

Toekomstscenario's voor Nederlandse AEC's in een EU context

TNO 2026 R16973 – 18 juni 2026

Toekomstscenario's voor Nederlandse AEC's in een EU context

Auteurs	Rick Scholtes Toon van Harmelen Tom Ligthart Alix Reichenecker
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Aantal pagina's	78 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	6
Projectnaam	AEC Studie Publieke Zaken
Projectnummer	060.67904

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.

Gebruik van generatieve AI-tools.

Voor deze opdracht is gebruikgemaakt van een generatieve AI-tool (M365 Copilot) ter ondersteuning van het redigeren van de rapporttekst en verwerken van reviewcommentaar.

© 2026 TNO

Management samenvatting

Context en doel

Deze studie onderzoekt welke rol Nederlandse afvalenergiecentrales (AEC's) kunnen spelen in de overgang naar een klimaatneutrale en circulaire economie. AEC's zijn installaties die energie opwekken uit afval dat niet (meer) gerecycled wordt. De centrale vraag is: hoe beïnvloeden de toekomstige EU context en technologische opties de inzet, capaciteit en CO₂-prestaties van Nederlandse AEC's richting 2030, met een doorkijk naar 2050?

De studie bouwt voort op een eerdere TNO-studie uit 2024, waarin de rol van AEC's in de Nederlandse context werd geanalyseerd. Deze studie voegt daar aanvullende scenario's aan toe, gericht op Europese samenwerking en investeringen in schonere technologie.

Wat staat er te gebeuren?

Minder Nederlands afval beschikbaar

Als Nederland zijn eigen doelen voor circulaire economie haalt - minder afval, meer recycling - daalt het aanbod van brandbaar restafval fors. Dit leidt tot overcapaciteit bij AEC's: er is meer verbrandingscapaciteit beschikbaar dan er afval is om te verwerken.

Recycling vraagt zelf ook om AEC's

Tegelijkertijd zal hogere recycling juist reststromen opleveren die niet verder gerecycled (kunnen) worden. Deze reststromen moeten alsnog verwerkt worden. AEC's blijven dus ook in een circulaire economie relevant.

Europees overschot aan afval

Door EU-stortbeperkingen kan steeds minder afval gestort worden. Omdat er in een aantal EU landen onvoldoende recycling- of verbrandingscapaciteit is dreigt een overschot aan afvalstromen. Nederland heeft verwerkingscapaciteit die hiervoor ingezet kan worden. Bovendien helpt import van dit afval tegelijk bij het voorkomen van methaanemissies die ontstaan bij storten van afval elders in Europa.

Wat leren de scenario's ons?

De studie werkt met meerdere scenario's die variëren op twee assen: hoeveel afval wordt geïmporteerd, en in welke mate wordt geïnvesteerd in verduurzaming van AEC's (zoals installatie van CO₂-afvang en -opslag, betere nascheiding en meer warmte- en elektriciteitsproductie).

Uit de scenario's blijkt dat de toekomstige rol van AEC's niet goed kan worden beoordeeld vanuit een uitsluitend nationale afvalmarkt. Wanneer alleen naar het afnemende Nederlandse afvalaanbod wordt gekeken, ontstaat vooral een beeld van onderbenutting en mogelijke capaciteitsafbouw. In een EU context verandert dat beeld: Nederlandse AEC's kunnen een rol spelen bij de verwerking van reststromen uit andere landen die anders mogelijk gestort worden, en bij de verwerking van residuen die ontstaan door meer en hoogwaardiger recycling.

Het belangrijkste scenario-inzicht is dat vooral de combinatie van behoud van AEC-capaciteit voor de Europese markt, verwerking van recyclingresiduen en investering in CCS tot een duidelijk betere klimaatprestatie leidt. Scenario's waarin deze elementen samenkomen,

presteren beter dan scenario's waarin AEC-capaciteit alleen nationaal wordt gezien, wordt afgebouwd en CCS uitblijft.

Klimaat- en milieuprestaties

De scenario's laten zien dat CCS bepalend is voor de klimaatprestatie van AEC's. Zonder CO₂-afvang blijven de netto emissies positief, ondanks energierugwinning en de verwerking van recyclingresiduen. Met CCS worden fossiele emissies sterk verminderd, terwijl opslag van biogene CO₂ een negatieve klimaatbijdrage mogelijk maakt. Daarnaast zorgt afvalverbranding voor vermeden emissies bij stort en primaire metaalproductie en draagt het bij aan vermeden kunststofproductie.

Daarbij geldt wel dat een betere CO₂-prestatie niet automatisch betekent dat alle milieuprestaties verbeteren. CCS vraagt energie, waardoor in sommige scenario's andere milieu-indicatoren verslechteren.

Onzekerheden op de lange termijn

Voor de periode na 2030 is het moeilijker te voorspellen hoeveel afval er in Europa beschikbaar zal zijn. Rond 2035 zal er waarschijnlijk afval beschikbaar zijn, maar voor 2050 hangt dat onder meer af van demografische en economische ontwikkelingen en van de snelheid en effectiviteit waarmee de circulaire economie zich ontwikkelt. Zowel schaarste als overschot is mogelijk. Beleid en investeringsbeslissingen moeten rekening houden met deze bandbreedte.

Aanbevelingen

De rol van AEC's ontwikkelt zich van nationaal afvalverwerker nationaal afvalverwerker naar onderdeel van een EU-systeem voor afval, energie en grondstoffen. Dat vraagt om gerichte keuzes op drie terreinen:

-) Samenhang in beleidskeuzes: beslissingen over AEC-capaciteit, recyclingdoelen en afvalpreventie moeten in onderlinge samenhang worden gemaakt, en in een EU context worden gezien, niet los van elkaar.
-) Duidelijke kaders voor import: er is behoefte aan heldere beleidsmatige voorwaarden voor de import van afvalstromen en secundaire grondstoffen, zodat Nederland zijn capaciteit verantwoord kan inzetten binnen een EU-context.
-) Versnelling van CCS: CO₂-afvang en -opslag moet in samenhang met energie-infrastructuur, warmtenetten en de toekomstige rol van afvalverbranding worden ontwikkeld.

Conclusie

De toekomstige prestaties van AEC's hangen af van systeemkeuzes: hoe gaan we om met afvalstromen, recycling en technologische verduurzaming? AEC's blijven noodzakelijk voor reststromen, maar hun rol wordt steeds meer Europees en hun klimaatprestatie wordt sterk beïnvloed door de inzet van CCS.

Scenario's waarbij ingezet wordt op behoud van AEC-capaciteit voor de Europese markt, verwerking van recyclingresiduen én investering in CCS leveren een duidelijk betere klimaatprestatie op dan scenario's waarbij AEC-capaciteit enkel nationaal wordt gezien, wordt afgebouwd en CCS uitblijft.

Daarmee laten de scenario's zien dat keuzes over AEC-capaciteit, recycling, import en CCS in samenhang moeten worden gemaakt, zodat de rol van AEC's aansluit bij de ontwikkeling van het EU afval-, grondstoffen- en energiesysteem.

Executive Summary

Context and objective

This study examines the role Dutch waste-to-energy plants (WtE plants, AECs in Dutch) can play in the transition towards a climate-neutral and circular economy. WtE plants generate energy from waste that can no longer be recycled. The central question is: how will the future EU context and technological options influence the deployment, capacity, and CO₂-performance of Dutch WtE plants towards 2030, with an outlook to 2050?

The study builds on a previous TNO study from 2024, which analysed the role of WtE plants in the Dutch context. This study adds additional scenarios focused on European cooperation and investments in cleaner technologies.

What developments are expected?

Less Dutch waste available

If the Netherlands achieves its circular economy targets - less waste and more recycling - the supply of combustible residual waste will decrease significantly. This will lead to overcapacity at WtE plants: more incineration capacity will be available than there is waste to process.

Recycling requires WtE plants

At the same time, higher recycling rates will generate residual streams that cannot be recycled further. These residual streams still need to be treated. WtE plants therefore remain relevant in a circular economy.

European surplus of waste

Due to EU landfill restrictions, less and less waste can be disposed of in landfills. In several EU countries, insufficient recycling or incineration capacity is creating a risk of surplus waste streams. The Netherlands has capacity that can be used for this purpose. Moreover, importing this waste helps avoid methane emissions that would occur if the waste were landfilled elsewhere in Europe.

What do the scenarios show?

The study uses multiple scenarios that vary along two dimensions: the volume of imported waste and the level of investment in making WtE plants more sustainable (such as installing carbon capture and storage (CCS), improving post-separation, and increasing heat and electricity production).

The scenarios show that the future role of WtE plants cannot be properly assessed from a purely national waste market perspective. If only the declining Dutch waste supply is considered, the picture is one of underutilisation and potential capacity reduction. In a EU context, this picture changes: Dutch WtE plants can play a role in processing residual waste streams from other countries that might otherwise be landfilled, as well as residues resulting from increased and higher-quality recycling.

The key insight from the scenarios is that the combination of maintaining WtE capacity for the European market, processing recycling residues, and investing in CCS leads to clearly better climate performance. Scenarios where these elements are combined perform better than

those where WtE capacity is considered only nationally and is reduced, and where CCS is not implemented.

Climate and environmental performance

The scenarios show that CCS is a determining factor for the climate performance of WtE plants. Without carbon capture, net emissions remain positive, despite energy recovery and the treatment of recycling residues. With CCS, fossil emissions are significantly reduced, while the storage of biogenic CO₂ enables a negative climate contribution. In addition, waste incineration leads to avoided emissions from landfilling, primary metal production, and contributes to avoided plastic production.

However, improved CO₂-performance does not automatically mean that all environmental performance improves. CCS requires energy, which can worsen other environmental indicators in some scenarios.

Long-term uncertainties

For the period after 2030, it becomes more difficult to predict how much waste will be available in Europe. Around 2035, waste will most likely still be available, but the situation in 2050 depends on demographic and economic developments, as well as the speed and effectiveness of the transition to a circular economy. Both scarcity and surplus are possible. Policy and investment decisions must take this range into account.

Recommendations

The role of WtE plants is developing from national waste treatment facilities to part of a EU system for waste, energy, and raw materials. This requires targeted choices in three areas:

- › Coherent policy-making: decisions on WtE capacity, recycling targets, and waste prevention should be made in an integrated way and within a EU context, rather than in isolation.
- › Clear frameworks for imports: there is a need for clear policy conditions for the import of waste streams and secondary raw materials, enabling the Netherlands to deploy its capacity responsibly within a European context.
- › Acceleration of CCS: carbon capture and storage should be developed in conjunction with energy infrastructure, heat networks, and the future role of waste incineration.

Conclusion

The future performance of WtE plants depends on system-level choices: how are waste streams, recycling, and sustainability of technologies managed? WtE plants remain necessary for residual streams, but their role becomes increasingly European, and their climate performance is strongly influenced by the deployment of CCS.

Scenarios that combine maintaining WtE capacity for the European market, processing recycling residues, and investing in CCS show significantly better climate performance than scenarios in which WtE capacity is considered only at the national level, reduced, and where CCS is not implemented.

The scenarios therefore demonstrate that decisions on WtE capacity, recycling, imports, and CCS must be made in an integrated way to ensure that the role of WtE plants aligns with the development of a EU waste, materials, and energy system

Inhoudsopgave

Management samenvatting	3
Executive Summary	5
Afkortingen	8
1 Inleiding	9
2 Aanpak van de studie	11
2.1 Doel en Reikwijdte van de studie	11
2.2 Opzet van de studie	11
2.3 Methodiek bepaling milieu impact	14
3 Gegevensverzameling	19
3.1 Gebruikte data bronnen	19
3.2 Dataverwerking en Aannames	20
3.3 Samenvatting samenstelling verbrand afval 2021	25
3.4 Robuustheid van de resultaten	27
4 Resultaten	28
4.1 Scenario's	28
4.2 Achtergrond EU scenario's	29
4.3 Volumeontwikkelingen	31
4.4 CO ₂ -prestaties	34
4.5 Overige milieuprestaties	37
4.6 Perspectief 2050	38
5 Conclusies	39
6 Aanbevelingen	41
6.1 Implicaties voor de rol van de Nederlandse AEC's	41
6.2 Beleidsrelevante aandachtspunten	41
6.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	42
Referenties	44
Ondertekening	47
Bijlagen	
Bijlage A: Milieu impactcategorien	48
Bijlage B: Samenstelling verbrand afval 2021	49
Bijlage C: Figuren toekomstscenario's	52
Bijlage D: Vergelijking scenario's	57
Bijlage E: Overzicht gestort afval en overschot	59
Bijlage F: Overige Milieuprestaties	61

Afkortingen

Afkorting	Betekenis
AEC	Afvalenergiecentrale
EVOA	Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen
GFT	groente-, fruit- en tuinafval
GSA	Gemengd stedelijk afval
HDO	Handel, diensten en overheidssector
KEV	Klimaat- en Energieverkenning
LCA	Levenscyclusanalyse
PMD	Plastic verpakkingen, metalen verpakkingen en drankkartons
UPV	Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid
WTE	Waste-to-energy plant

1 Inleiding

De huidige verwerking van restafval middels verbranding staat in Nederland en Europa onder toenemende druk, maar er zijn ook nieuwe kansen en mogelijkheden. Beleidsdoelstellingen op het gebied van recycling, circulariteit en klimaat leiden tot ingrijpende veranderingen in het afval- en energiesysteem [1], [2]. Tegelijkertijd zorgen technologische ontwikkelingen, zoals verbeterde sortering, warmtenetten en CO₂-afvang, voor nieuwe mogelijkheden binnen de afvalverwerking [1], [3]. Voor afvalenergiecentrales (AEC's) betekent dit dat hun toekomstige rol, benutting en milieuprestatie sterk afhankelijk worden van zowel nationale als Europese ontwikkelingen.

Nederlandse AEC's opereren daarbij niet in isolatie. Afvalstromen, verwerkingscapaciteit en beleidskeuzes moeten in een Europese context¹ worden gezien, niet uitsluitend vanuit een Nederlands perspectief [2]. Verschillen tussen EU-lidstaten in recyclingpercentages, stortdoelstellingen en beschikbare verbrandingscapaciteit kunnen leiden tot verschuivingen in afvalstromen, waaronder import van brandbaar restafval naar Nederland [2]. Deze Europese dynamiek heeft directe gevolgen voor de inzet van Nederlandse AEC-capaciteit en voor de milieueffecten van afvalverwerking.

In 2024 heeft TNO, in opdracht van de ministeries van EZK en IenW, een studie uitgevoerd naar de toekomstige benodigde afvalverbrandingscapaciteit en de milieuprestaties van afvalverbranding binnen de Nederlandse context. Die studie liet zien dat beleidsaanscherpingen en technologische ontwikkelingen een grote invloed hebben op zowel afvalvolumes als emissies richting 2030 en verkennend 2050. Het voor u liggende onderzoek bouwt daarop voort met een focus op de Europese context [4].

TNO is door een consortium van zes in Nederland gevestigde AEC's (AEB, ARN, Attero, AVR, EEW Energy from Waste en Twence) gevraagd om de studie uit 2024 verder uit te bouwen en Nederland te plaatsen binnen een Europees afval-, grondstoffen- en energiesysteem. De studie laat door scenarioanalyses voor 2030 en verkennend voor 2050 zien wat de mogelijke ontwikkelingen van afvalstromen, capaciteitsbenutting, energie- en warmtebijdrage op de milieuprestatie van Nederlandse AEC's is. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar Nederlandse afvalstromen, maar ook naar de potentiële beschikbaarheid en samenstelling van importstromen uit andere EU-lidstaten en naar de effecten van recente beleidsontwikkelingen. Aanvullend worden relevante technologische opties meegenomen, zoals PMD-nascheiding, warmtebenutting, metaalrecycling en Carbon Capture & Storage (CCS), die niet onderdeel waren van de eerdere studie uit 2024 [4].

De centrale onderzoeksvraag voor deze studie is:

Hoe beïnvloeden de toekomstige EU context en technologische opties de inzet, capaciteit en CO₂ prestaties van Nederlandse AEC's richting 2030, met een doorkijk naar 2050?

¹ In dit rapport richten we ons op de effecten van EU beleid op beschikbaarheid van afval uit EU lidstaten; er is, zoals nu, in de toekomst mogelijk ook afval beschikbaar vanuit niet-EU landen zoals het Verenigd Koninkrijk, maar daar is in deze studie niet expliciet naar gekeken.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

-) Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van de studie.
-) Hoofdstuk 3 beschrijft de gegevensverzameling.
-) Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de studie weer.
-) Hoofdstuk 5 bevat de conclusies.
-) Hoofdstuk 6 sluit af met de aanbevelingen.

2 Aanpak van de studie

2.1 Doel en Reikwijdte van de studie

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de wijze waarop de toekomstige Europese beleids- en marktgeving de inzet, capaciteit en milieuprestaties van Nederlandse afvalenergiecentrales (AEC's) beïnvloedt richting 2030, met een verkennende doorkijk naar 2050. Nederland wordt daarbij expliciet beschouwd als onderdeel van een breder Europees afval-, grondstoffen- en energiesysteem.

De studie omvat twee samenhangende scenario's. Het nationale scenario richt zich op de ontwikkeling van Nederlandse afvalstromen en beschikbare technologische opties. Het tweede scenario betreft daarnaast afvalstromen uit de EU, met name de mogelijke import van brandbaar restafval uit lidstaten die hun stort- en recyclingdoelstellingen niet realiseren [2]. In beide scenario's zijn relevante beleidsontwikkelingen en technologieën meegenomen, waaronder PMD-nascheiding, warmtebenutting, metaalrecycling en CO₂-afvang en -opslag (CCS).

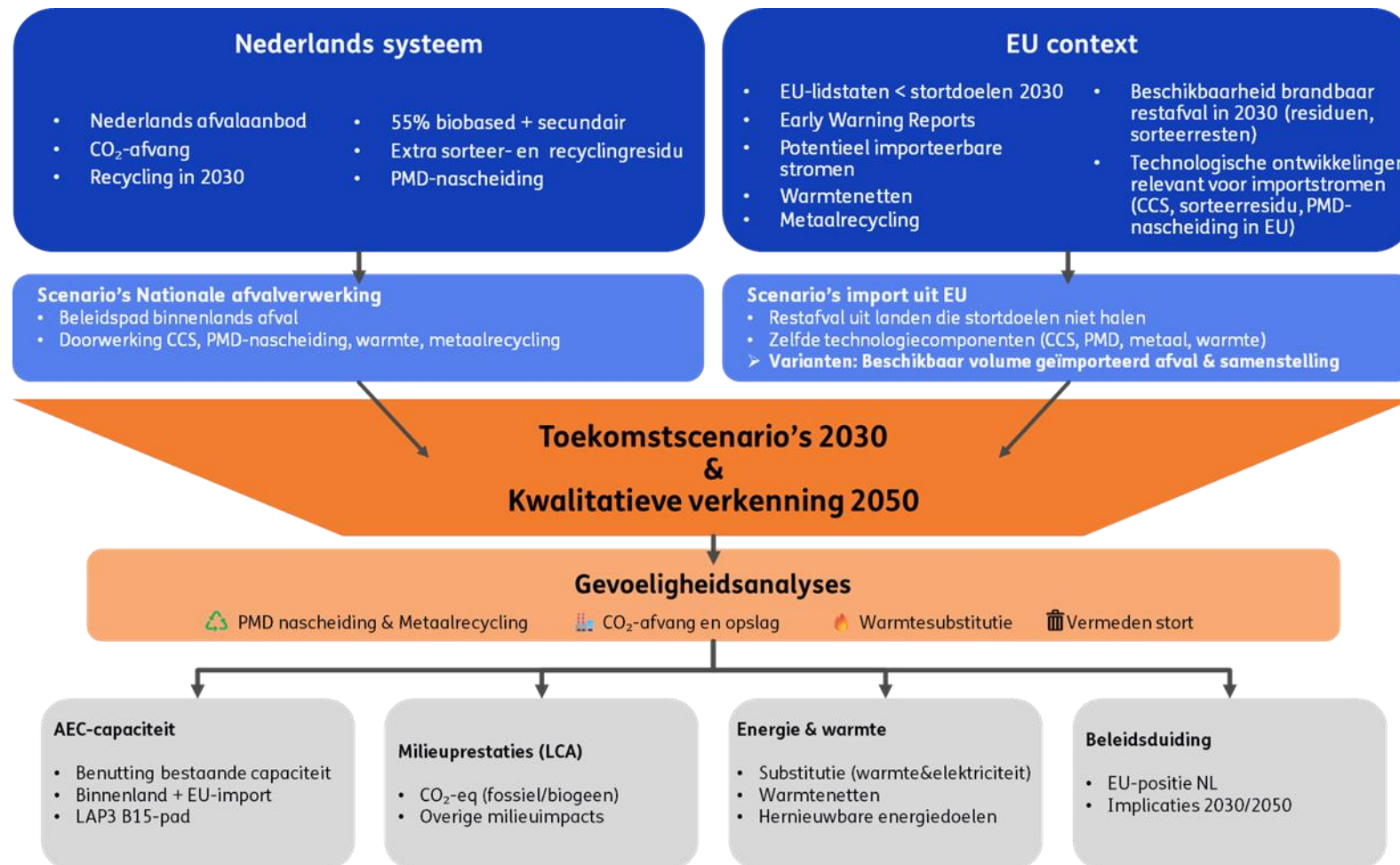
De analyse richt zich op de benutting van AEC-capaciteit, de milieuprestaties met focus op klimaatverandering op basis van een levenscyclusanalyse (LCA), de bijdrage aan energie- en warmtevoorziening en de beleidsmatige implicaties voor Nederland binnen de EU context.

2.2 Opzet van de studie

Om de toekomstige rol, benutting en milieuprestaties van Nederlandse AEC's inzichtelijk te maken, is gewerkt met twee samenhangende scenario's, aangevuld met een gerichte set gevoeligheden die door middel van bijdrage analyses in beeld gebracht zijn. In Figuur 2.1 wordt de opzet van de studie weergegeven.

Bij de uitgangspunten voor het Nederlands systeem wordt uitgegaan dat de circulaire doelen gehaald worden. Het beleidspad uit de TNO studie van 2024 blijft ook in deze studie het uitgangspunt waarbij de hoeveelheid binnenlands afval significant afneemt [4]. Wat is toegevoegd c.q. veranderd ten opzichte van de studie uit 2024 is dat Nederlands brandbaar afval niet meer geëxporteerd wordt, maar verwerkt wordt bij Nederlandse AEC's.

Deze nieuwe studie gaat er, in aanvulling op de eerdere TNO studie, vanuit dat het beleid om afvalenergiecentrales te stimuleren om te investeren in CO₂-afvang slaagt, waardoor afvalenergiecentrales met CCS gaan bijdragen aan de klimaatdoelen [5]. Ook worden de effecten meegenomen van de nascheiding van plastic, metalen en drankpakken in nascheidinginstallaties bij AEC's en van metaalterugwinning uit bodemas [6], [4]. Tevens is de uitgangspunt dat de AEC's warmte blijven leveren aan de industrie en collectieve warmtenetten ter vervanging van aardgas [7].



Figuur 2.1: Opzet van het onderzoek.

In het nationale scenario wordt de ontwikkeling van binnenlands afval en de prestaties van Nederlandse AEC's doorgerekend op basis van het netto beschikbare afval, inclusief effecten van circulair beleid en technologische ontwikkelingen. Dit scenario laat zien hoe de AEC-capaciteit en milieuprestaties zich ontwikkelen zonder import en export van afval.

Daarnaast worden de nieuwe nationale circulaire-economiedoelen verwerkt, waarbij het aandeel duurzame biotische en secundaire grondstoffen binnen het totale grondstoffengebruik in 2035 minimaal 55% moet bedragen, met als tussendoel voor 2030 minimaal ongeveer 50%. Fossiele en biotische energiedragers zijn bij dit doel uitgesloten. [8] Om de doelstelling te kunnen behalen zal meer afval uit binnen- en buitenland in Nederland gerecycled moeten worden [9]. Hier ontstaat extra sorteer- en recyclingresidu uit dat in afvalenergiecentrales verwerkt gaat worden.

