

Klimaatimpact van verwerkingsroutes van bedrijfsafval

Achtergrondrapport bij
CO2emissiefactoren.nl



Klimaatimpact van verwerkingsroutes van bedrijfsafval

Achtergrondrapport bij CO2emissiefactoren.nl

Dit rapport is geschreven door:
Marijn Bijleveld en Indy Broekhuizen

Delft, CE Delft, maart 2026

Publicatienummer: 26.250222.044

Oprachtgever: Rijkswaterstaat, Stimular en
Vereniging Afvalbedrijven

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn
verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Marijn Bijleveld (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Totstandkoming: betrokkenen	5
1.3	CO ₂ -emissiefactoren van bedrijfsafvalstromen naar recycling en finale afvalverwerking	5
1.4	Aanpak op hoofdlijnen	6
1.5	Methodiek en systeemgrenzen voor divers gebruik van de CO ₂ -emissiefactoren	7
1.6	Leeswijzer	11
2	Methodiek: afbakening en aanpak	12
2.1	Afbakening	12
2.2	CO ₂ -emissiefactoren: klimaatimpact	15
2.3	Aanpak: inventarisatie van gegevens en koppeling aan milieukundige informatie	16
2.4	Achterliggende milieukundige informatie	17
2.5	Beoordeling dataherkomst en representativiteit	17
3	Toelichting recycling van materiaalstromen	19
3.1	Kunststoffen	19
3.2	Papier en karton	20
3.3	Bouw- en sloopafval	20
3.4	Puin	21
3.5	Hout: A- en B-hout	21
3.6	Metalen	21
3.7	Glas - verpakkingsglas	22
3.8	Groenafval	22
4	Resultaat: CO₂-emissiefactoren	24
4.1	Finale afvalverwerking	24
4.2	Recyclingroutes: gescheiden inzameling, sortering, recycling	26
4.3	Rekenvoorbeeld voor CSRD-rapportage	31
A	Achtergronden bij de berekening van de CO₂-emissiefactoren	32
	Literatuur	37

1 Inleiding

Samenvatting

Dit rapport is het achtergrondrapport bij de CO₂-emissiefactoren van afvalverwerking die op de website [CO2emissiefactoren.nl](https://co2emissiefactoren.nl) staan. Het betreft verwerking van materiaal-stromen die bij bedrijven vrijkomen. Die gaan ofwel naar verbranding of ze worden opgewerkt en gerecycled en (deels) weer nuttig worden ingezet. De CO₂-emissiefactoren zijn het resultaat van dataverzameling bij bedrijven in de Nederlandse recycling- en afvalverwerkingsketen. De CO₂-emissiefactoren kunnen gebruikt worden voor: analyses volgens het Greenhouse Gas Protocol (zoals voor CSRD-rapportage) en voor ketenanalyses waarbij inzicht over de gehele verwerkingsketen gewenst is.

De CO₂-emissiefactoren voor verwerking van gescheiden ingezamelde stromen zijn ook van toepassing op gelijkaardige huishoudelijke stromen, zoals PMD, papier en karton, glas en hout. Gemeenten kunnen deze CO₂-emissiefactoren dus ook gebruiken.

1.1 Aanleiding

Er is vraag bij Nederlandse bedrijven naar CO₂-kentallen van recycling en verbranding van bedrijfsafval, zeker nu (grote) bedrijven verplicht zijn om conform de Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) te rapporteren over duurzame thema's. De website [CO2emissiefactoren.nl](https://co2emissiefactoren.nl) biedt een lijst aan CO₂-kentallen voor energiedragers en materialen, maar tot dusver nog niet voor afvalverwerking (verbranding of recycling). Rijkswaterstaat, de Vereniging Afvalbedrijven en Stichting Stimular willen daar verandering in brengen en hebben CE Delft gevraagd om recente, realistische CO₂-kentallen voor afvalverwerking van diverse bedrijfsafvalstromen te bepalen.

CO₂-emissiefactoren zijn opgesteld voor elf afvalstromen die vrijkomen bij bedrijven. Deze afvalstromen zijn soms onderverdeeld worden in specifiekere materialen, zoals typen kunststof of metaal. De CO₂-emissiefactoren zijn opgesteld aan de hand van recente praktijkgegevens van verschillende (met name Nederlandse) afvalsorteerders en verwerkers.

De CO₂-emissiefactoren voor afvalverwerking zijn te gebruiken voor:

- Berekeningen van afval, volgens de scope van het GHG Protocol, zoals voor CSRD-rapportage. Voor de recycleroutes is die scope: van vrijkomen van het afval tot en met de sortering, ter voorbereiding van recycling.
- CO₂-analyses van een product zoals levenscyclusanalyse, waarbij inzicht gewenst is in de hele keten, inclusief afvalverwerking tot aan de nuttige verkregen eindproducten.
- Gedetailleerd inzicht in verwerking van een specifieke materiaalstroom.

1.2 Totstandkoming: betrokkenen

De CO₂-emissiefactoren zijn het resultaat van dataverzameling bij Nederlandse bedrijven in de recycling- en afvalverwerkingsketen, en enkele Belgische bedrijven of vestigingen. De bedrijfsdata werden door CE Delft gekoppeld aan CO₂-emissiefactoren van energiedragers, hulpstoffen en transportmiddelen.

CE Delft bedankt alle betrokkenen bij dit project zonder wie de totstandkoming van dit rapport niet mogelijk was. Allereerst dank aan Stichting Stimular, Rijkswaterstaat en Vereniging Afvalbedrijven voor het opdragen van dit project. Ook dank aan de partijen Greenwaste en Lutz Consulting voor hun deelname aan de stuurgroep en hulp bij de inventarisatie van gegevens bij hun leden of partners. Tenslotte bedanken we alle inzamelaars, sorteerders en recyclers voor het aanleveren van bedrijfsgegevens over één of meerdere verwerkingsroutes.

1.3 CO₂-emissiefactoren van bedrijfsafvalstromen naar recycling en finale afvalverwerking

Afvalstromen die bij bedrijven worden ingezameld, worden doorgaans verder gesorteerd en gerecycled of verbrand met energierecuperatie. De verwerkingsroute hangt af van de aard van de afvalstroom (recyclebaar, brandbaar of niet) en of de materialen gescheiden worden gehouden bij de inzameling. Het Circulair Materialenplan, opvolger van het Landelijk afvalbeheerplan (LAP) schrijft voor wat de minimumstandaard is voor verwerking (Ministerie van I&W, 2025).

Dit rapport richt zich op de verwerkingsroutes die momenteel grootschalig in de praktijk worden toegepast, zoals mechanische recycling, compostering en vergisting. Technieken in ontwikkeling, zoals chemische recycling, zijn niet inbegrepen. Als deze in de toekomst gangbaar worden, kunnen ze later worden toegevoegd. Soms is hergebruik van producten een optie, maar dit valt buiten de scope van het project.

Tabel 1 - Afvalstromen en verwerkingsroutes waarvoor CO₂-emissiefactoren zijn bepaald

Afvalstroom	Relevante verwerkingsroute(s)	Specificering naar type materiaal
HDO-restafval (handel, diensten en overheid; voorheen KWD-afval)	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding 	
HDO-restafval met nascheiding van PMD (plastics, metalen en dranken-kartons)	<ul style="list-style-type: none"> Recycling van nagescheiden materiaal + verbranding van restafval 	
Papier en karton	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding Sortering en recycling 	Verbranding: ook vertrouwelijk papier
Kunststoffen	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding Sortering en recycling 	Voor recycling: PET, PP, HDPE, LDPE-folies, PVC
PMD	<ul style="list-style-type: none"> Sortering en recycling 	
Bouw- en sloopafval	<ul style="list-style-type: none"> Sortering en recycling 	
Puin	<ul style="list-style-type: none"> Sortering en recycling 	
Hout	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding Sortering en recycling 	Verbranding: B- en C-hout Recycling: A- en B-hout
Metalen	<ul style="list-style-type: none"> Sortering en recycling 	Ferro: staal (oud ijzer) Non-ferro: aluminium, koper, lood, zink Mix: nikkel-roestvast staal (Ni/RVS)
Glas	<ul style="list-style-type: none"> Sortering en recycling 	Verpakkingsglas
Groenafval	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding Compostering Vergisting Combinatie vergisting en compostering 	
Specifiek ziekenhuisafval	<ul style="list-style-type: none"> Verbranding in gespecialiseerde installatie 	

1.4 Aanpak op hoofdlijnen

De CO₂-emissiefactoren representeren **gemiddelde verwerkingsroutes** van afvalstromen die vrijkomen bij Nederlandse bedrijven. De CO₂-emissie van verbranding is gebaseerd op de samenstelling van de afvalstromen. De vermeden CO₂-emissie van verbranding is gebaseerd op het gemiddelde Nederlandse rendement voor energieretugwinning bij Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties (AVI's).

Voor de recyclingroutes heeft CE Delft geprobeerd **recente bedrijfsgegevens**¹ te verkrijgen van meerdere verwerkende bedrijven. Elke verwerkingsroute is opgesteld met recente gegevens van tenminste één inzamelaar/sorteerder en één recycler

¹ Zoals de massabalans, energieverbruik, hulpstoffenverbruik, vrijkomende residuen, en afval.

(eindverwerker). Deze verwerkers zijn representatief: het betreft grote verwerkers die de Nederlandse reststromen verwerken in Nederland of net over de grens. Als we gegevens ontvangen van meerdere verwerkers, dan zijn deze gemiddeld op basis van verwerkcapaciteit. In de toekomst kunnen de resultaten robuuster worden gemaakt, als meer verwerkers gegevens aanleveren.

Disclaimer: gemiddelde verwerking vs. de praktijk

In de praktijk wordt een afvalstroom verwerkt bij één verwerker, of verbrand in één specifieke verbrandingsinstallatie. Ook de transportafstand en het transportmiddel kan afwijken van het gemiddelde. De CO₂-emissiefactoren zijn bedoeld om te gebruiken als geen exacte informatie bekend is van de verwerkingsroute(s).

