fruit- en tuinafval (gft) per 1 januari van 2024 ofwel aan de bron wordt gescheiden en gerecycleerd, ofwel gescheiden wordt ingezameld en niet gemengd wordt met andere soorten afval. Een te behalen gewichtspercentage wordt niet genoemd. Het is aannemelijk dat ook in 2030 nog altijd een deel bioafval in het GSA zal zitten, voor deze studie is de aanname gedaan dat dit 15% is. De hoeveelheid gft in het GSA neemt dan met een factor 0.43 af tot 14,4%.

Voor luiers en incontinentiemateriaal is een UPV voorgesteld (Ooms, Schraa, & Waart, 2023). De doelstelling voor recycling zou op 1 januari 2026 een gewichtspercentage van 12,5 % moeten zijn. Vijf jaar na invoering van de UPV zou dit percentage kunnen groeien naar 25%, dus in stappen van 2,5 %-punt per jaar, dit betekent een percentage van 22,5% in 2030. Het huidige aandeel recycling is 6.5% volgens de studie. Incontinentie-materiaal en luiers vormen nu 7.3% van het gemengd stedelijk afval. In 2030 zou dit aandeel bij de recyclingsdoelstelling van 22,5% tot 6,0% zijn afgenomen.

De single use plastics (SUP) regelgeving geeft aan dat het gewicht aan drinkbekers en wegwerpvoedselverpakkingen op de markt met 40% moet worden gereduceerd en dat de inzameling 90% moet zijn in 2026. De precieze vermindering in het restafval kan hier niet worden vastgesteld en zal voor een deel worden weerspiegeld in de afname van het aandeel kunststoffen in verpakkingen in 2030.

Voor de afvalbeheerbijdrage matrassen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021a) is afgesproken dat in 2028 het aandeel matrassen dat gerecycled wordt minimaal 75% van het aantal in de handel gebrachte matrassen bedraagt. Momenteel wordt naar schatting 62% van de matrassen verbrand (Driel, 2018). Matrassen maken echter maar 2% van het grof huishoudelijk afval wat weer 4% uitmaakt van al het binnenlands te verbranden afval. Matrassen maken daarmee minder dan één promille van het totale te verbranden binnenlands afval, dit wordt gezien alle onzekerheden daarom niet verder meegenomen in de berekeningen.

De effecten van deze beleidsontwikkelingen worden in twee scenario's vertaald naar een procentuele afname van de hoeveelheid van een materiaal in een specifieke afvalstroom.

4.2 Beleidspad

Hierboven is aangegeven wat de effecten zijn van de relevante richtlijnen en UPV's, in deze paragraaf wordt de vertaling gemaakt naar de te verwachten hoeveelheden en samenstelling van de diverse deelstromen van te verbranden afval. Op basis van de hoeveelheden van de afvalcomponenten in het basispad worden de hoeveelheden hiervan in het beleidspad ingeschat. Opgemerkt dient te worden dat voor het basispad ook een bandbreedte was vastgesteld, de bandbreedte in het beleidspad zal groter zijn door

bijgekomen onzekerheden in het halen van de beleidsdoelstellingen. Van de bandbreedte nhet beleidspad is vanwege deze onzekerheden geen verdere inschatting gemaakt. In deze paragraaf zijn alleen die afvalstromen opgenomen waar een verandering in kwantiteit ten gevolge van toekomstige beleidsmaatregelen konden worden bepaald.

4.2.1 Gemengd stedelijk afval

De aandelen van de afvalcomponenten in gemengd stedelijk afval (GSA) van 2021 zijn op basis van de Richtlijn verpakkingen (Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, 2021)doorgetrokken in het basispad voor 2030 en op deze wijze is de hoeveelheid van een dergelijke component in 2030 bekend. Om tot de hoeveelheid in het beleidspad te komen waarin het additionele effect van de toekomstige beleidsmaatregelen is meegenomen, wordt de afname van het niet-gerecyclede percentage van een component genomen op basis van het beleidsdoel in 2030 ten opzichte van het percentage niet-gerecycled. In het basispad is aangenomen dat de verhouding tussen het gerecyclede aandeel en het aandeel in restafval gelijk is aan dat van 2021. Een voorbeeld van deze aanpak ter verduidelijking:

- het niet-gerecyclede aandeel verpakkingsglas is in 2021 29%, dit moet naar 14% in 2030 een afname met een factor 0,48;
- het aandeel verpakkingsglas in het glas in GSA is 88%, overig glas 12%. De afname met de factor 0,483 wordt alleen toegepast op het verpakkingsglas, bij ontbreken van beleid voor het overig glas verandert deze hoeveelheid niet;
- hiermee komt de factor voor afname van de hoeveelheid glas op 0,545 en gaat het aandeel glas in GSA van 4,8% naar 2,6% en komt de hoeveelheid glas uit op 69,7 kton;
- daar de voorspelde hoeveelheid GSA in het beleidspad nu 1943,9 kton bedraagt wordt het nieuwe aandeel glas in GSA nu 3,6%.

Bij papier en karton is in 2021 het recyclingsdoel voor 2030 van 85% al gehaald. De voorspelde hoeveelheid papier en karton in het GSA verandert dus niet in het beleidspad ten opzichte van het basispad. De resultaten in termen van volumes zijn te vinden in 5.1 Volumes in 2030.

4.2.2 Scheidingsresiduen

Het aandeel residuen ten opzichte van de hoeveelheid binnenlands beschikbaar afval was in 2021 22,9%. De hoeveelheid binnenlands residu is bepaald door van de residuen van afvalbewerking de import (van residuen) af te trekken. Daarmee kwam in het basispad de voorspelde hoeveelheid residu op 1382 kton. Vanwege een betere uitsortering van verpakkingen zal de samenstelling van het scheidingsresidu gaan veranderen ten opzichte van het basispad. De hoeveelheid kunststoffen in het residu neemt bijna dertig procent af, de hoeveelheid metalen in totaal ruim tien procent en drankenkartons blijven gelijk. Aangenomen is ook dat de voorspelde hoeveelheid restafval, vocht en vuil in het residu ten opzichte van het basispad gelijk blijft. Voor de uitwerking qua hoeveelheden wordt verwezen naar 5.1.2 Beleidspad.
Het is denkbaar dat door een betere scheiding van bio-afval het aandeel restafval, vocht en vuil ook verder zal afnemen. In welke mate dat zal gebeuren is onbekend en daarom niet meegenomen.

4.2.3 Bedrijfsafval (HDO)

Voor het op GSA lijkende HDO wordt dezelfde ontwikkeling in het beleidspad aangenomen als eerder beschreven voor GSA.

4.3 Gevoeligheidsanalyses

In de onderstaande paragrafen worden de gevoeligheidsanalyses voor het aandeel aan biobased kunststof en de efficiency van de AVI beschreven. De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd op het beleidspad.

4.3.1 Gevoeligheidsanalyse biobased kunststoffen

Als gevolg van de implementatie van Europees beleid ten aanzien van verpakkingen en verpakkingsafval (European Commission, 2022) wordt voor 2030 de volgende aanname gedaan.

- Op fossiele grondstoffen gebaseerde kunststoffen worden voor 30% vervangen door biobased kunststoffen. Hierbij is het uitgangspunt dat de biobased polymeer dezelfde eigenschappen heeft als de op fossiele grondstoffen gebaseerde kunststof.

Dit is een extreem scenario omdat de 25-30% in de circulaire plastic norm een combinatie is van toepassing van recyclaat en biobased (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Wel wordt hiermee het effect van meer biobased plastics duidelijk.

4.3.2 Gevoeligheidsanalyse efficiency AVI

In de huidige situatie hebben de AVI's een gemiddelde efficiency voor de levering van elektriciteit van 16,2% elektrisch en voor warmte van 20,2%. Er zijn echter al Nederlandse AVI's met hogere rendementen en ook worden in een paper die de situatie van de Zwitserse AVI's beschrijft (Meylan, Haupt, Duygan, Hellweg, & Stauffacher, 2018), en in een MIDDEN-rapport over de Nederlandse AVI's (de Leeuw & Koelemeijer, 2022), hogere rendementen genoemd. Het MIDDEN-rapport geeft aan dat bij behoud van dezelfde efficiency voor elektriciteit een beter totaal rendement van 50% mogelijk is wanneer een betere benutting van de geleverde warmte wordt behaald, bijvoorbeeld door cascadering. Bij dit rendement van 50% worden de rendementen voor elektriciteit en warmte bij elkaar opgeteld. In de paper van (Meylan et al., 2018) wordt de nett energy efficiency (NEE) berekend. Hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat om uit één MJ warmte elektriciteit te produceren er altijd een netto energieverlies is. Men gebruikt hiervoor een factor van 0.385. De auteurs geven aan dat in 2035 de Zwitserse AVI's een NEE zullen hebben van 0.83. Deze hoge NEE wordt vooral bereikt door meer warmte aan stadsverwarming te leveren. Voor de gemiddelde Nederlandse AVI is de NEE naar schatting 0.66.

In het MIDDEN-rapport wordt aangegeven dat in de toekomst de Nederlandse AVI's een rendement van 50% kunnen behalen met behoud van de huidige efficiency voor elektriciteit. Zoals gezegd zijn er nu al AVI's die een hoger rendement halen. Dit zijn de AVI van EEW in Delfzijl, met een rendement van 55%, en de Reststoffen EnergieCentrale (REC) in Harlingen met een rendement van 70%, zie (de Leeuw & Koelemeijer, 2022)[7]. De NEE van de AVI van EEW is 0,92, die van de REC 1,04, zie Tabel 4.2. EEW behaalt hierbij ook een hogere efficiency voor elektriciteit van 19%, die van de REC is iets lager dan de huidige gemiddelde efficiency voor elektriciteit, namelijk 16,1%. In deze studie worden beide best presterende AVI's als toekomstige referentie genomen.

[7] REC kent niet de extra rookgasreiniging die destijds bij oudere centrales is geplaats. Deze vraagt extra energie en levert daarmee een lagere efficiëntie.

Tabel 4.2: Efficiencies voor warmte en elektriciteit van de gemiddelde Nederlandse AVI en de twee best presterende. Op basis van (de Leeuw & Koelemeijer, 2022).

AVI	Elektriciteit	Warmte	Totaal
Gemiddelde (2021)	16,2%	20,2%	36,4%
EEW	19%	36%	55%
REC	16,1%	53,9%	70%

5 Resultaten

5.1 Volumes in 2030

5.1.1 Basispad

In 2021 kwam de netto hoeveelheid binnenlands beschikbaar afval uit op 7.134 kton (zie Tabel 5.1). Na 2011 is een afname, c.q. stabilisatie, te zien van de hoeveelheid binnenlands te verbranden afval, in de jaren daarvoor liep de hoeveelheid jaarlijks op. De periode van deze trendbreuk wordt gebruikt om een inschatting te maken van de hoeveelheid binnenlands verbrand afval in 2030. Daarnaast is duidelijk dat in de jaren 2020-2021 er ten opzichte van voorgaande jaren een stijging was. De Coronacrisis was hier mogelijk de achterliggende oorzaak. Omdat de voorspelling afhankelijk is van welke jaren voor de regressieanalyse worden gekozen zijn drie verschillende perioden gebruikt:

- 2011-2021, de volledige periode inclusief 2020-2021;
- 2011-2019, de voorgaande periode exclusief de Coronacrisis;
- 2013-2019, de periode waarin de hoeveelheid afval het meest stabiel is.

De resultaten van de regressieanalyse zijn gegeven in Tabel 5.1. De resultaten voor de volledig periode laten een zeer lage determinatiecoëfficiënt (R^2) zien. De determinatie-coëfficiënt is een statistische maat die aangeeft hoe goed de onafhankelijke variabelen de variabiliteit in de afhankelijke variabele verklaren. R^2 varieert tussen 0 en 1, waarbij 1 perfecte aanpassing aangeeft. Een lage determinatiecoëfficiënt geeft aan dat het model beperkt is in het verklaren van variabiliteit. Hoe lager de determinatiecoëfficiënt is, hoe beperkter de verklarende kracht is.

De voorspelling op basis van de periode 2011-2021 is met een R^2 van 0,105 dus zeer onzeker en wordt daarom niet verder gebruikt. In de tweede periode van 2011 tot en met 2019 is de waarde van de determinatiecoëfficiënt goed te noemen. De relatief sterke daling, van 106,6 kton per jaar voor de middelste periode, wordt met name bepaald door de hogere waarden in de twee eerste jaren. Na de jaren 2011 en 2012 stabiliseert de afname van de hoeveelheid afval, deze stabilisatie vanaf 2013 in de hoeveelheid Nederlands afval in de AVI's is ook opgemerkt door (Klink & Gemert, 2021). Deze auteurs laten in hun analyse voor de AVI-capaciteit bij de lange termijn schatting (tot 2030) de jaren van de Coronacrisis weg wegens onzekerheid over de langetermijneffecten van deze crisis.

Tabel 5.1: Regressieanalyse van de ontwikkeling van de hoeveelheid te verbranden afval op basis van verschillende voorafgaande perioden.

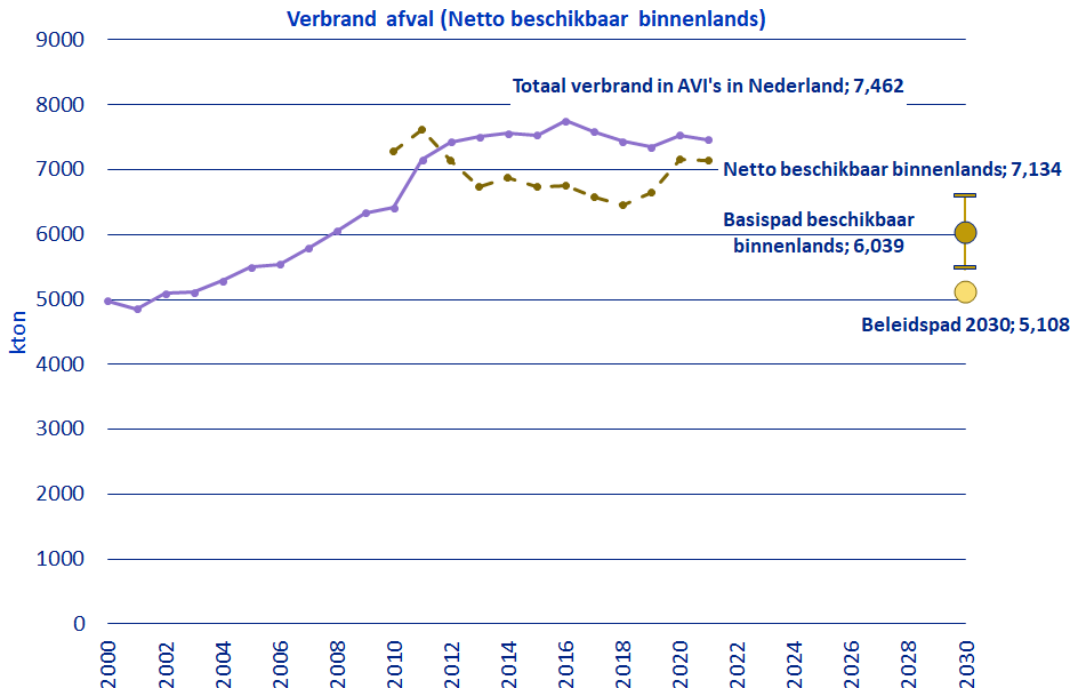
Periode	Richtings-coëfficiënt	Snijpunt	R^2	SD (kton)	2030 (kton)
2011-2021	-32.97	73370	0.105	1116	6432
2011-2019	-106.62	221670	0.694	621	5238
2013-2019[1]	-46.04	99491	0.518	278	6039

[1]Deze voorspelling wordt het 'basispad' genoemd.