Vanuit de EU context wordt gekeken naar de beschikbaarheid van afval binnen de EU dat in Nederlandse afvalenergiecentrales verwerkt kan worden en dat anders gestort zou worden. EU-lidstaten hebben als doelstelling om in 2030 maximaal 10% van het stedelijk afval te storten. Toen deze doelstelling niet haalbaar bleek is deze doelstelling verschoven naar 2035 [2]. Uit Early Warning Reports blijkt dat nog steeds veel EU-landen dreigen de 2035-stortdoelstelling niet te halen [2]. Het storten van afval leidt tot emissies van het sterke broeikasgas methaan [10]. Door het afval in Nederland om te zetten in grotendeels hernieuwbare warmte wordt deze methaanuitstoot voorkomen en wordt bijgedragen aan de hernieuwbare energiedoelen en wordt Europa minder afhankelijk van de import van energie van buiten de EU [10], [7]. De milieueffecten van transport zijn meegenomen in de analyse.

Het Europese scenario bouwt hierop voort door afvalstromen uit het buitenland toe te voegen. In verschillende scenario's wordt het importvolume en het type afval gevarieerd. Dit plaatst Nederland nadrukkelijk in de context van het Europese afval- en energiesysteem en maakt de mogelijke rol van Nederlandse AEC's daarin zichtbaar.

Om de onzekerheden en bandbreedte van toekomstige ontwikkelingen te verkennen is gekeken naar de bijdrage van de volgende posten [6], [3], [10], [7]:

) **PMD-nascheiding**

Het al dan niet scheiden van afval om de gevolgen voor afvalsamenstelling, energierugwinning en vermeden emissies van kunststofrecycling in beeld te brengen.

) **Metaalrecycling**

Het al dan niet terugwinnen van metalen om de vermeden emissies van metaalproductie in beeld te brengen.

) **CO₂-afvang en -opslag (CCS)**

Het al dan niet afvangen en opslaan van CO₂ om het effect op energieproductie, emissies en de bijdrage aan klimaatdoelstellingen te analyseren.

) **Warmtesubstitutie**

Variatie in warmteafzet en substitutie, gericht op de bijdrage van AEC's aan warmtenetten en de vermeden emissies ten opzichte van alternatieve warmtebronnen.

) **Vermeden stort**

Het al dan niet meenemen van de effecten van vermeden stort in het buitenland (bestaande uit vermeden methaan emissies maar ook vermeden energieproductie).

Deze gevoeligheidsanalyses zijn toegepast op beide scenario's, waarmee de robuustheid van de conclusies onder verschillende beleids-, technologie- en marktaannames wordt getoetst.

2.3 Methodiek bepaling milieu impact

De methodiek is gebaseerd op de TNO-studie uit 2024 [4] en uitgebreid met een expliciete EU context, aanvullende technologieën en recente beleidsontwikkelingen. Centraal staat de modellering van een nationaal en een Europees scenario voor 2030, met een kwalitatieve verkenning richting 2050.

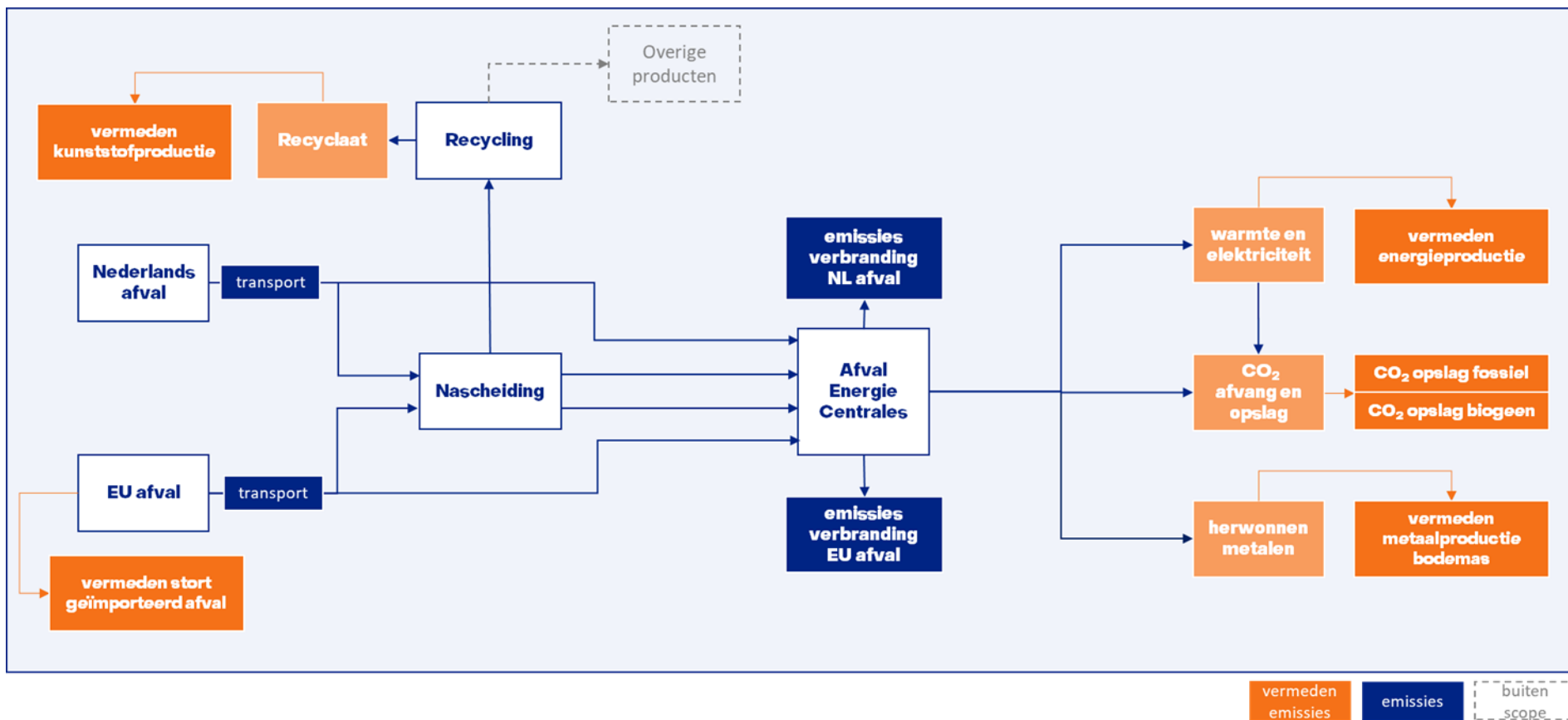
Voor beide scenario's zijn afvalstromen, samenstelling, technologieën en energie- en klimaatkaders consistent doorgerekend, zodat verschillen in resultaten primair zijn toe te schrijven aan beleids- en marktdynamiek.

De milieuprestaties zijn bepaald met behulp van een LCA conform ISO 14040/14044 [11], [12]. Zowel directe emissies als vermeden emissies zijn meegenomen, waaronder effecten van energierugwinning, metaalrecycling, warmtegebruik en CCS [4], [10]. Voor grensoverschrijdende afvalstromen zijn ook de transporteffecten expliciet opgenomen. De resultaten maken onderscheid tussen effecten binnen en buiten Nederland.

De methodiek is iteratief toegepast, met vaste afstemmingsmomenten met de opdrachtgever waarin aannames, data en voorlopige inzichten zijn besproken en vastgelegd. Dit resulteert in een transparant en reproduceerbaar analysekader.

2.3.1 Scope

De scope van deze studie omvat het Nederlandse afval- en energiesysteem rondom afvalenergiecentrales (AEC's), geplaatst in een EU context. De systeemafbakening volgt de relevante materiaal- en energiestromen (Figuur 2.2) en richt zich op zowel de fysieke afvalstromen als de daaraan gekoppelde vermeden effecten, zoals vermeden stort, vermeden inzet van primaire grondstoffen en vermeden energieproductie elders



Figuur 2.2: Tekst Scope² van de studie.

² Dit is de scope voor de CO₂-prestatie. Voor de resterende milieuprestaties valt de route vanaf nascheiding tot vermeden kunststofproductie buiten scope.

Voor het jaar 2030 wordt een kwantitatieve levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd voor de verwerking van brandbaar restafval in Nederlandse AEC's. De functionele eenheid is de jaarlijkse hoeveelheid brandbaar restafval die binnen een scenario door Nederlandse AEC's wordt verwerkt. Voor 2050 wordt geen volledige kwantitatieve LCA uitgevoerd, maar een verkennende analyse op hoofdlijnen en orde van grootte.

Binnen de scope vallen de kernprocessen van AEC's, waaronder transport van afval, verbranding van restafval en de productie van elektriciteit en warmte. Ook aanvullende technologieën worden meegenomen voor zover deze relevant zijn voor de milieuprestatie, zoals CO₂-afvang en -opslag (CCS), metaalterugwinning en na-scheiding van PMD. Voor PMD-nascheiding worden alleen de vermeden effecten van plasticproductie beschouwd; de nascheidings- en verdere opwerkingsprocessen zelf vallen buiten de scope evenals de CO₂-reductie die wordt gerealiseerd bij drankpakken-nascheiding en nascheiding van eventuele andere stromen [6], [9].

Aan de voorkant van de keten worden veranderingen in hoeveelheid en samenstelling van het brandbare residu meegenomen voor zover deze bepalen hoeveel afval aan Nederlandse AEC's wordt aangeboden. Sorteert-, nascheidings- en opwerkingsprocessen voorafgaand aan verbranding vallen buiten de LCA, omdat deze primair gericht zijn op recycling en niet op afvalverbranding. Deze afbakening sluit aan bij de eerdere studie [4].

De energie-output van AEC's (warmte en elektriciteit) wordt gekoppeld aan het bredere energiesysteem, waarbij expliciet wordt gekeken naar de mate waarin deze productie andere energiebronnen vervangt. Dit vormt een belangrijk onderdeel van de analyse van vermeden effecten.

Daarnaast worden de volgende vermeden effecten meegenomen [2], [10], [4], [9]:

- › vermeden stort van afval binnen de Europese Unie;
- › vermeden productie van primaire metalen door metaalterugwinning;
- › vermeden productie van kunststoffen door recycling.

Tot slot wordt in een aantal scenario's gekeken naar de inzet van afvalstromen uit andere EU-lidstaten die naar verwachting hun afval niet hoogwaardig kunnen verwerken en niet meer mogen storten, om zo de capaciteit van Nederlandse AEC's optimaal te benutten.

2.3.2 Functionele eenheid

De functionele eenheid is gekoppeld aan de scenarioanalyse voor 2030 en betreft de verwerking van de totale hoeveelheid brandbaar restafval die in het betreffende scenario gedurende één jaar aan Nederlandse AEC's wordt aangeboden. De analyse omvat de processen die direct samenhangen met deze verwerking, waaronder afvaltransport tot aan de AEC, verbranding, elektriciteits- en warmteproductie, metaalterugwinning en CO₂-afvang en -opslag (CCS). Voor eventuele importstromen wordt het transport meegenomen conform de transportaannames van het betreffende scenario. Sorteert-, nascheidings- en verdere opwerkingsprocessen voorafgaand aan verbranding vallen buiten de LCA-scope. De effecten van nascheiding en recycling worden in deze studie alleen indicatief meegenomen voor zover teruggewonnen materialen leiden tot vermeden productie van primaire grondstoffen³.

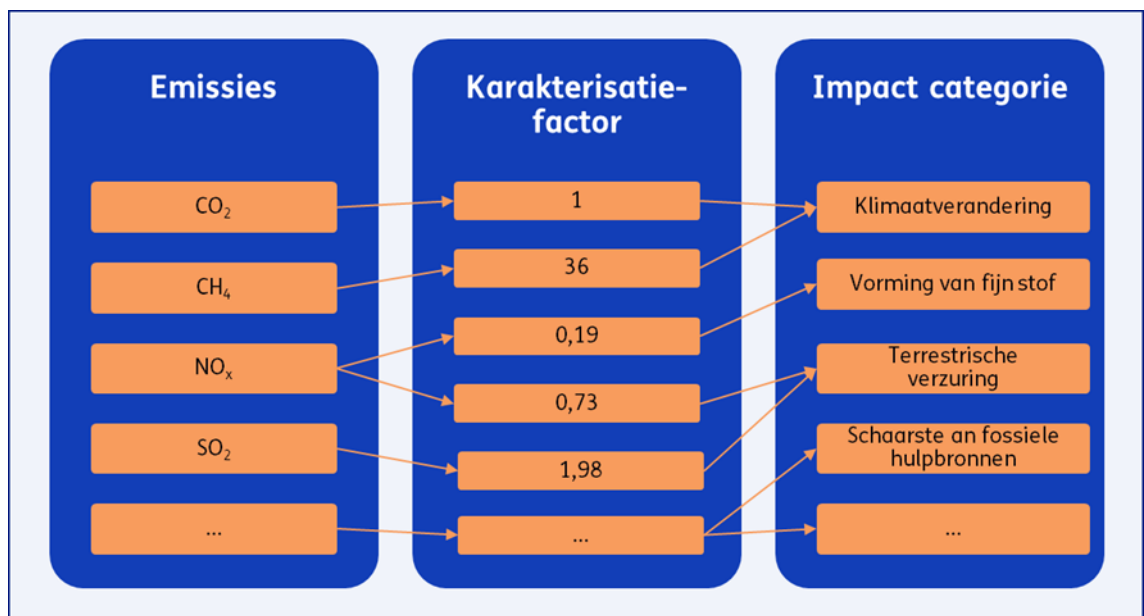
³ Voor deze recyclingroute is geen volledige procesmodellering uitgevoerd van sortering, nascheiding, recycling en verdere opwerking. Voor de klimaatbijdrage is aangesloten bij CO₂-kengetallen uit een externe studie, waarmee het substitutie-effect van recycelaat (vermeden productie van primaire kunststof) is meegenomen [9]. De milieulasten van de onderliggende sorteert-, nascheidings-, recycling- en opwerkingsprocessen zijn in deze studie niet afzonderlijk

De functionele eenheid is daarmee:

de jaarlijkse verwerking van de in een scenario aangeboden hoeveelheid brandbaar restafval door Nederlandse AEC's in 2030.

2.3.3 Methode effectbeoordeling

De LCA is uitgevoerd met SimaPro (versie 10.3) volgens de richtlijnen van ISO 14040 en 14044 [11], [12], [13]. Voor de effectbeoordeling is de ReCiPe 2016 midpoint methode, hierarchist perspective (H), versie 1.12, toegepast [14]. Deze methode classificeert inputs en emissies naar vast gedefinieerde impactcategorieën, zoals klimaatverandering, toxiciteit en verzuring, elk met een eigen referentie-eenheid. Met behulp van karakteriseringsfactoren zijn emissies omgerekend naar milieubelasting op midpointniveau (Figuur 2.3).



Figuur 2.3: Omzetting van emissies naar midpoint indicatoren.

Alle berekeningen inclusief vermeden emissies (bonussen) zijn uitgevoerd voor klimaatverandering. De overige milieupactcategorieën zijn alleen berekend voor de kernprocessen van afvalenergiecentrales en niet voor de vermeden emissies en onderliggende processen. Een overzicht van alle gebruikte impactcategorieën en bijhorende eenheden zijn terug te vinden in Bijlage A.

2.3.4 Allocatie

AEC's zijn gemodelleerd als multifunctionele systemen waarin afvalverwerking, energieproductie, materiaal terugwinning en in sommige scenario's CCS plaatsvinden. Allocatie is zoveel mogelijk vermeden door toepassing van systeemuitbreiding (substitutie) [12].

gemodelleerd. De resultaten voor deze post moeten daarom worden geïnterpreteerd als een indicatieve bijdrage van vermeden primaire kunststofproductie, en niet als een volledige netto milieubeoordeling van de recyclingroute. Andere materialen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

De relevante substitutie-effecten zijn gemodelleerd als vermeden alternatieve processen en emissies. Het gaat daarbij onder meer om vermeden productie van elektriciteit en warmte, vermeden primaire materiaalproductie, vermeden stortemissies en vermeden CO₂-emissies door CCS. Deze aanpak is consistent toegepast in alle scenario's. Substitutieaannames zijn gebaseerd op relevante energie- en beleidskaders en expliciet gerapporteerd.

2.3.5 Validatie

De validatie richt zich op consistentie, transparantie en representativiteit van data en aannames. Geografische representativiteit is nagestreefd door zoveel mogelijk gebruik te maken van proces- en land-specifieke data. Voor Nederlandse processen zijn Nederland-specifieke gegevens gebruikt waar deze beschikbaar waren; waar dat niet het geval was, is gebruikgemaakt van West-Europese datasets of van data uit landen met een vergelijkbare context. Voor importstromen zijn datasets gekozen op basis van de beschikbare informatie over herkomst, transport en samenstelling.

De tijdsgebonden representativiteit sluit aan bij 2030, met actuele beleids- en technologieaannames. Voor 2050 is gekozen voor een kwalitatieve benadering. De interne consistentie is getoetst door vergelijking met eerdere TNO-studies en door systematische toepassing van scenario's en gevoeligheidsanalyses.

2.3.6 Datakwaliteit

De datakwaliteit is beoordeeld conform ISO 14040/14044, met aandacht voor betrouwbaarheid, consistentie en representativiteit [11], [12]. De studie combineert primaire data van AEC's, bestaande TNO-datasets en publiek beschikbare bronnen. Waar primaire data ontbraken, zijn representatieve standaardwaarden gebruikt. Alle aannames zijn consistent toegepast en expliciet gedocumenteerd voor scenario's en gevoeligheidsanalyses.

3 Gegevensverzameling

3.1 Gebruikte data bronnen

3.1.1 Nederlandse systeemdata

De Nederlandse systeemanalyse is gebaseerd op data over het verwachte afvalaanbod in Nederland voor 2030 en 2050 [4]. Daarbij is rekening gehouden met de effecten van nationale circulariteitsdoelen, waaronder de doelen uit het Nationaal Programma Circulaire Economie 2025, en met de gevolgen van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV-regelingen) [8], [4]. Deze beleidsontwikkelingen beïnvloeden zowel de totale hoeveelheid afval als de samenstelling daarvan.

Voor deze onderdelen is grotendeels gebruikgemaakt van databronnen die reeds beschikbaar waren vanuit de eerdere TNO-studie [4]. Deze studie bevatte onder meer gegevens over de Nederlandse afvalsamenstelling en de samenstelling van residuen na sortering. Deze bestaande data vormt de basis van de huidige analyse.

Daarnaast zijn voor deze studie aanvullende aannames en databronnen gebruikt om technologische ontwikkelingen binnen Nederland beter te kunnen representeren. Het gaat hierbij onder meer om ontwikkelingen op het gebied van PMD-nascheiding, uitbreiding van warmtenetten, verbeteringen in metaalrecycling en de inzet van CO₂-afvang en -opslag (CCS) [6], [7], [3]. In de eerdere studie werd gewerkt met generieke energie- en emissieparameters voor AEC's. In deze studie is de toepassing van CCS meegenomen in verschillende scenario's. De toepassing van CCS heeft invloed op de hoeveelheid warmte die geleverd kan worden. Voor de berekening is daarom gebruik gemaakt van Klimaat- en Energieverkenning (KEV) jaarprognose, waarbij er rekening is gehouden met de relatie tussen CCS en warmte- en elektriciteitslevering [15].

Omdat de vraag in de vorige studie anders is dan voor deze studie, is in de vorige studie CCS niet meegenomen in de berekening en in deze studie wel. Hoewel er voor de huidige studie aanvullende informatie verzameld is over actuele en geplande CCS-projecten per AEC, inclusief aannames over afvangpercentages, resterende emissies en opslagvolume is er gebruik gemaakt van het RWS rapport *Inventarisatie CO₂-reductieplannen en knelpunten bij de industrie 2025*, omdat voor deze studie van de AEC's data is aangeleverd en verwerkt tot inzicht in de reductieplannen t/m 2030 [16].

3.1.2 EU contextdata

Om de Nederlandse situatie in een bredere context te plaatsen, is gebruikgemaakt van EU data over afvalproductie en stortpraktijken [2]. Hierbij is specifiek gekeken naar lidstaten die naar verwachting de Europese stortdoelen voor 2035 niet halen [2]. De mogelijke doorwerking hiervan op de beschikbaarheid van brandbaar restafval voor 2030 en verkennend richting 2050 is relevant voor het analyseren van potentiële importstromen naar Nederland.

Aanvullend zijn gegevens gebruikt over de samenstelling van deze importstromen, evenals over transportafstanden en gebruikte transportmodaliteiten. Waar de eerdere TNO-studie zich primair richtte op Nederlandse afvalstromen, is voor de huidige analyse aangenomen dat de samenstelling van het afval gelijk is aan de samenstelling van gemengd stedelijk afval en/of van de scheidingsresiduen [4]. Hiervoor hebben we twee scenario's in beeld gebracht: Import van afval dat volledig uit gemengd stedelijk afval bestaat en een scenario waarvoor een deel bestaat uit scheidingsresiduen en een deel uit gemengd stedelijk afval, zie 5.2.3.

3.2 Dataverwerking en Aannames

3.2.1 Algemene werkwijze

De gebruikte brongegevens zijn verwerkt tot een consistente set modelinputs voor de scenarioanalyse en de kwantitatieve LCA voor 2030. De dataverwerking was erop gericht om gegevens uit verschillende bronnen geschikt te maken voor toepassing binnen één samenhangende modelstructuur, met uniforme scenario's, systeemgrenzen en rapportage-eenheden.

Waar gebruik is gemaakt van AEC-specifieke gegevens, zijn deze verwerkt tot geaggregeerde modelinputs voor Nederlandse AEC's als geheel. De resultaten worden daarmee op systeemniveau gerapporteerd en zijn niet herleidbaar tot individuele installaties of bedrijven, tenzij het om publiek beschikbare gegevens gaat.

Waar directe of specifieke gegevens beschikbaar waren, zijn deze gebruikt. Waar gegevens ontbraken of niet op het benodigde detailniveau beschikbaar waren, zijn aannames, afgeleide waarden of representatieve proxydata toegepast. Deze keuzes zijn waar relevant benoemd bij de beschrijving van de gehanteerde uitgangspunten en meegewogen bij de duiding van de resultaten.

3.2.2 Hiërarchie in databronnen

Voor de dataverwerking is zoveel mogelijk aangesloten bij de bronnen, uitgangspunten en methodische keuzes uit de eerdere TNO-studie naar de verbranding van Nederlands afval en de milieuprestatie in 2030 en 2050 [4]. Deze eerdere studie vormt het vertrekpunt voor de Nederlandse afvalvolumes, afvalsamenstellingen, beleidseffecten en de afbakening van de afvalverbrandingsketen, voor zover deze ook binnen de scope van de huidige studie van toepassing zijn.

Waar de huidige studie een bredere of aanvullende scope heeft, zijn gegevens uit de eerdere studie aangevuld of geactualiseerd. Dit geldt met name voor de EU context, potentiële importstromen, actuele AEC-specifieke gegevens, warmtelevering, metaalterugwinning, PMD-nascheiding en CO₂-afvang en -opslag (CCS). Daarbij is steeds gekozen voor de meest specifieke en representatieve gegevens die beschikbaar waren.

De gehanteerde bronnenhiërarchie is als volgt toegepast. In de eerste plaats zijn specifieke Nederlandse gegevens en uitgangspunten uit TNO (2024) gebruikt, indien nog passend waren voor de huidige onderzoeksvraag. Waar beschikbaar zijn deze aangevuld met actuele AEC-specifieke gegevens en recente Nederlandse publieke bronnen. Voor onderdelen die betrekking hebben op Europese afvalstromen, importpotentieel, stortreductie en beleidsontwikkelingen zijn Europese databronnen gebruikt, zoals Eurostat, Early Warning

Reports en relevante Europese beleidsdocumenten [2], [17]. Voor processen waarvoor geen specifieke Nederlandse of Europese gegevens beschikbaar waren, is gebruikgemaakt van West-Europese datasets, data uit landen met een vergelijkbare afval-, energie- of verwerkingscontext, of generieke LCA-achtergronddata.