1.5 Methodiek en systeemgrenzen voor divers gebruik van de CO₂-emissiefactoren

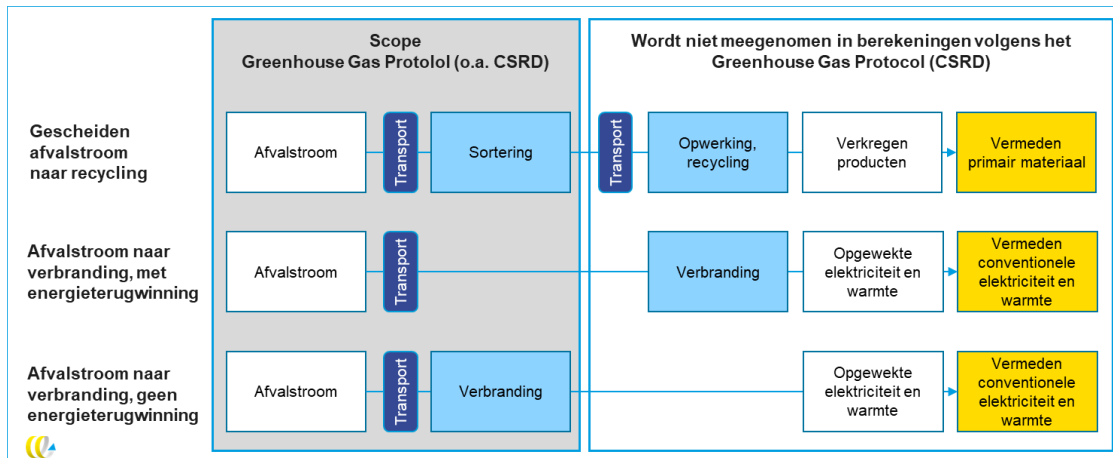
De CO₂-emissiefactoren voor afvalverwerking zijn te gebruiken voor berekeningen conform het GHG Protocol, met in het bijzonder CSRD-rapportage en voor ketenanalyses. In deze paragraaf lichten we in detail toe welke afbakening moet worden gehanteerd bij de verschillende typen analyses, en waarom.

1.5.1 Analyses volgens het Greenhouse Gas Protocol - waaronder voor CSRD-rapportages

De CO₂-emissiefactoren van afvalstromen helpen bedrijven om hun klimaatimpact van afvalverwerking te berekenen. Dit valt onder de 'Scope 3'-berekeningen van het bedrijf, categorie 5. De scope voor deze berekeningen is tot en met sortering, zie ook Figuur 1.

- Voor **recycling** dient te worden meegenomen in de berekening: transport naar inzameling/sortering en de impact van sortering.
- Bij **verbranding met energierugwinning** dient alleen transport te worden meegenomen.
- Bij **verbranding zonder energierugwinning** dienen de verbrandingsemissies wel meegenomen te worden in de berekening. Dus: transport en de verbrandings-emissies.

Figuur 1 - Scope voor berekeningen volgens het Greenhouse Gas Protocol (o.a. CSRD)



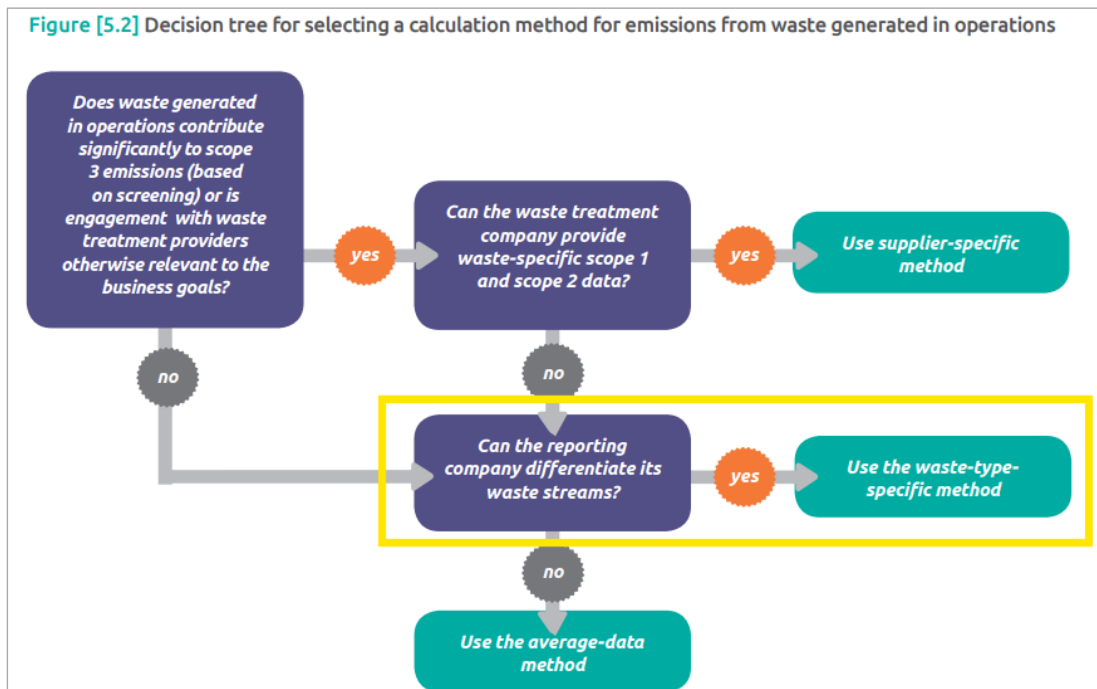
Toelichting: Waarom hoeft volgens het Greenhouse Gas Protocol alleen transport voor inzameling en de emissies voor sortering/inzameling meegenomen te worden?

Dit is vanwege het **vermijden van dubbel telling**. ‘Scope 3’-berekeningen volgens het Greenhouse Gas Protocol betreffen de hele bedrijfsvoering. Het Greenhouse Gas Protocol redeneert: **het bedrijf dat gerecycled materiaal koopt krijgt de impact van gerecycled materiaal toegekend**. Dit heet de ‘recycled content’-methode. Ingekocht gerecycled materiaal bevat al de klimaatimpact van productie (het recycling-proces). Als de impact van het recycleproces wel in de scope van afvalverwerking zou zitten, dat zou er een dubbel telling optreden. Het bedrijf dat gerecycled materiaal inkoopt krijgt indirect ook de vermeden impact toegekend, doordat geen primair materiaal wordt ingekocht. De klimaatimpact van gerecycled materiaal is namelijk meestal lager dan de klimaatimpact van primair materiaal.

Voor **emissies van verbranding met energierugwinning** heeft het Greenhouse Gas Protocol dezelfde redenering. De klimaatimpact van elektriciteits- en warmteopwekking wordt toegerekend aan de afnemers van de elektriciteit. De emissies van verbranding zijn inbegrepen in de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix die door bedrijven wordt afgenomen, en in door bedrijven afgenomen warmte.

De CO₂-emissiefactoren in dit rapport sluiten aan bij de situatie die de ‘*Waste specific method*’ wordt genoemd in het Greenhouse Gas Protocol. Dit betekent: het type afval is bekend en het is bekend hoe dit verder wordt verwerkt (recycling, verbranding of stort). Zie ook Figuur 2, overgenomen uit (WBCSD, 2022).

Figuur 2 - Screenshot uit het Greenhouse Gas Protocol-document 'Category 5: Waste Generated in Operations'



1.5.2 Toelichting bij ESRS en CSRD

De Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) verplicht grote bedrijven in de EU om de European Sustainability Reporting Standards (ESRS) toe te passen². CSRD-plichtige bedrijven zullen onder andere inzicht moeten geven in verwerking van de afvalstromen die vrijkomen bij het bedrijf. Dat komt in twee hoofdstukken terug:

- In Hoofdstuk 5 wordt gevraagd naar de hoeveelheden afval en via welke route zij verwerkt worden (EFRAG, 2025b).
- In Hoofdstuk 1 is de klimaatimpact van afvalverwerking één van de aspecten die moet worden opgegeven (EFRAG, 2025a). Het gaat om het kopje 'Waste generated in operations'. De verwerking van vrijkomend bedrijfsafval valt onder de 'Scope 3-emissies' van het bedrijf, zie Figuur 3. Voor de methodiek van de berekening verwijst ESRS naar het Greenhouse Gas Protocol, en specifiek naar het document: [Category 5 Waste Generated in Operations](#) (WBCSD, 2022).

De stappen voor het berekenen van de klimaatimpact van afvalverwerking, conform ESG E1, onderdeel 'Waste generated in operations', zijn als volgt:

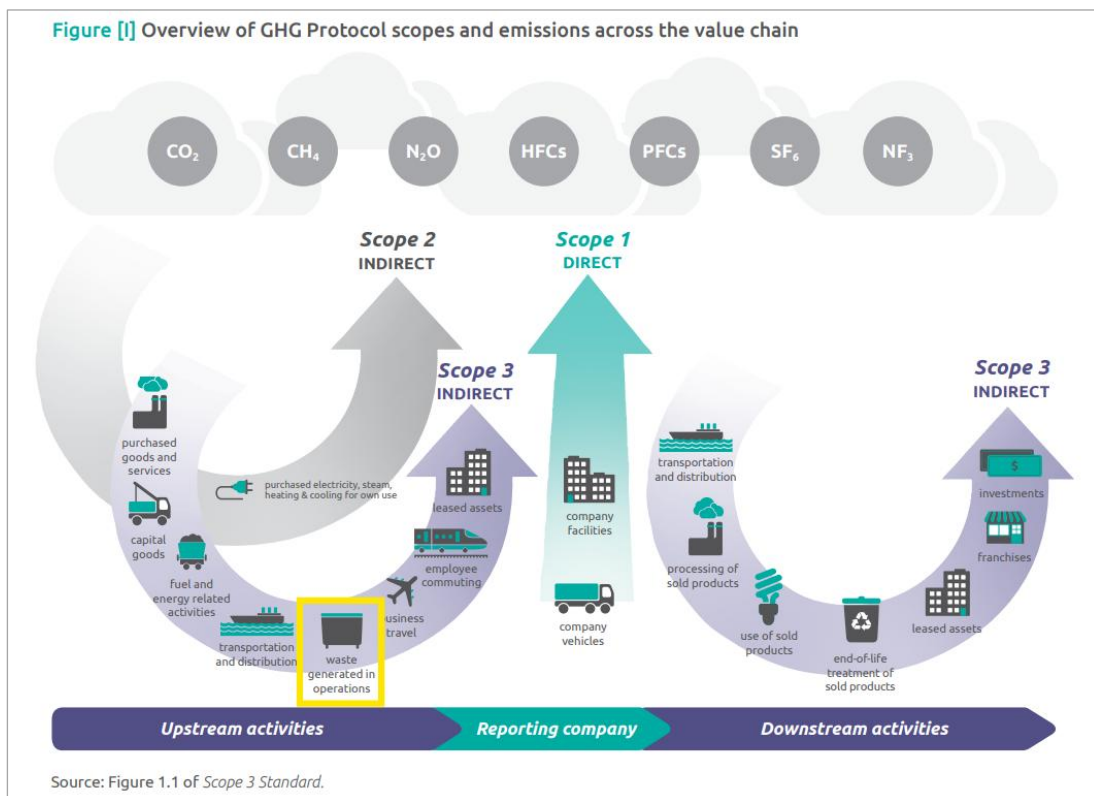
1. Zet de afvalstromen op een rij die bij uw bedrijf vrijkomen.
2. Geef aan wat de hoeveelheid per jaar is (ton/jaar).

² Link naar alle ESRS-documenten: [Simplified ESRS | EFRAG](#)

3. Geef aan welke verwerkingsroute die afvalstroom volgt: naar recycling of verbranding.
4. Zoek de bijbehorende CO₂-emissiefactoren van de verwerkingsroute van de afvalstroom op.
5. Vermenigvuldig de hoeveelheid afvalstroom met de CO₂-emissiefactor.
6. Doe dit voor alle afvalstromen en tel de resultaten op.

Stappen 1 t/m 3 volgen uit de rapportage (EFRAG, 2025b). Stappen 4 t/m 6 zijn specifiek voor ESRS E1. In Paragraaf 4.3 is een rekenvoorbeeld opgenomen.

Figuur 3 - Scope 1, 2 en 3 uit het Greenhouse Gas Protocol: de impact van afvalverwerking valt in Scope 3 'Upstream activities'



Bron: (WRI & WBCSD, 2011).

1.5.3 Ketenganalyses

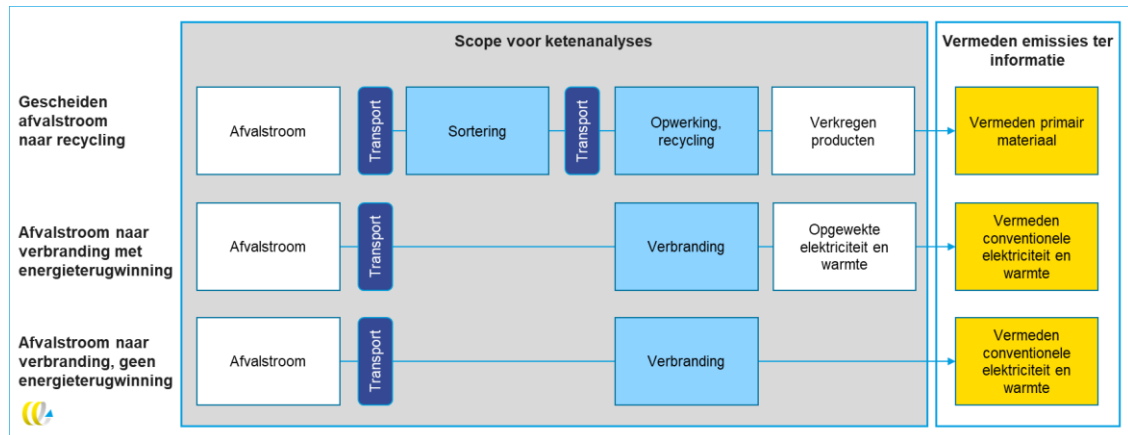
De tabel met CO₂-emissiefactoren voor afvalverwerking bevat ook de klimaatimpact van verdere verwerking (recycling) en verbrandingsemissies. Deze cijfers zijn te gebruiken voor de volgende typen analyses:

- Bij CO₂-analyses van **producten van 'cradle to grave'**, waarbij het ook wenselijk is om de emissies van afvalverwerking op te nemen. Het is optioneel om de vermeden emissies zichtbaar te maken.
- Voor gedetailleerd inzicht in de verwerking van een specifieke materiaalstroom.

Bij ketenanalyses is het belangrijk om vermeden emissies altijd los te beschouwen, alleen ter informatie. Dus los van de emissies tot en met recyclaatproductie of verbranding.

Bedrijven mogen vermeden emissies niet claimen als onderdeel van de voetafdruk van een product.

Figuur 4 - Scope voor ketenanalyses van afvalverwerkingsroutes



1.6 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgezet:

- Hoofdstuk 1 bevat informatie bij de totstandkoming van de CO₂-emissiefactoren op hoofdlijnen.
- Hoofdstuk 2 is het methodiekhofdstuk. Het bevat uitleg over hoe CE Delft de CO₂-emissiefactoren heeft bepaald, het proces van dataverzameling en hoe de analyse is uitgevoerd.
- Hoofdstuk 3 biedt toelichting op de verwerkingsroutes. Dit is nuttig om te begrijpen wat er gebeurt met de materiaalstromen na inzameling.
- Hoofdstuk 4 toont de CO₂-emissiefactoren, het resultaat van de studie.
- De bijlagen bevatten details bij Hoofdstuk 2. Het geeft inzicht in de gebruikte bronnen en milieukundige achtergrondgegevens voor de berekeningen.

2 Methodiek: afbakening en aanpak

Samenvatting

Dit hoofdstuk bevat uitleg hoe de CO₂-emissiefactoren zijn berekend. Het bevat inzicht in de stappen van de verwerkketens en licht toe hoe de dataverzameling en berekeningen zijn uitgevoerd.

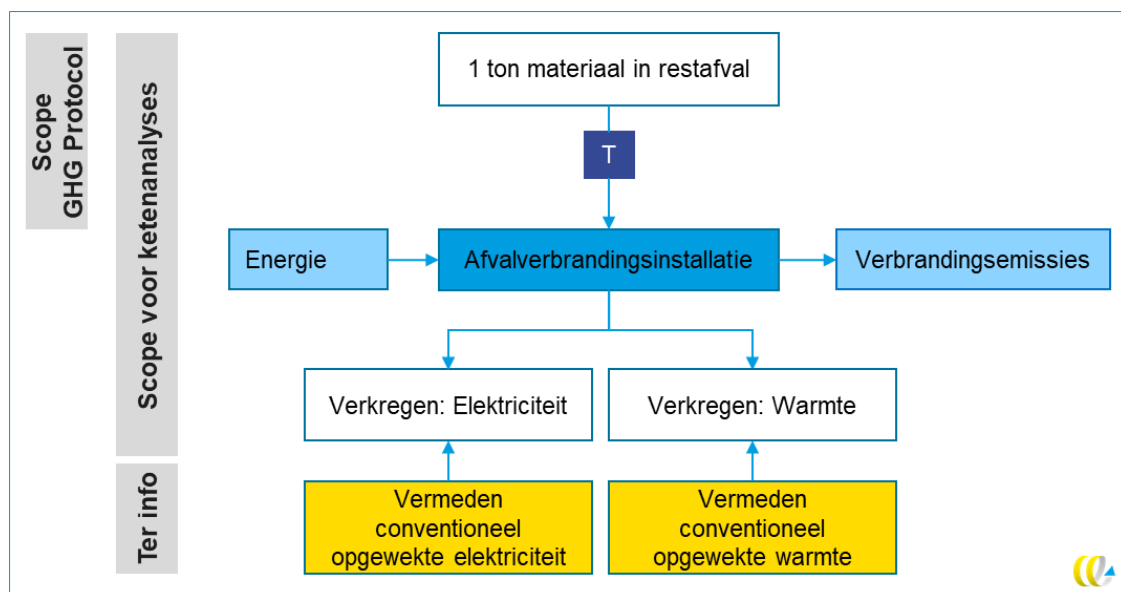
2.1 Afbakening

Onderwerp van de analyse is het verbranden of recyclen van **1 ton materiaal** dat wordt afgedankt bij bedrijven in Nederland.

2.1.1 Finale afvalverwerking: verbranding

Voor sommige materiaalstromen is verbranding met energierugwinning de minimumstandaard voor verwerking, in plaats van recycling. Figuur 5 toont de diverse stappen in de verwerkketen van verbranding van materialen, die in kaart zijn gebracht in deze studie.

Figuur 5 - Schematische afbakening van de analyse van de verbrandingsketen



De CO₂-emissiefactor van verbranding wordt berekend op basis van de materiaal-samenstelling van de afvalstroom. De materialen worden gekoppeld aan milieukundige achtergrondgegevens over materiaalverbranding in de Ecoinvent-database. De vermeden CO₂-emissie wordt berekend met de verbrandingswaarde per materiaal, en de gemiddelde thermische en elektrische efficiëntie van de Nederlandse afvalverbrandingsinstallaties.

Voor **HDO-restafval**³ is verbranding met energierugwinning de minimumstandaard, maar er vindt vaak eerst nascheiding plaats van plastics, metalen en drankenkartons. De route met nascheiding (en recycling van de nagescheiden fracties) is ook inbegrepen in deze studie.