De periode van 2013-2019 wordt daarom gebruikt voor de voorspelling van het basispad, de hoeveelheid binnenlands te verbranden afval in 2030 bij verder ongewijzigd beleid. In dat jaar wordt er 6039 kton te verbranden binnenlands afval verwacht. Ten opzichte van 2021 is dit een reductie van de hoeveelheid afval met 15%. In Figuur 5.1 is ook de standaarddeviatie (SD) van de voorspelde hoeveelheid gegeven die een maat is voor de onzekerheid van de voorspelling. Met de SD en de voorspelde hoeveelheid in 2030 van 6.039 kton is het mogelijk de te verwachten bandbreedte van 95% te berekenen door twee keer de SD van de voorspelling af te trekken of er bij op te tellen (Cumming, Fidler, & Vaux, 2007). Deze bandbreedte, zie ook Figuur 5.1, wordt dan:

- ondergrens binnenlands te verbranden afval: 5.438 kton,
- bovengrens binnenlands te verbranden afval: 6.595 kton.

Bij de opmerking van 'ongewijzigd beleid' moet wel de kanttekening worden geplaatst dat in de periode van 2013-2019 ook wijzigingen zijn geweest zoals de introductie van de Raamovereenkomst Verpakkingen II in de periode 2013-2022 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013), die o.a. geleid heeft tot de inzameling van PMD. Daarnaast heeft een aantal Nederlandse gemeenten, zoals Utrecht, gekozen om van bronscheiding over te stappen op nascheiding vanwege tegenvallende resultaten van de eerste methode (AfvalOnline, 2019; Binnenlands Bestuur, 2017). Hierdoor gaat uiteindelijk minder afval naar de AVI's.



Figuur 5.1: Voorspelling van de te verbranden hoeveelheid binnenlands afval in 2030 volgens het basispad, met de 95%-bandbreedte daarvan, en volgens het beleidspad.

5.1.2 Beleidspad

In het beleidspad is de verdere daling van specifieke deelcomponenten op basis van aanvullend beleid (UPV's, strenger EU-beleid en dergelijke) opgenomen. Het totale geschatte volume volgens het beleidspad in 2030 is opgenomen in Figuur 5.1 en bedraagt 5108 kton, een daling van 28% t.o.v. 2021. Een goede bandbreedte is hier niet te geven.

De specifieke deelcomponenten onder deze schatting worden in de volgende paragrafen uitgewerkt en betreffen vooral de stromen Gemengd stedelijk afval en Bedrijfsafval (HDO). De grootste afname qua hoeveelheid in het beleidspad is te zien bij gft dat met bijna 515 kton afneemt ten opzichte van het basispad (zie Tabel 5.2). Dit omdat het niet-gerecyclede deel bioafval van 35% in 2021 naar 15% gaat in 2030 (RICHTLIJN 2008/98/EG, 2024). De afname van bioafval wordt qua grootte gevolgd door textiel (64 kton), kunststoffen (60,1 kton) en glas (58,3 kton), incontinentiemateriaal laat een daling zien met 33,5 kton. Non-ferro laat een kleine daling ten opzichte van de totale afname zien, terwijl KCA, ferro, papier en karton en overig geen daling laten zien. Dit omdat voor deze componenten het recyclingsdoel voor 2030 al gehaald zal zijn, of omdat er een doelstelling ontbreekt. Bij karton zou nog wel een kleine afname te verwachten zijn vanwege de eis e-commerce goederen efficiëntere verzendverpakkingen te geven. Dit is echter niet gekwantificeerd in deze studie.

Tabel 5.2: Deelcomponenten van GSA in het basispad en het beleidspad voor 2030 met hun hoeveelheden en relatieve aandelen in de totale hoeveelheid GSA.

Afvalcomponent	Basispad (kton)	Aandeel basispad (%)	Beleidspad (kton)	Aandeel beleidspad (%)
KCA*	5,1	0,2%	5,1	0,3 %
Non-ferro	45,6	1,7%	38,1	2,0%
Ferro	59,0	2,2%	59,0	3,0%
Textiel	116,7	4,2%	52,6	2,7%
Glas	127,9	4,8%	69,7	3,6%
Incontinentiemateriaal	195,8	7,3%	162,3	8,3%
Kunststoffen	322,6	12,0%	262,6	13,5%
Overig	391,0	14,6%	391,0	20,1%
Papier en karton	517,6	19,3%	517,6	26,6%
Gft-afval	900,6	33,6%	386,0	19,9%
Totaal	2681,9	100%	1943,9	100%

Doordat de totale hoeveelheid GSA afneemt, van 2.682 kton naar 1.944 kton, nemen de relatieve aandelen van afvalcomponenten waar geen verandering te zien is, zoals papier en karton, dus toe. Papier en karton gaat bijvoorbeeld van 19,3% naar 26,3%. Zie hiervoor ook Tabel 5.2.

Vanwege een betere uitsortering van verpakkingen verandert de samenstelling van het scheidingsresidu ten opzichte van het basispad. De grootste afname van bijna 111 kton naar 79 kton is bij de kunststoffen in het residu, dit is een afname van bijna dertig procent, de metalen (ferro en non-ferro) laten een afname zien van ruim tien procent en drankenkartons blijven gelijk. Aangenomen is ook dat de voorspelde hoeveelheid restafval, vocht en vuil in het residu ten opzichte van het basispad gelijk blijft. Daarmee komt de totale hoeveelheid residu uit op 1.347 kton (zie Figuur 5.3).

Tabel 5.3: Samenstelling van de scheidingsresiduen in het basispad en het beleidspad voor 2030.

Component scheidingsresidu	Basispad (kton)	Aandeel basispad (%)	Beleidspad (kton)	Aandeel beleidspad (%)
Kunststoffen	110,6	8%	79,0	5,9%
Drankenkartons	69,1	5%	69,1	5,1%
Metalen	27,6	2%	24,3	1,8%
Restafval, vocht en vuil	1175,0	85%	1175,0	87,2%
Totaal	1382,3	100%	1347,3	100%

Daar waar de relatieve samenstelling van het binnenlands te verbranden afval onveranderd bleef in het basispad, gaat het in het beleidspad veranderen zoals blijkt uit Tabel 5.4. Gemengd stedelijk afval laat de grootste verandering, een afname met ruim 6%, zien, dus het aandeel bedrijfsafval neemt af. Scheidingsresiduen nemen relatief toe, met ruim 3%, doordat deze met name uit vocht en vuil bestaan. In totaal neemt de hoeveelheid te verbranden binnenlands afval met ruim 15% af.

Tabel 5.4: Overzicht van de hoeveelheden en aandelen van de afvalcategorieën van binnenlands te verbranden afval voor het referentiejaar 2021, het basispad voor 2030 en het beleidspad voor 2030.

Afvalcategorie	2021 (kton)	2021 aandeel	Basispad (kton)	Basispad aandeel	Beleidspad (kton)	Beleidspad aandeel
Gemengd stedelijk afval	3.168	44,4%	2.682	44,4%	1.944	38,1%
(Grof) huishoudelijk afval	274	3,8%	232	3,8%	232	4,5%
Bedrijfsafval (HDO)	677	9,5%	574	9,5%	416	8,1%
Industrieel afval, niet gevaarlijk	64	0,9%	54	0,9%	54	1,1%
Overig afval	219	3,1%	185	3,1%	185	3,6%
Reinigingsdienstafval	21	0,3%	18	0,3%	18	0,3%
Residu composteren/vergisten	122	1,7%	104	1,7%	104	2,0%
Scheidingsresiduen	1.633	22,9%	1.382	22,9%	1.347	26,4%
Gevaarlijk afval, geen specificatie	167	2,3%	142	2,3%	142	2,8%
Export brandbaar	789	11,1%	668	11,1%	668	13,1%
Totaal	7.134	100%	6.039	100%	5.108	100%

5.2 Resultaten kwalitatieve analyse 2050

Voor het jaar 2050 wordt het op dit moment niet mogelijk geacht een kwantitatieve schatting te maken van de netto hoeveelheid binnenlands beschikbaar afval. Het jaar 2050 is te ver weg voor een extrapolatie van de huidige trends en beleidsdoelstelling zijn alleen gemaakt in algemene zin, zoals Nederland volledig circulair en klimaatneutraal in 2050. Dit biedt weinig houvast voor een schatting.

Toch is de vraag of er meer kwalitatief geschat kan worden wat er in de periode 2030 2050 zou kunnen gebeuren met de hoeveelheid binnenlands beschikbaar afval. Hiervoor kijken we naar een drietal verschillende, onderliggende 'drivers' voor de afvalproductie:

1. Groei van de bevolking en de economie
2. Beleidstrend t.a.v. verdergaande circulariteit
3. Rol van toekomstige technologieën zoals pyrolyse en vergassing.

5.2.1 Groei van bevolking en economie

Het is in het algemeen geaccepteerd dat het volume van productgebruik, afdanking en hiermee afvalproductie zal groeien als gevolg van groei van de bevolking en de economie. Dit is op voorwaarde dat de economie, behoefte aan producten en materialen en de productie en afdanking hiervan niet wezenlijk zal veranderen, dus bij onveranderd beleid. Groeiprognoses betreffen voor de bevolking een groei van 2% tot 7% voor de gehele periode (regionale prognose PBL 2019, (Staatscommissie Demografische Ontwikkelingen 2050, 2024)) en voor het BNP per hoofd van de bevolking een groei van 19% tot 39% (OECD, 2024). Echter, dit betekent niet dat de vraag naar en afdanking van materialen met deze cijfers zal groeien. In het algemeen zal met name de economische groei zich niet 1 op 1 vertalen in groei van beschikbaar afval. Dit is een gevolg van een veranderend, minder materiaalintensief bestedingspatroon bij toenemende welvaart, maar ook een gevolg van technologische vooruitgang. Van verpakkingen (in kg per hoofd van de bevolking) is bekend dat deze de afgelopen 10 jaar gegroeid zijn met 0,5% per persoon per jaar (Klooster, 2023).

Zonder hier nu dieper en kwantitatief op in te gaan zouden we de effecten van deze groeifactoren voor de periode 2030-2050 kort willen samenvatten als "lichte toename" van de afvalproductie.

5.2.2 Verdergaand circulariteitsbeleid inclusief technologie

De groeiprognose in de voorgaande paragraaf is gemaakt onder de aanname van onveranderd beleid. Echter, het is zeer aannemelijk dat het beleid wel zal veranderen, omdat Nederland er naar streeft om in 2050 circulair te worden. De vraag is wat de mogelijke impact van toekomstige beleidsintensivering zou kunnen zijn? Hierbij maken we onderscheid tussen 3 manieren om circulariteit te kunnen bereiken (Bocken, de Pauw, Bakker, & van der Grinten, 2016) *close the loop* (recycling), *narrow the loop* (materiaalintensiteit) en *slow the loop* (productlevensduur en hergebruik). Substitutie is buiten beschouwing gelaten.

Hiervoor hebben we gekeken naar de belangrijkste afvalstromen, zijnde Gemengd stedelijk afval, scheidingsresiduen en bedrijfsafval (HDO). Tezamen vormen deze in 2030 driekwart van het Nederlands beschikbaar te verbranden afval (zie Tabel 5.4). Dat betekent dat we bij gebrek aan kennis industrieel afval, gevaarlijk afval, brandbaar afval en grof afval impliciet hetzelfde zullen behandelen.

Close the loop
Voor de afvalstromen Gemengd stedelijk afval, scheidingsresiduen en bedrijfsafval (HDO) hebben verpakkingen, incontinentiemateriaal en gft de grootste aandelen. Op het gebied van verpakkingen valt er bovenop de UPV doelstelling van 2030 in de vorm van recycling niet heel veel meer te halen. Glas, papier, aluminium en ferrometalen behalen in 2030 een hoog recycling percentage (80% - 95%). Met name voor kunststoffen kan de recycling toenemen van 55% naar circa 80% (geacht als theoretisch maximaal haalbaar). Dit laatste getal is gebaseerd op een combinatie van verliezen in kwaliteit van recyclaat na meermalige mechanische recycling en verliezen in recyclaatopbrengst als gevolg van chemische recycling, zoals pyrolyse of vergassing (Lange, Kersten, De Meester, van Eijk, & Ragaert, 2024). Hierbij dient aangetekend te worden dat op dit moment niet duidelijk is of deze verliezen beschikbaar komen voor verbranding of optreden in bijvoorbeeld de pyrolyse en/of vergassingstap.

Ook voor incontinentiematerialen is de verwachting dat het beoogde recyclings-% van 2030 (22,5%) ruimte laat voor flinke verbetering. En hoewel de stroom gft in 2030 voor 85% als "gerecycled" kan worden aangemerkt, is het wel mogelijk om meer waarde uit deze stroom te halen door in te zetten op een betere kwaliteit en kwantiteit van het ingezamelde gft en deze te composteren of te vergisten met nacompostering.

Alle materiaalstromen overziend is de verwachting dat recyclingsbeleid "een kwart" reductie van het afval kan opleveren.