Wanneer meerdere bronnen beschikbaar waren, is voorrang gegeven aan de bron die het beste aansloot bij de geografische scope, het zichtjaar, het procesniveau en de scenario-indeling van deze studie.

3.2.3 Harmonisatie van data

De verzamelde gegevens zijn verwerkt tot uniforme modelinputs voordat zij in de scenarioanalyse en LCA-berekeningen zijn toegepast. Daarbij zijn brongegevens gecontroleerd op eenheid, geografische afbakening, zichtjaar, definitie en toepasbaarheid binnen de systeemgrenzen van deze studie.

Waar nodig zijn gegevens omgerekend naar uniforme eenheden, zoals ton of kton afval per jaar, GJ of MWh energie per jaar, transportprestaties per tonkilometer en emissies of milieueffecten per jaar. Ook zijn gegevens afgestemd op de scenario-indeling van deze studie, zodat afvalvolumes, samenstellingen, transportaannames, energieproductie, materiaal terugwinning en aanvullende technologieën op consistente wijze aan elkaar konden worden gekoppeld.

Bij de harmonisatie is zoveel mogelijk aangesloten bij de definities en uitgangspunten uit de eerdere TNO-studie, voor zover deze ook binnen de huidige studie van toepassing zijn. Waar de scope van deze studie afwijkt of is uitgebreid, zijn aanvullende gegevens volgens dezelfde systematiek verwerkt. Hierdoor blijven de resultaten traceerbaar en consistent, terwijl de analyse is uitgebreid naar de bredere EU context.

3.2.4 Verwerking van afvalvolumes en samenstelling

De afvalvolumes en afvalsamenstellingen vormen de basis voor de scenarioanalyse en de LCA-berekeningen. Voor de Nederlandse afvalstromen is zoveel mogelijk aangesloten bij de eerdere TNO-studie naar de verbranding van Nederlands afval en de milieuprestatie in 2030 en 2050. Deze studie is gebruikt als vertrekpunt voor de bepaling van het netto beschikbare binnenlandse brandbare afval en de samenstelling daarvan, voor zover de gehanteerde uitgangspunten ook binnen de huidige studie van toepassing zijn.

Voor het Nederlandse scenario is uitgegaan van de hoeveelheid brandbaar restafval die in Nederland ontstaat en in het zichtjaar aan Nederlandse AEC's wordt aangeboden [4]. Daarbij zijn de afvalcategorieën en materiaalsamenstellingen geharmoniseerd naar de modelstructuur van deze studie, uitgaande dat de circulaire doelen worden behaald. Waar nodig zijn afvalcategorieën vertaald naar materiaalfracties die relevant zijn voor de LCA, zoals kunststoffen, papier en karton, organisch materiaal, metalen, glas, textiel en overige fracties. Deze vertaalslag is nodig omdat de milieuprestatie van afvalverbranding mede wordt bepaald door de materiaalsamenstelling, de fossiele en biogene koolstof fractie, de onderste verbrandingswaarde en de mate waarin energie of materialen kunnen worden teruggewonnen.

Voor het Europese scenario zijn aanvullende gegevens gebruikt om de potentiële beschikbaarheid van brandbaar restafval uit andere Europese landen te bepalen. Daarbij is gekeken naar afvalvolumes, stortpercentages, recyclingdoelstellingen, beschikbare

verwerkingscapaciteit en de verwachte ontwikkeling richting 2030 [2], [17]. De samenstelling van potentiële importstromen is, waar mogelijk, gebaseerd op beschikbare land- of stroom-specifieke gegevens. Waar dergelijke gegevens ontbraken, zijn representatieve samenstellingen of afgeleide waarden gebruikt, passend bij de aard van de betreffende afvalstroom en de beschikbare informatie over herkomst en verwerking.

Veranderingen in sortering, nascheiding en recycling zijn meegenomen voor zover zij invloed hebben op de hoeveelheid en samenstelling van het brandbare residu dat uiteindelijk aan Nederlandse AEC's wordt aangeboden. De sorteer-, nascheidings- en verdere opwerkingsprocessen zelf vallen buiten de LCA-scope, omdat deze processen primair worden uitgevoerd ten behoeve van recyclingproducten en niet als onderdeel van de afvalverbranding worden beschouwd. Dit sluit aan bij de afbakening van de eerdere studie [4]. De effecten van terugwinning van materialen worden wel meegenomen voor zover zij leiden tot vermeden productie van primaire grondstoffen.

De resulterende afvalvolumes en samenstellingen zijn per scenario gekoppeld aan de overige modelinputs, waaronder transport, capaciteitsbenutting, energieproductie, metaalterugwinning en CCS. Hierdoor kunnen verschillen tussen scenario's worden doorgerekend op basis van zowel de hoeveelheid afval als de samenstelling van de te verbranden stromen.

3.2.5 Verwerking van transportdata

Transport is meegenomen voor zover het samenhangt met de aanvoer van brandbaar restafval naar Nederlandse AEC's. Voor binnenlandse afvalstromen is uitgegaan van transport over de weg. Daarbij is zowel het transport van inzameling naar een eerste verwerkings-, sorteer- of overslaglocatie meegenomen als het daaropvolgende transport naar de AEC, voor zover dit binnen de gehanteerde route-aannames van toepassing is.

Voor geïmporteerd afval is een aparte transportmodellering toegepast. Op basis van door AEC's aangeleverde gegevens zijn gemiddelde transportafstanden bepaald per transportmodaliteit. Deze modaliteitspecifieke transportafstanden zijn vervolgens verwerkt tot geaggregeerde modelinputs voor Nederlandse AEC's als geheel. Daarmee wordt rekening gehouden met verschillen in transportwijze bij importstromen (trein, schip en vrachtwagen).

De transportemissies zijn berekend op basis van de hoeveelheid afval, de gehanteerde transportafstand en de betreffende transportmodaliteit. Voor scenario's en gevoeligheidsanalyses waarin het importvolume of de herkomst van afvalstromen verandert, zijn de transportbijdragen overeenkomstig aangepast. Hierdoor blijven de transporteffecten consistent gekoppeld aan de afvalvolumes en importaannames in de betreffende scenario's.

De transportaannames zijn volledig overgenomen uit de vorige studie en bestaan uit 10 km inzameling naar sorteer- of opslaglocatie en 100 km transport per vrachtwagen (respectievelijk *Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry* en *Freight lorry, 16–32 ton, diesel EURO5*) naar de AEC, toegepast op zowel binnenlands als geïmporteerd afval [4], [18]. Voor afval dat uit het buitenland wordt geïmporteerd, is daarnaast een gewogen gemiddelde transportafstand toegepast van 253 km per vrachtwagen, 137 km per spoor en 191 km per schip (opgave AEC's, 2026).

3.2.6 Verwerking van AEC specifieke technologiegegevens

Voor technologieën en prestaties die specifiek samenhangen met Nederlandse AEC's is, waar beschikbaar, gebruikgemaakt van actuele informatie van de betrokken AEC's. Deze gegevens hadden onder meer betrekking op verwerkingscapaciteit, benutting, warmtebenutting en metaalterugwinning. De aangeleverde informatie is gebruikt om uitgangspunten te actualiseren, te toetsen of te verfijnen waar dit passend was binnen de systeemgrenzen en het aggregatieniveau van deze studie.

De AEC-specifieke gegevens zijn niet gebruikt om individuele installaties afzonderlijk te beoordelen, maar verwerkt tot geaggregeerde modelinputs voor Nederlandse AEC's als geheel. Daarmee sluiten de berekeningen aan bij het systeemniveau van deze studie en zijn de resultaten niet herleidbaar tot afzonderlijke installaties of bedrijven, tenzij het gaat om publiek beschikbare informatie.

Voor de bepaling van vermeden energieproductie zijn vaste gemiddelde rendementen aangehouden, conform eerdere TNO-studies: 16,2% voor elektriciteit en 20,2% voor warmte, gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde van de verschillende afvalstromen [4]. Dit is een conservatief uitgangspunt. Zoals in de vorige studie was uiteengezet behaalt bijv. de AVI van EEW in Delfzijl een rendement voor elektriciteit van 19% en voor warmte van 36% [4].

Voor CO₂-afvang en -opslag (CCS) is uiteindelijk aangesloten bij de uitgangspunten zoals gehanteerd in de betreffende RVO-inventarisatie [16]. Hoewel door AEC's informatie over CCS-plannen is aangeleverd, is voor de modellering gekozen voor een geharmoniseerde scenario-aanname op nationaal systeemniveau. Daarbij zijn aannames gemaakt over de hoeveelheid afgevangen CO₂, de verdeling tussen fossiele en biogene CO₂ en de invloed van CCS op de energiestaat van AEC's.

In geval van CCS zal een deel van de elektriciteit en warmte gebruikt worden voor de afvang en opslag van CO₂ [15]. Ook hierin hebben we een conservatieve aanname op basis van de KEV gehanteerd. Hierin is namelijk niet meegenomen dat grofweg de helft van de benodigde warmte voor CCS kan worden teruggewonnen en benut als laagwaardige warmte voor bijv. stadsverwarming. De vermeden fossiele energieproductie en vermeden CO₂-uitstoot zouden daarmee verder verbeterd worden.

Met deze werkwijze is geborgd dat de uitgangspunten voor transport en energierendementen consistent blijven met de eerdere TNO-studie, terwijl aanvullende aannames voor de Europese context afzonderlijk zijn verwerkt.

3.2.7 Substitutie en vermeden processen

AEC's zijn gemodelleerd als multifunctionele systemen waarin afvalverwerking wordt gecombineerd met energierecuperatie, materiaalre recuperatie en, in scenario's met CCS, CO₂-afvang en -opslag. Allocatie is zoveel mogelijk vermeden door toepassing van systeemuitbreiding. Relevante systeemvoordelen zijn daarbij gemodelleerd als substitutie-effecten of vermeden emissies, en niet als co-producten.

De energieproductie uit afvalverbranding is berekend op basis van de hoeveelheid en samenstelling van het verbrande afval, waaronder de bijbehorende onderste verbrandingswaarde en de gehanteerde rendementen voor elektriciteit en warmte. De

geproduceerde elektriciteit en warmte zijn meegenomen als vermeden alternatieve productie. Voor vermeden elektriciteitsproductie is in de scenario's voor 2030 gebruikgemaakt van de elektriciteitsmix volgens de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) [15]. Voor het referentiejaar 2021 is uitgegaan van de elektriciteitsmix zoals beschikbaar in de gebruikte LCA-achtergronddatabase. Het gebruikte proces voor vermeden elektriciteitsgebruik is 'Electricity, high voltage {NL}| market for electricity, high voltage | Cut-off, U'.

Naast vermeden energieproductie zijn ook andere substitutie-effecten en vermeden emissies meegenomen, voor zover deze binnen de scope van het betreffende scenario vallen. Het gaat daarbij onder meer om vermeden primaire materiaalproductie door materiaal terugwinning, vermeden stortemissies bij importstromen die anders zouden worden gestort, en afgevangen en opgeslagen CO₂ in scenario's met CCS [10].

Voor de scenario's met geïmporteerd afval is onderscheid gemaakt tussen import van gemengd stedelijk afval en import van kunststofafval waarvan de recycling leidt tot scheidingsresiduen die in Nederlandse AEC's worden verwerkt. Voor de scheidingsresiduen uit kunststofrecycling zijn de nascheidings-, recycling- en opwerkingsprocessen zelf niet volledig gemodelleerd binnen de LCA [9]. De bijdrage van deze route is bepaald op basis van CO₂-kengetallen voor het vermijden van primaire fossiele kunststofproductie door inzet van recyclaat [19]. Daarmee wordt het effect van vermeden primaire productie door inzet van recyclaat meegenomen, terwijl de onderliggende sorteer-, nascheidings- en opwerkingsprocessen buiten de procesmodellering van deze studie blijven.

De substitutieaannames zijn consistent toegepast binnen de scenario's en gevoeligheidsanalyses. Waar substitutie-effecten afhankelijk zijn van het zichtjaar, zoals bij elektriciteitsproductie, is aangesloten bij de voor dat jaar gehanteerde achtergrondmix of scenariomix. Hierdoor worden verschillen tussen scenario's niet alleen bepaald door de hoeveelheid en samenstelling van het afval, maar ook door de veranderende referentieprocessen die door AEC's of door aanvullende materiaalroutes worden vermeden.

3.2.8 Actualisatie van LCA achtergronddata en processelectie

Ten opzichte van de eerdere TNO-studie is voor de LCA-berekeningen gebruikgemaakt van een geactualiseerde LCA-achtergronddatabase, namelijk ecoinvent 3.11 (was ecoinvent 3.9) in SimaPro 10.3 [20], [13]. Dit is ook gedaan voor de scenario's uit de vorige TNO studie. Hierdoor kunnen verschillen ontstaan in emissiefactoren, energiemixen en achtergrondprocessen, ook wanneer de gemodelleerde afvalstromen en systeemaafbakening grotendeels vergelijkbaar zijn met de eerdere studie.

De actualisatie bestaat uit twee samenhangende onderdelen. Ten eerste zijn de onderliggende achtergrondgegevens in de database bijgewerkt. Ten tweede zijn processen die in de eerdere modellering of in de oudere databaseversie verouderd waren, waar nodig vervangen door meer recente equivalenten binnen de gebruikte database. Deze procesaanpassingen hangen samen met de database-update en zijn bedoeld om de modellering beter te laten aansluiten bij de meest recente beschikbare LCA-data..

Deze actualisatie heeft invloed op de vergelijkbaarheid met resultaten uit eerdere berekeningen. Verschillen tussen de huidige resultaten en de eerdere studie kunnen daardoor deels voortkomen uit gewijzigde achtergronddata en processelecties, en niet

uitsluitend uit gewijzigde scenarioaannames, afvalvolumes of technologiespecifieke uitgangspunten.

3.2.9 Consistentiecontroles en validatie

De dataverwerking en modellering zijn gecontroleerd op interne consistentie en plausibiliteit. Daarbij is in de eerste plaats gecontroleerd of de afvalvolumes per scenario optellen tot de juiste totalen en aansluiten bij de gehanteerde scenario-uitgangspunten. Voor de importscenario's is specifiek gecontroleerd of de totale doorzet aansluit bij de maximale gemiddelde verbrandingscapaciteit die in deze studie als uitgangspunt is gehanteerd. De hoeveelheid importafval is in deze scenario's bepaald op basis van de beschikbare capaciteit die resteert na verwerking van het Nederlandse afval.

Ook de afvalsamenstellingen zijn gecontroleerd op consistentie. Daarbij is nagegaan of de materiaalsamenstellingen per afvalstroom en scenario optellen tot het juiste totaal en op consistente wijze zijn gekoppeld aan de gemodelleerde afvalhoeveelheden. De berekende energieproductie is gecontroleerd op plausibiliteit door de uitkomsten te relateren aan de hoeveelheid en samenstelling van het verbrande afval, de onderste verbrandingswaarde en de gehanteerde rendementen voor elektriciteit en warmte.

Daarnaast zijn de modelresultaten vergeleken met de eerdere TNO-studie voor het scenario dat inhoudelijk overeenkomt met een eerder doorgerekend scenario. Daarbij zijn verschillen in resultaten geanalyseerd aan de hand van wijzigingen in de LCA-achtergronddatabase, de toegepaste impactmethode, geactualiseerde achtergrondprocessen en aanvullende modelonderdelen, zoals metaalterugwinning uit bodemas. De geconstateerde verschillen bleken verklaarbaar en lagen in dezelfde orde van grootte als de verschillen die bij vergelijking van de onderliggende processen werden gevonden.

De scenario's zijn in SimaPro opgebouwd met afzonderlijke modelonderdelen voor de belangrijkste bijdragen, zoals afvalverbranding, vermeden energieproductie, materiaaltherugwinning en CCS. Hierdoor konden de bijdragen van verschillende onderdelen afzonderlijk worden gecontroleerd en consistent worden gecombineerd in de totale scenarioresultaten. De koppeling van transportafstanden en transportmodaliteiten aan binnenlandse afvalstromen en importstromen is verankerd in de modelopzet.

De uiteindelijke uitgangspunten op nationaal systeemniveau zijn voorgelegd aan de opdrachtgever en na afstemming vastgesteld. Daarnaast heeft interne controle en review plaatsgevonden op de gehanteerde uitgangspunten, modelopbouw en resultaten. Voor aannames met een relevante invloed op de uitkomsten zijn, in overleg met de opdrachtgever, gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze gevoeligheidsanalyses geven inzicht in de robuustheid van de resultaten onder verschillende aannames.

3.3 Samenvatting samenstelling verbrand afval 2021

De uitgangspunten voor de samenstelling van het in Nederlandse afvalenergiecentrales (AEC's) verbrande afval zijn volledig gebaseerd op de eerdere TNO-studie [4]. In de huidige studie zijn deze aannames ongewijzigd overgenomen; herhaling van de uitgebreide onderbouwing is daarom achterwege gelaten. Hieronder wordt alleen een korte samenvatting van de meest belangrijke getallen per afvalstroom evenals de aannames rondom transport

en rendementen gegeven. De volledige uitwerking van afvalcategorieën en materiaalsamenstellingen is opgenomen in Bijlage B.

Als referentiejaar is 2021 aangehouden, conform de vorige studie en op basis van gegevens van de Werkgroep Afvalregistratie [21]. Waar in de vorige studie alleen naar het netto beschikbare afval binnen Nederland gekeken werd door van het totaal de import eraf te trekken en de export erbij op te tellen, wordt in deze studie naar de totale verbrande hoeveelheid gekeken. In 2021 is in totaal 7.462 kton afval verbrand in Nederlandse AEC's [21]. De belangrijkste afvalstromen richting AEC's zijn gemengd stedelijk afval (GSA), scheidingsresiduen, bedrijfsafval, grof huishoudelijk afval, overig afval en gevaarlijk afval. Ziekenhuisafval is buiten de scope gehouden [4].

De samenstelling van GSA is gebaseerd op sorteeranalyses over het driejaarlijks gemiddelde 2019–2021 [22]. De grootste fracties zijn groente-, fruit- en tuinafval (GFT) (33%), papier en karton (19%) en kunststoffen (12%). Verpakkingen maken in totaal circa 22% uit van het GSA. Deze samenstelling is ook toegepast op vergelijkbaar bedrijfsafval afkomstig uit de handel-, diensten en overheidssector (HDO), overig afval, reinigingsdienstafval en geëxporteerd afval [4]. Voor geïmporteerd afval is ook GSA de basis, behalve in het scenario waar uit is gegaan van een deel scheidingsresiduen en een deel GSA.

Scheidingsresiduen vormen, na gemengd stedelijk afval, de grootste afvalstroom richting AEC's. Het gaat hierbij om residuen uit sortering en nascheiding van huishoudelijk afval, bouw- en sloofafval, PMD, GFT, etc. In 2021 omvatte deze stroom zowel binnenlands als geïmporteerd residu, waarbij het geïmporteerde aandeel circa 1,1 Mton bedroeg. Voor de modellering is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van 47% restafval, 38% vocht & vuil, 8% kunststoffen, 5% drankenkartons en 2% metalen. Vanwege het hoge vochtgehalte is voor de fractie "vocht & vuil" een lagere onderste verbrandingswaarde (6,5 MJ/kg) toegepast. Het sorteerproces zelf is niet meegerekend in de milieuberekeningen; transport van het residu wel.

Bedrijfsafval (HDO) is gemodelleerd met dezelfde samenstelling als gemengd stedelijk afval. Deze aanname sluit aan bij de samenstelling die wordt gebruikt voor de nationale emissieregistratie.

Voor grof huishoudelijk afval zijn vaste aannames gebruikt. De gemiddelde samenstelling bestaat uit circa 43% hout, 23% steenachtig materiaal, 18% kunststoffen, 10% textiel en 8% metalen, wat resulteert in een relatief hoog aandeel biogene koolstof. Metalen zijn verdeeld in 65% ferro, 30% aluminium en 5% koper; kunststoffen worden gedomineerd door PP [4].

De categorie 'overig afval' vertegenwoordigt minder dan 3% van het totale verbrande volume en is qua samenstelling gelijkgesteld aan gemengd stedelijk afval, waarbij het effect op de totale resultaten beperkt is. Gevaarlijk afval is representatief gemodelleerd met een generiek verbrandingsproces op basis van gegevens uit de Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EVOA) [23]. Ziekenhuisafval is buiten de scope gelaten, in lijn met de eerdere afbakening.

Met deze werkwijze is geborgd dat de uitgangspunten voor afvalsamenstelling consistent blijven met de eerdere TNO-studie, terwijl aanvullende aannames voor de Europese context afzonderlijk zijn verwerkt.

3.4 Robuustheid van de resultaten

De robuustheid van de resultaten is beoordeeld aan de hand van de consistentie van de modelopzet, de onderlinge vergelijking van scenario's en de analyse van de bijdragen van afzonderlijke modelonderdelen aan het totale resultaat. De scenario's beschrijven verschillende mogelijke systeemontwikkelingen, terwijl de uitsplitsing naar onderdelen inzicht geeft in de relatieve bijdrage en orde van grootte van de belangrijkste emissie- en vermeden-emissiestromen.

De resultaten zijn per scenario opgebouwd uit afzonderlijke bijdragen, waaronder directe emissies uit afvalverbranding, transport, vermeden energieproductie, materiaal terugwinning en CO₂-afvang en -opslag. Door deze onderdelen afzonderlijk zichtbaar te maken, kan worden beoordeeld welke factoren vooral bepalend zijn voor de totale milieuprestatie en in hoeverre verschillen tussen scenario's samenhangen met afvalvolume, samenstelling, capaciteitsbenutting of aanvullende technologieën.

De resultaten moeten worden geïnterpreteerd als scenario-uitkomsten binnen de gehanteerde systeemgrenzen en aannames, en niet als exacte voorspellingen. De bijdrageanalyse maakt zichtbaar welke onderdelen vooral bepalend zijn voor de orde van grootte van de uitkomsten en welke onderdelen slechts beperkt bijdragen aan het totaalresultaat.

De resultaten zijn daarmee robuust in termen van richting en relatieve verschillen tussen scenario's. De exacte omvang van de effecten blijft afhankelijk van de gehanteerde aannames, systeemgrenzen en beschikbare data. De uitsplitsing per onderdeel maakt transparant welke aannames en processen het meest bepalend zijn voor de interpretatie van de resultaten.

4 Resultaten

4.1 Scenario's

Voor deze studie zijn zeven scenario's of varianten uitgewerkt (Tabel 4.1). Voor 2021 is doorgerekend wat de effecten van beschikbaar Nederlands afval zijn (eerdere TNO studie voor ministerie van I&W) en wat daadwerkelijk verwerkt is in de Nederlandse AEC's (met export en import) [4]. Voor 2030 is het beleidspad van de eerdere studie doorgerekend (op basis van definitie van in Nederland beschikbaar afval) en een variant met de definitie zonder export. Het beleidspad neemt aan dat het voorgenomen beleid inclusief doelstellingen recycling en voor UPV gehaald gaat worden. Dit is uitgebreid beschreven in de eerdere studie [4]. In het scenario Eigen Verwerking wordt uitsluitend Nederlands afval verwerkt en is import van Europees afval geen onderdeel van het systeem. Hierdoor is de benutting van de afvalenergiecentrales beperkter dan in de andere scenario's. Dit leidt tot lagere emissies uit verbranding, maar ook tot een lagere energieproductie alsmede terugwinning van metalen.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat ervaringen uit het verleden laten zien dat dergelijke doelstellingen vaak ambitieus worden gesteld en niet altijd volledig worden gehaald. Volgens het PBL blijft de realisatie van circulaire doelen in de praktijk regelmatig achter bij de beleidsambities. De gehanteerde aannames voor het beleidspad 2030 en daar op gebaseerde scenario's kunnen daarmee als optimistisch worden beschouwd. Indien de doelstellingen niet (volledig) worden gehaald, kan het beschikbare aanbod van brandbaar afval hoger uitvallen dan in deze studie is aangenomen.