Ook verbranding van **gevaarlijke afvalstromen** komt voor. Het gaat om verbranding op zeer hoge temperatuur, met als doel vernietiging van de stoffen. Verwerkers bepalen per stroom of recycling mogelijk is, en of opwerking of noodzakelijk of mogelijk is. Zo mogen zware metalen mogen niet worden verbrand. Stromen die niet voor opwerking in aanmerking komen of die na opwerking overblijven kunnen worden verbrand in gespecialiseerde installaties. De resultaten van verbranding van gevaarlijke afvalstromen is indicatief, want er zijn veel typen gevaarlijk afval⁴, waardoor verbrandingsemissies verschillen. Ook verschilt de calorische waarde en er komt verbranding zonder energiewinning komt voor.

Daarom leveren we **twee indicatieve resultaten** aan voor gespecialiseerde verbranding van gevaarlijk afval:

1. Met energierugwinning (in installatie met R1-status). Verbrandingsemissies zijn op basis van de Ecoinvent-database⁵ en een gemiddelde verbrandingswaarde.
2. Zonder energierugwinning (in installaties met D10-status). Deze resultaten gelden ook voor stromen met zeer lage calorische waarde (geen teruggewonnen energie). Verbrandingsemissies zijn op basis van de Ecoinvent-database.

Storten is een vorm van finale afvalverwerking. Geen van de stromen die opgenomen zijn in deze studie wordt echter direct gestort. Daarom ligt de focus op emissiefactoren voor verbranding als vorm van verwijdering of verbranding met energierugwinning.

Zie Paragraaf 2.4 voor nadere toelichting over de achterliggende milieukundige informatie. Zie ook Bijlage A.1 (samenstelling van diverse gemengde afvalstromen) en Bijlage A.2.2 (verbrandingswaarde en gehanteerde Ecoinvent-datasets).

³ HDO staat voor handel, diensten en overheidssector. Het betreft gemengd bedrijfsafval. Voorheen heette deze stroom ook wel KWD-restafval (kantoren, winkels en diensten).

⁴ Zoals: accu's, afgewerkte olie, batterijen, bestrijdingsmiddelen, brandstofresten, koelvloeistoffen, chemicaliën, medisch afval en medicijnresten, olie/brandstoffilters, oliehoudend afval en mengsels, oplosmiddelen, lampen, verf en inkt, verontreinigde verpakkingen, gebruikte poetsdoeken.

⁵ Dataset: [Treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration - Europe without Switzerland - hazardous waste, for incineration | ecoQuery](#)

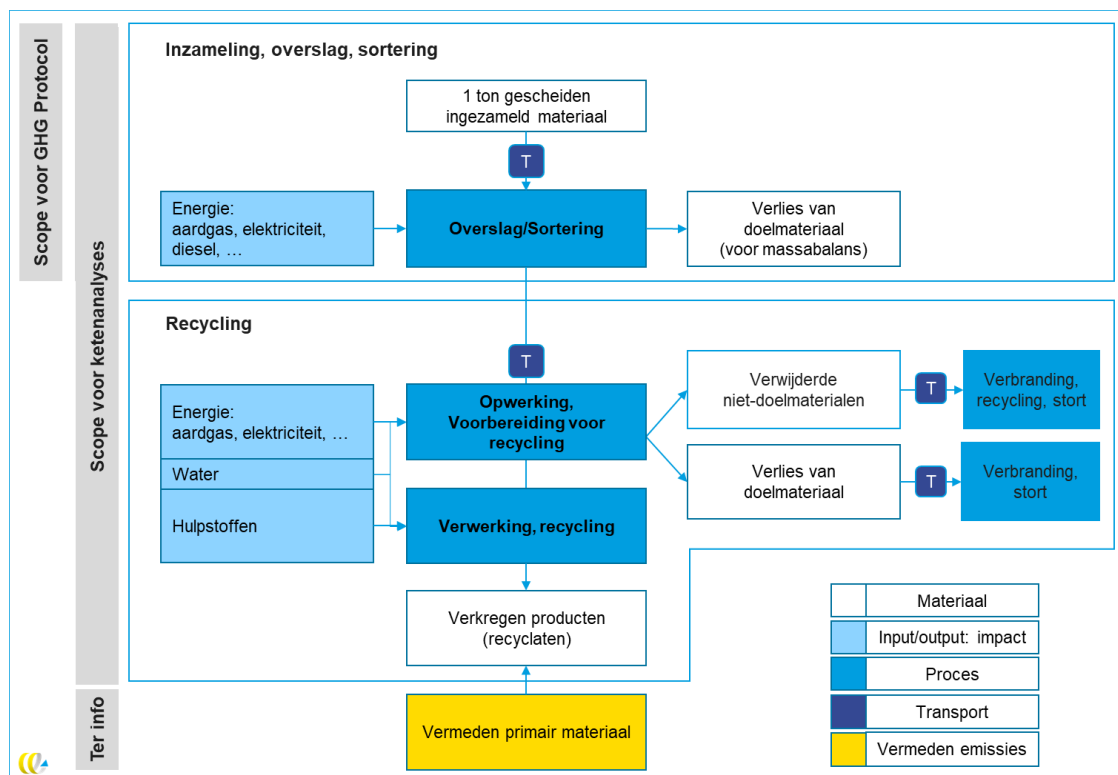
2.1.2 Gescheiden inzameling, sortering en recycling

De afbakening van de analyse voor de recyclingroutes per ton materiaal is schematisch weergegeven in Figuur 6. Het toont de stappen in de verwerkketen: eerst inzameling en sortering, en daarna het recyclingproces. In het schema onderscheiden we:

- materiaalstromen: van afvalstroom tot eindproduct (wit);
- processen (donkerblauw);
- inputs en outputs van de processen, die leiden tot klimaatimpact, zoals energieverbruik en afvalverwerking (lichtblauw);
- transport (donkerblauwe T);
- emissies die vermeden worden door de verkregen eindproducten (geel).

Een belangrijk aspect is de **massabalans**. Tijdens sortering en de recyclingprocessen worden niet-gewenste materialen verwijderd. Zo wordt bij kunststofsortering de diverse typen kunststoffen van elkaar gescheiden en worden andere materialen dan kunststof verwijderd. Sommige verwijderde materialen zijn vervolgens zelf recyclebaar, zoals metalen die gesorteerd worden tijdens sortering of verwerking van kunststoffen, puin, hout en glas. Ook gaat een deel van het wel gewenste materiaal ('doelmateriaal') verloren. Denk bijvoorbeeld aan vervuild papier en karton, dat niet geschikt is voor recycling. Dit brengen we in kaart om te kunnen bepalen hoeveel nuttig eindproduct is geproduceerd.

Figuur 6 - Schematische afbakening van analyse van inzameling en recycling van afvalstromen



Tijdens (opwerking voor) recycling worden stoorstoffen verwijderd en gaat gewenst materiaal verloren ('doelmateriaal' in het schema). De impact van finale afvalverwerking voor deze stromen is inbegrepen in de CO₂-analyse. Materiaal dat bij sortering verloren gaat, zoals vervuild kunststof of papier, is niet inbegrepen in de CO₂-analyse. Immers, als er geen gescheiden inzameling en sortering zou plaatsvinden zouden deze stoffen ook bij finale afvalverwerking belanden.

Energieverbruik omvat ingekochte energie en zelf opgewekte (hernieuwbare) energie. Teruggewonnen energie, bijvoorbeeld door warmtekrachtkoppeling (wkk), is impliciet inbegrepen omdat het de hoeveelheid ingekochte energie vermindert.

Twee transportbewegingen zijn inbegrepen: voor inzameling en van sortering naar recycling (verwerking). Transport van de verkregen producten naar de afnemer is niet inbegrepen in de scope. Merk ook op dat geen inzamelratio is inbegrepen: het gaat om 1 ton *ingezameld* materiaal. Bijvoorbeeld, van oud papier en karton is bekend dat jaarlijks ongeveer 85% gescheiden wordt ingezameld voor recycling. Die factor 85% is niet inbegrepen in het resultaat.

2.2 CO₂-emissiefactoren: klimaatimpact

Een CO₂-emissiefactor omvat niet alleen CO₂, maar ook andere broeikasgassen.

Een CO₂-emissiefactor is een resultaat van een klimaatimpactberekening; in deze studie de berekening van klimaatimpact van afvalverwerking van een reststroom.

Klimaatimpact is de naam van het milieueffect dat veroorzaakt wordt door de uitstoot van broeikasgassen. Koolstofdioxide (CO₂) is het bekendste broeikasgas, daarom wordt de klimaatimpact uitgedrukt in kg CO₂-equivalenten. Andere broeikasgassen zijn methaan (CH₄), stikstofdioxide (N₂O), en cfk's (zie ook Figuur 3). Bij de berekening van de klimaatimpact in CO₂-equivalenten wordt hun bijdrage aan het broeikaseffect gerelateerd aan het broeikasgaseffect van CO₂. Hiervoor is internationale impactanalysemethode 'IPCC 2021 GWP100' gehanteerd (IPCC, 2022).

Bij recycling en verbranding van reststromen spelen meer milieueffecten dan de klimaatimpact. Denk aan **verzurende emissies, fijnstofvorming en uitstoot van stikstofverbindingen** (vermestende emissies). Dit soort effecten zijn niet berekend in dit onderzoek. Verder leidt recycling tot **grondstofbehoud** en maakt het (meestal) mogelijk om de grondstoffen nog meerdere malen te gebruiken. Recycling levert daarmee een bijdrage aan een circulaire economie.

2.3 Aanpak: inventarisatie van gegevens en koppeling aan milieukundige informatie

CE Delft heeft voor sorteerders en recyclers een inventarisatieformulier (Excelblad) opgesteld om in te vullen. In Tekstkader 1 staat de opgevraagde informatie op hoofdlijnen. Van enkele verwerkers ontvingen we een gedetailleerd LCA-rapport van hun geproduceerde recyclaat, waaruit we de benodigde gegevens konden overnemen⁶. De transportafstand van sortering naar recycling is niet altijd precies bekend. Recyclers konden een eigen gemiddelde transportafstand opgeven, of de standaardafstand van 100 km overnemen.