Narrow the loop
Het is heel lastig om in het algemeen iets te zeggen over materiaalbesparing door verlaging van de materiaalintensiteit in een product. Van verpakkingen weten we dat door slim design gewichtsbesparing mogelijk is, al is dit specifiek per materiaal en toepassing. Voor verpakkingen is bekend dat er (zonder specifiek beleid) een gewicht besparende trend is van een procent per jaar (Klooster, 2023). Dit zou ook gerekend kunnen worden onder dempende factoren bij autonome groei. Wat aanvullend en gericht beleid hier zou kunnen betekenen is moeilijk te zeggen. Een grove schatting van potentiële verbeteringen op het gebied van materiaalintensiteit is dat het
"een derde" reductie van het afval kan opleveren.

Slow the loop
Tenslotte kijken we naar beleid ten aanzien van productlevensduur en hergebruik. Hiervan is de indruk dat het met name voor verpakkingen geldt dat levensduurverlenging niet echt een optie is. Herbruikbare verpakkingen zijn wel een optie, maar deze dienen dan steviger te zijn met initiële materiaal intensiteit toename tot gevolg. Al met al wordt daarom het aanvullende potentieel als kleiner ingeschat, resulterend in "een tiende" reductie van afval.

5.2.3 Verwachting 2050

Zoals eerder is aangegeven is op dit moment de verwachting voor 2050 dermate onduidelijk en onzeker dat deze alleen kwalitatief is te maken. Vandaar dat deze met behulp van semi-kwantitatieve uitspraken wordt gekenschetst.

In het slechtste geval, als al het aanvullende circulaire beleid faalt, is er sprake van een "lichte toename" van afvalproductie t.o.v. het huidige geschatte niveau volgens het beleidspad in 2030. Dit is het gevolg van groei van de bevolking en economie. Deze bovengrens willen we aanhouden omdat de realisatie van het beleidspad 2030 ook omgeven is met onzekerheden.

Als we de potentieelschattingen van wat er nog extra te verwachten is in de periode 2030 - 2050 van beleid op het gebied van *close, narrow & slow the loop* combineren met de toename als gevolg van groei van bevolking en economie, komen we uit op “maximaal een halvering” van de afvalproductie in het jaar 2050 t.o.v. het geschatte niveau volgens het lichte beleidspad in 2030.

5.3 Resultaten milieu afvalverbranding

5.3.1 Basispad 2030

De milieu-impact van de verbranding van afval in het basispad is Figuur 5.2 weergegeven, waarin een onderscheid is gemaakt in de verbranding van de verschillende fracties, het geëxporteerde afval, het transport van inzameling, het transport naar de afvalverwerkingen en de vermeden energie. Voor dit laatste is de energiemix van 2030, minder fossiele en meer hernieuwbare elektriciteit, gebruikt.

In de studie is geen rekening gehouden met:

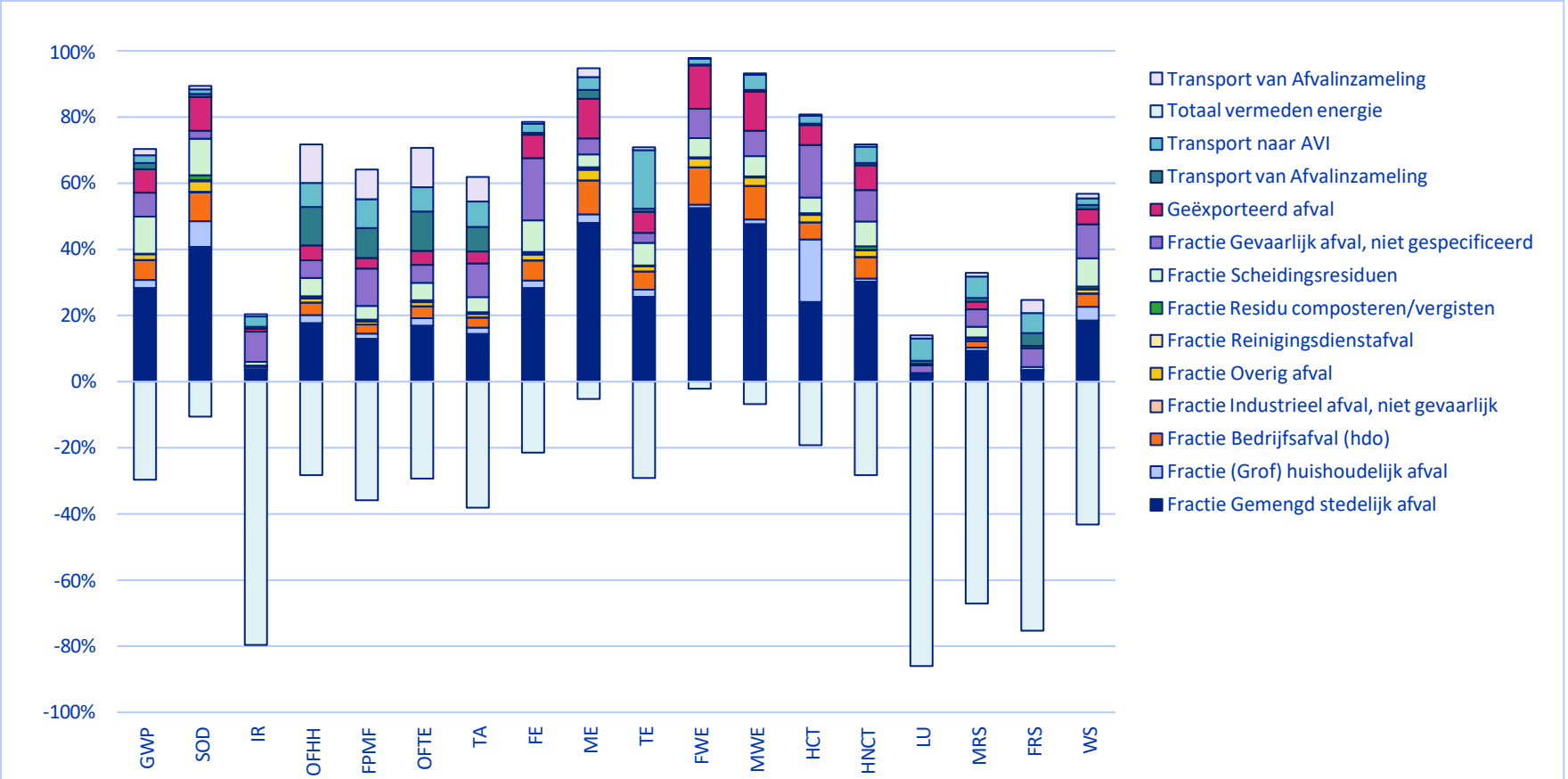
- Toekomstige warmte opwekking uit bio/syngas of geothermie.
- De afvang van CO_2 en het hergebruik en/of de opslag ervan (CCUS) als optie om de CO_2 emissies te reduceren.
- De eventuele milieuwinst ten gevolge van de terugwinning van metalen, de vermeden productie.

Elk staaf in het diagram heeft een lengte van 100%. De vermeden energie is geen milieulast, maar een milieubaat: doordat er energie vrijkomt die omgezet kan worden in elektriciteit en warmte, vermijdt dat de productie van energie uit primaire bronnen. Milieubaten worden als een negatief getal uitgedrukt en dat is terug te zien in de grafiek.

In sommige milieueffectcategorieën zijn de milieubaten als gevolg van de vermeden energie hoger dan de milieulasten van de verbranding van de materialen. ‘Vermeden energie’ is in alle milieueffectcategorieën de belangrijkste component, behalve in de milieueffectcategorieën ‘ozonlaag depletie’ en alle toxiciteitsmilieueffectcategorieën.

In de milieueffectcategorie ‘schaarsheid van fossiele grondstoffen’ is het aandeel van de ‘totaal vermeden energie’ veel groter dan de bijdrage van de andere categorieën. Dit is logisch, omdat in de energiemix die uitgespaard wordt, veel fossiele grondstoffen aanwezig zijn. Door verbranding van afval worden die hier dus vermeden.

Gemengd stedelijk afval is de fractie met de grootste milieu-impact in alle milieueffectcategorieën, behalve in de milieueffectcategorieën ‘ioniserende straling’, ‘land gebruik’ en ‘schaarsheid fossiele grondstoffen’. In deze categorieën is ‘gevaarlijk afval’ de fractie met de hoogste bijdrage. Het transport van afval heeft in de milieueffectcategorieën ‘terrestrische toxiciteit’, ‘landgebruik’, ‘schaarsheid van minerale grondstoffen’ en ‘schaarsheid van fossiele grondstoffen’ een belangrijk aandeel. Voor ‘landgebruik’ en ‘schaarsheid van fossiele grondstoffen’ is het zelfs de belangrijkste milieulast.



GWP=Global warming, SOD=Stratospheric ozone depletion, IR=Ionizing radiation, OFHH=Ozone formation, Human health, FPMF=Fine particulate matter formation, OFTE=Ozone formation, Terrestrial ecosystems, TA=Terrestrial acidification, FE=Freshwater eutrophication, ME=Marine eutrophication, TE=Terrestrial ecotoxicity, FWE=Freshwater ecotoxicity, MWE=Marine ecotoxicity, HCT=Human carcinogenic toxicity, HNCT=Human non-carcinogenic toxicity, LU=Land use, MRS=Mineral resource scarcity, FRS=Fossil resource scarcity, WS=Water consumption

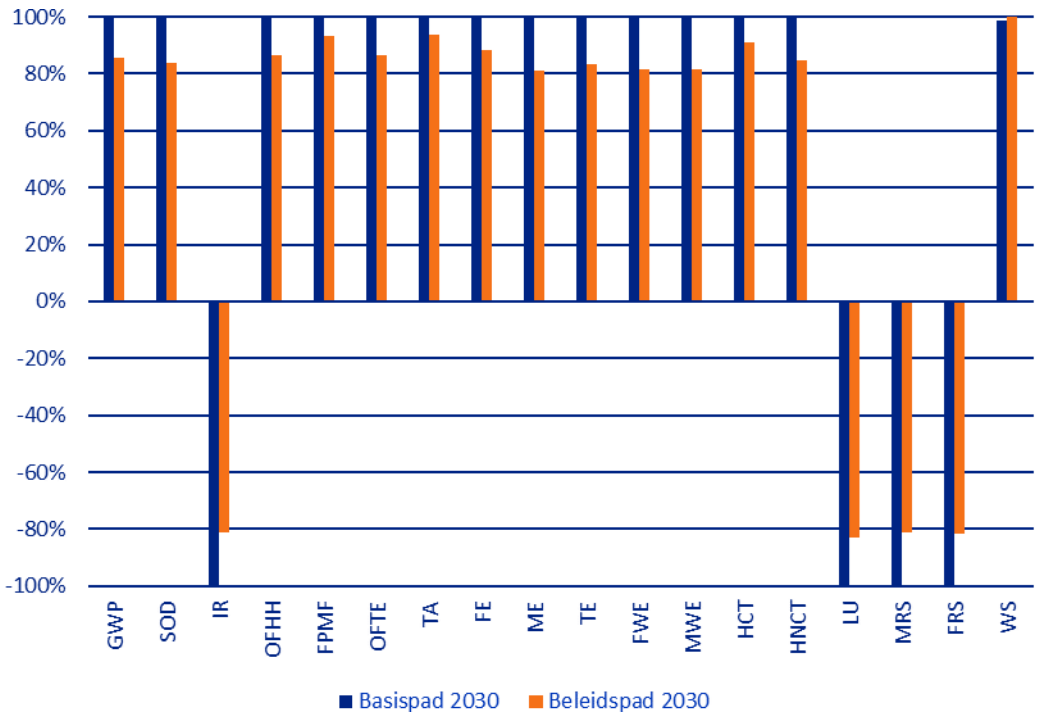
Figuur 5.2: Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding voor het basispad.

5.3.2 Beleidspad 2030

Het verschil tussen de milieu-impact van het basis- en beleidspad is in Figuur 5.3 weergegeven per milieueffectcategorie.

Per milieueffectcategorie is het pad met de hoogste impact 100% (of bij de negatieve waarden de laagste) en is het andere pad daar tegen afgezet. Voor alle milieueffectcategorieën heeft het basispad de hoogste impact, behalve voor de milieueffectcategorie 'watergebruik' vanwege minder vermeden watergebruik door de veranderde uitgespaarde energiemix.

In het algemeen kan gezegd worden dat doordat de totale hoeveelheid afval in het beleidspad afneemt ten opzichte van het basispad, de milieu-impact afneemt in de milieueffectcategorieën waar transport en verbrandingsemissies dominant zijn. Daar waar de vermeden energieproductie dominant is ten opzichte van de verbrandingsemissies en transport, zijn de milieubaten (weergegeven als een negatieve impact) minder groot voor het beleidspad dan voor het basispad.



GWP=Global warming, SOD=Stratospheric ozone depletion, IR=Ionizing radiation, OFHH=Ozone formation, Human health, FPMF=Fine particulate matter formation, OFTE=Ozone formation, Terrestrial ecosystems, TA=Terrestrial acidification, FE=Freshwater eutrophication, ME=Marine eutrophication, TE=Terrestrial ecotoxicity, FWE=Freshwater ecotoxicity, MWE=Marine ecotoxicity, HCT=Human carcinogenic toxicity, HNCT=Human non-carcinogenic toxicity, LU=Land use, MRS=Mineral resource scarcity, FRS=Fossil resource scarcity, WS=Water consumption

Figuur 5.3: Vergelijking van de milieu-impact tussen het basispad en het beleidspad, per milieueffectcategorie.

In het beleidspad is de hoeveelheid gft aanzienlijk minder dan in het basispad, met als gevolg dat er in de milieueffectcategorie 'watergebruik' een veel minder grote milieulast is. De afname van kunststof en de verandering in verhouding tussen de verschillende typen kunststof, hebben als gevolg dat er minder watergebruik wordt vermeden in het beleidspad ten opzichte van het basispad. Het resultaat van deze combinatie van factoren is dat de milieu-impact in het beleidspad net iets hoger is dan die van het basispad.

De data van de milieuberekeningen zijn gegeven in Bijlage aBijlage a.