Tabel 4.1: Omschrijving scenario's.

Scenario	Jaar	Omschrijving
Beschikbaar NL (TNO, 2024)	2021	Referentiesituatie op basis van beschikbaar Nederlands brandbaar afval, inclusief export van brandbaar afval (TNO, 2024 -herberekening).
Verwerkt NL (TNO, 2026)	2021	Variant op basis van de totale hoeveelheid afval die in 2021 in Nederlandse AEC's is verwerkt (met import en export).
Beleidspad (TNO, 2024)	2030	Scenario voor de hoeveelheid beschikbaar Nederlands brandbaar afval in 2030 onder het beleidspad (TNO,2024 -herberekening).
Eigen Verwerking (TNO, 2026)	2030	Scenario waarin het Nederlandse beleidspad wordt doorgerekend voor verwerking in Nederlandse AEC's, zonder aanvullende EU-import en export.
EU Aanvullen (TNO, 2026)	2030	Scenario met aanvullende import van gemengd stedelijk afval op basis van geëxtrapoleerde importgegevens.
Maximale Benutting (TNO, 2026)	2030	Scenario waarin de beschikbare AEC-capaciteit maximaal wordt benut met import van gemengd stedelijk afval.
Maximale Benutting Plus (TNO, 2026)	2030	Scenario waarin de beschikbare AEC-capaciteit maximaal wordt benut met een combinatie van geïmporteerd gemengd stedelijk afval en scheidingsresiduen uit kunststofrecycling.

Vervolgens zijn drie EU scenario's toegevoegd waarin de Nederlandse AEC-capaciteit wordt gezien vanuit een EU context, met aanvullende import van afval.

In het scenario EU Aanvullen wordt aanvullend gemengd stedelijk afval geïmporteerd, gebaseerd op geëxtrapoleerde importgegevens [21], [4]. Hierdoor neemt de benutting van de AEC-capaciteit toe ten opzichte van Eigen Verwerking. Dit leidt tot hogere directe emissies, maar ook tot een toename van energieproductie. Ten opzichte van Eigen Verwerking komen hier extra effecten door transport van buitenlands afval en vermeden stort in het buitenland bij. Dit scenario vormt daarmee een eerste stap richting hogere benutting van de installaties.

In het scenario Maximale Benutting wordt de beschikbare AEC-capaciteit maximaal benut door import van gemengd stedelijk afval. Dit resulteert in verdere toename van de verbrandingsvolumes en daarmee hogere directe emissies. Tegelijkertijd bereikt de energieproductie een hoog niveau. Ten opzichte van Europees Aanvullen verschuift het systeem duidelijk naar volledige capaciteitsbenutting, met bijbehorende hogere afvalstromen.

Tot slot, in het scenario Maximale Benutting Plus blijft de hoeveelheid verwerkt afval in de AEC gelijk aan de scenario Maximale Benutting, maar verschilt de samenstelling van de afvalstroom. De capaciteit wordt ook hier maximaal benut maar nu met een combinatie van gemengd stedelijk afval en scheidingsresiduen uit kunststofrecycling. In dit scenario wordt invulling gegeven aan de nieuwe circulaire doelstelling om in 2035 55% secundaire of biograndstoffen in de Nederlandse grondstoffeneconomie in te zetten (en in 2030 50%) [24]. Voor de realisatie van dit doel is de scope sterk afgebakend en alleen gekeken naar hoe deze doelstelling ingevuld kan worden voor de grondstofstroom kunststoffen in de Nederlandse economie, waarbij als resultante meer scheidingsresiduen voor AEC's ontstaan [9]. Indien ook andere grondstofstromen betrokken zouden worden, dan zou de hoeveelheid scheidingsresiduen naar verwachting verder stijgen.

Samenvattend verschuift het systeem van een nationaal scenario zonder import en met beperkte benutting (Eigen Verwerking) naar scenario's met toenemende inzet van geïmporteerd gemengd stedelijk afval en uiteindelijk aanvullende inzet van scheidingsresiduen. De grootste verschillen worden bepaald door de mate van capaciteitsbenutting en de samenstelling van de afvalstromen, waarbij Maximale Benutting Plus het meest uitgebreide gebruik van het systeem laat zien.

De figuren per toekomstscenario zijn te vinden in Bijlage C. De achtergrond en de totstandkoming van de EU scenario's wordt in de volgende sectie beschreven. In Bijlage D staat een tabel met een vergelijking van de belangrijkste resultaten.

4.2 Achtergrond EU scenario's

Uiterlijk in 2035 mag maximaal 10% van het totale huishoudelijk afval in EU-landen op stortplaatsen worden gestort [2], [17]. Dit is onderdeel van de Europese Stortplaatsrichtlijn, die als doel heeft afval maximaal te benutten voor de circulaire economie en storten stapsgewijs uit te faseren. Op basis van de impact assessment voor de Circular Economy Act wordt door de Europese Commissie overwogen om deze doelstellingen daadwerkelijk af te dwingen met maatregelen zoals stortplaatsheffingen en strengere stortplaatsbeperkingen met betere monitoring en handhaving [2]. Afval dat tot nu toe gestort wordt dient dus op een andere manier verwerkt te worden. Omdat alternatieve verwerkingscapaciteit in landen beperkt is heeft dit mogelijk tot gevolg dat afval dat niet gestort mag worden internationaal aangeboden wordt voor verwerking. Dit resulteert de komende jaren tot 2030 in een verwachte toename van internationaal beschikbaar afval. Afvalverwerking is een Europese markt waarbij landen nu al gebruik maken van elkaars verwerkingsmogelijkheden [23]. Zo exporteert Nederland bijvoorbeeld jaarlijks circa 1 miljoen ton gevaarlijk afval waar Nederland zelf onvoldoende verwerkingsmogelijkheden voor heeft [25].

Om een beeld te krijgen van de vordering ten aanzien van deze doelstelling is voor elke lidstaat een Early warning assessment opgesteld [2], [17]. De gegevens hiervan zijn samengevat in Bijlage E. Hieruit blijkt dat meer dan de helft van de EU lidstaten op schema ligt om de doelstelling te halen, maar ook dat een flink aantal landen het naar alle waarschijnlijkheid niet gaat halen [2]. Samen zijn zij verantwoordelijk voor een potentieel aan gestort afval boven de doelstelling van 38 000 kton.

In de Early warning rapporten wordt geschat met behulp van een 'Prospect score' wat de kans is dat de landen de doelstelling halen voor het jaar 2035 [17]. Bij gebrek aan betere gegevens passen wij deze prospect score toe als kans op een stort overschot om een inschatting te maken van het verwacht overschot in het jaar 2030. Dit bedraagt dan in totaal ongeveer 30.000 kton. Dit afval potentieel bevindt zich met name in Spanje, Griekenland, Roemenië, Polen, Portugal, Tsjechië, Hongarije, Italië en Bulgarije.

Wij zijn ons bewust van de tekortkomingen van deze aanpak, maar zien geen alternatief om een inschatting te maken van de hoeveelheid afval in de EU beschikbaar voor import naar Nederland. Noch hebben we een inschatting voor het jaar 2030, noch hebben we een inschatting van de concurrentie rond dit afval met andere landen. Niettemin lijkt het voor de hand te liggen dat er door de stortbeperking afval beschikbaar komt voor verwerking elders.

4.2.1 EU Aanvullen

Op zich is import van afval niets nieuws. In de eerdere TNO-studie voor het ministerie van I&W is uitgegaan van een situatie waarin de import van afval afneemt en uiteindelijk stopt, als gevolg van beleidsontwikkelingen (TNO, 2024).

In een afzonderlijke TNO-studie, uitgevoerd in opdracht van Attero, is wél gekeken naar de ontwikkeling van historische importstromen, met name uit het Verenigd Koninkrijk⁴. In die studie is een extrapolatie gemaakt richting 2030, resulterend in circa 946 kton geïmporteerd afval (TNO, Attero-studie, jaartal n.n.b.).

Het naar Nederland geïmporteerde brandbare restafval wordt in de praktijk voorafgaand aan export doorgaans voorbereid tot Refuse-Derived Fuel (RDF), aangezien exporterende landen veelal geen onbehandeld stedelijk afval toestaan voor export (TNO, 2024).

4.2.2 Maximale Benutting

De huidige maximale AEC capaciteit wordt geschat op 7.390 kton/jaar, incl. ruimte voor onderhoud en calamiteiten [26]. In 2030 heeft Nederland daarmee naar verwachting 2.282 kton onbenutte AEC capaciteit met energierugwinning beschikbaar (als 668 kton export die in de TNO 2024 studie nog geëxporteerd werd, in Nederland verwerkt wordt) [4]. Verwerking in Nederland van EU afval voorkomt dat het afval gestort moet worden en landen hun stortdoelstelling niet halen. Verwerking in een AEC leidt tot energierugwinning, metaalrecycling en (volgens plannen van de sector) CO₂ afvang en opslag en vermijdt ook methaanemissies. Dit is een stap in de richting van de circulaire economie, zoals beoogd wordt met de Europese Stortplaatsrichtlijn. Import van 2.282 kton afval is relatief gering ten opzichte van het verwachte potentieel en zou naar verwachting beschikbaar kunnen komen door een deal te sluiten met één of enkele landen.

⁴ Historische importstromen uit het Verenigd Koninkrijk zijn in eerdere TNO-studies beschouwd als referentie, maar vallen buiten de scope van deze studie, die zich beperkt tot afvalstromen binnen de Europese Unie..

4.2.3 Maximale Benutting Plus

Verwerking in een AEC is een stap in de richting van de circulaire economie, echter, het uiteindelijke doel van een circulaire economie is om verder te gaan en maximaal te recyclen. Daarom verdient het de voorkeur om afval overschotten eerst te scheiden en te recyclen. De aanname is dat deze recycling capaciteit op korte termijn in onvoldoende mate aanwezig is. Niettemin heeft het de voorkeur om het betreffende afval eerst na te scheiden en te recyclen en slechts het residu te verbranden. Hiertoe ontwikkelen we een tweede wat-als scenario, om te verkennen wat de effecten zouden zijn van de AEC's als verwerker van recycling residu. Dit zou alle materialen in GSA betreffen, maar het voert te ver om dit binnen de huidige project scope volledig door te rekenen. Daarom is ervoor gekozen om als voorbeeld naar de effecten van kunststof recycling te kijken. Als Nederland 50% van de huidige kunststofproductie [27] met behulp van recycling wil realiseren (doelstelling CE 2030), dan is er 3.100 kton recyclelaat nodig. Hiervoor is ca. 4.058 kton import van plastic afval nodig (75% sorteerrendement x 85% recyclingrendement = 63.7% efficiency [28]), wat resulteert in 2.587 kton recyclelaat naast het recyclelaat van Nederlandse oorsprong (513 kton). Dit levert 1.471 kton residu, welke wordt verbrand in de Nederlandse AEC's, waarbij de rest met "gewoon" additioneel geïmporteerd stedelijk afval wordt aangevuld (ca. 811 kton).

De berekeningen laten zien dat het realiseren van de doelstelling voor 50–55% inzet van secundaire kunststoffen kan leiden tot een substantiële import van kunststofafval, waarbij een deel als scheidingsresidu beschikbaar komt voor verbranding of op langere termijn beschikbaar kan komen voor innovatieve alternatieve thermische verwerkingstechnieken als deze zich in de praktijk hebben bewezen. Eenzelfde mechanisme kan zich in potentie voordoen voor andere materiaalstromen waarvoor vergelijkbare circulariteitsdoelstellingen gelden. Als deze doelstellingen leiden tot aanvullende import van grondstofrijke afvalstromen, kan ook daaruit extra residu ontstaan dat verwerkt moet worden.

4.3 Volumeontwikkelingen

Tabel 4.2 toont de ontwikkeling van de afvalvolumes per stroom en per scenario, en laat zien dat richting 2030 met name het beschikbare Nederlandse aanbod sterk afneemt, terwijl import een steeds grotere rol krijgt in de benutting van de AEC's als het beleidspad wordt gerealiseerd.

In 2021 bedraagt de hoeveelheid beschikbaar Nederlands brandbaar afval circa 7.134 kton, met gemengd stedelijk afval en scheidingsresiduen als belangrijkste componenten. De daadwerkelijke verwerking in Nederlandse AEC's ligt met circa 7.462 kton iets hoger dan het netto beschikbare Nederlandse aanbod, doordat de import van brandbaar afval in 2021 groter was dan de export [4].

Richting 2030 daalt het beschikbare Nederlandse afvalvolume in het beleidspad (bij het behalen van de circulaire doelen) naar circa 5.108 kton. Deze afname wordt vooral veroorzaakt door een sterke reductie van gemengd stedelijk afval en bedrijfsafval, wat samenhangt met beleidsmaatregelen gericht op afvalpreventie en recycling [4]. In het scenario "Eigen Verwerking 2030" blijft het totale volume gelijk aan het beleidspad, maar verandert de invulling van de stromen. Export van brandbaar afval verdwijnt en wordt vervangen door volledige binnenlandse verwerking, waardoor een gesloten systeem ontstaat zonder import. Dit leidt echter tot een lagere benutting van de AEC-capaciteit. In de daaropvolgende scenario's wordt deze onderbenutting gecompenseerd door import. In "Europees Aanvullen 2030" wordt circa 946 kton extra afval uit Europa verwerkt, waardoor het totaal stijgt naar ongeveer 6.054 kton. Bij "Maximale Benutting 2030" wordt de

beschikbare capaciteit volledig benut door een verdere toename van import tot circa 2.282 kton, wat resulteert in een totaal van circa 7.390 kton en daarmee een vergelijkbaar niveau als in 2021. In het scenario “Maximale Benutting Plus 2030” blijft het totale volume gelijk, maar verschuift de samenstelling van de import van voornamelijk gemengd stedelijk afval naar een combinatie met scheidingsresiduen

Samenvattend verschuift het systeem van een situatie in 2021 met zowel import als export naar een situatie in 2030 met een lager binnenlands aanbod, geen export en een toename van import om de AEC-capaciteit volledig te benutten.

Tabel 4.2: Volume afval per scenario en per stroom (kton/jr).

Afvalstroom	Beschikbaar NL 2021	Verwerkt NL 2021	Beleidspad 2030	Eigen Verwerking 2030	EU Aanvullen 2030	Maximale Benutting 2030	Maximale Benutting Plus 2030
Gemengd stedelijk afval	3168	3168	1944	1944	1944	1944	1944
(Grof) huishoudelijk afval	274	274	232	232	232	232	232
Industrieel afval, niet gevaarlijk	64	64	54	54	54	54	54
Residu composteren / vergisten	122	122	104	104	104	104	104
Scheidingsresiduen	1633	1633	1347	1347	1347	1347	1347
Gevaarlijk afval, niet gespecificeerd	167	167	142	142	142	142	142
Bedrijfsafval (hdo)	677	677	416	416	416	416	416
Overig afval	219	219	185	185	185	185	185
Reinigingsdienstafval	21	21	18	18	18	18	18
Export brandbaar	789	0	668	0	0	0	0
Import brandbaar GSA ⁵	0	1117	0	0	946	2282	811
Import brandbaar SR	0	0	0	0	0	0	1471
Voorheen EB nu GSA	0	0	0	668	668	668	668
Eindtotaal	7134	7462	5108	5108	6054	7390	7390

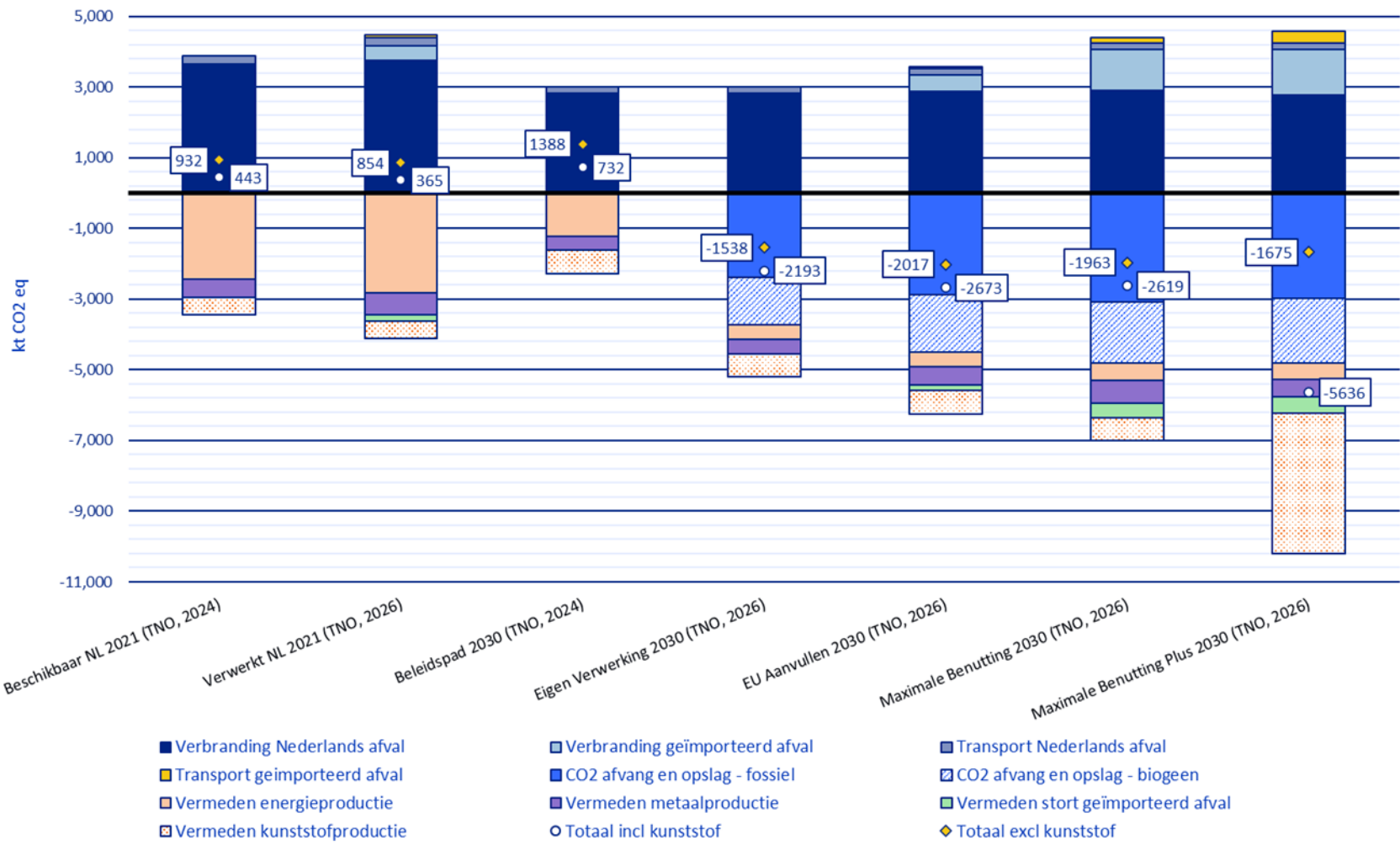
⁵ In de eerdere TNO-studie is geïmporteerd brandbaar afval niet als afzonderlijke stroom in de scenarioresultaten opgenomen, omdat de scope van die studie was beperkt tot afval dat in Nederland wordt geproduceerd en aan afvalverbrandingsinstallaties wordt aangeboden; geïmporteerd afval bleef daarin buiten beschouwing, terwijl export voor verbranding wel werd meegenomen. In de onderliggende gegevens voor 2021 is de importstroom echter wel benoemd: het ging om 1.117 kton geïmporteerd verbrand afval, op basis van de Werkgroep Afvalregistratie. Voor Tabel 4.2 is deze importstroom daarom apart zichtbaar gemaakt en, conform de wijze waarop in de eerdere studie historische afvalstromen richting 2030 zijn geëxtrapoleerd, gebruikt als basis voor de aanvullende importcategorie in het EU-scenario [4], [21].

4.4 CO₂-prestaties

Figuur 4.1 toont de totale broeikasgasemissies (in kton CO₂-equivalenten) voor de verschillende beschouwde scenario's, variërend van de referentiesituatie in 2021 tot meerdere scenario's voor 2030 met een oplopende mate van benutting van de verwerkingscapaciteit en import van afval. In de eerdere TNO-studie werden alleen de emissies van de verbranding van Nederlands afval, transport en vermeden energieproductie meegenomen [4]. Nu wordt ook de verbranding van geïmporteerd afval en de vermeden stortemissies hiervan, alsmede de vermeden productie van metalen en kunststoffen en de effecten van CO₂ afvang en opslag meegenomen.

In alle scenario's zijn warmtebenutting evenals emissies gerelateerd aan het transport van afval en vermeden emissies door metaalproductie meegenomen. De bijdrage van transport en metaalterugwinning is echter relatief gering in vergelijking met de overige emissiestromen.

In alle scenario's wordt verder de vermeden CO₂-emissies van vermeden kunststofproductie weergegeven. Hiervoor is gekozen mede omdat PMD-nascheiding bij een groot deel van de afvalenergiecentrales wordt toegepast [6]. Voor de transparantie worden per scenario twee totale emissiewaarden gepresenteerd: één exclusief en één inclusief deze vermeden emissies (uitgedrukt in CO₂-equivalenten). Dit onderscheid is bepalend voor de interpretatie van de resultaten. De emissies die samenhangen met de nascheidings- en recyclingprocessen zelf en de overige vermeden primaire grondstofproductie vallen echter buiten de scope van deze studie.



Figuur 4.1: Milieuprestaties voor 2021 en scenario varianten 2030.

In de referentiesituatie (2021) bedraagt de totale emissie 932 kton CO₂-eq⁶ exclusief vermeden kunststofproductie en 443 kton CO₂-eq inclusief. Ondanks de reductie blijft het saldo daarmee positief. Een vergelijkbaar beeld is zichtbaar in het beleidspad richting 2030, waar de totale emissie uitkomt op 1.388 kton CO₂-eq exclusief vermeden kunststofproductie en 732 kton CO₂-eq inclusief vermeden kunststofproductie, en daarmee eveneens positief blijft. In de eerdere TNO-studie voor het ministerie van I&W zijn vermeden emissies door kunststof productie niet meegenomen en bedroeg de totale emissie (excl. vermeden kunststofproductie) 1.031 kton in 2021 en 1612 kton in het beleidspad 2030, een verschil van 10% en 16% respectievelijk. Voor 2021 werd het verschil verklaard uit iets hogere emissies uit de AEC en iets lagere vermeden emissies door energieproductie als gevolg van een update van de achtergronddata (ecoinvent). Bovendien lagen de systeemgrenzen in de eerdere studie anders, omdat vermeden metaal- en kunststofproductie toen niet (volledig) werden meegenomen [4].

Ter vergelijking met 'Beschikbaar NL 2021' is ook een variant opgenomen voor de totale hoeveelheid afval die in 2021 daadwerkelijk in Nederlandse AEC's is verwerkt (met import en export): 'Verwerkt NL 2021'. In deze variant bedraagt de totale emissie 854 kton CO₂-eq exclusief vermeden kunststofproductie en 365 kton CO₂-eq inclusief vermeden kunststofproductie.

Vanaf het scenario Eigen Verwerking verandert het beeld wezenlijk doordat naast bovengenoemde maatregelen ook CO₂-afvang en -opslag (CCS) wordt toegepast. Dit leidt tot een omslag naar een netto negatief emissiesaldo van -1.538 kton CO₂-eq exclusief vermeden kunststofproductie en -2.193 kton CO₂-eq inclusief vermeden kunststofproductie. Verder komt vanaf het scenario EU Aanvullen ook nog het effect van vermeden stortemissies (en de vermindering daardoor van de vermeden energieproductie van het opgevangen methaangas) van geïmporteerd afval bij. Voor het scenario EU Aanvullen resulteert dit in een totaal van -2.017 kton CO₂-eq exclusief en -2.673 kton CO₂-eq inclusief vermeden kunststofproductie.