De ingevulde gegevens koppelt CE Delft aan milieukundige achtergrondinformatie: CO₂-emissiefactoren van energiedragers, transportmiddelen, hulpstoffen, etc. Zo wordt de klimaatimpact voor de hele bedrijfsvoering berekend, en de klimaatimpact per ton verwerkt materiaal op basis van verwerkte hoeveelheden.

Vervolgens zijn de resultaten van sortering en recycling per type materiaal gecombineerd op basis van massa. Als er bijvoorbeeld drie verwerkers zijn van eenzelfde type materiaal, dan is een gewogen gemiddelde bepaald op basis van de jaarlijkse verwerkte hoeveelheid van iedere verwerker. Op dezelfde manier hebben we gemiddelden bepaald van metalen en kunststoffen (algemene categorie): dat is gedaan op basis van gesorteerde en verwerkte hoeveelheden.

Tekstkader 1 - Inhoud van het inventarisatieformulier

De bedrijven zijn gevraagd om de volgende informatie aan te leveren:

1. Beschrijving van de verwerkingsprocessen.
2. Massabalans:
 - hoeveelheid materiaal dat door het bedrijf is verwerkt;
 - hulpstoffen: hoeveelheid en type;
 - output: gesorteerd of geproduceerd materiaal en afvalstromen.
3. Verbruik van energie: elektriciteit, gas en brandstoffen.
4. Transport: transportmiddelen en transportafstanden:
 - inzameling naar sortering/overslag;
 - van sortering/overslag naar recycling (optioneel).

⁶ Een bijkomend voordeel van de LCA-rapporten is dat we de CO₂-resultaten konden verifiëren.

2.4 Achterliggende milieukundige informatie

Voor **energiedragers en transportmiddelen** is de meest recente data op CO₂emissiefactoren.nl gebruikt. Voor **hulpstoffen en verbrandingsemissies** is gebruik gemaakt van de Ecoinvent-database v.3.11 (Ecoinvent, 2025a). In Bijlage A.2 is de lijst opgenomen van de milieukundige achtergrondinformatie die is toegepast in de berekeningen.

Terugwinning van energie

Voor verbranding in een AVI is in deze studie is gerekend met 17% elektrisch rendement en 24% thermisch rendement, op basis van alle in bedrijf zijnde AVI's over het jaar 2024. CE Delft verkreeg deze cijfers op aanvraag van Rijkswaterstaat (persoonlijke communicatie, december 2025). Bij CE Delft is informatie bekend van twee grote Nederlandse bio-energiecentrales (CE Delft, 2021). Het gemiddeld elektrisch rendement van deze BECs is 31% (geen warmteterugwinning). Bij Zavin, dat medisch afval verbrandt, wordt stoom uitgewisseld met het naburige HVC, met een (thermisch) rendement van 20%.

De hoeveelheid energie die wordt opgewekt is afhankelijk van de verbrandingswaarde (lower heating value) van het materiaal. Deze informatie is ook opgenomen in Bijlage A.2.2. De opgewekte elektriciteit vermijdt de productie van conventionele Nederlandse elektriciteit. De opgewekte warmte vermijdt de productie van warmte opgewekt met aardgas. De volgende datasets zijn gebruikt:

- Emissiekentallen elektriciteit 2022.
- Ecoinvent-database, v3.11: *heat, district or industrial, natural gas {NL} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100 MW electrical.*

2.5 Beoordeling dataherkomst en representativiteit

Binnen dit project hebben we gestreefd naar informatie van meerdere representatieve sorteerdere en verwerkers per materiaalstroom. Voor sortering is dat gelukt. Voor de recycling van materiaalstromen hebben we echter soms gegevens ontvangen van één representatieve verwerker. In Tabel 2 en Tabel 3 geven we een beoordeling aan de dataherkomst en representativiteit.

CE Delft staat open voor het ontvangen van gegevens van meer bedrijven, met name bedrijven die gesorteerde materiaalstromen recyclen. Zo maken we in de toekomst de CO₂-emissiefactoren robuuster. Want hoe meer bijdragen, hoe beter de gewogen Nederlandse gemiddelde CO₂-emissiefactor.

Tabel 2 - Legenda bij de beoordeling van de dataherkomst en representativiteit

Beoordeling	Betekenis dataherkomst en representativiteit
A	Recente bedrijfsgegevens, van verwerking van Nederlandse reststromen, afkomstig van meerdere bedrijven.
B	Recente bedrijfsgegevens, van verwerking van Nederlandse reststromen, afkomstig van één representatief Nederlands bedrijf.
C	Gegevens uit literatuur of de Ecoinvent-milieudatabase. Het betreft wat oudere data, maar technologisch en geografisch relevant: de data gaat over recyclingtechnieken die in Nederland/West Europa worden toegepast.
D	Geen data.

Tabel 3 - Beoordeling van de data van recyclingroutes (sortering, recycling, transport)

Reststroom	Sortering: dataherkomst en kwaliteit	Recycling: dataherkomst en kwaliteit	Transportafstand
Kunststoffen , gemiddeld	A	A	Gewogen gemiddelde
PET	A	B	Generiek: 100 km
PP	A	A	Specifiek: 250 km
LDPE-folies	A	B	Specifiek: 500 km
HDPE	A	B	Generiek: 100 km
PVC	A	B	Generiek: 100 km
ABS	A	B	Generiek: 100 km
Papier en karton	B	C	Generiek: 100 km
Glas: verpakkingsglas	B	B	Generiek: 100 km
Bouw- en sloopafval	A	A	Gemiddelde van de diverse verwerkingsroutes van de gesorteerde fracties
Puin, steenachtig	B	B	Generiek: 100 km
Hout: A-hout en A/B-hout	B	B	Generiek: 100 km
Groenafval	B	C	Generiek: 100 km
Metalen	B	C	Generiek: 100 km

3 Toelichting recycling van materiaalstromen

Samenvatting

In dit hoofdstuk worden de diverse recyclingroutes kort besproken. Het geeft inzicht in de achtergrond van de CO₂-emissiefactoren. Vanwege vertrouwelijkheid benoemen we geen individuele bedrijven (sorteerders en verwerkers) die hebben bijgedragen per materiaalstromen.

3.1 Kunststoffen

Er bestaan vele typen kunststoffen, die soms individueel ingezameld worden en soms gemengd. Voor sortering en inzameling zijn we in deze studie zijn we uitgegaan van gemengde inzameling bij bedrijven. De gemengde fractie wordt gesorteerd bij bedrijven die gespecialiseerd zijn in kunststofsortering, tot zo'n tien individuele stromen zoals PET-flessen, PET-trays, LDPE-folies, PP, en ferro-metalen. Hoe beter gescheiden en hoe schoner ingezameld, hoe meer materiaal hoogwaardig gerecycled kan worden.

De gesorteerde stromen gaan naar verschillende kunststofrecyclers die één of meerdere stromen kunnen verwerken tot maalgoed of granulaat. Dit gebeurt via stappen zoals wassen, versnipperen, verwijdering van stoorstoffen zoals metaalresten en (bij granulaat-productie) smelten en extrusie. De eindproducten worden afgenomen door producenten van kunststofproducten, waarbij het maalgoed en de granulaten nieuw kunststof vermijden.

3.1.1 PMD

PMD-inzameling is voor verpakkingen: kunststof verpakkingen, metalen verpakkingen, en drankenkartons. De stroom wordt gesorteerd naar diverse typen kunststoffen, metalen en de drankenkartons. De aanpak voor de CO₂-emissiefactorberekening is als volgt:

- De samenstelling van gescheiden ingezameld PMD en de energie voor sortering is op basis van twee inzamelaars/sorteerders (hun gewogen gemiddelde).
- De verwerking van kunststoffen is gebaseerd op de recyclers die verpakkings-kunststoffen recylen (hun gewogen gemiddelde).

- Voor metalen verpakkingen is uitgegaan van staal (blikjes). Dit is een conservatieve aanpak: in werkelijkheid zal ook tin en aluminium worden gerecycled. Maar bij gebrek aan informatie over samenstelling en milieukundige informatie over tin, is gekozen voor staal. Dit is een conservatieve keuze die een onderschatting van de vermeden emissies oplevert, in plaats van een overschatting.
- Drankenkartons worden verwerkt bij papier- en kartonrecyclers. De recycling richt zich op het aandeel papier (74%). Het aandeel kunststoffen (24%) en aluminium (2%) wordt verbrand. De emissies van die verbranding (alleen relevant voor kunststoffen) zijn inbegrepen in de emissie van afvalverwerking.

3.2 Papier en karton

De impact van papierrecycling (na sortering) is gebaseerd op de Ecoinvent-dataset⁷ voor gerecycled golfkartonmedium (*fluting*). De inventarisatie is op basis van gegevens van Europese recyclers, verzameld door Europese brancheverenigingen (FEFCO, 2021).

Na gescheiden inzameling wordt het oudpapier en karton naar een overslag- en sorteerlocatie vervoerd. Daar worden stoorstoffen eruit gehaald, zoals metalen, folies die om tijdschriften zijn blijven zitten, maar ook vervuild papier/karton. Vervolgens gaat het naar fabrieken die papier en/of karton maken uit gerecyclede vezel. Het papier en karton wordt opgelost in water (verpulpt) en vervolgens worden in diverse stappen andere materialen dan papiervezels verwijderd, zoals nietjes, de kunststofcoating van folders en tijdschriften, en adresvensters van enveloppen. Bij de verwijdering van deze materialen gaat ook een deel van de papiervezels verloren. Het gezuiverde papierpulp gaat in een continu proces door naar papierproductie. Hierbij wordt het water verwijderd en de papiervezels gedroogd, samengeperst en op rollen gewikkeld voor verkoop.