5.3.3 Vergelijking met de huidige situatie

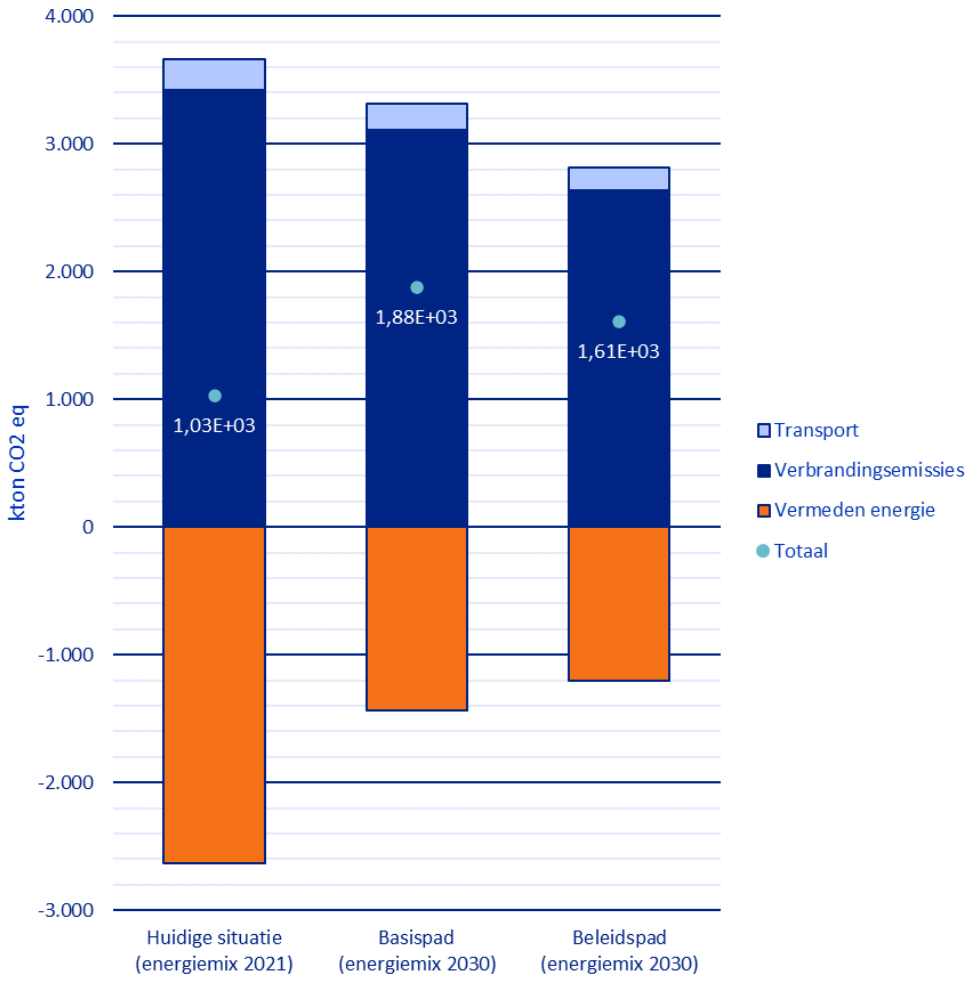
In figuur 5.2 zagen we een verdeling van de verschillende afvalfracties, transport en de vermeden energie voor het basispad. In Figuur 5.4 is dit gesimplificeerd en zijn de huidige situatie, het basispad en het beleidspad naast elkaar gezet voor de milieueffectcategorie klimaatverandering (GWP). Dit geeft inzicht in de bijdrage van het totale transport, de totale verbrandingsemissies en de vermeden energieproductie aan deze milieueffectcategorie.

De totale milieu-impact bestaat uit het transport en de verbrandingsemissies en daarvan afgetrokken de vermeden energieproductie. In de grafiek zijn transport, verbrandingsemissies en vermeden energieproductie in een stafdiagram weergegeven en is het totaal (van bovenstaande berekening) als een blauwe punt weergegeven.

Te zien is dat de totale impact van de verbranding van afval in AVI's toeneemt van 1.031 in 2021 naar 1.880 kton (basispad) en 1.612 kton (beleidspad) in 2030. Doordat er minder afval wordt verbrand nemen de emissies af als gevolg van de verbranding van afval (donkerblauwe deel van het staafdiagram). In het basispad 2030 wordt minder afval verbrand dan in 2021 en dus dalen de CO_2-verbrandingsemissies. Dit geldt nog sterker voor het Beleidspad 2030. Ook de bijdrage van transport aan de milieu-impact neemt af als gevolg van de afname van de hoeveelheid afval.

Als gevolg van de afname van de hoeveelheid afval, wordt er minder energie geproduceerd en daarmee wordt er dus ook minder energieproductie vermeden (de opgewekte energie in een AVI is energie die niet op een andere manier hoeft te worden geproduceerd. De milieu- impact van deze vermeden energieproductie, wordt als een milieubaat (negatieve milieu- impact gerekend in de berekening). Dit verklaart voor een deel de afname van de milieu- impact van de vermeden energie (oranje deel van het staafdiagram). De afname van de milieu-impact van de vermeden energie is daarnaast het gevolg van de verandering van energiemix die vermeden wordt. De energiemix van 2030 bestaat uit minder fossiele brandstoffen en meer hernieuwbaar dan de energiemix van 2021, met als gevolg dat het klimaatveranderingspotentieel 40% lager is.

Een vergelijking van de overige milieu-impacts is gegeven in Bijlage b.



Figuur 5.4: GWP in kton CO_2 eq. voor de huidige situatie, het basispad en het beleidspad.

Hetzelfde als wat hierboven is gedaan, kan worden gedaan voor alle andere milieueffectcategorieën. In Figuur 5.5 is de milieu-impact van het basispad en het beleidspad ten opzichte van de huidige situatie per milieueffectcategorie weergegeven.

In dit figuur is echter voor elke milieueffectcategorie de huidige situatie 100% en verhouden het basispad en het beleidspad zich hiertoe. In de grafiek is te zien dat milieueffecten in de afvalketen sterk variëren per milieueffectcategorie.

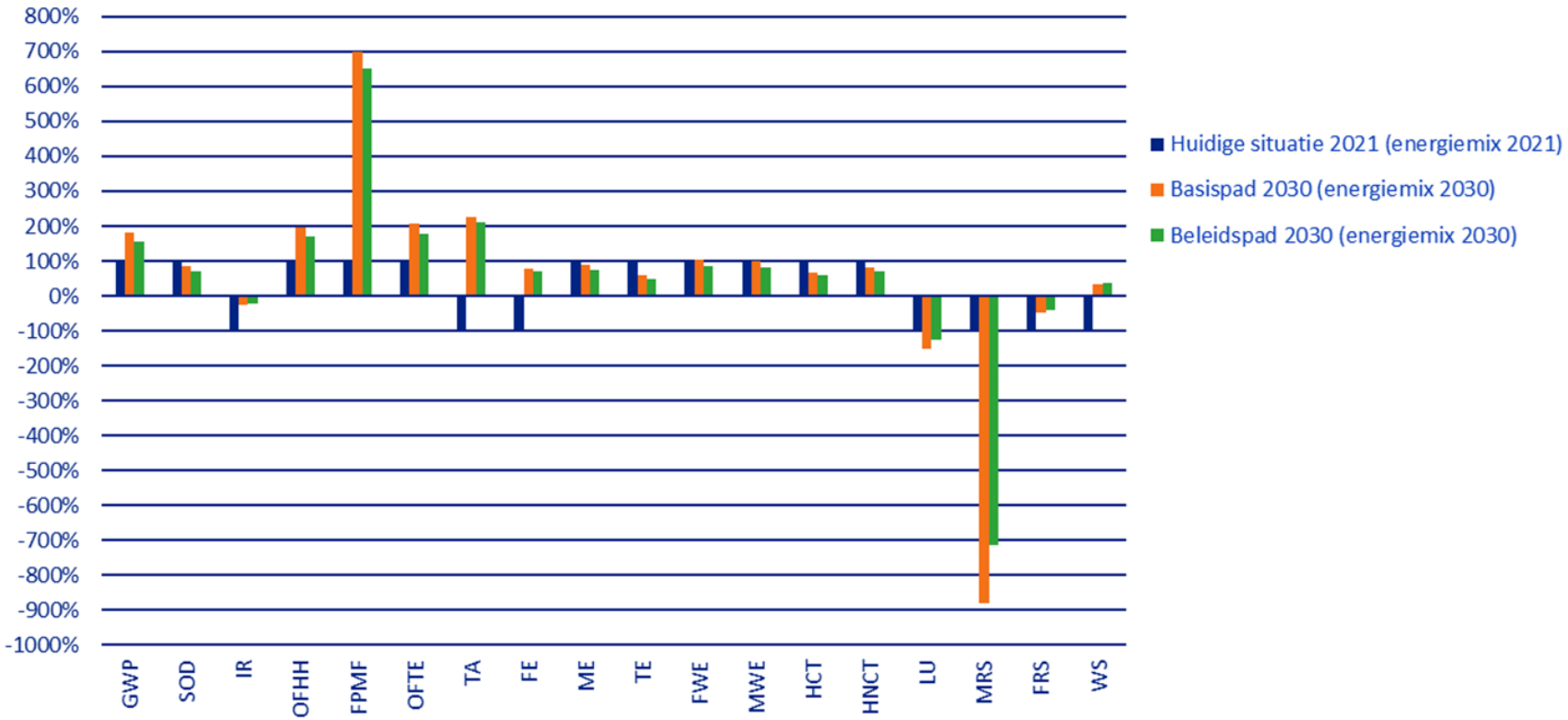
Bij een aantal milieueffectcategorieën is te zien dat de milieu-impact toe is genomen in het basispad en het beleidspad. Het gaat hier om de milieueffectcategorieën klimaat (GWP) (zoals hierboven al te zien was), luchtkwaliteit (OFHH, FPMF), verzuring & zoet water eutrofiering (OFTE, TA, FE), schaarste fossiel (FRS) en watergebruik (WS). Dit komt doordat in die categorieën in 2030 er minder afval is verbrand en de vermeden energieproductie schoner is geworden, waardoor AVI energie minder milieuwinst oplevert.

Bij de toxiciteitseffectcategorieën (ME, TE, FWE, MWE, HCT en HNCT) en aantasting van de ozonlaag (SOD) is wel een afname van de milieulast te zien. Dit komt omdat de verbrandingsemissies een grotere impact hebben in deze milieueffectcategorieën dan de vermeden energieproductie.

Het omgekeerde is het geval in de milieueffectcategorieën ioniserende straling, landgebruik en schaarste van minerale grondstoffen (IR, LU en MRS). In deze milieueffectcategorieën levert de vermeden energieproductie de belangrijkste bijdrage (als milieulast). Omdat vergroening van de energiemix een grotere milieubelasting betekent op deze milieueffectcategorieën, levert de vermeden productie ervan dus een grotere milieubaat op.

Bij de schaarste van fossiele grondstoffen levert de vermeden energieproductie ook de belangrijkste bijdrage, maar leidt de vergroening van de energiemix juist tot een minder grote uitsparing. Dat is logisch, omdat in een groenere energiemix minder gebruik wordt gemaakt van fossiele brandstoffen.

De data van de vergelijking van de huidige situatie en de twee scenario's is gegeven in Bijlage c.



GWP=Global warming, SOD=Stratospheric ozone depletion, IR=Ionizing radiation, OFHH=Ozone formation, Human health, FPMF=Fine particulate matter formation, OFTE=Ozone formation, Terrestrial ecosystems, TA=Terrestrial acidification, FE=Freshwater eutrophication, ME=Marine eutrophication, TE=Terrestrial ecotoxicity, FWE=Freshwater ecotoxicity, MWE=Marine ecotoxicity, HCT=Human carcinogenic toxicity, HNCT=Human non-carcinogenic toxicity, LU=Land use, MRS=Mineral resource scarcity, FRS=Fossil resource scarcity, WS=Water consumption

Figuur 5.5: Vergelijking totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding huidige situatie, basispad en beleidspad, per milieueffectcategorie.

.

5.3.4 Gevoeligheidsanalyses

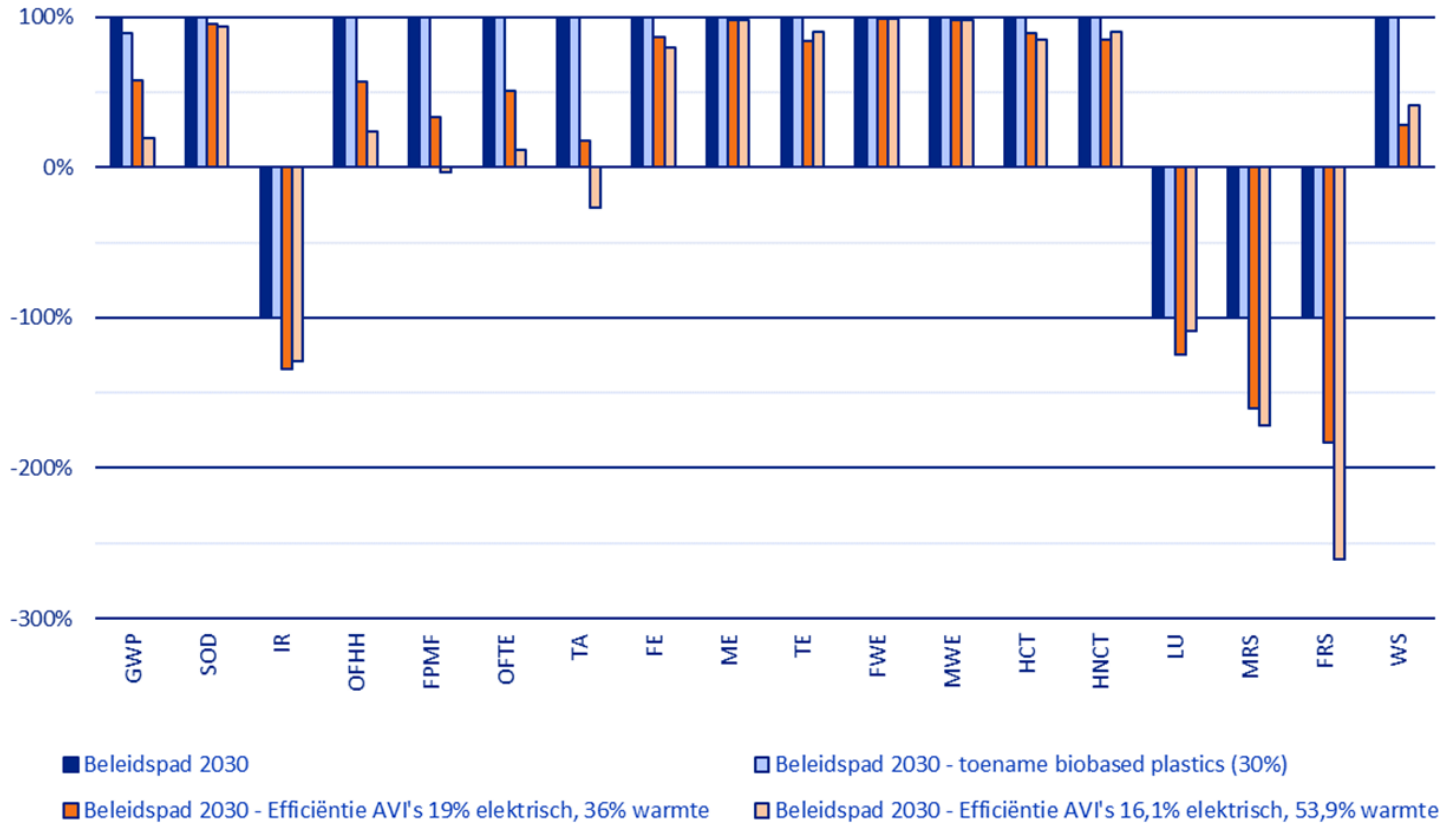
Er zijn drie gevoeligheidsanalyses gedaan voor deze studie. De gevoeligheidsanalyses zijn gedaan op basis van het beleidspad 2030 en zijn te vinden in Figuur 5.6. De data die in de gevoeligheidsanalyses gebruikt zijn te vinden in Bijlage d.