De laatste drie scenario's onderscheiden zich van elkaar door de hoeveelheid en type afval dat wordt geïmporteerd. Vanaf het moment dat afval geïmporteerd wordt komen er ook emissies van de verbranding van deze stroom erbij. In het scenario Europees Aanvullen wordt extra afval geïmporteerd dat vergelijkbaar is met gemengd stedelijk afval (GSA), waarbij de hoeveelheid een extrapolatie is vanuit het verleden. In het scenario Maximale Benutting wordt de volledige beschikbare capaciteit van de afvalenergiecentrales gevuld met GSA. In het scenario Maximale Benutting Plus wordt deze capaciteit naast GSA ook gevuld met residuen afkomstig uit nascheiding.

Deze verschillen vertalen zich in de uiteindelijke emissieresultaten. In het scenario Maximale Benutting bedraagt de totale emissie -1.963 kton CO₂-eq exclusief en -2.619 kton CO₂-eq inclusief vermeden kunststofproductie. In het scenario Maximale Benutting Plus blijft het saldo exclusief vermeden kunststofproductie negatief (-1.67533 kton CO₂-eq), maar daalt het minder vanwege de benodigde transport van het afval uit het buitenland. Dit wordt ruimschoots gecompenseerd tegen de vermeden kunststofproductie van de geïmporteerde stroom en neemt het saldo sterk verder af tot -5.636 kton CO₂-eq. Dit laat zien dat met name de bijdrage van vermeden kunststofproductie in dit scenario een dominante rol speelt in het

⁶ In de vorige studie was het resultaat van dit scenario 1030 kton CO₂ eq. Ten opzichte van deze studie zijn enkele aanpassingen doorgevoerd: de vermeden grondstofproductie van aluminium was in de vorige studie ten onrechte niet meegenomen in de berekening. In deze studie is dat wel in beschouwing genomen. Daarnaast is door het updaten van de achtergronddatabase Ecoinvent en de vervanging van verouderde processen door up-to-date-processen verschillen ontstaan. Deze factoren tezamen hebben geleid tot een lichte daling van het eindresultaat.

realiseren van een groot netto vermeden emissie-effect. Hierbij is aangenomen dat grote hoeveelheden geïmporteerd plastic afval eerst door de sortering en recycling gaan om kunststof te recyclen, waarna de residu naar de AEC gaat om verbrand te worden. De hoeveelheid vermeden stort is gerelateerd aan de hoeveelheid verbrand afval en de hoeveelheid afval dat gerecycled wordt. De aangenomen hoeveelheid kunststofrecycling is voldoende om de huidige Nederlandse kunststofproductie voor 50% circulair te maken (beleidsdoelstelling voor 2030). Dit laat zien dat een circulaire economie de meeste emissies reduceert, maar dat ook in een circulaire economie nog steeds ruimte kan zijn voor AEC's om residuen te verwerken.

Over alle scenario's heen blijft zichtbaar dat de directe emissies van afvalverbranding een substantiële en relatief stabiele emissie leveren. Transport heeft een geringe bijdrage, ook vanuit het buitenland. De verschillen tussen de scenario's worden mede bepaald door de omvang van de vermeden emissies, die stapsgewijs toenemen door het vermijden van stortemissies en een hogere mate van materiaalherwinning. Dit levert echter alleen een negatief emissiesaldo op als er sprake is van de inzet van CCS.

4.5 Overige milieuprestaties

Een verbeterde prestatie op het gebied van klimaatverandering in de scenario's garandeert niet een verbetering van de milieuprestatie in de overige 17 milieucategorieën, omdat deze milieueffecten zeer verschillend van aard zijn. Het betreft aantasting van de ozonlaag, luchtkwaliteit, verzuring, eutrofiëring, humane en milieu toxiciteit, straling, land- en watergebruik en uitputting van bronnen van fossiele en minerale grondstoffen. Sommige milieueffecten (zoals luchtkwaliteit en verzuring) hangen samen met (vermeden) energiegebruik, bodem en water gerelateerde effecten (eutrofiëring, ecotoxiciteit) met (vermeden) afvalstort. Landgebruik is zeer afhankelijk van gebruik van biomassa terwijl sommige toxiciteitseffecten bepaald worden door gebruik van specifieke materialen en processen.

De berekende resultaten staan per milieueffectcategorie grafisch weergegeven in Bijlage F. Hierbij dient aangetekend te worden dat de afvang en opslag van CO₂ in deze analyse is verwerkt door de afgevangen hoeveelheid CO₂ in mindering te brengen op de emissies. Dit heeft uitsluitend effect op de milieueffectcategorie klimaatverandering. De extra energie-inzet voor CO₂-afvang is wel meegenomen en werkt door in alle milieueffectcategorieën. De benodigde installaties, transportinfrastructuur en opslagfaciliteiten voor CO₂-afvang en -opslag zijn niet in de beschouwing opgenomen, wat leidt tot een lichte onderschatting van de milieudruk. Daarnaast zijn nascheiding en de daarmee vermeden productie van kunststoffen niet meegenomen in de milieuprestatieberekening (in tegenstelling tot de CO₂-prestatieberekening), hetgeen leidt tot een overschatting van de milieudruk.

Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in Tabel 4.3. In de tabel staan het aantal milieueffect categorieën geturfd die verbetering of verslechtering laten zien of ongeveer gelijk blijven (minder dan 10% verandering) ten opzichte van de gerealiseerde situatie Verwerkt NL 2021. Hierbij dient aangetekend te worden dat de mate van verschil buiten beschouwing is gelaten en de verschillende milieuimpactcategorieën impliciet als even belangrijk zijn verondersteld. Uit de samenvatting blijkt dat alle scenario's, ook het Beleidspad 2030, een verslechtering laten zien in de meerderheid van de milieueffect categorieën. Oorzaak hiervoor is minder milieuverbetering door energieproductie van de AEC's als gevolg van de verminderde energieproductie door de AEC's en/of de steeds schoner wordende energieproductie in Nederland. Er is ook verbetering te zien op een zestal milieueffect

categorieën, met name op het gebied van toxiciteit. In de scenario's waar afval maximaal geïmporteerd wordt daalt de score bij deze categorieën.

Tabel 4.3: Vergelijking van de scores op de 17 overige milieupactcategorieën per scenario in 2030 met de situatie Verwerkt NL 2021.

Scenario	Verbetering t.o.v. 2021	Gelijk t.o.v. 2021	Verslechtering t.o.v. 2021
Beleidspad 2030	6	0	11
Eigen Verwerking 2030	6	0	11
EU Aanvullen 2030	5	2	10
Maximale Benutting 2030	2	4	11
Maximale Benutting Plus 2030	2	4	11

4.6 Perspectief 2050

In de eerdere TNO-studie werd het voor de lange termijn (2050) onmogelijk geacht om een kwantitatieve schatting te maken voor Nederland. Als bovengrens werd aangegeven dat, als al het aanvullende circulaire beleid faalt, 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 [4].

Als 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* gecombineerd worden met de lichte 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 beleidspad in 2030.

Voor de lange termijn in Europa zijn de onzekerheden nog groter en hiermee de beschikbaarheid van afval voor Nederland. Ook hier zijn een aantal tegengestelde ontwikkelingen van belang:

1. Groei van het afval als gevolg van de groei van de bevolking, economie en consumptie;
2. Snelheid en effectiviteit van het circulaire economie beleid, resulterend in afnemende hoeveelheid afval, toenemende recycling en verminderde stort. [28]

Hiermee is de bandbreedte van afval beschikbaarheid in Europa zeer groot, variërend van tekort tot overvloed om de Nederlandse AEC capaciteit te benutten. Hierdoor is het nodig om beleidsprognoses en feitelijke ontwikkelingen naast elkaar te leggen en te zien of en in welke mate technische ontwikkelingen kunnen en moeten gerealiseerd worden om de transitie en verwerkingszekerheid te bereiken. In het bijzonder verdient het hierbij de voorkeur om capaciteit niet te snel af te bouwen om opties open te houden.

5 Conclusies

De centrale vraag van deze studie is hoe de toekomstige EU context en technologische opties de inzet, capaciteit en CO₂ prestaties van Nederlandse AEC's beïnvloeden richting 2030, met een doorkijk naar 2050. De resultaten laten zien dat deze invloed groot is en met name wordt bepaald door CO₂ afvang en opslag en de beschikbaarheid van afvalstromen in Nederland en Europa, en de mate waarin deze stromen worden benut.

De belangrijkste conclusies zijn:

-) Afnemend binnenlands afvalaanbod: Door effectief circulair beleid gericht op verminderen van consumptie, efficiënter productgebruik en recycling neemt de hoeveelheid beschikbaar Nederlands brandbaar afval richting 2030 aanzienlijk af. Dit leidt zonder aanvullende maatregelen tot onderbenutting of gedeeltelijke sluiting van de bestaande AEC-capaciteit.
-) CO₂-emissies nemen toe ondanks baten: De scheiding en verbranding van afval resulteert in belangrijke CO₂ baten door vermeden energieproductie maar ook metaal- en kunststofrecycling. Niettemin resulteert dit in netto positieve CO₂-emissies in 2030 van ongeveer 1.388 kton (732 kton inclusief kunststofrecycling), een toename ten opzichte van 2021 ondanks een afname van de hoeveelheid binnenlands afval.
-) Toenemende rol van import van EU afval: Naar verwachting zal het EU stortverbod in 2030 (en 2035) leiden tot aanzienlijk aanbod van brandbaar afval. Deze afvalstromen kunnen helpen de om de nationale doelstelling voor 50% circulaire grondstoffen te halen en de onderbenutting van AEC's deels of volledig opvangen. De mate van import bepaalt in sterke mate de uiteindelijke benutting van AEC's.
-) Import heeft invloed op CO₂-prestaties: Hogere benutting leidt tot hogere directe emissies, maar tegelijkertijd tot grotere vermeden emissies door energierugwinning, materiaalrugaanwinning en vermeden stort. Deze laatste bijdrage is bescheiden omdat enerzijds methaan emissies maar ook energieproductie (als gevolg van methaanafvang) wordt vermeden.
-) Beslissende rol van CO₂-afvang en -opslag (CCS) technologie en recycling: Met name de inzet van CCS is bepalend voor het omslagpunt naar netto negatieve emissies. De CCS gaat wel ten koste van een deel van de energieproductie, maar is vooral effectief omdat niet alleen de fossiele maar ook de biogene CO₂-emissie opgeslagen wordt. In het Eigen Verwerking scenario bedragen de netto CO₂-emissies -1.538 kton (-2.193 incl. vermeden kunststofproductie), al is de verwachting dat bij een afnemende capaciteit de investeringsruimte voor CCS zal ontbreken. EU brandbaar afval import resulteert in netto CO₂-emissies ca. 2.017 kton (ca -2.673 incl. vermeden kunststofproductie). Import van plastic afval dat eerst gesorteerd en gerecycled wordt, resulteert in te verbranden residu en voor het systeem netto -5.636 kton CO₂-emissies incl. vermeden kunststofproductie.
-) Bredere milieuprestatie neemt af: In alle scenario's, ook die met een verminderde hoeveelheid afval door circulair beleid, is er sprake van verminderde milieuprestaties voor het merendeel van de andere milieu impact categorieën, met name door minder vermeden impacts door energieproductie. Vermeden kunststofproductie is hierbij buiten beschouwing gebleven. Er is ook verbetering te zien op een aantal milieueffect categorieën, met name op het gebied van toxiciteit.
-) Systeemafhankelijkheid van belang: De uiteindelijke milieuprestatie van AEC's hangt niet alleen af van de installatie zelf, maar van het bredere systeem waarin deze opereert (energievoorziening, recycling, internationale afvalstromen).

-) Lange termijn vooruitzicht onzeker: De onzekerheden voor het jaar 2050 zijn groot; een kwalitatieve analyse laat zien dat de beschikbaarheid van afvalstromen in de EU kan ophouden als het circulariteitsbeleid succesvol is maar ook kan groeien als dat niet het geval is. Het benutten van import draagt bij aan het behalen van nationale grondstofdoelstellingen en geeft ruimte om te bezien hoe de transitie verder vorm gaat krijgen en te voorkomen dat er vroegtijdig capaciteit wordt afgebouwd als de ontwikkelingen niet lopen zoals voorzien met minder voortgang in de realisatie van de circulaire economie en het beschikbaar komen van innovatieve verwerkingstechnieken.

Samengevat:

De toekomstige rol en CO₂-prestatie van Nederlandse AEC's wordt in sterke mate bepaald door het meenemen van energieproductie, metaalrecycling en vermeden kunststof productie, alsmede ook CCS. Door CCS worden netto CO₂-emissies bespaard. Dit kan worden versterkt door verwerking van EU afval in Nederland, dat naar verwachting beschikbaar komt als gevolg van EU-stortbeleid. AEC's functioneren daarbij steeds minder als een puur nationale afvalverwerking en steeds meer als onderdeel van een Europees afval-, materialen en energiesysteem waarbij warmte, elektriciteit, metalen en andere materialen worden geproduceerd en CO₂ opgeslagen.

6 Aanbevelingen

6.1 Implicaties voor de rol van de Nederlandse AEC's

De resultaten van deze studie laten zien dat de rol van Nederlandse AEC's fundamenteel verandert. Waar AEC's traditioneel werden beschouwd als onderdeel van een nationaal afvalverwerkingssysteem, functioneren zij in toenemende mate als onderdeel van een breder Europees afval-, grondstoffen- en energiesysteem. Ontwikkelingen in andere EU-lidstaten, zoals verschillen in recyclingprestaties, stortbependingen en verwerkingscapaciteit, hebben directe invloed op de beschikbaarheid van afvalstromen en daarmee op de benutting van Nederlandse installaties. Gezien de geopolitieke situatie richt het Europese beleid zich de afgelopen jaren nog meer op Europese samenwerking om meer zelfvoorzienend te worden op het gebied van energie en grondstoffen, het behouden en versterken van de Europese industrie, en in het behalen van de klimaatdoelstellingen [2], [29]. Op afvalverwerking vindt ook tussen EU-landen veel samenwerking plaats. Nederland maakt al jaren gebruik van de verwerkingscapaciteit voor afvalstromen waar Nederland zelf onvoldoende mogelijkheden voor heeft (bv. gevaarlijk afval), terwijl Nederland weer kan bijdragen aan deze Europese samenwerking met haar afvalverwerkingsmogelijkheden [30], [25].

Tegelijkertijd neemt het binnenlandse aanbod van brandbaar afval naar verwachting af als gevolg van beleid gericht op afvalpreventie en recycling [4]. Dit leidt, zonder aanvullende maatregelen, tot een structurele onderbenutting van de bestaande AEC-capaciteit. Daarmee ontstaat een strategische vraag over de toekomstige rol van deze installaties: blijven zij primair gericht op nationale afvalverwerking, of ontwikkelen zij zich verder tot een schakel in het Europese systeem, bijvoorbeeld door verwerking van geïmporteerde reststromen.

Naast afvalverwerking blijven AEC's een rol spelen in de energievoorziening, met name via de productie van warmte en elektriciteit [7]. Deze rol wordt sterker naarmate installaties beter geïntegreerd zijn in warmtenetten en de geproduceerde energie fossiele alternatieven vervangt. De bijdrage van AEC's aan energie- en klimaatdoelen moet daarom steeds in samenhang met de bredere energie-infrastructuur worden beschouwd. Daarbij is de inzet van CO₂-afvang en -opslag (CCS) een bepalende factor. De analyse laat zien dat vooral deze technologie het verschil maakt tussen een systeem met blijvende emissies en een systeem waarin substantiële emissiereducties en juist negatieve emissies mogelijk zijn.

6.2 Beleidsrelevante aandachtspunten

De resultaten van deze studie laten zien dat beleidskeuzes rond afvalverwerking, circulariteit, energievoorziening en klimaatbeleid sterk met elkaar samenhangen. De milieuprestatie van Nederlandse AEC's wordt niet alleen bepaald door de hoeveelheid afval die wordt verwerkt, maar ook door de samenstelling van afvalstromen, de mate van (hoogwaardige) recycling, de benutting van warmte en elektriciteit, de ontwikkeling van de energiemix en de eventuele toepassing van CO₂-afvang en -opslag.

Voor beleidsvorming betekent dit dat keuzes over AEC-capaciteit niet los kunnen worden gezien van bredere ontwikkelingen in het afval-, grondstoffen- en energiesysteem. Een

afnemend binnenlands aanbod van brandbaar restafval kan leiden tot lagere benutting van bestaande installaties, terwijl verwerking van geïmporteerde reststromen de benutting kan verhogen. De keuze of, in welke mate en onder welke voorwaarden Nederland dergelijke reststromen verwerkt, is uiteindelijk een beleidsmatige afweging. Deze studie laat zien welke systeemgevolgen daarbij kunnen optreden voor capaciteit, energieproductie en milieuprestatie.

Ook de verhouding tussen recycling en afvalverbranding vraagt om een systeemgerichte benadering. De scenario's laten zien dat AEC's vooral relevant blijven voor reststromen die niet, of niet verder, hoogwaardig kunnen worden gerecycled of niet passen voor inzet in de circulaire economie vanwege aanwezige milieubelastende stoffen. Tegelijkertijd kunnen veranderingen in recycling, nascheiding en materiaalherwinning de hoeveelheid en samenstelling van het te verbranden residu beïnvloeden. Daarmee hangen keuzes over recyclingroutes en keuzes over afvalverbrandingscapaciteit direct met elkaar samen. De nieuwe doelstelling om in 2035 55% gerecyclede of biograndstoffen in de Nederlandse grondstoffeneconomie in te zetten kan alleen worden behaald met de import van afvalstromen voor recycling waaruit additionele recyclingresiduen zullen ontstaan die weer in afvalenergiecentrales kunnen worden verwerkt. AEC's zijn daarmee een onderdeel van het circulaire systeem [24], [9].

De inzet van CO₂-afvang en -opslag is een belangrijke factor in de klimaatprestatie van AEC's. In scenario's waarin CCS wordt toegepast, verandert het emissieprofiel van afvalverbranding aanzienlijk. Tegelijkertijd heeft CCS gevolgen voor de energieprestatie van installaties, onder meer door het effect op warmte- en elektriciteitslevering. Voor beleidsmatige afwegingen rond AEC's is daarom relevant om CCS niet alleen als afzonderlijke technologie te beschouwen, maar ook in samenhang met energie-infrastructuur, warmtenetten en de toekomstige rol van afvalverbranding binnen het bredere klimaatbeleid. Door afval te importeren wordt vermeden dat dit afval in andere EU landen gestort wordt en tot methaanuitstoot leidt [10]. Deze vermeden methaanuitstoot kan gezien worden als bijdrage aan de door Nederland ondertekende Global Methane Pledge [31].

De onzekerheden rond nationaal en EU-aanbod van afval zijn groot en zeer afhankelijk van het al dan niet slagen van het circulariteitsbeleid in de verschillende EU-landen. Het verdient daarom aanbeveling om op de korte termijn zoveel mogelijk opties rond energie en materialen open te houden, waaronder de AEC's. Een dergelijk sector perspectief is ook een voorwaarde voor de noodzakelijke investeringen in CCS [25].

De scenario's in deze studie geven daarmee geen voorschrift voor één beleidsrichting, maar maken inzichtelijk welke effecten en afhankelijkheden relevant zijn bij toekomstige keuzes over Nederlandse AEC's. De uitkomsten kunnen worden gebruikt om beleidsopties te vergelijken op hun gevolgen voor capaciteitsbenutting, verwerking van reststromen, energie- en warmteproductie en klimaatprestatie.

6.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Hoewel deze studie een samenhangend beeld geeft van mogelijke ontwikkelingen, blijven er onzekerheden bestaan die verdere analyse vereisen. Met name de beschikbaarheid van brandbaar restafval binnen Europa, en de concurrentie tussen lidstaten om deze stromen, is nog onzeker. Vervolgonderzoek kan zich richten op het beter inzichtelijk maken van deze marktdynamiek en de rol die Nederland daarin kan spelen.

Daarnaast is het relevant om de analyse uit te breiden naar andere materiaalstromen en recyclingroutes, naast de in deze studie beschouwde kunststofstromen. Dit kan bijdragen aan een completer beeld van de mogelijke systeemeffecten en de rol van AEC's binnen een circulaire economie. Ook de overige (niet-CO₂) milieueffecten voor nascheiding en kunststofproductie dienen expliciet meegenomen te worden.

Ook de lange termijn, richting 2050, verdient verdere uitwerking. De huidige analyse geeft hiervoor een eerste indicatie, maar de onzekerheden rond technologische ontwikkeling, beleidsdoelen en afvalproductie zijn groot. Meer gedetailleerde scenario's kunnen helpen om robuustere inzichten te ontwikkelen voor strategische besluitvorming.

Tot slot is het verbeteren van de datakwaliteit en beschikbaarheid van gegevens van belang. Meer gedetailleerde en consistente data over afvalstromen en technologieprestaties (in Nederland en de relevante EU-landen) en internationale beleidsontwikkelingen kunnen bijdragen aan nauwkeurigere analyses en beter onderbouwd beleid.

Referenties

- [1] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Beleidsvisie afvalverbranding in 2030 en richting 2050,” Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025.
- [2] Europese Commissie, „Verslag van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio’s waarin de lidstaten worden geïdentificeerd die het risico lopen de recyclingstreefcijfers voor 2025 voor stedelijk afval te missen,” Europese Commissie, Brussel, 2023.
- [3] M. d. Leeuw en R. Koelemeijer, „Decarbonisation options for the Dutch waste incineration industry,” PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and TNO Energy Transition, The Hague, 2022.
- [4] R. Scholtes, T. Ligthart en T. v. Harmelen, „Een verkenning naar de verbranding van Nederlands afval en de milieuprestatie in 2030 en 2050,” TNO, Utrecht, 2024.
- [5] Rijkswaterstaat, „Inventarisatie CO₂-reductieplannen en knelpunten bij de industrie 2025,” Rijkswaterstaat, 2025.
- [6] Haskoning Nederland B.V., „Feitenonderzoek bron- en nascheiding PMD: Gemiddelde prestaties per scheidingssysteem 2023,” Haskoning Nederland B.V., Nijmegen, 2025.
- [7] M. Menkveld, R. Niessink en V. Rovers, „Toename aandeel hernieuwbare warmte,” TNO, Utrecht, 2024.
- [8] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Vaststelling van de begrotingsstaten van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (XII) voor het jaar 2026,” Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 2025.
- [9] KPMG Advisory N.V., „Plastic feedstock for recycling in the Netherlands,” KPMG Advisory N.V., Amstelveen, 2023.
- [10] T. Ligthart, „De bijdrage van verbranden van geïmporteerd afval aan de Nederlandse en Europese CO₂-emissies,” TNO, Utrecht, 2020.
- [11] International Organization for Standardization, „ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework,” International Organization for Standardization, Geneva, 2006a.
- [12] International Organization for Standardization, „ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines,” International Organization for Standardization, 2006b.
- [13] PRé Sustainability, „SimaPro Craft 10.3,” PRé Sustainability, Amersfoort, 2025.
- [14] M. A. J. Huijbregts, Z. J. N. Steinmann, P. M. F. Elshout, G. Stam, F. Veronesi, M. D. M. Vieira, A. Hollander en R. v. Zelm, „ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization,” Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, 2016.
- [15] PBL, TNO, CBS en RIVM, „Klimaat- en Energieverkenning 2025,” Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2025.
- [16] RVO, „Inventarisatie CO₂-reductieplannen en knelpunten daarvoor bij de Nederlandse industrie,” RVO, 2024.