3.3 Bouw- en sloopafval

Bouw- en sloopafval is bij inzameling een mix van meerdere typen (bouw)materialen. Tijdens sortering worden deze materialen gescheiden, waarna ze verder kunnen worden verwerkt. Er ontstaat behoorlijke hoeveelheid residu, dat volgens een BSA-sorteerder als restafval wordt verwerkt. Op aanwijzing van de sorteerdere gaat het om de volgende materiaaltypen en verdere verwerking:

- ferro-metalen (staal): naar metaalrecycling;
- non-ferro metalen (gewogen gemiddelde, zie Paragraaf 3.6): naar metaalrecycling;
- hout: naar houtrecycling (zie Paragraaf 3.5);
- papier/kunststoffenmix: naar papierrecycling (zie Paragraaf 3.2);

⁷ <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/3002/documentation>

- puin: naar puinrecycling (zie Paragraaf 3.4);
- zeefzand: directe inzet, vermijdt conventionele zandwinning.

3.4 Puin

Puin is steenachtig materiaal dat wordt gebroken tot menggranulaat. Daarbij komt ook wat staal vrij, bijvoorbeeld uit gewapende producten. Het menggranulaat vervangt ander primair gebroken steenachtig materiaal; als benadering is gekozen voor grind. Het staal wordt verder gerecycled en vermijdt primair staal.

Beton kan zodanig verwerkt worden dat ongebonden cement wordt teruggewonnen ('slim breken'). Die route is technisch beschikbaar en in opkomst, maar nog niet representatief voor het Nederlands gemiddelde.

3.5 Hout: A- en B-hout

Droog en schoon A- en B-hout wordt vaak gezamenlijk ingezameld (A/B-hout). Na sortering, waarbij metaal en andere verstorende materialen eruit worden gehaald, wordt het versnipperd. De houtspaanders worden ingezet in producten zoals spaanplaat en palletblokken. Een deel van het materiaal gaat tijdens de opwerkprocessen verloren en wordt verbrand in een bio-energiecentrale. Voor de vermeden emissie gaan we uit van het vermijden van houtspaanders uit de (primaire) houtindustrie.

3.6 Metalen

Net als kunststoffen kunnen metalen los worden ingezameld, dus per type metaal, of gemengd. Hoe beter gescheiden ingezameld hoe meer materiaal hoogwaardig gerecycled kan worden, volgens de metaalrecyclingbranche. Vaak wordt bij inzameling slechts onderscheid gemaakt tussen ferro-metaal (staal, roestvaststaal) en non-ferro-metalen (aluminium, koper, lood, zink, nikkel, etc.). Bij sortering kunnen gemengde metalen tot op zekere hoogte nog van elkaar worden gescheiden. De gescheiden stromen worden vervoerd naar smelters binnen en buiten Europa.

Voor deze studie hebben we gegevens ontvangen van metaalsortering. Voor het smelten, dat veelal in het buitenland gebeurt, hebben we geen bedrijfsgegevens opgevraagd. We baseren de emissies en vermeden emissies op bestaande bronnen: de Ecoinvent-database en diverse gepubliceerde LCA-studies. Voor de emissies maken we gebruik van LCA-resultaten van productie van secundair metaal (gerecycled metaal); voor de vermeden emissies maken we gebruik van LCA-resultaten van productie van primair metaal (uit erts). Zie Bijlage A.2.4 voor de gehanteerde bronnen.

3.7 Glas - verpakkingsglas

Glas wordt bij inzameling soms op kleur gescheiden. Bij het recyclingbedrijf worden grote verontreinigingen zoals plastic flessen handmatig uit het glasafval verwijderd, waarna het glas door een breker en zeef gaat. Daarna worden stoorstoffen metaal, kunststoffen, porselein en kurk gedetecteerd en verwijderd. De etensresten in het glasafval worden verwijderd door het glas gedurende een aantal weken buiten op te slaan, het organisch materiaal verteert dan. De homogene, schone stroom glasscherven wordt verkocht aan de glasindustrie, die de glasscherven gebruiken als grondstof voor nieuwe glazen producten.

De inzet van glasscherven bij glasproductie zorgt voor verlaging van de energiebehoefte, van 2,5 tot 3% per elke 10% glasscherven. De vermeden energie hierdoor baseren we op een gemiddelde inzet van 61% glasscherven (op basis van gewicht) in verpakkingsglas. Bronnen: (Maltha, 2026); (UN Environment programme).

Over recycling van vlakglas heeft CE Delft geen gegevens ontvangen.

3.8 Groenafval

Groenafval (maaisel, groente en fruit, gras, snoeihout, bladeren) wordt verwerkt tot compost en/of biogas. Dat maakt de verwerking van groenafval anders dan de recycling van de materiaalstromen die tot eenzelfde type materiaal worden gerecycled. CE Delft bracht verwerkingsroutes voor groenafval in kaart voor de Branchevereniging Organische Reststoffen BVOR (CE Delft, 2021). Twee daarvan worden het meest toegepast en nemen we over voor de CO₂-emissiefactoren van afvalverwerking. In Tabel 4 staan deze genoemd en kort beschreven.

Tabel 4 - Veelvoorkomende verwerkingsroutes voor groenafval

Verwerkingsroute	Beschrijving
Co-vergisting	Vergisting van groenafval, waarbij biogas en compost wordt geproduceerd. Toepassing van biogas voor elektriciteit en/of warmteproductie, dan wel opwerking tot groengas. Toepassing van compost in de landbouw.
Compostproductie	Gecontroleerde compostering van een mengsel van verschillende typen groene reststromen. Toepassing van compost in de landbouw.

Bij de verwerking van groenafval ontstaat het broeikasgas methaan. In het geval van vergisting is die methaanproductie de bedoeling en wordt het opgevangen (het is biogas) en nuttig ingezet. Bij de inzet van compost ontstaat CO₂, maar dit is niet inbegrepen in de CO₂-emissiefactor omdat het van biogene⁸ oorsprong is. Compost legt koolstof vast in de bodem en vermijdt (ten dele) veenproductie. Hiermee is rekening gehouden in de analyse.

⁸ Biogeen: afkomstig van biomassa. De CO₂ die vrijkomt is bij de groei van de biomassa opgenomen, dus netto is de CO₂-uitstoot nul.

4 Resultaat: CO₂-emissiefactoren

4.1 Finale afvalverwerking

In Tabel 5 staan de CO₂-emissiefactoren voor de verbranding van ongesorteerd bedrijfsafval en individuele materialen in een verbrandingsinstallatie **met** energierugwinning. Zie Paragraaf 1.5 voor toelichting over het gebruik van deze cijfers, voor diverse doeleinden. Voor berekeningen conform het Greenhouse Gas Protocol vallen de verbrandingsemissies buiten de scope: deze worden toegerekend aan de afgenomen opgewekte energie.

Tabel 5 - Finale afvalverwerking: verbranding van reststromen met energierugwinning

Reststroom	Verwerkingsroute: type verbranding	Transport (kg CO ₂ - eq./ton)	Emissies door verbranding (kg CO ₂ - eq./ton)	Totaal emissies (kg CO ₂ - eq./ton)	Vermeden emissies NIET TE CLAIMEN** (kg CO ₂ - eq./ton)
		GHG Protocol			
Restafval van de kantoor-, winkel-, en dienstensector (KWD), ongesorteerd	AVI: afvalverbrandingsinstallatie met energierugwinning	38	575	613	-252
Restafval van de kantoor-, winkel-, en dienstensector (KWD), met nascheiding van plastics, metalen en drankenkartons	AVI + recycling van nagescheiden materiaal	48	463	511	-670
Gevaarlijk afval - gemiddelde calorische waarde INDICATIE*	Gespecialiseerde verbranding met energierugwinning	38	2.380	2.420	-370
Kunststoffen	AVI: afvalverbrandingsinstallatie met energierugwinning	38	2.678	2.716	-500
Hout	BEC: bio-energie-centrale	38	13	51	-421
Groenafval	BEC: bio-energie-centrale	38	33	71	-37

Reststroom	Verwerkingsroute: type verbranding	Transport (kg CO ₂ -eq./ton)	Emissies door verbranding (kg CO ₂ -eq./ton)	Totaal emissies (kg CO ₂ -eq./ton)	Vermeden emissies NIET TE CLAIMEN** (kg CO ₂ -eq./ton)
		GHG Protocol			
Ziekenhuisafval	Gespecialiseerde verbranding	38	1.642	1.681	-84

* Dit betreft verbranding van gevaarlijk afvalstromen, na evt. verwijdering van zware metalen. Zoals verfresten, verontreinigde verpakkingen, oplosmiddelen, brandstofresten, oliehoudende resten, chemicaliën. Getallen zijn afgerond en tellen daarom niet precies op.

** Vermeden emissies mogen niet geclaimd worden in ketenanalyses van materialen, producten en bedrijfsvoering. Wel mogen vermeden emissies ter informatie los getoond worden.

In Tabel 6 staat de CO₂-emissiefactoren voor de verbranding gevaarlijk afval in een verbrandingsinstallatie **indien geen energierugwinning plaatsvindt**. Voor berekeningen conform het Greenhouse Gas Protocol vallen de verbrandingsemissies zonder energierugwinning binnen scope: deze moeten worden inbegrepen in de Scope 3-berekeningen (categorie 5). Zie Paragraaf 1.5 voor meer toelichting over het gebruik van deze cijfers.

Tabel 6 - Finale afvalverwerking: verbranding van reststromen zonder energierugwinning

Reststroom	Verwerkingsroute: type verbranding	Transport (kg CO ₂ -eq./ton)	Emissies door verbranding (kg CO ₂ -eq./ton)	Totaal emissies (kg CO ₂ -eq./ton)	Vermeden emissies (kg CO ₂ -eq./ton)
				GHG Protocol	
Gevaarlijk afval INDICATIE*	Gespecialiseerde verbranding zonder energierugwinning, of verbranding van zeer laagcalorische stromen	38	2.380	2.420	0

* Dit betreft een indicatief gemiddelde van verbranding van alle typen gevaarlijke afvalstromen in een installatie zonder energierugwinning. Ook geldt deze waarde voor de verbranding van afvalstromen met een zeer lage calorische waarde, zoals waterige vloeistoffen.