Bij de gevoeligheidsanalyse met een aandeel van 30% van biobased plastics, is alleen een verandering te zien in de milieueffectcategorie klimaatverandering. Dit komt doordat voor deze gevoeligheidsanalyse de fossiele CO_2 is vervangen door biogene CO_2 (veranderingen in andere impacts, zoals landgebruik, zijn niet meegenomen). De invloed is bovendien beperkt: -11%.

Bij de gevoeligheidsanalyses van de AVI-efficiency is de impact op een aantal milieueffectcategorieën behoorlijk groot. Met name bij klimaatverandering (GWP) en fijnstof en verzuring (FPMF en TA) alsook andere luchtgerelateerde impactcategorieën is dit het geval. Bij de toxiciteitseffectcategorieën is de impact aanzienlijk minder groot. Uiteraard is door de beïnvloeding van de vermeden energiebronnen er een groot effect op de uitputting van minerale en fossiele grondstoffen (MRS, FRS).

In het algemeen geeft een hogere productie van warmte een groter verschil met de standaard verhouding tussen elektriciteit en warmte. Dit speelt met name bij klimaatverandering, vorming van ozon (OFTE) en uitputting van fossiele hulpbronnen. Wat verder opvalt is dat sommige milieueffectcategorieën sterker beïnvloed worden door een toename van de vermeden elektriciteitsproductie dan door vermeden warmteproductie. Dit is met name het geval bij humane non-carcinogene toxiciteit.

Verder valt op dat bij de milieueffectcategorieën fijnstof en verzuring (FPMF en TA), bij de analyse met de toename van vermeden energie van 16,1% elektrische energie en 53,9% warmte, leidt tot een netto milieubaat i.p.v. een milieulast zoals in de andere gevallen het geval is. De invloed op de toxiciteitseffecten zijn relatief klein.



GWP=Global warming, SOD=Stratospheric ozone depletion, IR=Ionizing radiation, OFHH=Ozone formation, Human health, FPMF=Fine particulate matter formation, OFTE=Ozone formation, Terrestrial ecosystems, TA=Terrestrial acidification, FE=Freshwater eutrophication, ME=Marine eutrophication, TE=Terrestrial ecotoxicity, FWE=Freshwater ecotoxicity, MWE=Marine ecotoxicity, HCT=Human carcinogenic toxicity, HNCT=Human non-carcinogenic toxicity, LU=Land use, MRS=Mineral resource scarcity, FRS=Fossil resource scarcity, WS=Water consumption

Figuur 5.6: Vier gevoeligheidsanalyses op basis van het beleidspad 2030.

6 Conclusies

De conclusies die uit de resultaten van deze studie getrokken kunnen worden zijn hieronder opgesplitst naar hun betrekking op de volumes, de klimaat impact en tenslotte de milieuprestaties.

6.1 Volumes

Op basis van de resultaten uit deze studie worden de volgende conclusies getrokken met betrekking tot de volumes:

- In het jaar 2021 werd 7.462 kton verbrand in de Nederlandse AVI's. Netto werd er 328 kton geïmporteerd. Hiermee bedroeg de hoeveelheid binnenlands te verbranden afval 7.134 kton.
- Voor het jaar 2030 wordt volgens het basispad (historische beleidstrend), op basis van een regressieanalyse, een hoeveelheid van 6.039 kton voorspeld aan binnenlands te verbranden afval. Dit is een reductie van 15% ten opzichte van het referentiejaar. Er zit een bandbreedte (95% van de verwachte waarde) in de voorspeling van 5.483 tot 6.595 kton. Deze hoogste mogelijke hoeveelheid ligt circa 8% onder de hoeveelheid in het referentiejaar.
- Voor het jaar 2030 wordt volgens het beleidspad (inclusief UPV's, afvalstoffenrichtlijn en verpakkingsrichtlijn) een verdere reductie van de hoeveelheid afval voorzien naar 5.108 kton, een reductie van 28% t.o.v. 2021. Een goede bandbreedte is hier niet te geven. De afname wordt gehaald door reductie van gemengd stedelijk afval (-738 kton), bedrijfsafval-HDO (-158 kton) en scheidingsresiduen (-35 kton).
- Bij het behalen van de genoemde beleidsdoelstellingen zal 2.175 kton gemengd stedelijk afval en grof huishoudelijk afval worden verbrand. Bij 18,34 miljoen inwoners komt dat neer op 119 kg per inwoner. De inmiddels verlaten VANG-doelstelling van 30 kg/inw in 2025 wordt in 2030 dus duidelijk niet gehaald. De oude doelstelling van 100 kg/inw in 2020 wordt in 2030 ook nog niet behaald.
- Alle schattingen zijn gemaakt op basis van de aanname dat beleidsdoelen gehaald zullen worden. Ze zijn mede daarom omgeven met aanzienlijke onzekerheidsmarges, vooral in de richting van de hogere volumes.
- De kwalitatief geschatte bandbreedte voor 2050 is t.o.v. beleidspad 2030 een "lichte toename" tot "maximaal een halvering".

6.2 Klimaatimpact

De conclusies met betrekking tot het klimaat zijn als volgt:

- In de AVI-keten nemen de CO_2-eq emissies toe van 1.031 in 2021 naar 1.880 (basispad) en 1.612 (beleidspad) kton in 2030. De belangrijkste reden voor deze toename is dat de vermeden energieproductie ten opzichte van 2021 een veel groter aandeel uit hernieuwbare bronnen heeft, de aftrek die de AVI's krijgen voor hun energieproductie neemt daardoor aanzienlijk af. De CO_2-eq emissies van de AVI's bestaan uit:
  - Directe emissies: In 2030 dalen de CO_2 verbrandingsemissies in het basispad met 9% en het beleidspad met 23% t.o.v. 2021.
  - Transport: doordat de hoeveelheid afval afneemt, daalt de CO_2-eq.van transport, maar dit draagt slechts beperkt bij aan het totaal.

  - Indirecte emissies AVI: de vermeden emissies van de uitgespaarde energieproductie zijn in 2030 meer dan gehalveerd door enerzijds een verminderde afvalverbranding en anderzijds een ca. 40% lagere CO_2-intensiteit van de vermeden elektriciteitsproductie.
- Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de efficiency van de AVI, met name m.b.t. de opwekking van warmte (die gas uitspaart), de emissies van de AVI keten sterk beïnvloedt (tot zo'n 80% reductie). In de studie is geen rekening gehouden met toekomstige warmte opwekking uit bio/syngas of geothermie. De inzet van biogene plastics heeft minder invloed op de AVI emissie (10% reductie).
- Nota bene: in de gehele Nederlandse materiaalketen nemen de CO_2 emissies naar waarschijnlijkheid af van 2021 naar 2030 als gevolg van vermeden materiaalproductie door circulariteitsbeleid, die in deze studie buiten beschouwing is gelaten.

6.3 Milieuprestaties

Uit de resultaten van deze studie zijn de volgende conclusies te trekken met betrekking tot de milieuprestaties:

- Milieueffecten in de keten van de verbranding van afval variëren sterk per milieu-impact categorie als gevolg van veranderende volumes en vermeden energie productie (mix):
  - Voor lucht-gerelateerde milieueffectcategorieën nemen emissies in het basispad in 2030 t.o.v. 2021 toe: luchtkwaliteit (OFHH, FPMF), verzuring & zoet water eutrofiering (OFTETA, FE) en gebruik van fossiel en water. Net als bij de klimaatverandering komt dit doordat in die categorieën in 2030 de vermeden energieproductie schoner is geworden, waardoor de energieproductie van de AVI's minder milieuwinst oplevert;
  - Toxische emissies zoals ozon depletie, straling, ecotoxiciteit nemen af;
  - Materiaal- en landgebruik nemen af.
- De milieu-impact van het beleidspad is in de meeste milieueffectcategorieën lager dan het basispad als gevolg van de verminderde afvalproductie door aanvullend beleid. In de afvalketen leidt het beleidspad tot een toename van straling en schaarste van land, materialen, fossiel en water omdat de winst van (vermeden) energieproductie kleiner wordt t.o.v. het basispad. Dit zal waarschijnlijk niet gelden voor het complete materiaalsysteem inclusief recycling en vermeden materiaalproductie.

7 Aanbevelingen

7.1 Gebruik van resultaten

- In principe is afvalvermindering beter dan afvalverwerking. Daarom dient de daadwerkelijke effectiviteit van circulariteitsbeleid in de vorm van bijv. de Richtlijn Verpakkingen en de UPV's nauwlettend gemonitord en indien nodig versterkt te worden.
- De werkelijke milieuprestaties van de AVI's kunnen alleen in een systeemperspectief goed beoordeeld worden; in de praktijk betekent dit dat de milieuprestatie/-voordelen van AVI's zullen afnemen naarmate het energie- en materiaalsysteem steeds meer circulair en duurzaam zal worden.
- Tot die tijd kunnen milieuvoordelen via energieproductie worden benut, maar deze kunnen slechts per situatie goed beoordeeld worden. Dit geldt ook voor de import van afval. Deze is nu buiten beschouwing gelaten, maar kan voor- en nadelen hebben die een beoordeling vragen per situatie.
- Naar het zich nu laat aanzien zullen AVI's tot 2050 een kleinere maar nog steeds aanzienlijke rol spelen omdat er tot die tijd afvalstromen zullen blijven bestaan waarvoor (nog) geen 100% circulaire oplossing is gevonden.

7.2 Aanvullend onderzoek

- De schatting van de hoeveelheid binnenlands te verbranden afval en de milieuprestatie hiervan is omgeven met grote onzekerheden, met name rond het circulariteitsbeleid p verschillende productgroepen en materiaalstromen.
- Tevens geeft een analyse van de afvalketen niet een volledig en daardoor soms vertekend beeld van de systeemeffecten van circulariteitsbeleid, aangezien de milieu- en grondstoffenwinst van vermeden productie van materialen en producten buiten beschouwing blijft.
- Het verdient daarom aanbeveling om dit onderzoek:
  - over enkele jaren te actualiseren,
  - te verbreden van een afvalanalyse naar een materiaalsysteemanalyse van wieg tot graf / wieg,
  - een plek te geven binnen het Programma Monitoring en Sturing Circulaire Economie, waar naast monitoring de komende jaren ook meer aandacht is voor forecasting en sturing.
- Wat betreft de toekomst analyse zou kunnen worden aangesloten bij de vier scenario's zoals deze door het PBL zijn beschreven, te weten: Mondiaal Ondernemend (een toekomstscenario waarin grote bedrijven de lead hebben), Snelle Wereld (de nog verder toegenomen digitalisering doet afstanden verdwijnen), Groen Land (veel ruimte voor de natuur) en Regionaal Geworteld (burgers nemen het initiatief in hun eigen leefomgeving). Per toekomstbeeld zou dan moeten worden bepaald, welk beleid, trends en technologie ontwikkeling optreden.

Buiten de scope van deze studie, maar relevant voor het toekomstige plaatje van de afvalverbranding is het om onderzoek te doen naar:

- Techno-economische aspecten van de AVI in relatie tot de afvalketen. Aanbod van voldoende brandbaar afval.
- Technische en financiële levensduur en natuurlijke investeringsmomenten
- Eigendomsvorm van de AVI's, zijn ze eigendom van bedrijven en/of lagere overheden? De invloed op investerings- en saneringspad AVI's vanuit overheidseigendom is geheel anders dan bij privaat eigendom. Het effectueren van een mogelijk afname van benodigde de capaciteit kent dan andere stappen. (Diezelfde) overheden met AVI eigendom zijn ook verantwoordelijk voor de publieke taak van particulier afval ophalen en afvoeren, bij private bedrijven is dat een gescheiden investeringstraject.
- De afhankelijkheid van stadsverwarming vanuit warmteproductie van AVI's.

8 Referenties

AfvalOnline. (2019). “Nascheiding past bij stedelijke omgeving.” Retrieved from https://afvalonline.nl/artikel/29517/nascheiding-past-stedelijke-omgeving

Binnenlands Bestuur. (2017). Grote steden gaan afval nascheiden. Retrieved from http://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/nieuws/grote-steden-gaan-afval-nascheiden.9574758.lynkx

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, *33*(5), 308–320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

Brouwer, M. T. M. T. M. T., Thoden van Velzen, E. U. E. U. E. U., Augustinus, A., Soethoudt, H., Ragaert, K., van Velzen, E. U. T., … Ragaert, K. (2018). Predictive model for the Dutch post-consumer plastic packaging recycling system and implications for the circular economy. *Waste Management*, *71*, 62–85. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.034

Cumming, G., Fidler, F., & Vaux, D. L. (2007). Error bars in experimental biology. *The Journal of Cell Biology*, *177*(1), 7–11.

de Leeuw, M., & Koelemeijer, R. (2022). *DECARBONISATION OPTIONS FOR THE DUTCH WASTE INCINERATION INDUSTRY*. Retrieved from www.pbl.nl/en.

Driel, J. van. (2018). *De matrasketen. Cijfers, drempels en kansen voor circulaire matrassen*.

European Commission. Regulation of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste (2022).