- [17] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Bulgaria,” European Environment Agency, 2022.
- [18] Stichting Bouwkwaliiteit, „Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken: Versie 3.0,” Stichting Bouwkwaliiteit, Rijswijk, 2019.
- [19] CE Delft, „CO₂-winst met kunststofrecycloaat,” CE Delft, Delft, 2022.
- [20] ecoinvent Association, „ecoinvent database - version 3.11,” ecoinvent Association, Zürich, 2024.
- [21] Werkgroep Afvalregistratie, „Afvalverwerking in Nederland: gegevens 2021,” Rijkswaterstaat in opdracht van IenW, Utrecht, 2023.
- [22] Rijkswaterstaat, „Samenstelling van het huishoudelijk restafval, sorteeranalyses 2021: gemiddelde driejaarlijkse samenstelling 2020,” Rijkswaterstaat, Utrecht, 2022.
- [23] Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, „Verordening (EU) 2024/1157 van het Europees Parlement en de Raad van 11 april 2024 betreffende de overbrenging van afvalstoffen, tot wijziging van de Verordeningen (EU) nr. 1257/2013 en (EU) 2020/1056 en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 1013/2006,” Publicatieblad van de Europese Unie, 2024.
- [24] Nederland Circulair in 2050, „Doelen 2035,” z.d.. [Online]. Available: <https://www.nederlandcirculairin2050.nl/nationaal-programma-circulaire-economie/doelen-2035>.
- [25] Werkgroep Afvalsector, „Eindrapport Werkgroep Afvalsector,” Werkgroep Afvalsector, 2025.
- [26] Confederation of European Waste-to-Energy Plants, „Waste-to-Energy in Europe in 2023,” Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Brussel, 2026.
- [27] CPNL, „Data on the Plastics Value Chain in the Netherlands,” Data on the Plastics Value Chain in the Netherlands, 2024.
- [28] CE Delft / Prognos, „CO₂ reduction potential in European,” CE Delft / Prognos, Berlin / Düsseldorf / Delft, 2022.
- [29] A. Hanemaaijer, M. Muller, M. d. Krom, A. Mangnus, K. Schotten en D. i. ' . Veld, „Integrale Circulaire Economie Rapportage 2025,” Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2025.
- [30] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, & Ministerie van Economische Zaken, „The Netherlands' priorities for a Circular Economy Act: Making the EU world leader in circular economy in a changing geopolitical environment,” Rijksoverheid, Den Haag, 2025.
- [31] Rijkswaterstaat, „Import en export,” z.d.. [Online]. Available: <https://afvalmonitor.databank.nl/mosaic/dashboard/import-en-export>.
- [32] Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, „Nationale Methaanstrategie,” Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag, 2022.
- [33] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Netherlands,” European Environment Agency, 2022.
- [34] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: France,” European Environment Agency, 2022.

- [35] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Germany,” European Environment Agency, 202.
- [36] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Czechia,” European Environment Agency, 2022.
- [37] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Greece,” European Environment Agency, 2022.
- [38] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Greece,” European Environment Agency, 2022.
- [39] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Hungary,” European Environment Agency.
- [40] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Italy,” European Environment Agency, 2022.
- [41] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Poland,” European Environment Agency, 2022.
- [42] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Portugal,” European Environment Agency, 2022.
- [43] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Romania,” European Environment Agency, 2022.
- [44] European Environment Agency, „Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste: Spain,” European Environment Agency, 2022.
- [45] Rijkswaterstaat, „E-mail: RE: verzoek mbt export naar R1/D10,” Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023.

Ondertekening

TNO) Energy & Materials Transition) Utrecht, 18 juni 2026

Charlotte Smit-Rietveld
Research Manager

Alix Reichenecker
Project Manager

Bijlage A

Milieu impactcategorïeen

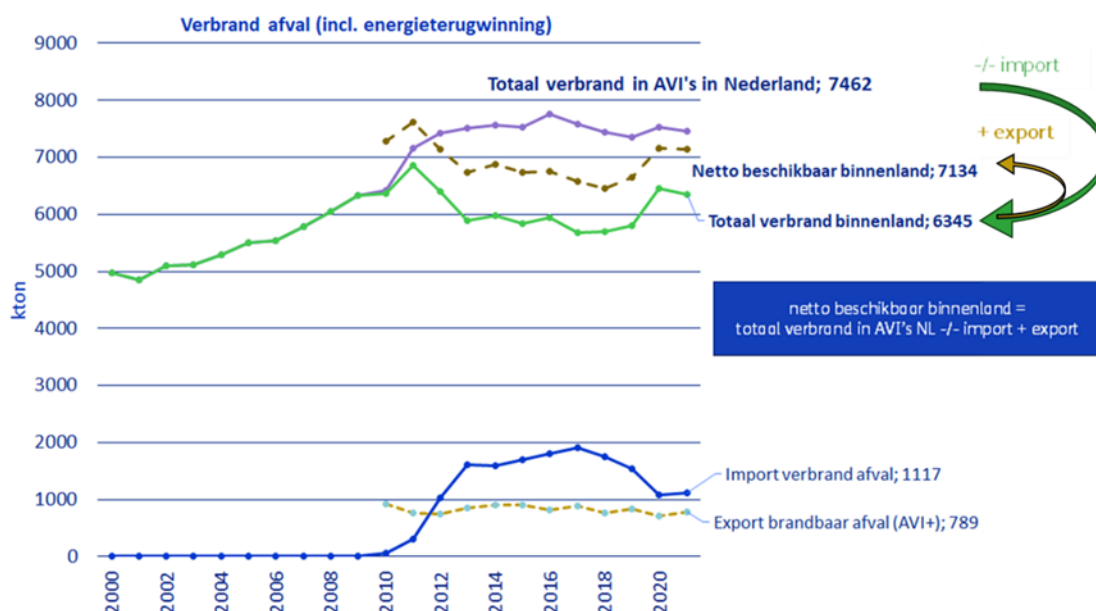
Tabel A.1: Milieu impactcategorïeen

Impact Categorie (NL)	Impact Categorie (EN)	Eenheid
Klimaatopwarming potentieel	Global Warming Potential	kg CO ₂ -eq
Stratosferische ozonafbraak	Stratospheric ozone depletion	kg CFC-11-eq
Ioniserende straling	Ionizing radiation	kBq Co-60-eq
Ozonvorming	Ozone formation, Human health	kg NO _x -eq
Vorming van fijn stof	Fine particulate matter formation	kg PM2.5-eq
Ozonvorming, terrestrische ecosystemen	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x -eq
Terrestrische verzuring	Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq
Zoetwater eutrofiëring	Freshwater eutrophication	kg P-eq
Zoutwater eutrofiëring	Marine eutrophication	kg N-eq
Terrestrische ecotoxiciteit	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq
Ecotoxiciteit van zoetwater	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq
Ecotoxiciteit van zoutwater	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq
Humane carcinogene toxiciteit	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB-eq
Humane non-carcinogene toxiciteit	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB-eq
Landgebruik	Land use	m ² jaar
Schaarste aan minerale hulpbronnen	Mineral resource scarcity	kg Cu-eq
Schaarste aan fossiele hulpbronnen	Fossil resource scarcity	kg olie-eq
Watergebruik	Water consumption	m ³ water-eq verbruikt

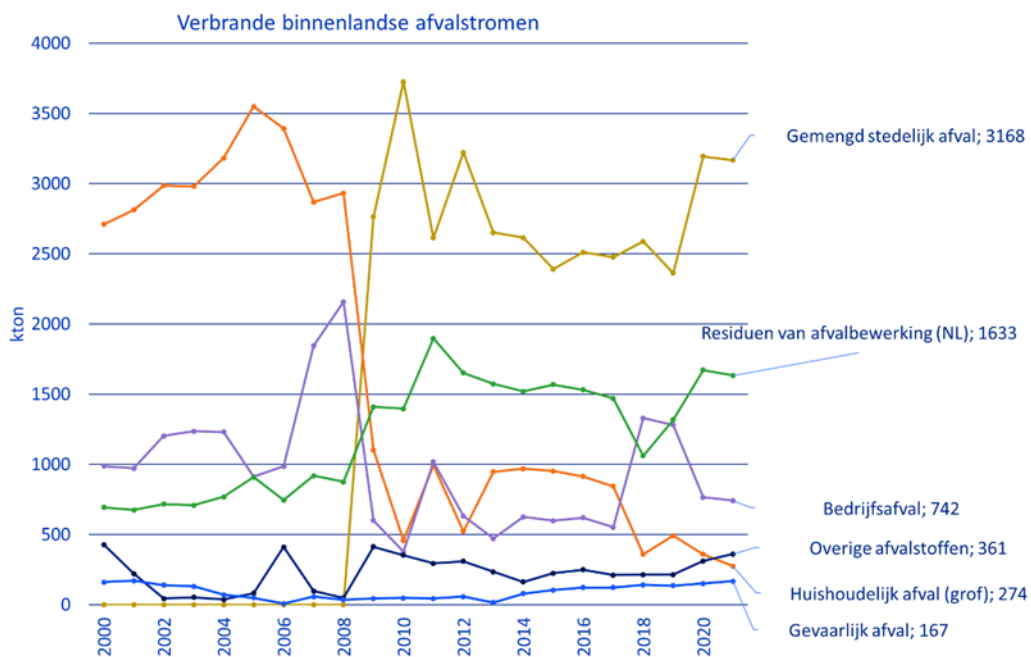
Bijlage B

Samenstelling verbrand afval 2021

De tabellen en grafieken hieronder komen uit de vorige studie en worden ook voor deze studie als basis gebruikt [4]. In de vorige studie is de term Afvalenergiecentrale (AVI) gebruikt. In de huidige studie refereren wij naar AECs. Het gaat hierbij om dezelfde installaties.



Figuur B.1: Door de Nederlandse AECs totale hoeveelheid verbrand afval, inclusief het geïmporteerde afval, en de export van brandbaar afval met bestemming AECs, cementoven en energierugwinning.



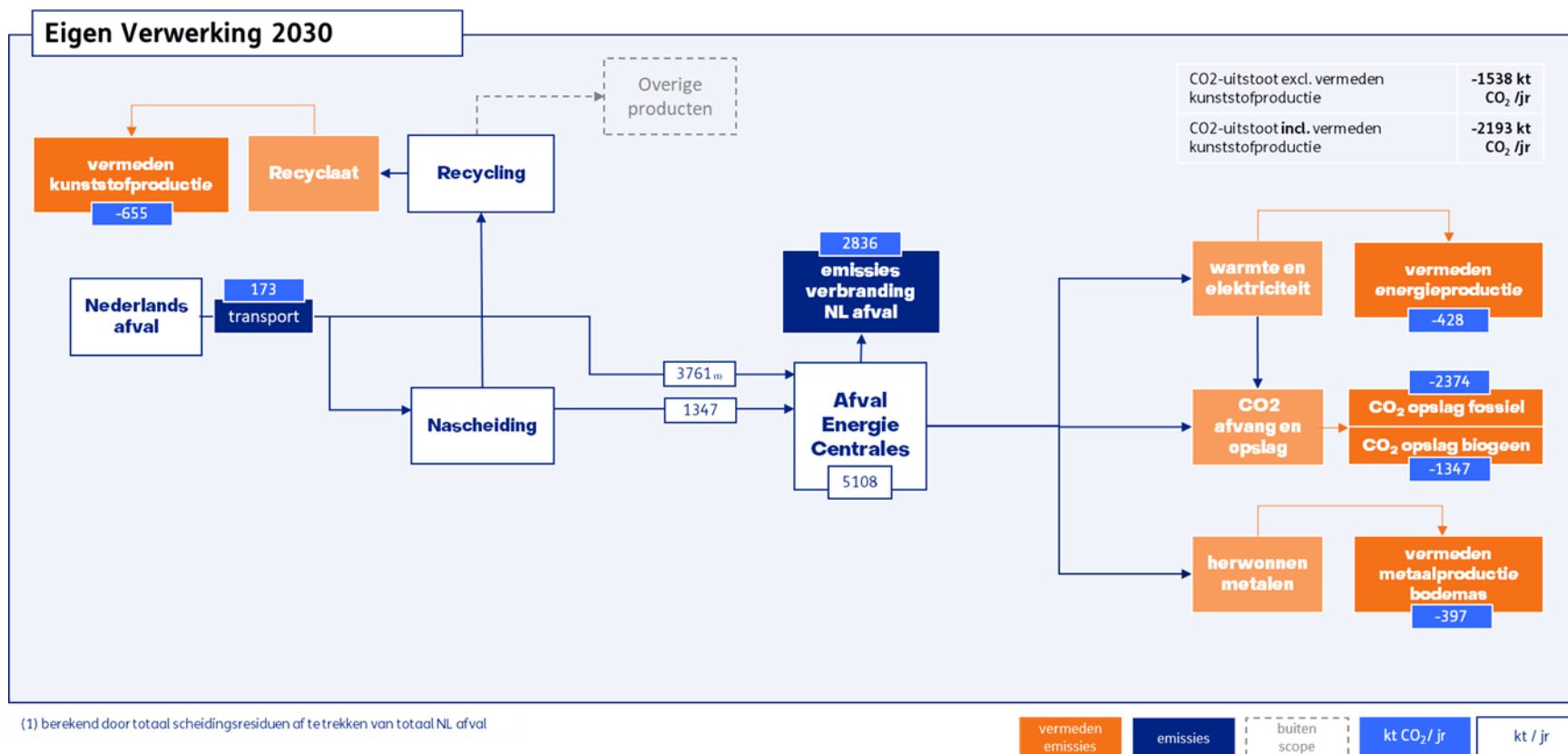
Figuur B.2: De samenstelling van door de Nederlandse AECs verbrand afval. 'Residuen van afvalbewerking (NL)' betreft alleen de binnenlandse residue.

Hoeveelheden verbrand afval per afvalcategorie, 2021															
Afvalcategorie	Totaal verwerkt		Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Noord-Holland	Zuid-Holland		Noord-Brabant				
	[ton]	[%]	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
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
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%

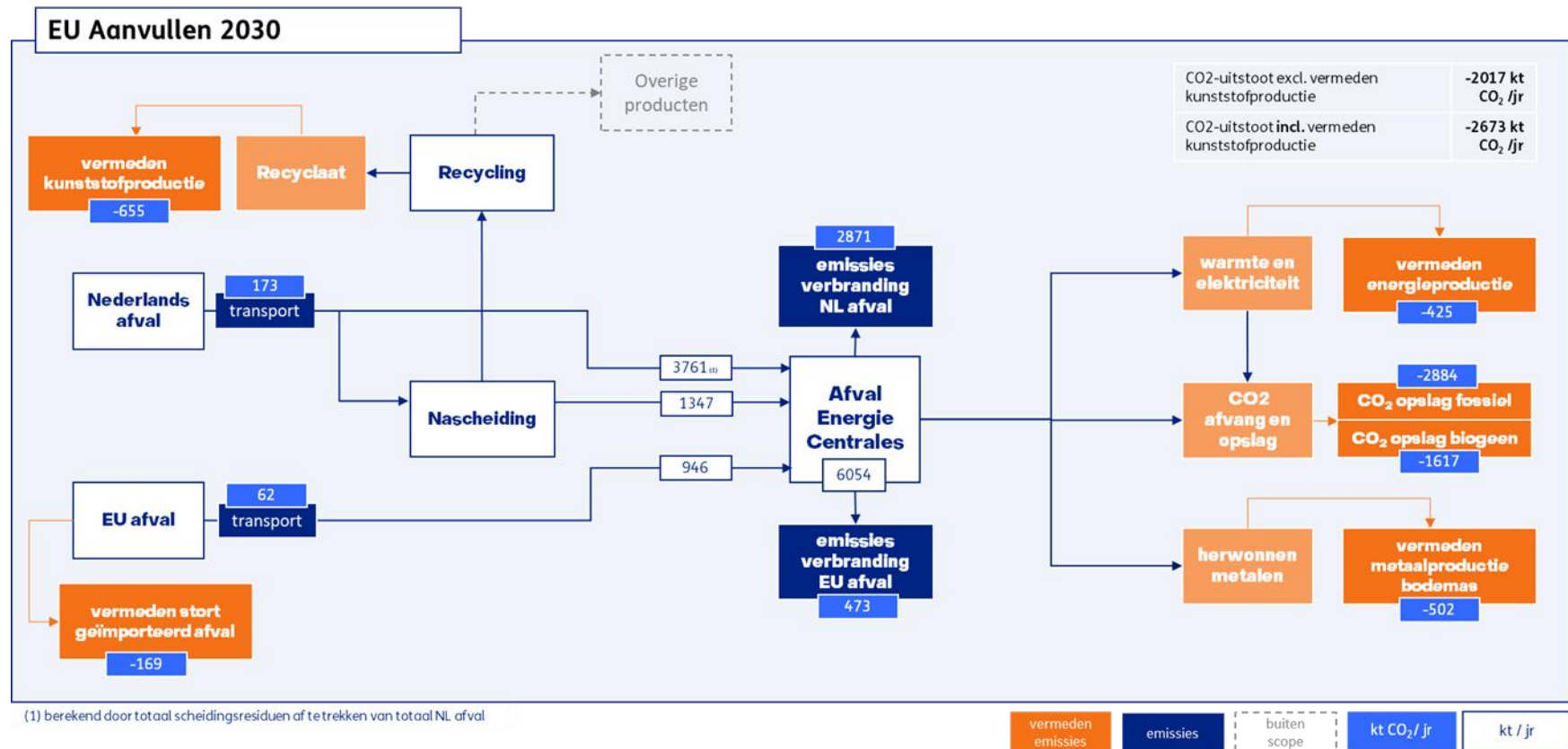
Figuur B.3: In 2021 verbrand afval per categorieën in ton en procentueel per AEC. De kleuren geven de relatieve bijdrage aan het totaal weer (oranje – hoogste, wit – laagste bijdrage). Op basis van [21, p. 62]. In de scheidingsresiduen is in deze tabel het totaal inclusief de hoeveelheid van 1117kton geïmporteerd gegeven.

Bijlage C

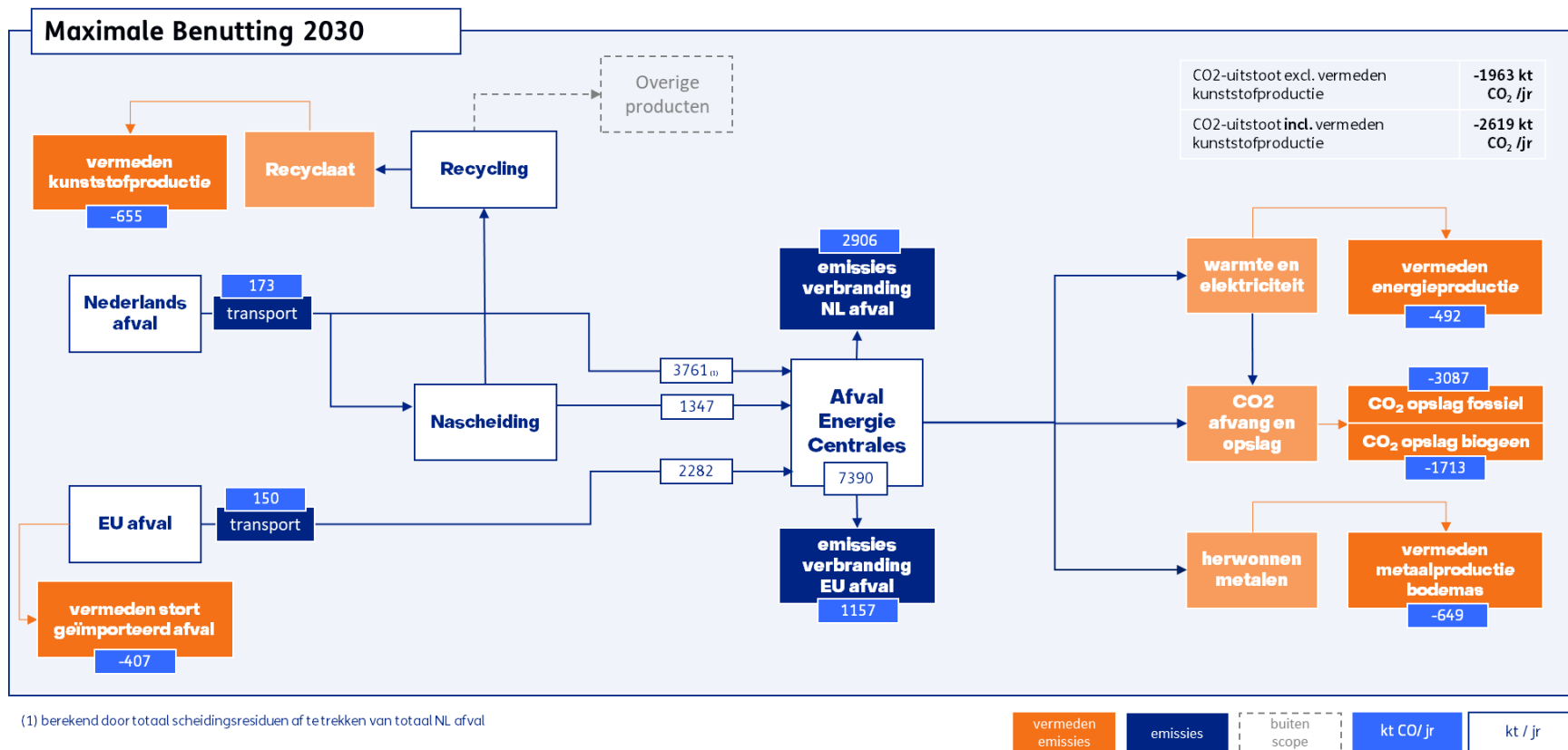
Figuren toekomstscenario's



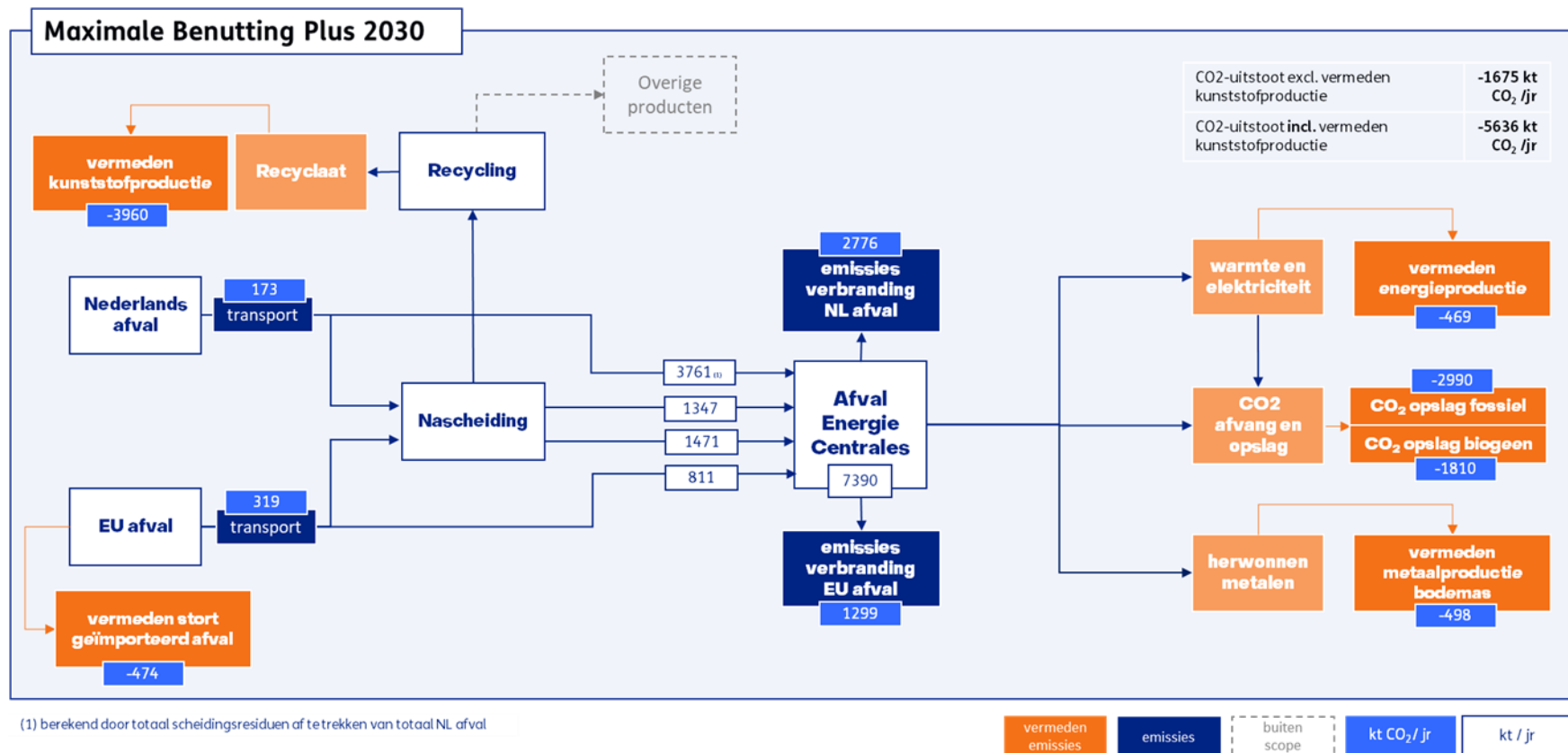
Figuur C.1: Eigen Verwerking 2030 scenario: afval stromen en CO₂-eq. emissie.