4.2 Recyclingroutes: gescheiden inzameling, sortering, recycling

4.2.1 CO₂-emissiefactoren volgens het Greenhouse Gas Protocol

Tabel 7 toont de CO₂-emissiefactoren van gescheiden ingezamelde stromen, voor de scope volgens het Greenhouse Gas Protocol (WBCSD, 2022). Alleen transport voor inzameling (naar sorteerlocatie) en de emissies die gepaard gaan met opslag en sortering zijn inbegrepen. Tabel 8 laat deze twee stappen los zien en de som ervan. Als een bedrijf berekeningen doet, bijvoorbeeld voor CSRD, en één van de twee ketenfasen preciezer weet, dan kan het getal vervangen door de preciezere CO₂-waarde voor transport of voor sortering.

Zie Paragraaf 1.5 voor een toelichting op de scope en het Greenhouse Gas Protocol. Zie Paragraaf 4.3 voor een voorbeeldberekening.

Tabel 7 - CO₂-emissiefactoren van gescheiden ingezamelde stromen volgens het Greenhouse Gas Protocol

Gescheiden ingezamelde stroom	Transport voor inzameling (kg CO ₂ -eq./ton)	Opslag en sortering (kg CO ₂ -eq./ton)	Totale emissies voor analyses volgens het GHG Protocol (kg CO ₂ -eq./ton)
Gemengde kunststoffen, o.a. ingezameld in PMD	29	22	51
PET	29	22	51
PP	29	22	51
LDPE-folies	29	22	51
HDPE	29	22	51
PVC	29	22	51
Papier en karton	5	2	7
Bouw- en slooafval	6	10	16
Puin	6	2	7
Hout: A- en A/B-hout	5	2	7
Metalen - gemiddeld/onbekend	26	6	32
Ferro (oud ijzer en staal)	26	6	32
Non-ferro: Aluminium	26	6	32
Non-ferro: Koper	26	6	32
Non-ferro: Lood	26	6	32

Gescheiden ingezamelde stroom	Transport voor inzameling (kg CO ₂ -eq./ton)	Opslag en sortering (kg CO ₂ -eq./ton)	Totale emissies voor analyses volgens het GHG Protocol (kg CO ₂ -eq./ton)
Non-ferro: Zink	26	6	32
Non-ferro: Ni/RVS	26	6	32
Non-ferro: Kabels (koper)	26	6	32
Glas	26	0	26
Groenafval naar compostering	5	2	7
Gft naar vergisting	5	2	7

NB: Getallen tellen niet altijd exact op, vanwege afronding.

4.2.2 CO₂-emissiefactoren van de volledige verwerkketen

Tabel 8 bevat de CO₂-emissiefactoren van de volledige recyclingroute van gescheiden ingezamelde stromen: van inzameling tot aan verkregen recyclaat. De grijze kolom 'Totaal emissies verwerkingsroute' bevat de CO₂-emissiefactoren van deze volledige scope. De stappen in de keten zijn ook los getoond. De vermeden emissies door verkregen recyclaat (of ander type nuttige eindproducten) staan ook los getoond. Zie Paragraaf 1.5.3 voor toelichting bij gebruik van de CO₂-emissiefactoren.

Tabel 8 - CO₂-emissiefactoren van de recyclingroutes van gescheiden ingezamelde materiaalstromen. Alle cijfers zijn in kg CO₂-eq./ton

Gescheiden ingezamelde stroom	Verwerkingsroute	Eindproduct	Transport voor inzameling (kg CO ₂ -eq./ton)	Emissies door sortering (kg CO ₂ -eq./ton)	Transport naar recycling (kg CO ₂ -eq./ton)	Recycling: processen, hulpstoffen en afvalverwerking (kg CO ₂ -eq./ton)	Totaal emissies verwerkingsroute (kg CO ₂ -eq./ton)	Vermeden emissies door grondstofbehoud NIET TE CLAIMEN* (kg CO ₂ -eq./ton)
			GHG Protocol					
Gemengde kunststoffen	Sortering en recycling	Gewogen gemiddelde van de diverse kunststoffen	29	22	71	360	482	-2.437
PET	Sortering en recycling	Granulaat	29	22	48	592	691	-3.146
PP	Sortering en recycling	Granulaat	29	22	56	317	424	-2.308
LDPE-folies	Sortering en recycling	Maalgoed/agglomeraat	29	22	129	316	496	-2.670
HDPE	Sortering en recycling	Maalgoed	29	22	47	227	325	-1.859
PVC	Sortering en recycling	Maalgoed	29	22	47	227	325	-1.376
PMD - plastics, metalen en drankenkartons	Sortering en recycling	Diverse kunststofgranulaten, gerecycled karton, metaal (m.n. ferro)	29	22	58	531	640	-2.084
Papier en karton	Sortering en recycling	Gerecycled karton	5	2	4	567	578	-464

Gescheiden ingezamelde stroom	Verwerkingsroute	Eindproduct	Transport voor inzameling (kg CO ₂ -eq./ton)	Emissies door sortering (kg CO ₂ -eq./ton)	Transport naar recycling (kg CO ₂ -eq./ton)	Recycling: processen, hulpstoffen en afvalverwerking (kg CO ₂ -eq./ton)	Totaal emissies verwerkingsroute (kg CO ₂ -eq./ton)	Vermeden emissies door grondstofbehoud NIET TE CLAIMEN* (kg CO ₂ -eq./ton)
			GHG Protocol					
Bouw- en sloopafval	Sortering en recycling	Menggranulaat	6	10	19	35	70	-290
Puin	Sortering en recycling	Gerecycled hout, metaal en steenachtig materiaal	6	2	26	0,4	33	-11
Hout: A- en B-hout	Sortering en recycling	Houtchips	5	2	50	4	61	-82
Metalen - gemiddeld/onbekend	Sortering en recycling	Metalen halfproduct	26	6	42	794	868	-3.928
Ferro (oud ijzer en staal)			26	6	42	698	771	-1.929
Non-ferro: Aluminium			26	6	42	891	965	-18.914
Non-ferro: Koper			26	6	42	644	717	-4.547
Non-ferro: Lood			26	6	42	257	330	-1.958
Non-ferro: Zink			26	6	42	1.287	1.361	-2.607
Non-ferro: Ni/RVS			26	6	42	3.663	3.737	-4.410
Non-ferro: kabels (koper)			26	6	42	1.420	1.494	-3.102
Glas	Sortering en recycling	Ongesmolten glasscherven	26	0	22	18	40	-247



Gescheiden ingezamelde stroom	Verwerkingsroute	Eindproduct	Transport voor inzameling (kg CO ₂ -eq./ton)	Emissies door sortering (kg CO ₂ -eq./ton)	Transport naar recycling (kg CO ₂ -eq./ton)	Recycling: processen, hulpstoffen en afvalverwerking (kg CO ₂ -eq./ton)	Totaal emissies verwerkingsroute (kg CO ₂ -eq./ton)	Vermeden emissies door grondstofbehoud NIET TE CLAIMEN* (kg CO ₂ -eq./ton)
			GHG Protocol					
Groenafval naar compostering	Inzameling en 'recycling': compostering	Compost	5	2	16	137	153	-163
Gft naar vergisting	Inzameling en 'recycling': vergisting	Biogas	5	2	40	13	53	-107

** Vermeden emissies mogen niet geclaimd worden in ketenanalyses van materialen, producten en bedrijfsvoering. Wel mogen vermeden emissies ter informatie los getoond worden.

4.3 Rekenvoorbeeld voor CSRD-rapportage

Een fictief rekenvoorbeeld

Bedrijf Q heeft als voornaamste afvalstromen: LDPE-wikkelfolie, een bak met gemengd metaal en een restafval. De eerste drie stromen worden gescheiden ingezameld met als doel recycling. Het bedrijfsrestafval ('grijze bak') wordt verbrand. Ook de transportafstanden zijn niet exact bekend, dus bedrijf Q neemt de transportimpact over van CO₂-emissiefactoren. Dit levert de volgende tabel en berekening op:

Tabel 9 - Rekenvoorbeeld afvalverwerking voor CSRD-rapportage (ESRS-richtlijnen), volgens Greenhouse Gas Protocol

1. Type afvalstroom	2. Hoeveelheid per jaar (ton)	3. Verwerkingsroute	4. Klimaatimpact per ton (kg CO ₂ -eq./ton)			5. Berekening: Totale klimaatimpact (kg CO ₂ -eq.)
			A. transport	B. sortering	A+B totaal	= kolom 2 x kolom 4 A+B
LDPE-wikkelfolie	1,5	Recycling	29	22	51	1,5 * 51 = 76,5
Glas	2	Recycling	26	0	26	2 * 26 = 52
Gemengd metaal	5	Recycling	26	6	32	5 * 32 = 160
HDO-restafval, zonder nascheiding	14	Verbranding	38	N.v.t.	38	14 * 38 = 532
Totaal	Resultaat voor CSRD-rapportage					820,5

A Achtergronden bij de berekening van de CO₂-emissiefactoren

A.1 Samenstelling van gemengde afvalstromen

A.1.1 Samenstelling ongesorteerd KWD-restafval

Tabel 10 bevat de gehanteerde samenstelling van ongesorteerd restafval uit bedrijven.

Tabel 10 - Gehanteerde samenstelling van ongesorteerd KWD-restafval (kantoren, winkels en diensten)

Fractie	Aandeel
Papier en karton	19,7%
Keukenafval	17,7%
Kunststof verpakkingen	14,9%
Kunststof niet-verpakkingen	9,20%
Hout	4,8%
Ferro + non-ferro	3,8%
Tuinafval	3,5%
Textiel	2,6%
Glas	2,2%
Incontinentiemateriaal/luiers	1,8%
Elektrische apparaten	1,0%
Drankenkartons	0,9%
Steenachtig	0,7%
KCA	0,4%
Overig	16,8%

Bron: (Elsinga, 2025).

In Tabel 10 staan enkele afvalstromen die uit meerdere materiaaltypen bestaan. In Tabel 11 staat weergegeven wat de samenstelling is van deze gemengde afvalstromen.