European Parliament. (2023). Revision of the Packaging and Packaging Waste Directive - Briefing EU Legislation in Progress. Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/745707/EPRS_BRI(2023)745707_EN.pdf

Honig, E., Montfoort, J. A., Dröge, R., Guis, B., Baas, K., Huet, B. van, & Hunnik, O. R. van. (2023). *Methodology for the calculation of emissions to air from the sectors Energy, Industry and Waste*. Retrieved from https://www.emissieregistratie.nl/sites/default/files/2023-04/2023 (RIVM) Methodology report Energy Industry and Waste ER 1990-2021.pdf

Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., … van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016 - A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization. *National Institute for Public Health and the Environment*, 194.

RWS (2023). E-mail: RE: verzoek mbt export naar R1/D10. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Inspectie Leefomgeving en Transport. (2023). EVOA kennisgevingen. Retrieved from https://www.ilent.nl/onderwerpen/afvaltransport-evoa/documenten/leefomgeving-en-wonen/afval/afvaltransport-evoa/publicaties/evoa-kennisgevingen

ISO. (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (EN ISO 14044:2006). Brussels: CEN (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION).

ISO. (2022). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (EN ISO 14040:2006). Brussels: CEN (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION).

Klink, L. Van, & Gemert, L. van. (2021). *Actualisatie toekomstscenario’s voor afvalverbranding in Nederland*. Retrieved from https://www.eerstekamer.nl/overig/20210520/actualisatie_toekomstscenario_s/document

Klooster, R. ten. (2023). Every inhabitant in the Netherlands uses 415 grams of packaging material per day. Retrieved from https://www.linkedin.com/posts/roland-ten-klooster-8b6663_every-inhabitant-in-the-netherlands-uses-activity-7117157569395077120-8tgy?utm_source=share&utm_medium=member_desktop

Lange, J., Kersten, S. R. A., De Meester, S., van Eijk, M. C. P., & Ragaert, K. (2024). Plastic recycling stripped naked – from circular product to circular industry with recycling cascade. *ChemSusChem*, *202301320*. https://doi.org/10.1002/cssc.202301320

Meylan, G., Haupt, M., Duygan, M., Hellweg, S., & Stauffacher, M. (2018). Linking energy scenarios and waste storylines for prospective environmental assessment of waste management systems. *Waste Management*, *81*, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.017

Milieu Centraal. (2021). Afval scheiden: cijfers en kilo's. Retrieved from https://www.milieucentraal.nl/minder-afval/afval-scheiden/afval-scheiden-cijfers-en-kilos/#:~:text=In Nederland produceren we jaarlijks,en drinkpakken zijn in opmars.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Raamovereenkomst tussen I&M, het verpakkende bedrijfsleven en de VNG over de aanpak van de dossiers verpakkingen en zwerfafval voor de jaren 2013 t/m 2022 (2013). Retrieved from http://www.afvalfondsverpakkingen.nl/fileadmin/downloads/Raamovereenkomst_verpakkingen_2013-2022.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021a). Kennisgeving van het algemeen verbindend verklaren van de overeenkomst inzake de afvalbeheerbijdrage voor Matrassen, (49806), 1–17.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021b). LAP3 - Bijlage 3; Lijst van gebruikte termen, begrippen en definities. Retrieved from https://lap3.nl/publish/pages/121777/lap3_f03_begrippen_02-03-2021.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021c). Overig afval. Retrieved from https://lap3.nl/sectorplannen/overig-afval/

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021d). Sectorplan 01 Huishoudelijk restafval (fijn en grof). Retrieved from https://lap3.nl/publish/pages/121801/lap3_sp01_huishoudelijk_restafval_ttw2.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). Regelgeving voor circulaire plastics. Retrieved from https://www.nederlandcirculairin2050.nl/nationaal-programma-circulaire-economie/regelgeving-voor-circulaire-plastics

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, & Rijkswaterstaat. (2021). Sectorplan 02 Restafval van bedrijven. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Retrieved from https://lap3.nl/publish/pages/120609/lap3_sp02_restafval_bedrijven_ttw2.pdf

OECD. (2024). Real GDP long-term forecast. Retrieved from https://data.oecd.org/gdp/real-gdp-long-term-forecast.htm#indicator-chart.

Ooms, J., Schraa, C., & Waart, W. de. (2023). *Onderzoek naar invoering van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid voor luiers en incontinentiemateriaal Verantwoording*.

Otten, M. B. J. (Matthijs), & Bergsma, G. C. (Geert). (2010). *Beter één AVI met een hoog rendement dan één dichtbij. Hoeveel transport van afval is nuttig voor een hoger energierendement?* Delft.

PBL. (2023). *Klimaat- en Energieverkenning 2023. Ramingen van broeikasgasemissies, energiebesparing en hernieuwbare energie op hoofdlijnen*. Retrieved from https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2023-klimaat-en-energieverkenning-2023-5243.pdf

RICHTLIJN 2008/98/EG. (2024). Richtlijn 2008/98/EG van het Europees parlement en de raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen (OJ L312/3). *Official Journal of the European Union*, *35*(L312), 3–30. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20240218

Rijkswaterstaat. (2022). *Samenstelling van het huishoudelijk restafval, sorteeranalyses 2021.*

Gemiddelde driejaarlijkse samenstelling 2020. Retrieved from https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@246066/samenstelling-huishoudelijk-restafval/

Rijkswaterstaat. (2023). Afvaldatabase. Retrieved from https://afvalmonitor.databank.nl/Jive/Jive?cat_open=Landelijk niveau

Staatscommissie Demografische Ontwikkelingen 2050. (2024). *Gematigde groei– Rapport van de Staatscommissie Demografische Ontwikkelingen 2050*.

Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat. Besluit 17 juni 2021 wijziging van Richtlijn 94/62/EG betreffende verpakking en verpakkingsafval, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden § (2021).

Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat. Besluit uitgebreide producentenverantwoordelijkheid textiel, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden § (2023).

Stichting Bouwkwaliteit. (2019). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken. Versie 3.0*. Rijswijk. Retrieved from https://milieudatabase.nl/media/filer_public/59/62/5962a73e-4a26-46b8-8681-78ae6ccbb2a5/sbk-bepalingsmethode-versie-30-1-januari-2019.pdf

VANG-HHA. (2022). *Uitvoeringsprogramma VANG - Huishoudelijk Afval. Herijking voor de periode t/m 2025*. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2022/03/10/bijlage-uitvoeringsprogramma-vang-hha-2021-2025/bijlage-uitvoeringsprogramma-vang-hha-2021-2025.pdf

VROM-Inspectie. (2011). *Naleving Minimumstandaard LAP voor Restfractie Grof Huishoudelijk Afval. Naar hergebruik van grof huishoudelijk restafval*. Retrieved from https://vang-hha.nl/publish/pages/106607/naleving_minimumstandaards_lap_voor_restfractie_grof_huishoudelijk_afval_naar_hergebruik_van_gha_vro.pdf

Werkgroep Afvalregistratie. (2018). *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2017*.

Werkgroep Afvalregistratie. (2020). *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2018*. Utrecht. Retrieved from https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/helpdesk-afvalbeheer/publicaties/downloads/downloads-0/afvalverwerking-nederland-gegevens-2018/

Werkgroep Afvalregistratie. (2023). *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2021*. Utrecht: Rijkswaterstaat. Retrieved from https://www.afvalcirculair.nl/publish/library/316/naic-2006-2016-1-0.pdf

Ondertekening

TNO Energy & Materials Transition Utrecht, 1 november 2024

ValidSigned by Gerard van der Laan
on 2024-12-05 08:10:18

Gerard van der Laan
Research Manager

ValidSigned by Arjan van Horssen
on 2024-12-05 08:26:44

Arjan van Horssen
Project Manager

Bijlage A

Tabellen resultaten milieuberekeningen

Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Huidige situatie (energiemix 2021) - deel 1								
Effectcategorie	Eenheid	Fractie Gemengd stedelijk afval	Fractie (Grof) huishoudelijk afval	Fractie Bedrijfsafval (HDO)	Fractie Industrieel afval, niet gevaarlijk	Fractie Overig afval	Fractie Reinigings-dienstafval	Fractie Residu composteren/ vergisten
Global warming	kg CO2 eq	1,41E+09	1,39E+08	3,00E+08	4,44E+05	9,69E+07	9,34E+06	4,25E+06
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2,17E+03	3,59E+02	4,64E+02	7,39E+00	1,50E+02	1,44E+01	7,07E+01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,83E+05	1,79E+04	3,90E+04	7,16E+02	1,26E+04	1,21E+03	6,86E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	1,05E+06	1,35E+05	2,24E+05	3,09E+03	7,22E+04	6,95E+03	2,96E+04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,83E+05	2,12E+04	3,92E+04	6,14E+02	1,26E+04	1,22E+03	5,88E+03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	1,06E+06	1,36E+05	2,26E+05	3,13E+03	7,29E+04	7,03E+03	3,00E+04
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,99E+05	6,18E+04	1,07E+05	1,58E+03	3,44E+04	3,32E+03	1,51E+04
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,28E+04	1,08E+03	2,73E+03	3,11E+01	8,80E+02	8,48E+01	2,98E+02
Marine eutrophication	kg N eq	3,54E+04	1,96E+03	7,58E+03	4,16E+01	2,44E+03	2,36E+02	3,98E+02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,78E+09	2,62E+08	5,94E+08	9,70E+05	1,92E+08	1,85E+07	9,29E+06
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	8,62E+06	2,31E+05	1,84E+06	9,16E+02	5,95E+05	5,73E+04	8,77E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,38E+07	5,28E+05	2,95E+06	1,84E+03	9,51E+05	9,17E+04	1,77E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,28E+07	1,35E+07	4,87E+06	2,42E+04	1,57E+06	1,51E+05	2,32E+05
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,32E+08	7,88E+06	4,96E+07	8,93E+05	1,60E+07	1,54E+06	8,56E+06
Land use	m2a crop eq	1,19E+06	1,09E+05	2,55E+05	4,60E+03	8,21E+04	7,92E+03	4,40E+04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	5,23E+05	5,09E+04	1,12E+05	2,01E+03	3,61E+04	3,47E+03	1,93E+04
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1,81E+07	1,77E+06	3,87E+06	6,02E+04	1,25E+06	1,20E+05	5,76E+05
Water consumption	m3	2,51E+06	5,68E+05	5,36E+05	1,04E+04	1,73E+05	1,67E+04	1,00E+05

Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Huidige situatie (energiemix 2021) - deel 2								
Effectcategorie	Eenheid	Fractie Scheidings-residuen	Fractie Gevaarlijk afval, niet gespecificeerd	Geëxporteerd afval	Transport van Afvalinzameling	Transport naar AVI	Totaal vermeden energie	Totaal
Global warming	kg CO2 eq	7,01E+08	4,16E+08	3,50E+08	1,07E+08	1,37E+08	-2,64E+09	1,03E+09
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	5,22E+02	1,10E+02	5,41E+02	4,50E+01	6,66E+01	-8,81E+02	3,64E+03
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	6,02E+04	4,95E+05	4,55E+04	3,59E+04	1,67E+05	-1,17E+07	-1,06E+07
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3,23E+05	3,08E+05	2,60E+05	6,68E+05	4,15E+05	-2,70E+06	7,89E+05
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	5,77E+04	1,56E+05	4,56E+04	1,24E+05	1,20E+05	-7,36E+05	3,23E+04
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	3,27E+05	3,30E+05	2,63E+05	7,21E+05	4,43E+05	-2,88E+06	7,35E+05
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,56E+05	3,42E+05	1,24E+05	2,50E+05	2,58E+05	-2,06E+06	-2,06E+05
Freshwater eutrophication	kg P eq	4,81E+03	9,21E+03	3,18E+03	3,02E+02	1,32E+03	-6,64E+04	-2,97E+04
Marine eutrophication	kg N eq	3,01E+03	3,82E+03	8,82E+03	2,06E+03	3,06E+03	-4,92E+03	6,39E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,01E+09	3,67E+08	6,92E+08	1,08E+08	2,15E+09	-9,55E+08	7,24E+09
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,32E+06	1,95E+06	2,15E+06	5,44E+04	3,86E+05	-4,06E+05	1,68E+07
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,53E+06	2,89E+06	3,43E+06	1,90E+05	1,70E+06	-1,32E+06	2,77E+07
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,44E+06	1,14E+07	5,67E+06	3,11E+05	1,67E+06	-1,01E+07	5,55E+07
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	6,35E+07	7,78E+07	5,77E+07	5,72E+06	4,05E+07	-2,03E+08	3,59E+08
Land use	m2a crop eq	4,21E+05	1,92E+06	2,96E+05	7,79E+05	5,46E+06	-4,33E+07	-3,28E+07
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,76E+05	2,91E+05	1,30E+05	5,98E+04	3,56E+05	-1,95E+06	-1,87E+05
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5,80E+06	4,14E+07	4,50E+06	2,84E+07	4,33E+07	-8,19E+08	-6,70E+08
Water consumption	m3	1,19E+06	1,40E+06	6,24E+05	1,82E+05	2,71E+05	-1,16E+07	-4,03E+06

Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Basispad (energiemix 2030) - deel 1								
Effectcategorie	Eenheid	Fractie Gemengd stedelijk afval	Fractie (Grof) huishoudelijk afval	Fractie Bedrijfsafval (HDO)	Fractie Industrieel afval, niet gevaarlijk	Fractie Overig afval	Fractie Reinigings-dienstafval	Fractie Residu composteren/ vergisten
Global warming	kg CO2 eq	1,37E+09	1,18E+08	2,93E+08	3,75E+05	8,21E+07	7,91E+06	3,60E+06
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1,61E+03	3,03E+02	3,44E+02	6,25E+00	1,27E+02	1,22E+01	5,99E+01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,56E+05	1,51E+04	3,34E+04	6,06E+02	1,07E+04	1,03E+03	5,80E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	8,60E+05	1,14E+05	1,84E+05	2,62E+03	6,11E+04	5,89E+03	2,51E+04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,51E+05	1,79E+04	3,23E+04	5,20E+02	1,07E+04	1,03E+03	4,98E+03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	8,69E+05	1,15E+05	1,86E+05	2,65E+03	6,17E+04	5,95E+03	2,54E+04
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,11E+05	5,23E+04	8,78E+04	1,34E+03	2,92E+04	2,81E+03	1,28E+04
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,18E+04	9,12E+02	2,51E+03	2,63E+01	7,45E+02	7,18E+01	2,52E+02
Marine eutrophication	kg N eq	3,16E+04	1,66E+03	6,76E+03	3,52E+01	2,07E+03	1,99E+02	3,37E+02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,64E+09	2,22E+08	5,65E+08	8,21E+05	1,62E+08	1,56E+07	7,87E+06
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	9,70E+06	1,96E+05	2,07E+06	7,75E+02	5,04E+05	4,85E+04	7,42E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,51E+07	4,47E+05	3,24E+06	1,56E+03	8,05E+05	7,76E+04	1,50E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,46E+07	1,14E+07	3,13E+06	2,05E+04	1,33E+06	1,28E+05	1,96E+05
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,09E+08	6,67E+06	4,47E+07	7,56E+05	1,35E+07	1,31E+06	7,24E+06
Land use	m2a crop eq	1,00E+06	9,19E+04	2,14E+05	3,89E+03	6,95E+04	6,70E+03	3,73E+04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	4,34E+05	4,31E+04	9,29E+04	1,70E+03	3,05E+04	2,94E+03	1,63E+04
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1,54E+07	1,50E+06	3,28E+06	5,09E+04	1,06E+06	1,02E+05	4,88E+05
Water consumption	m3	2,13E+06	4,81E+05	4,56E+05	8,84E+03	1,46E+05	1,41E+04	8,47E+04

Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Basispad (energiemix 2030) - deel 2								
Effectcategorie	Eenheid	Fractie Scheidings-residuen	Fractie Gevaarlijk afval, niet gespecificeerd	Geëxporteerd afval	Transport van Afvalinzameling	Transport naar AVI	Totaal vermeden energie	Totaal
Global warming	kg CO2 eq	5,43E+08	3,52E+08	3,41E+08	9,02E+07	1,16E+08	-1,44E+09	1,88E+09
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	4,36E+02	9,34E+01	4,00E+02	3,81E+01	5,64E+01	-4,19E+02	3,06E+03
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	5,03E+04	4,19E+05	3,89E+04	3,04E+04	1,42E+05	-3,65E+06	-2,75E+06
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,67E+05	2,61E+05	2,14E+05	5,65E+05	3,51E+05	-1,37E+06	1,54E+06
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	4,79E+04	1,32E+05	3,76E+04	1,05E+05	1,02E+05	-4,18E+05	2,25E+05
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,70E+05	2,79E+05	2,16E+05	6,11E+05	3,75E+05	-1,51E+06	1,51E+06
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,29E+05	2,90E+05	1,02E+05	2,12E+05	2,19E+05	-1,08E+06	4,65E+05
Freshwater eutrophication	kg P eq	3,96E+03	7,80E+03	2,93E+03	2,55E+02	1,12E+03	-8,91E+03	2,34E+04
Marine eutrophication	kg N eq	2,52E+03	3,23E+03	7,87E+03	1,74E+03	2,59E+03	-3,45E+03	5,72E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	7,06E+08	3,11E+08	6,58E+08	9,10E+07	1,82E+09	-3,00E+09	4,21E+09
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,07E+06	1,65E+06	2,42E+06	4,61E+04	3,26E+05	-3,96E+05	1,76E+07
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,96E+06	2,44E+06	3,77E+06	1,60E+05	1,44E+06	-2,15E+06	2,73E+07
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,92E+06	9,61E+06	3,64E+06	2,63E+05	1,41E+06	-1,17E+07	3,71E+07
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	5,19E+07	6,59E+07	5,21E+07	4,85E+06	3,43E+07	-1,96E+08	2,97E+08
Land use	m2a crop eq	3,52E+05	1,63E+06	2,50E+05	6,59E+05	4,62E+06	-5,88E+07	-4,99E+07
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,46E+05	2,46E+05	1,08E+05	5,07E+04	3,02E+05	-3,12E+06	-1,64E+06
Fossil resource scarcity	kg oil eq	4,83E+06	3,51E+07	3,82E+06	2,40E+07	3,66E+07	-4,59E+08	-3,32E+08
Water consumption	m3	9,80E+05	1,19E+06	5,31E+05	1,54E+05	2,30E+05	-5,00E+06	1,41E+06

Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Beleidspad (energiemix 2030) - deel 1								
Effectcategorie	Eenheid	Fractie Gemengd stedelijk afval	Fractie (Grof) huishoudelijk afval	Fractie Bedrijfsafval (HDO)	Fractie Industrieel afval, niet gevaarlijk	Fractie Overig afval	Fractie Reinigings-dienstafval	Fractie Residu composteren/ vergisten
Global warming	kg CO2 eq	9,93E+08	1,18E+08	2,12E+08	3,75E+05	8,21E+07	7,90E+06	3,60E+06
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1,16E+03	3,04E+02	2,49E+02	6,25E+00	1,27E+02	1,22E+01	5,99E+01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	1,13E+05	1,51E+04	2,42E+04	6,06E+02	1,07E+04	1,03E+03	5,81E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	6,23E+05	1,14E+05	1,33E+05	2,62E+03	6,11E+04	5,88E+03	2,51E+04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,09E+05	1,79E+04	2,34E+04	5,20E+02	1,07E+04	1,03E+03	4,98E+03
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	6,30E+05	1,15E+05	1,35E+05	2,65E+03	6,17E+04	5,94E+03	2,54E+04
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2,98E+05	5,24E+04	6,37E+04	1,34E+03	2,92E+04	2,80E+03	1,28E+04
Freshwater eutrophication	kg P eq	8,52E+03	9,12E+02	1,82E+03	2,63E+01	7,45E+02	7,17E+01	2,52E+02
Marine eutrophication	kg N eq	2,29E+04	1,66E+03	4,90E+03	3,52E+01	2,07E+03	1,99E+02	3,37E+02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,92E+09	2,22E+08	4,10E+08	8,21E+05	1,62E+08	1,56E+07	7,87E+06
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	7,03E+06	1,96E+05	1,50E+06	7,75E+02	5,04E+05	4,84E+04	7,43E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,10E+07	4,47E+05	2,35E+06	1,56E+03	8,05E+05	7,75E+04	1,50E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,06E+07	1,14E+07	2,27E+06	2,05E+04	1,33E+06	1,28E+05	1,96E+05
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,52E+08	6,67E+06	3,24E+07	7,56E+05	1,35E+07	1,30E+06	7,25E+06
Land use	m2a crop eq	7,27E+05	9,20E+04	1,55E+05	3,89E+03	6,95E+04	6,69E+03	3,73E+04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	3,15E+05	4,31E+04	6,73E+04	1,70E+03	3,05E+04	2,94E+03	1,63E+04
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1,11E+07	1,50E+06	2,38E+06	5,09E+04	1,06E+06	1,02E+05	4,88E+05
Water consumption	m3	1,55E+06	4,81E+05	3,31E+05	8,84E+03	1,46E+05	1,41E+04	8,47E+04

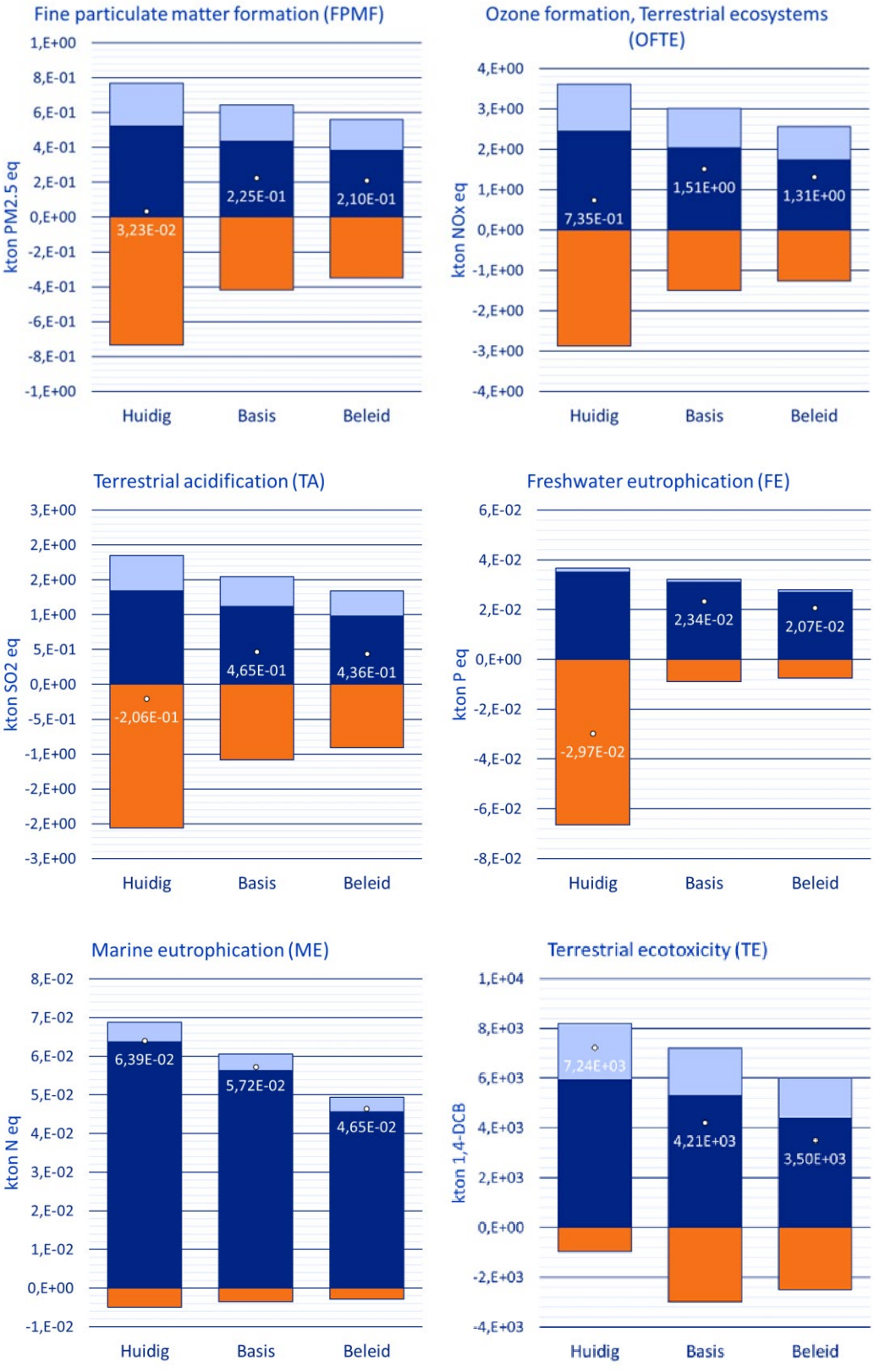
Totaal afvalverbranding van afvalinzameling tot verbranding – Beleidspad (energiemix 2030) - deel 2								
Effectcategorie	**Eenheid**	**Fractie Scheidings-residuen**	**Fractie Gevaarlijk afval, niet gespecificeerd**	**Geëxporteerd afval**	**Transport van Afvalinzameling**	**Transport naar AVI**	**Totaal vermeden energie**	**Totaal**
Global warming	kg CO2 eq	5,29E+08	3,52E+08	3,41E+08	7,63E+07	9,83E+07	-1,20E+09	1,61E+09
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	4,25E+02	9,34E+01	4,00E+02	3,23E+01	4,77E+01	-3,50E+02	2,57E+03
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	4,91E+04	4,19E+05	3,89E+04	2,57E+04	1,20E+05	-3,06E+06	-2,23E+06
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,60E+05	2,61E+05	2,14E+05	4,78E+05	2,97E+05	-1,15E+06	1,33E+06
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	4,67E+04	1,32E+05	3,76E+04	8,88E+04	8,62E+04	-3,50E+05	2,10E+05
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,63E+05	2,80E+05	2,16E+05	5,16E+05	3,18E+05	-1,26E+06	1,31E+06
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1,26E+05	2,90E+05	1,02E+05	1,79E+05	1,85E+05	-9,06E+05	4,36E+05
Freshwater eutrophication	kg P eq	3,86E+03	7,80E+03	2,93E+03	2,16E+02	9,45E+02	-7,45E+03	2,07E+04
Marine eutrophication	kg N eq	2,45E+03	3,23E+03	7,87E+03	1,47E+03	2,19E+03	-2,89E+03	4,65E+04
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6,88E+08	3,11E+08	6,58E+08	7,70E+07	1,54E+09	-2,51E+09	3,50E+09
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,04E+06	1,65E+06	2,42E+06	3,90E+04	2,76E+05	-3,31E+05	1,44E+07
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,91E+06	2,45E+06	3,77E+06	1,36E+05	1,22E+06	-1,80E+06	2,23E+07
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,84E+06	9,62E+06	3,64E+06	2,23E+05	1,20E+06	-9,76E+06	3,38E+07
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	5,06E+07	6,59E+07	5,21E+07	4,10E+06	2,90E+07	-1,64E+08	2,52E+08
Land use	m2a crop eq	3,43E+05	1,63E+06	2,50E+05	5,58E+05	3,91E+06	-4,92E+07	-4,14E+07
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,42E+05	2,46E+05	1,08E+05	4,28E+04	2,55E+05	-2,61E+06	-1,33E+06
Fossil resource scarcity	kg oil eq	4,71E+06	3,51E+07	3,82E+06	2,03E+07	3,10E+07	-3,84E+08	-2,72E+08
Water consumption	m3	9,55E+05	1,19E+06	5,32E+05	1,30E+05	1,94E+05	-4,18E+06	1,44E+06

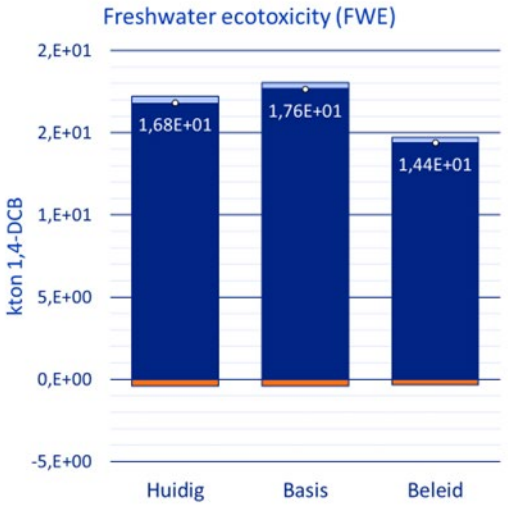
Bijlage B
Grafieken vergelijkingen

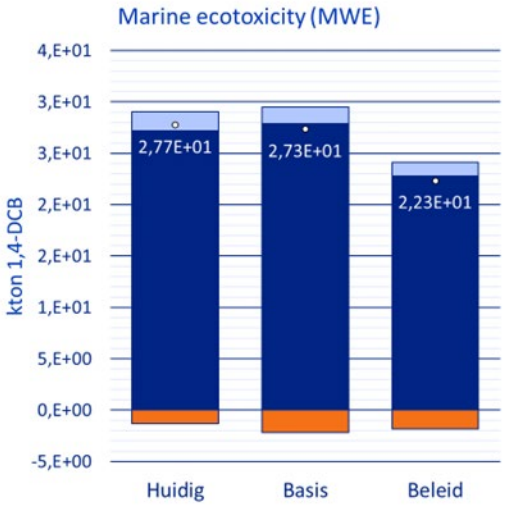
Legenda van de grafieken:

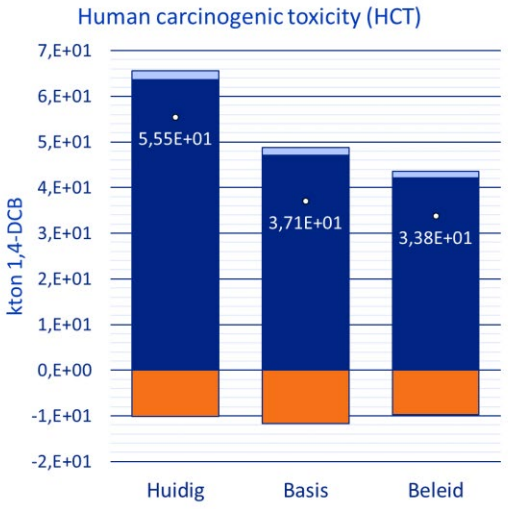
- Transport
- Verbrandingsemissies
- Vermeden energie
- Totaal

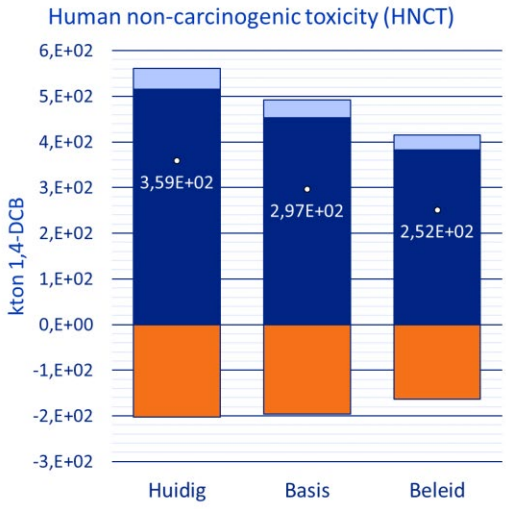
Huidig = Huidige situatie (energiemix 2021)
Basis = Basispad (energiemix 2030)
Beleid = Beleidspad (energiemix 2030)

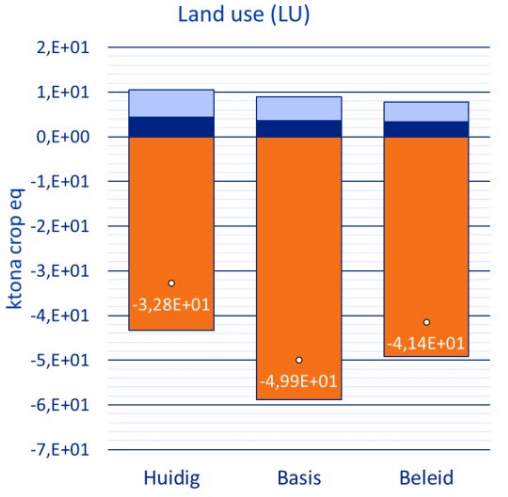

Fine particulate matter formation (FPMF)
kton PM2.5 eq
1,E+00
8,E-01
6,E-01
4,E-01
2,E-01
0,E+00
-2,E-01
-4,E-01
-6,E-01
-8,E-01
-1,E+00
3,23E-02
2,25E-01
2,10E-01
Huidig
Basis
Beleid
Ozone formation, Terrestrial ecosystems (OFTE)
kton NOx eq
4,E+00
3,E+00
2,E+00
1,E+00
0,E+00
-1,E+00
-2,E+00
-3,E+00
-4,E+00
7,35E-01
1,51E+00
1,31E+00
Huidig
Basis
Beleid
Terrestrial acidification (TA)
kton SO2 eq
3,E+00
2,E+00
2,E+00
1,E+00
5,E-01
0,E+00
-5,E-01
-1,E+00
-2,E+00
-2,E+00
-3,E+00
-2,06E-01
4,65E-01
4,36E-01
Huidig
Basis
Beleid
Freshwater eutrophication (FE)
kton P eq
6,E-02
4,E-02
2,E-02
0,E+00
-2,E-02
-4,E-02
-6,E-02
-8,E-02
-2,97E-02
2,34E-02
2,07E-02
Huidig
Basis
Beleid
Marine eutrophication (ME)
kton N eq
8,E-02
7,E-02
6,E-02
5,E-02
4,E-02
3,E-02
2,E-02
1,E-02
0,E+00
-1,E-02
6,39E-02
5,72E-02
4,65E-02
Huidig
Basis
Beleid
Terrestrial ecotoxicity (TE)
kton 1,4-DCB
1,E+04
8,E+03
6,E+03
4,E+03
2,E+03
0,E+00
-2,E+03
-4,E+03
7,24E+03
4,21E+03
3,50E+03
Huidig
Basis
Beleid

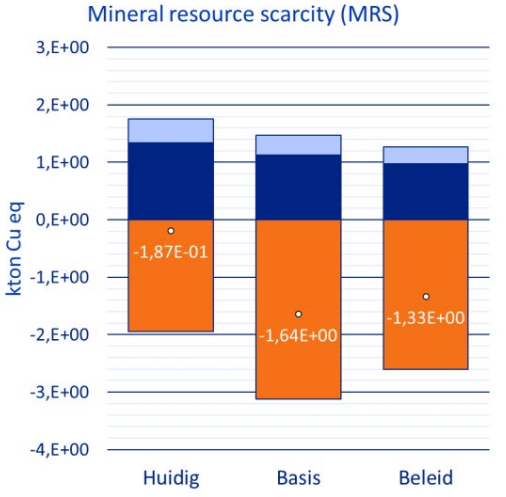

Freshwater ecotoxicity (FWE)
kton 1,4-DCB
2,E+01
2,E+01
1,E+01
5,E+00
0,E+00
-5,E+00
1,68E+01
1,76E+01
1,44E+01
Huidig
Basis
Beleid

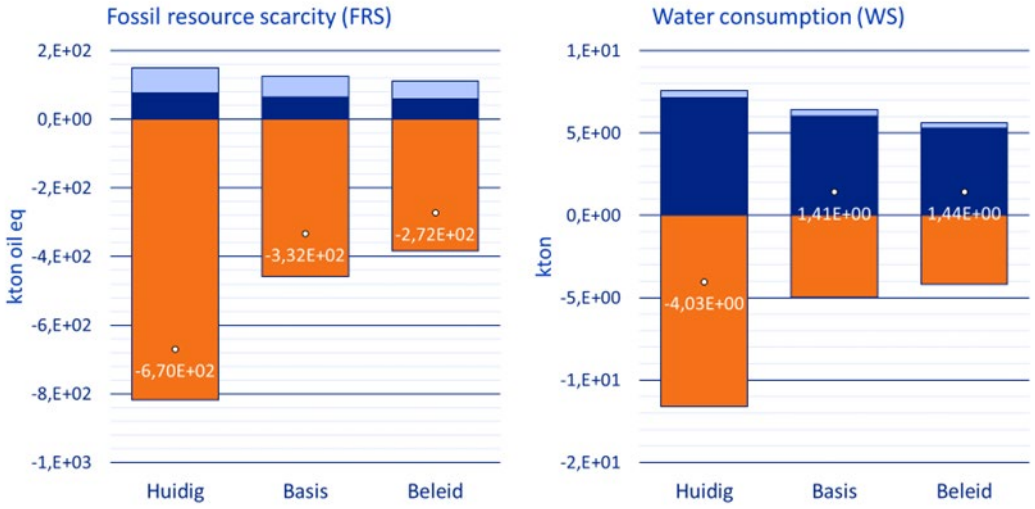

Marine ecotoxicity (MWE)
kton 1,4-DCB
4,E+01
3,E+01
3,E+01
2,E+01
2,E+01
1,E+01
5,E+00
0,E+00
-5,E+00
2,77E+01
2,73E+01
2,23E+01
Huidig
Basis
Beleid


Human carcinogenic toxicity (HCT)
kton 1,4-DCB
7,E+01
6,E+01
5,E+01
4,E+01
3,E+01
2,E+01
1,E+01
0,E+00
-1,E+01
-2,E+01
5,55E+01
3,71E+01
3,38E+01
Huidig
Basis
Beleid


Human non-carcinogenic toxicity (HNCT)
kton 1,4-DCB
6,E+02
5,E+02
4,E+02
3,E+02
2,E+02
1,E+02
0,E+00
-1,E+02
-2,E+02
-3,E+02
3,59E+02
2,97E+02
2,52E+02
Huidig
Basis
Beleid


Land use (LU)
ktona crop eq
2,E+01
1,E+01
0,E+00
-1,E+01
-2,E+01
-3,E+01
-4,E+01
-5,E+01
-6,E+01
-7,E+01
-3,28E+01
-4,99E+01
-4,14E+01
Huidig
Basis
Beleid


Mineral resource scarcity (MRS)
kton Cu eq
3,E+00
2,E+00
1,E+00
0,E+00
-1,E+00
-2,E+00
-3,E+00
-4,E+00
-1,87E-01
-1,64E+00
-1,33E+00
Huidig
Basis
Beleid


Fossil resource scarcity (FRS)
kton oil eq
2,E+02
0,E+00
-2,E+02
-4,E+02
-6,E+02
-8,E+02
-1,E+03
-6,70E+02
-3,32E+02
-2,72E+02
Huidig
Basis
Beleid
Water consumption (WS)
kton
1,E+01
5,E+00
0,E+00
-5,E+00
-1,E+01
-2,E+01
-4,03E+00
1,41E+00
1,44E+00
Huidig
Basis
Beleid

Bijlage C

Tabellen resultaten milieuberekeningen Scenario's

Vergelijking Basispad en Beleidspad t.o.v. de huidige situatie							
Effectcategorie	**Eenheid**	**Huidige situatie 2021 (energiemix 2021)**		**Basispad 2030 (energiemix 2030)**		**Beleidspad 2030 (energiemix 2030)**	
Global warming	kg CO2 eq	1,03E+09	100%	1,88E+09	182%	1,61E+09	156%
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	3,64E+03	100%	3,06E+03	84%	2,57E+03	71%
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	-1,06E+07	-100%	-2,75E+06	-26%	-2,23E+06	-21%
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	7,89E+05	100%	1,54E+06	195%	1,33E+06	168%
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	3,23E+04	100%	2,25E+05	698%	2,10E+05	651%
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	7,35E+05	100%	1,51E+06	206%	1,31E+06	178%
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	-2,06E+05	-100%	4,65E+05	226%	4,36E+05	212%
Freshwater eutrophication	kg P eq	-2,97E+04	-100%	2,34E+04	79%	2,07E+04	70%
Marine eutrophication	kg N eq	6,39E+04	100%	5,72E+04	89%	4,65E+04	73%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	7,24E+09	100%	4,21E+09	58%	3,50E+09	48%
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,68E+07	100%	1,76E+07	105%	1,44E+07	86%
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,77E+07	100%	2,73E+07	99%	2,23E+07	81%
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	5,55E+07	100%	3,71E+07	67%	3,38E+07	61%
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,59E+08	100%	2,97E+08	83%	2,52E+08	70%
Land use	m2a crop eq	-3,28E+07	-100%	-4,99E+07	-152%	-4,14E+07	-126%
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	-1,87E+05	-100%	-1,64E+06	-880%	-1,33E+06	-715%
Fossil resource scarcity	kg oil eq	-6,70E+08	-100%	-3,32E+08	-50%	-2,72E+08	-41%
Water consumption	m3	-4,03E+06	-100%	1,41E+06	35%	1,44E+06	36%

Bijlage D

Tabellen resultaten milieuberekeningen Gevoeligheidsanalyses

Gevoeligheidsanalyes- vergelijking t.o.v. Beleidspad									
Effectcategorie	**Eenheid**	**Beleidspad**		**Beleidspad - toename biobased plastics (30%)**		**Beleidspad - Efficiency AVI's 19% elektrisch, 36% warmte**		**Beleidspad - Efficiency AVI's 16,1% elektrisch, 53,9% warmte**	
Global warming	kg CO2 eq	1,61E+09	100%	1,44E+09	89%	9,31E+08	58%	3,18E+08	20%
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2,57E+03	100%	2,57E+03	100%	2,45E+03	95%	2,41E+03	94%
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	-2,23E+06	-100%	-2,23E+06	-100%	-3,00E+06	-135%	-2,88E+06	-129%
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	1,33E+06	100%	1,33E+06	100%	7,59E+05	57%	3,13E+05	24%
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	2,10E+05	100%	2,10E+05	100%	7,04E+04	33%	-6,03E+03	-3%
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	1,31E+06	100%	1,31E+06	100%	6,66E+05	51%	1,49E+05	11%
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,36E+05	100%	4,36E+05	100%	7,59E+04	17%	-1,17E+05	-27%
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,07E+04	100%	2,07E+04	100%	1,78E+04	86%	1,64E+04	79%
Marine eutrophication	kg N eq	4,65E+04	100%	4,65E+04	100%	4,56E+04	98%	4,56E+04	98%
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3,50E+09	100%	3,50E+09	100%	2,94E+09	84%	3,15E+09	90%
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,44E+07	100%	1,44E+07	100%	1,43E+07	99%	1,42E+07	99%
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,23E+07	100%	2,23E+07	100%	2,18E+07	98%	2,18E+07	98%
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,38E+07	100%	3,38E+07	100%	3,02E+07	89%	2,87E+07	85%
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2,52E+08	100%	2,52E+08	100%	2,14E+08	85%	2,26E+08	90%
Land use	m2a crop eq	-4,14E+07	-100%	-4,14E+07	-100%	-5,14E+07	-124%	-4,53E+07	-109%
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	-1,33E+06	-100%	-1,33E+06	-100%	-2,14E+06	-160%	-2,29E+06	-172%
Fossil resource scarcity	kg oil eq	-2,72E+08	-100%	-2,72E+08	-100%	-4,99E+08	-183%	-7,10E+08	-261%
Water consumption	m3	1,44E+06	100%	1,44E+06	100%	3,98E+05	28%	5,96E+05	42%

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation for life