Figuur C.2: EU Aanvullen 2030 scenario: afval stromen en CO₂-eq. emissie.



Figuur C.3: Maximale Benutting 2030 scenario: afval stromen en CO₂-eq. emissies.



Figuur C.4: Maximale Benutting Plus 2030 scenario: afval stromen en CO₂-eq. emissies.

Bijlage D

Vergelijking scenario's

Tabel D.1: Vergelijking scenario's

Scenario	Verwerkt NL 2021	Beleidspad 2030 (vorige studie 2024)	Eigen Verwerking 2030	EU Aanvullen 2030	Maximale Benutting 2030	Maximale Benutting Plus 2030
AANNAMES						
Marktbepaling	Europees	Nederlands	Nederlands	Europees	Europees	Europees
Afval verwerkt (in kt/jaar)	7.462	5.108	5.108	6.054	7.390	7.390
Metalen worden uit bodemas recycled	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Investerings in CO ₂ -afvang en opslag (CCS) gaan door	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Plastic, metalen en drankpakken worden nagescheiden voor recycling	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Export van brandbaar restafval	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Import van brandbaar restafval blijft, waarmee Europese methaanemissies verminderd worden	✓	✗	✗	✓	✓	✓
Plastic afval wordt geïmporteerd om industrie te voorzien van voldoende feedstock om doel van 50% recycled content te behalen. Er ontstaat meer recycling residue	✗	✗	✗	✗	✗	✓
RESULTATEN						
CO ₂ - en CH ₄ -uitstoot exclusief vermeden kunststof-productie (in kton CO ₂ -eq)	854	1.388	-1.538	-2.017	-1.963	-1.675
CO ₂ - en CH ₄ -uitstoot inclusief vermeden kunststof-productie (in kton CO ₂ -eq)	365	732	-2.193	-2.673	-2.619	-5.636
Overige 17 milieueffecten ('+' verbetering, '=' gelijk, '-' verslechtering t.o.v. 2021)		+ : 6, = : 0 - : 11	+ : 6 = : 0 - : 11	+ : 5 = : 2 - : 10	+ : 2 = : 4 - : 11	+ : 2 = : 4 - : 11
Circulariteit (t.o.v. 2021)		+	+	+	+	++
AEC's	Gerealiseerd	Versnelde afbouw	Versnelde afbouw, investeringsruimte beperkt	Behoud afval-verwerkings-opties	Behoud afval-verwerkings-opties	Behoud afval-verwerkings-opties

Bijlage E

Overzicht gestort afval en overschot

Tabel E.1: Overzicht van gestort afval en overschot in 2020 m.b.t. de doelstelling in EU lidstaten en een verwacht overschot in % en kton op basis van de 'Prospect score' uit de nationale 'Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste'

EU lidstaat	Gestort afval (kton) ⁷	Aandeel gestort afval (%)	Overschot stort (%)	Overschot (kton)	'Prospect score' (%)	Verwacht overschot (kton) ⁸	Jaar
Spanje	10.853	52	42	8.766	14	7.539	2020
Griekenland	4.359	77,7	67,7	3.798	0	3.798	2019
Roemenië	4.114	74,3	64,3	3.560	0	3.560	2020
Polen	5.218	39,8	29,8	3.907	14	3.360	2020
Portugal	3.009	47,5	37,5	2.376	0	2.376	2020
Tsjechië	2.774	47,7	37,7	2.192	14	1.886	2020
Hongarije	2.124	54	44	1.731	14	1.488	2020
Italië	6.283	20,9	10,9	3.277	57	1.409	2019
Bulgarije	1.750	61	51	1.463	7	1.361	2018
Slowakije	1.189	49,7	39,7	950	7	883	2020
Kroatië	1.023	55,7	45,7	839	7	781	2020
Letland	480	52,8	42,8	389	0	389	2020
Cyprus	364	67	57	310	0	310	2020
Frankrijk	8.697	18,1	8,1	3.892	93	272	2020
Malta	274	88,4	78,4	243	0	243	2020
Ierland	517	22,5	12,5	287	57	124	2020
Estland	75	14,7	4,7	24	93	2	2020
Oostenrijk	106	2	0	0	100	0	2019
België	19	1,1	0	0	100	0	2020
Denemarken	41	1	0	0		0	2020
Finland	17	0,5	0	0	100	0	2020
Duitsland	386	0,7	0	0		0	2020
Litouwen	220	16,3	6,3	85	100	0	2020
Luxemburg	19	3,8	0	0	100	0	2020
Nederland	127	1,4	0	0	100	0	2020
Slovenië	69	6,7	0	0	100	0	2020
Zweden	35	0,8	0	0	100	0	2019
Totaal EU	54.142			38.089		29.779	

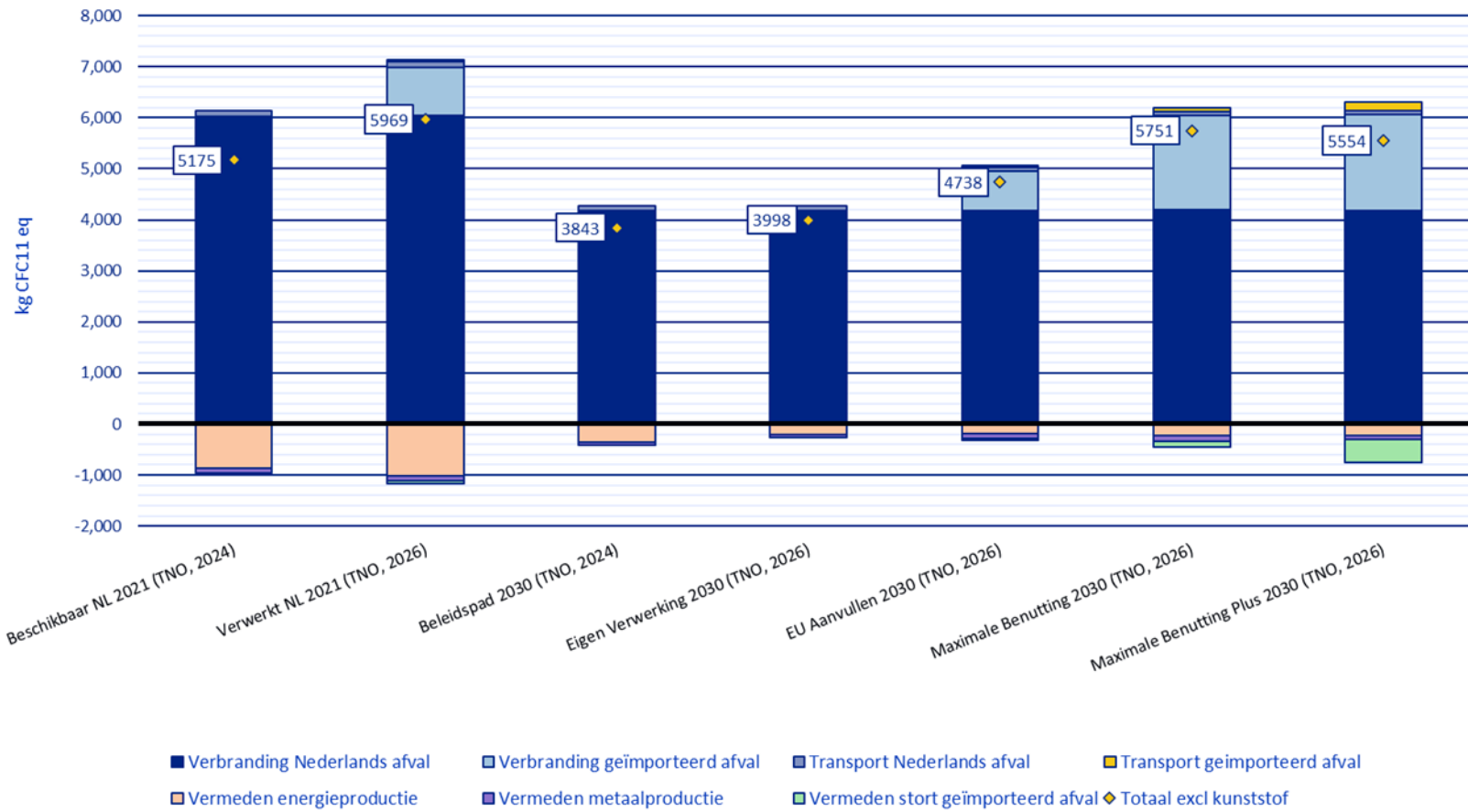
⁷ ESTAT Municipal waste by waste management operations [env_wasmun__custom_15345922]