Tabel 11 – Gehanteerde samenstelling van de gemengde afvalstromen uit ongesorteerd afval

Gemengde afvalstroom	Afvaltype	Aandeel per gemengde afvalstroom
Kunststof Bron: (De AfvalSpiegel & Witteveen+Bos, 2023); Excel met brondata	PE	56,0%
	PP	18,0%
	PET	5,9%
	Gemengde kunststoffen	20,2%
Drankenkartons Bron: (WUR, 2022)	Karton	74,6%
	PE	23,3%
	Aluminium	2,1%
Incontinentiemateriaal/luiers Bron: (CE Delft, 2018)	Bioafval	70,4%
	Papier	13,0%
	PP	4,8%
	PE	1,7%
	Gemengde kunststoffen	8,0%
	Rubber	2,1%

A.2 Gebruikte milieukundige achtergronddata

A.2.1 Energiedragers

Voor energiedragers zijn de volgende CO₂-emissiefactoren toegepast die d.d. 9 juli 2025 op de website [CO2emissiefactoren.nl](https://co2emissiefactoren.nl) stonden:

- Elektriciteit - grijze stroom.
- Elektriciteit - zelf opgewekte groene stroom uit wind.
- Elektriciteit - zelf opgewekte groene stroom zonne-energie.
- Elektriciteit - uit biomassa.
- Aardgas.
- Diesel.

Daarnaast hebben enkele bedrijven voor elektriciteit de CO₂-emissie van hun stroometiket opgegeven. Andere energiedragers waarvan CO₂-emissiefactoren beschikbaar zijn werden niet opgegeven door de bedrijven.

A.2.2 Gegevens over verbranding van reststromen en afvalstoffen bij productie

In Tabel 12 staan de gegevens die gebruikt zijn bij het bepalen van de emissies en vermeden emissies van verbranding van materialen. De hoeveelheid energie die wordt opgewekt is afhankelijk van de verbrandingswaarde van het materiaal (de *lower heating value*; afgekort LHV). De bron is de Ecoinvent-database, versie 3.11, tenzij anders aangegeven. Zie Paragraaf 2.4 voor de gehanteerde efficiëntie voor energieopwekking. Meer informatie over de Ecoinvent-datasets in deze versie is te vinden op deze website: [Home | ecoQuery](#) (Ecoinvent, 2025b).

Tabel 12 – Verbrandingswaarden van verschillende materialen

Materiaal	Verbrandingswaarde (MJ/kg)	Ecoinvent-proceskaart of andere bron
Kunststoffen: gemengd (PMD) of ongespecificeerd	33,7	Gewogen gemiddelde van de diverse kunststoffen (verhouding) in ongesorteerd bedrijfsafval met verbrandingswaarden uit de diverse Ecoinvent-proceskaarten van kunststoffen (zie hieronder).
Kunststof verpakkingen in KWD	23,0	(Elsinga, 2025)
PET	23,0	Waste polyethylene terephthalate {CH} treatment of waste polyethylene terephthalate, municipal incineration
PP	32,6	Waste polypropylene {CH} treatment of waste polypropylene, municipal incineration
PE (LDPE-folies en HDPE)	39,0	Waste polyethylene {CH} treatment of waste polyethylene, municipal incineration
PVC	21,5	Waste polyvinylchloride {CH} treatment of waste polyvinylchloride, municipal incineration
EPS	32,2	Waste expanded polystyrene {CH} treatment of waste expanded polystyrene, municipal incineration
Papier en karton	17,9	Waste paperboard {CH} treatment of waste paperboard, municipal incineration
Hout: B- en C-hout	14,0	Waste wood, untreated {CH} treatment of waste wood, untreated, municipal incineration
Groenafval	1,3	(CE Delft, 2021)
Bouw- en sloopafval, ongesorteerd	4,1	Berekend op basis van een combinatie van materialen, opgegeven door een sorteerder van bouw- en sloopafval.
Puin	0 (inert)	Niet beschikbaar in Ecoinvent-database. Benadering voor inert materiaal: Waste glass {CH} treatment of waste glass, municipal incineration
Metalen	0 (inert)	Waste aluminium {CH} treatment of waste aluminium, municipal incineration

Materiaal	Verbrandingswaarde (MJ/kg)	Ecoinvent-proceskaart of andere bron
Glas	0 (inert)	Waste glass {CH} treatment of waste glass, municipal incineration
Ongesorteerd bedrijfsafval	15,5	Gewogen gemiddelde op basis van samenstelling ongesorteerd bedrijfsafval met verbrandingswaarden uit diverse Ecoinvent-proceskaarten per materiaalsoort.
Gevaarlijk afval (ongespecificeerd)	17,0	Hazardous waste, for incineration {CH} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration

A.2.3 Hulpstoffen

In diverse recyclingprocessen worden hulpstoffen gebruikt. De volgende hulpstoffen kwamen voor in de inventarisatie. Tabel 13 toont per hulpstof de naam van de Ecoinvent-proceskaart die we selecteerden voor de berekening van de CO₂-emissiefactor.

Tabel 13 - Gehanteerde bron voor hulpstoffen

Materiaal	Naam proceskaart Ecoinvent
Coagulanten waterzuivering	Iron sulfate {RoW} market for iron sulfate
PH-neutralisatie	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {RER} market for sodium hydroxide, without water, in 50% solution state
Polymeren waterzuivering	Polyacrylamide {GLO} market for polyacrylamide
Surfactant	Non-ionic surfactant {GLO} market for non-ionic surfactant
Titaniumdioxide, kleurstof	Titanium dioxide {RER} market for titanium dioxide
Stikstof	Nitrogen, liquid {RER} market for nitrogen, liquid
Regenwater	Water, harvested from rainwater {GLO} market for water, harvested from rainwater

A.2.4 Recyclingprocessen uit bestaande bronnen

Papier

De emissies van recycling zijn op basis van de Ecoinvent-dataset: *Containerboard, fluting medium {RER}| containerboard production, fluting medium, recycled*. De vermeden emissies zijn op basis van Ecoinvent: *Containerboard, fluting medium {RER}| containerboard production, fluting medium, semichemical*. De resultaten per ton geproduceerd gerecycled fluting zijn teruggerekend naar 1 ton input, op basis van de massabalans in de Ecoinvent-proceskaart. Zo is ook berekend hoeveel gerecycled fluting medium is geproduceerd, voor de vermeden emissies.

Metalen

De volgende bronnen en datasets zijn gebruikt:

Tabel 14 - Bronnen voor opwerking van metaal tot secundair metaal en voor primaire metaalproductie

Type metaal	Bron voor secundair metaal (emissie)	Bron voor primair metaal (vermeden emissie)
Staal, bovensoorten en ondersoorten	World Steel, 2019	World Steel, 2019
RVS	Ecoinvent: Chromium steel, electric arc furnace 'Region Europe' (RER)	Chromium steel, converter, 'Region Europe' (RER)
Koper	BIR (Grimes et al. 2008)/ Ekman Nilsson, 2017	Ecoinvent: Copper {RoW} production, primary
Zink	BIR (Grimes et al. 2008)/ Ekman Nilsson, 2018	International Zinc Association (IZA), 2015. 'Zinc Environmental Profile - 2015 Update'
Aluminium	Ecoinvent: Aluminium, cast alloy {RER} treatment of aluminium scrap, new, at refiner	Ecoinvent: Aluminium, primary, ingot {RoW} market for
Lood (puur)	Ecoinvent: Lead {RoW} treatment of electronics scrap, metals recovery in copper smelter. Aangepast met Europese stroommix.	Ecoinvent: Lead {GLO} primary lead production from concentrate

Voor kabels is de volgende aanpak gehanteerd:

- Het betreft kabels met koperen kern en koperdraad. In de praktijk wordt ook een deel kabels met aluminium kern toegepast. Het grootste deel is echter koper, zeker in vrijkomende gebruikte kabels. Qua milieu-impact en winst is dit een conservatieve benadering.
- Samenstelling van de kabels: 70% koper, 30% kunststof. Dit is een inschatting op basis van kabelsamenstellingen zoals gerapporteerd in EPD's van producent Prysmian. De range is echter breed: 50% tot 85% koper.
- Voor verwerking is de impact inbegrepen van het strippen van de kabels, om het koper te scheiden van het kunststof en eventuele overige materialen. Hierbij treedt 5% verlies aan metaal op. De impact en verliespercentage zijn overgenomen van (Swerea, 2013).
- Aangenomen is dat het kunststof wordt verbrand. De emissie is inbegrepen bij de impact van recycling (opwerking) op basis van verbranding van polyethyleen.
- De impact van opwerking van het koper en de vermeden emissies zijn op basis van de bronnen zoals genoemd in Tabel 14.

Literatuur

- CE Delft. (2018). *Lca afvalverwerking luiermateriaal*.
- CE Delft. (2021). *Bvor co2-tool groenafval: Update 2021*.
- De AfvalSpiegel, & Witteveen+Bos. (2023). *Onderzoek samenstelling restafval uit kwd-sector in kader van programma vang buitenshuis*.
- Ecoinvent. (2025a). *Ecoinvent v3.11*. ecoinvent. <https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-11/>
- Ecoinvent. (2025b). *Ecoquery: Ecoinvent v3.11 documentation*.
- EFRAG. (2025a). *Esr e1 climate change*.
- EFRAG. (2025b). *Esr e5 resource use and circular economy*.
- Elsinga. (2025). *Samenstelling restafval van de kwd-sector in 2024*.
- FEFCO, C. (2021). *European database for corrugated board life cycle studies*.
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group ii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 2022*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Maltha. (2026). *Our role in the circular economy*. In: Maltha.
- Ministerie van I&W. (2025). *Ontwerp circulair materialenplan - minimumstandaard voor verwerking*.
- Swerea. (2013). *Recycling production cable waste, environmental and economic aspects*.
- UN Environment programme. *Technology type group glass recycling*. In: UN Climate Technology Centre & Network.
- WBCSD. (2022). *Ghg protocol category 5: Waste generated in operations*.
- WRI, & WBCSD. (2011). *Corporate value chain (scope 3) accounting and reporting standard*.
- WUR. (2022). *Recycling van nederlandse drankenkartons*.