⁸ gestort afval x (stort % - 10%) / stort % x (100% - prospect score %)⁸

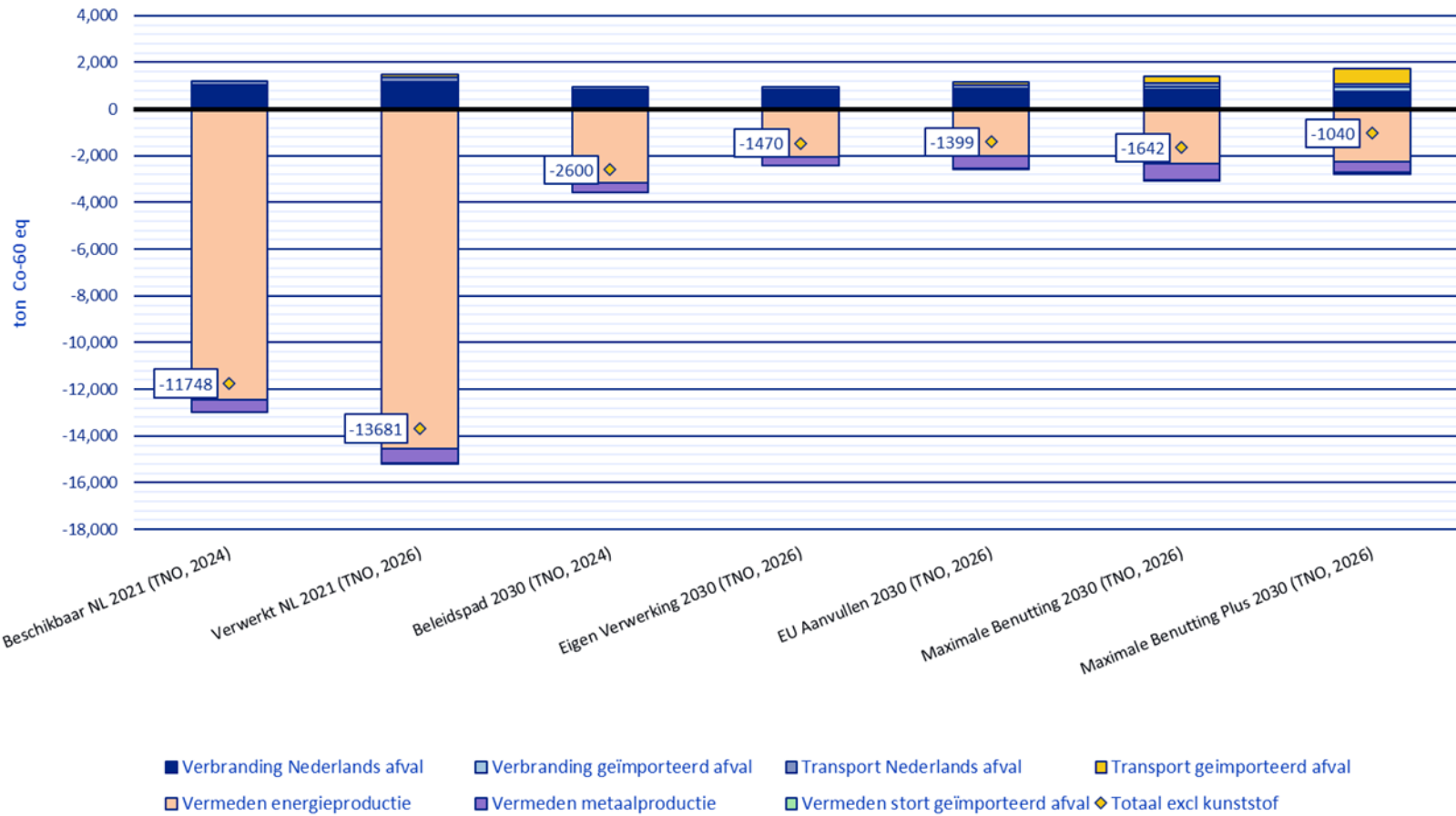
Bijlage F

Overige Milieuprestaties

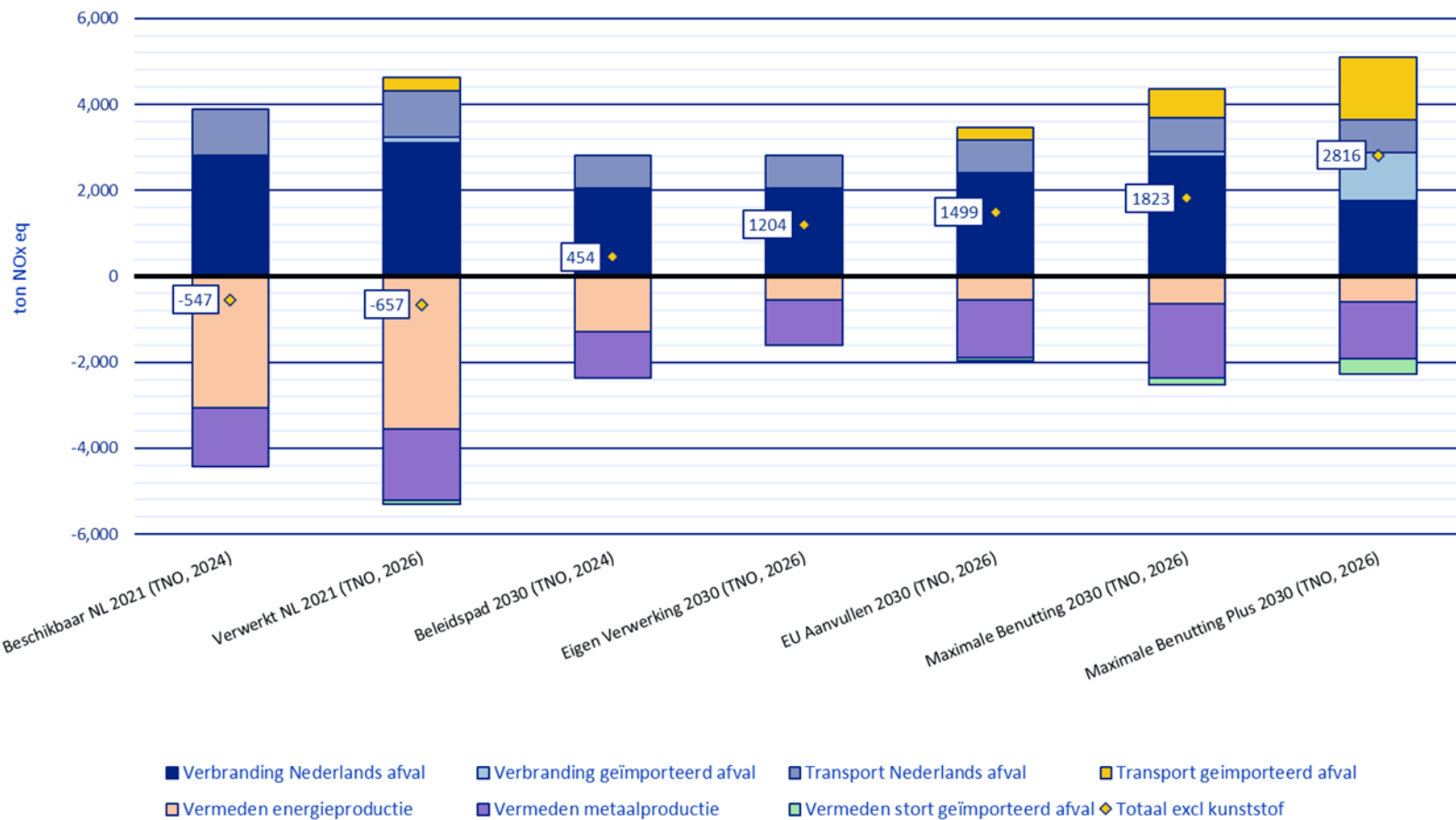
Stratosferische ozonafbraak



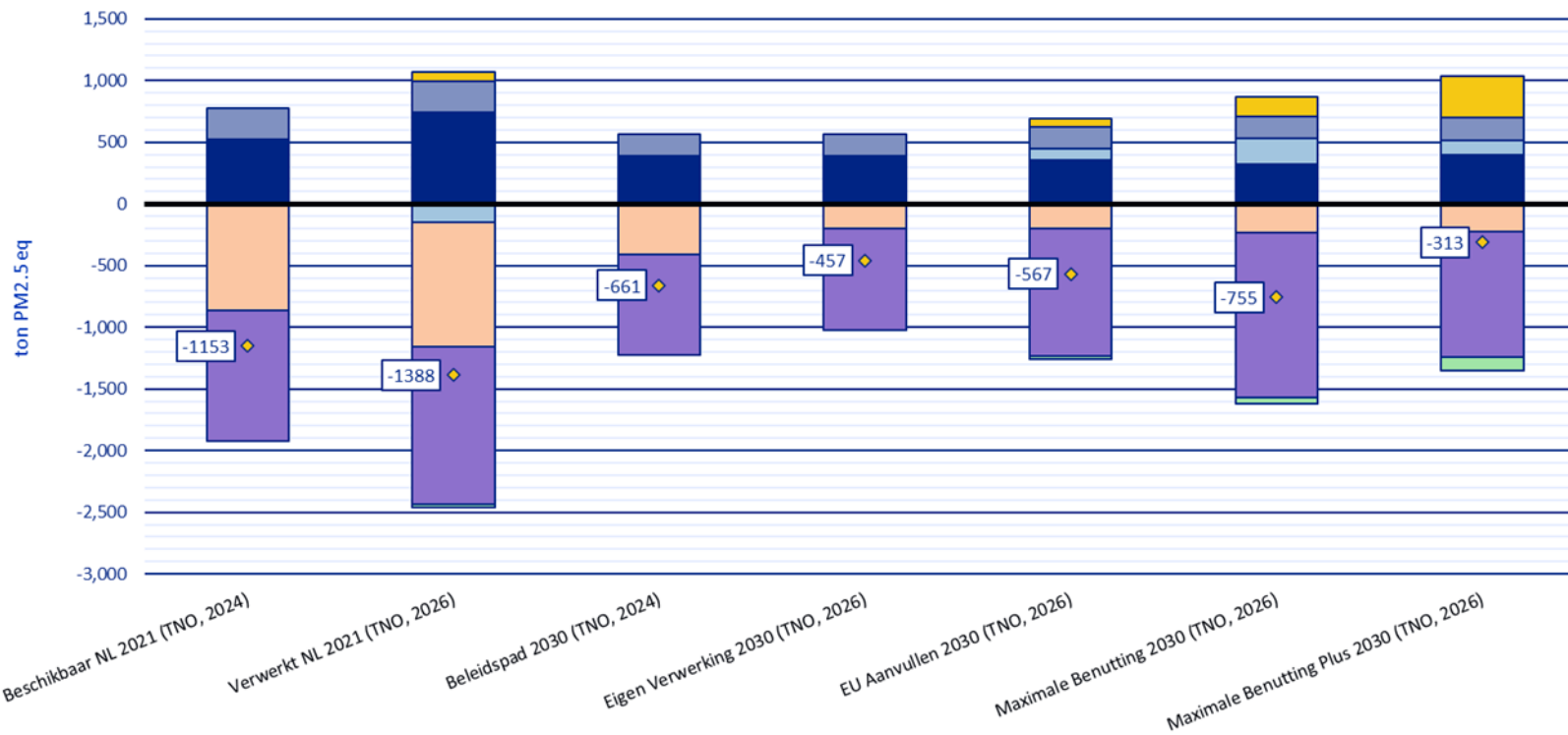
Ioniserende straling



Ozonvorming

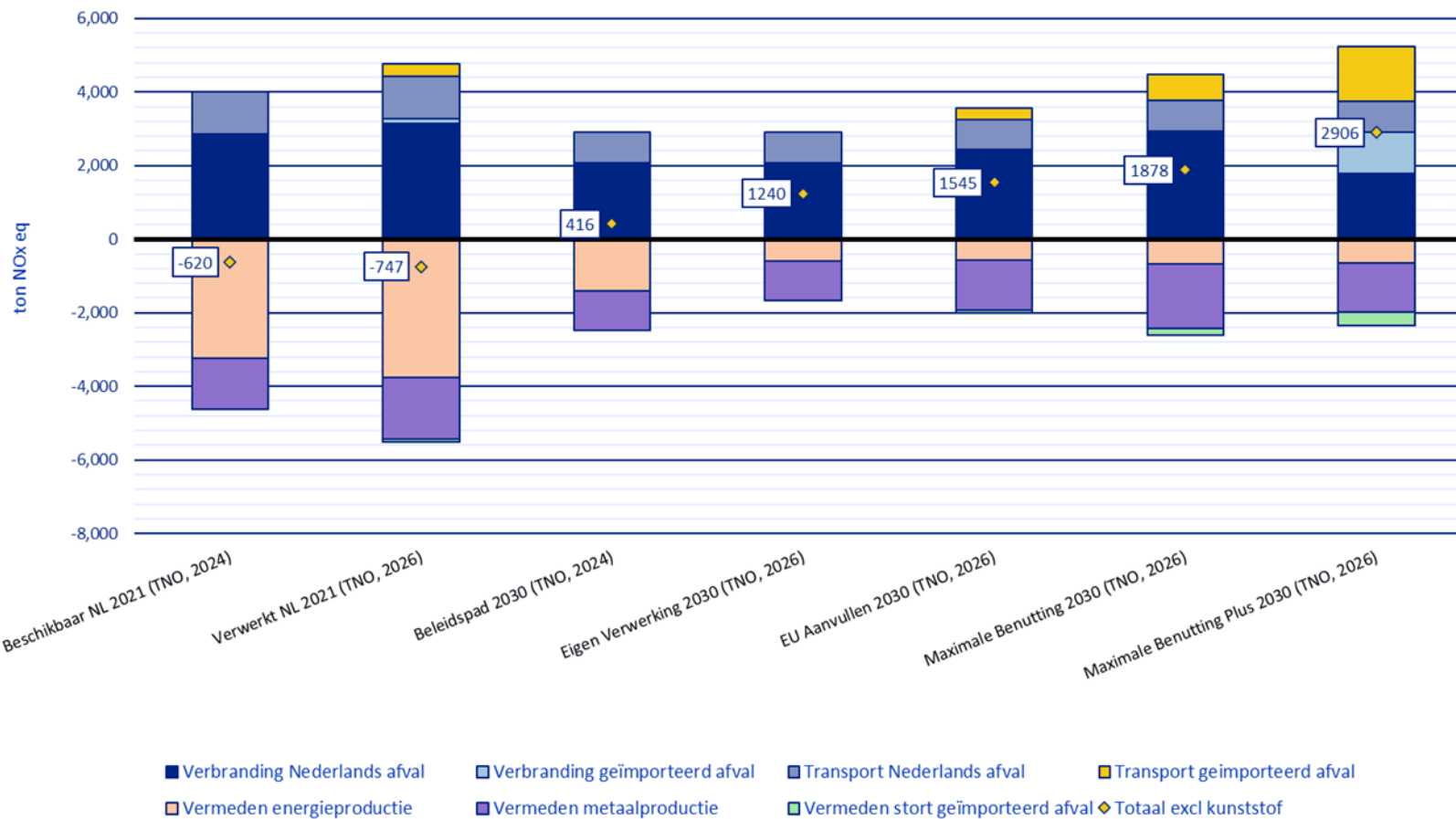


Vorming van fijnstof

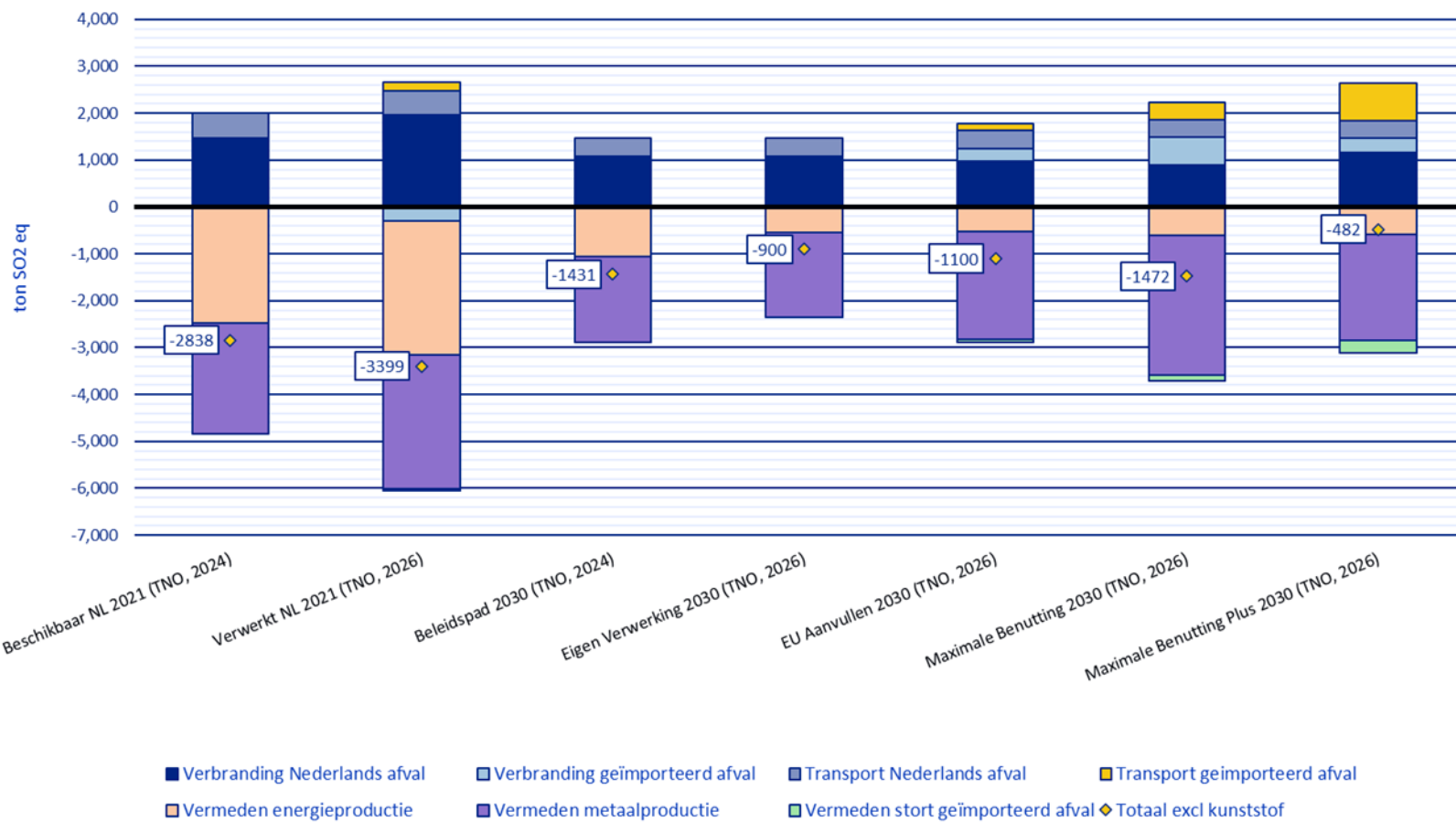


- Verbranding Nederlands afval
- Verbranding geïmporteerd afval
- Transport Nederlands afval
- Transport geïmporteerd afval
- Vermeden energieproductie
- Vermeden metaalproductie
- Vermeden stort geïmporteerd afval
- ◆ Totaal excl kunststof

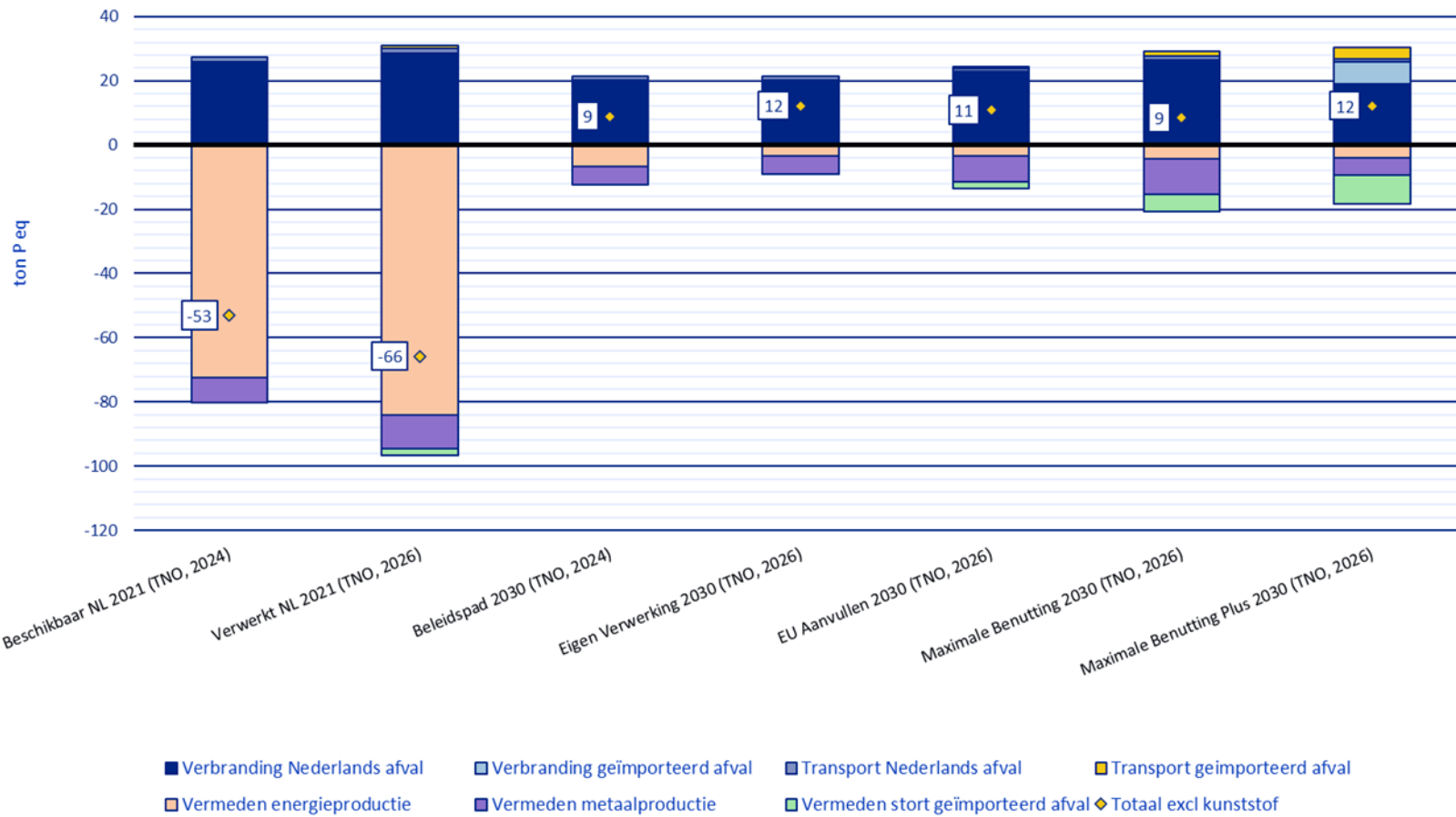
Ozonvorming, terrestrische ecosystemen



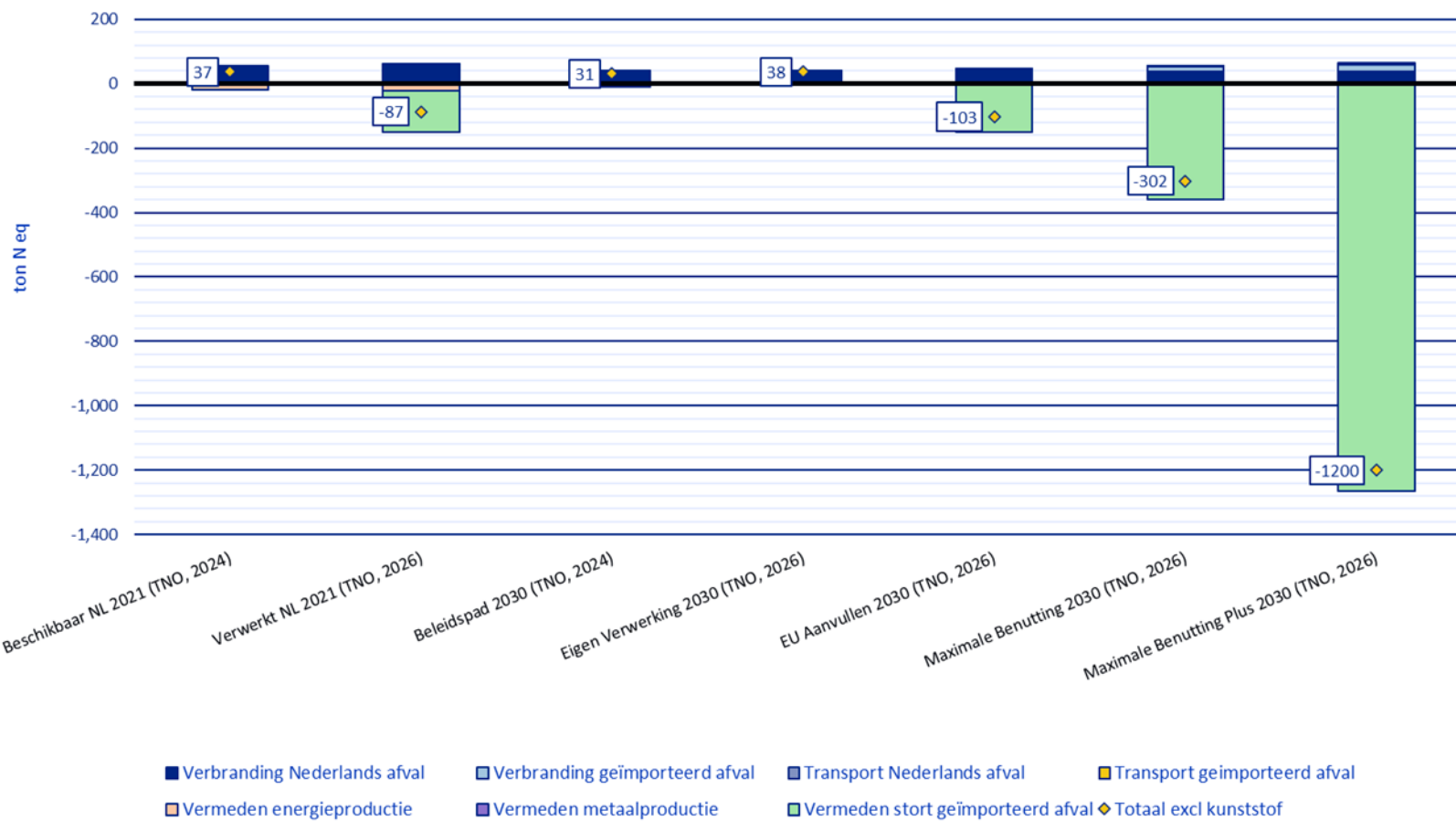
Terrestrische verzuring



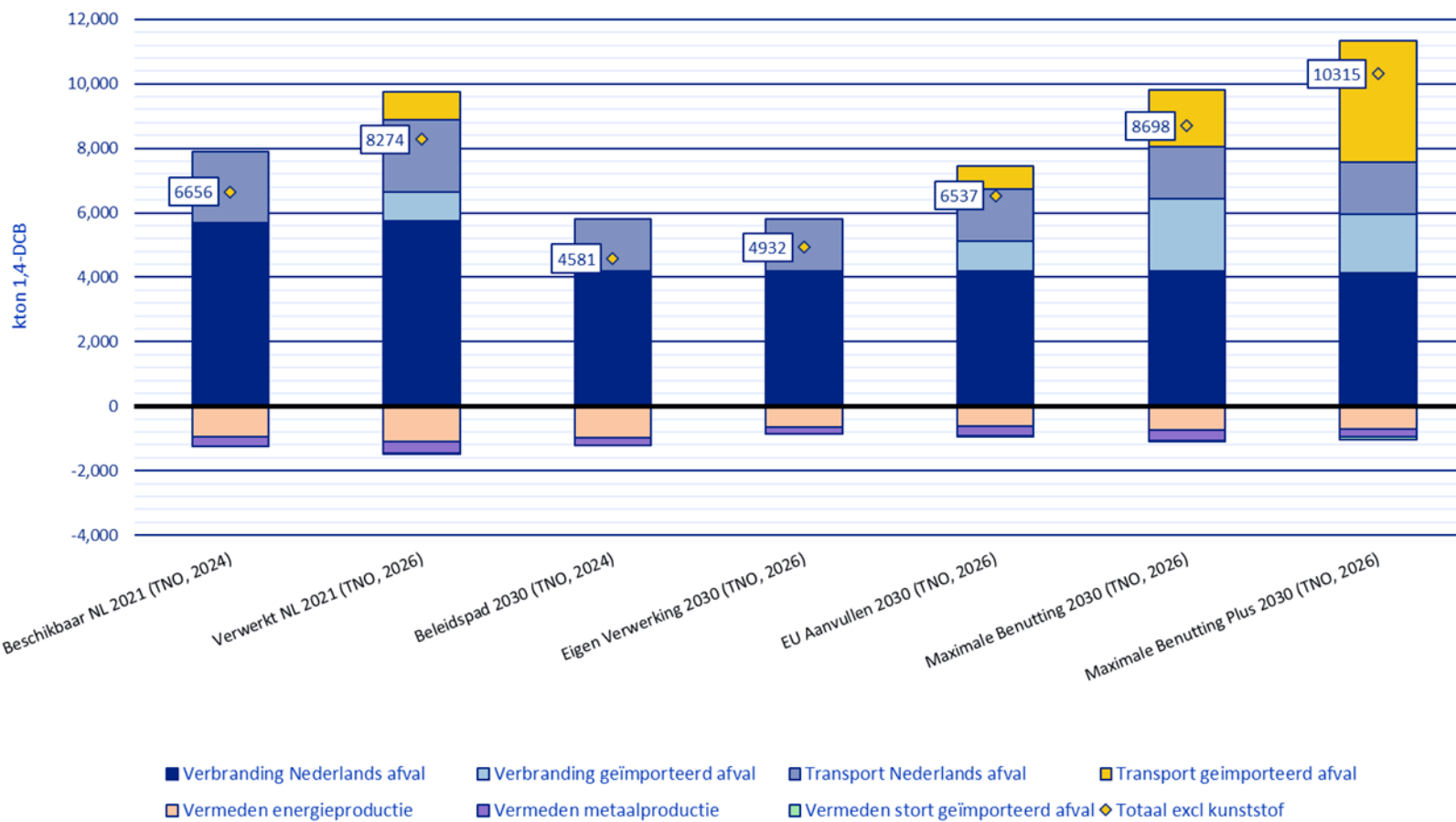
Zoetwater eutrofiëring



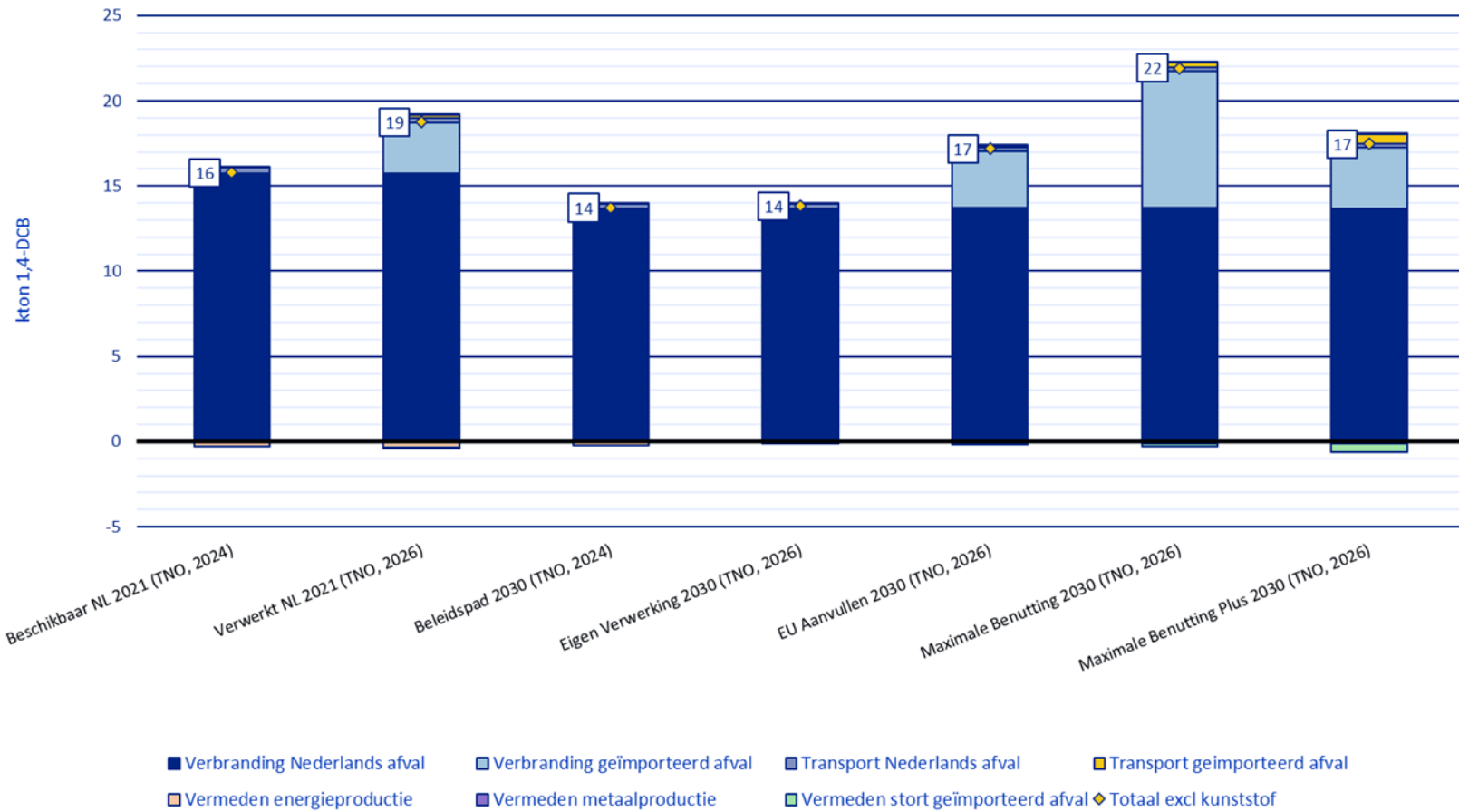
Zoutwater eutrofiëring



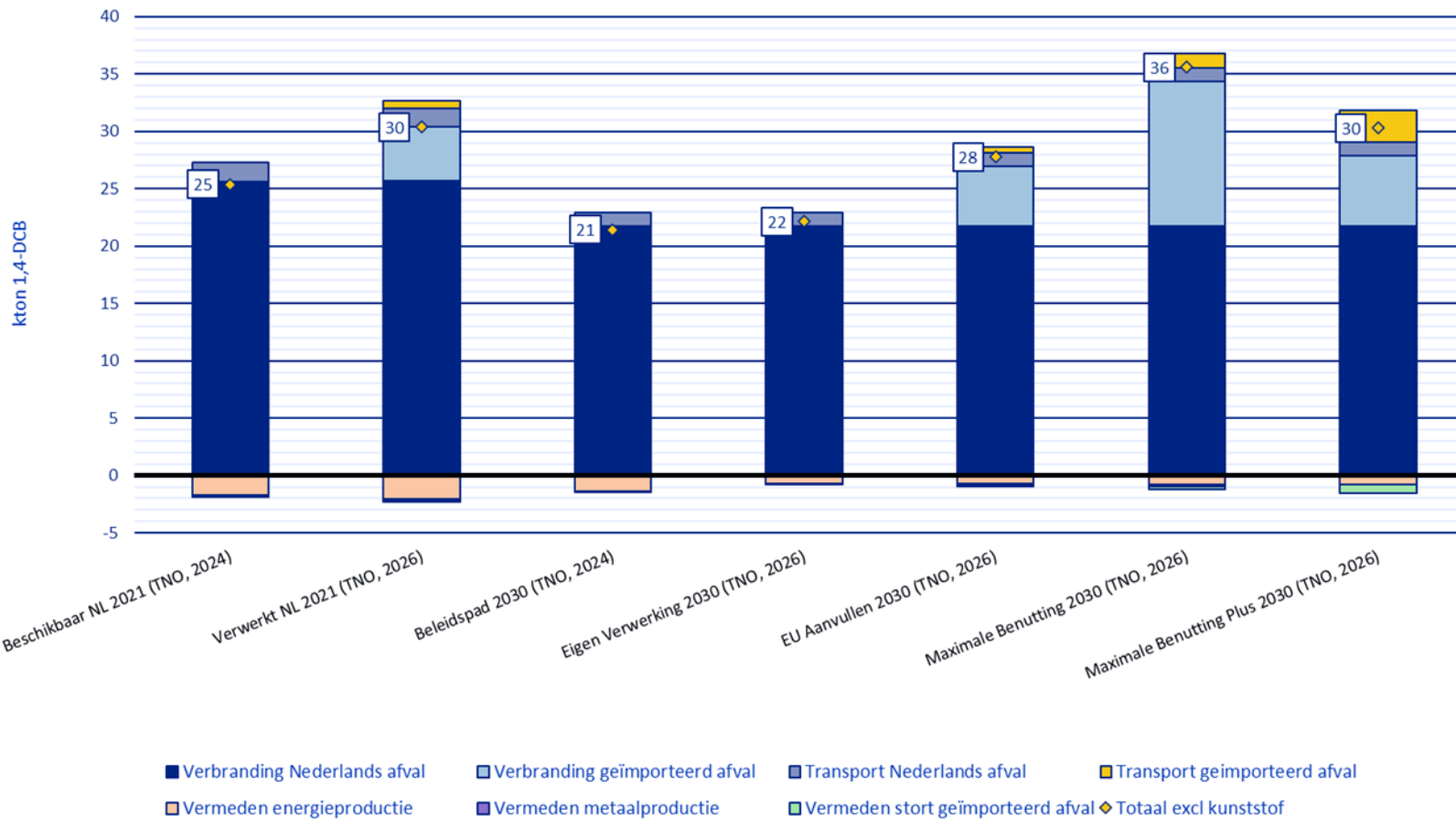
Terrestrische ecotoxiciteit



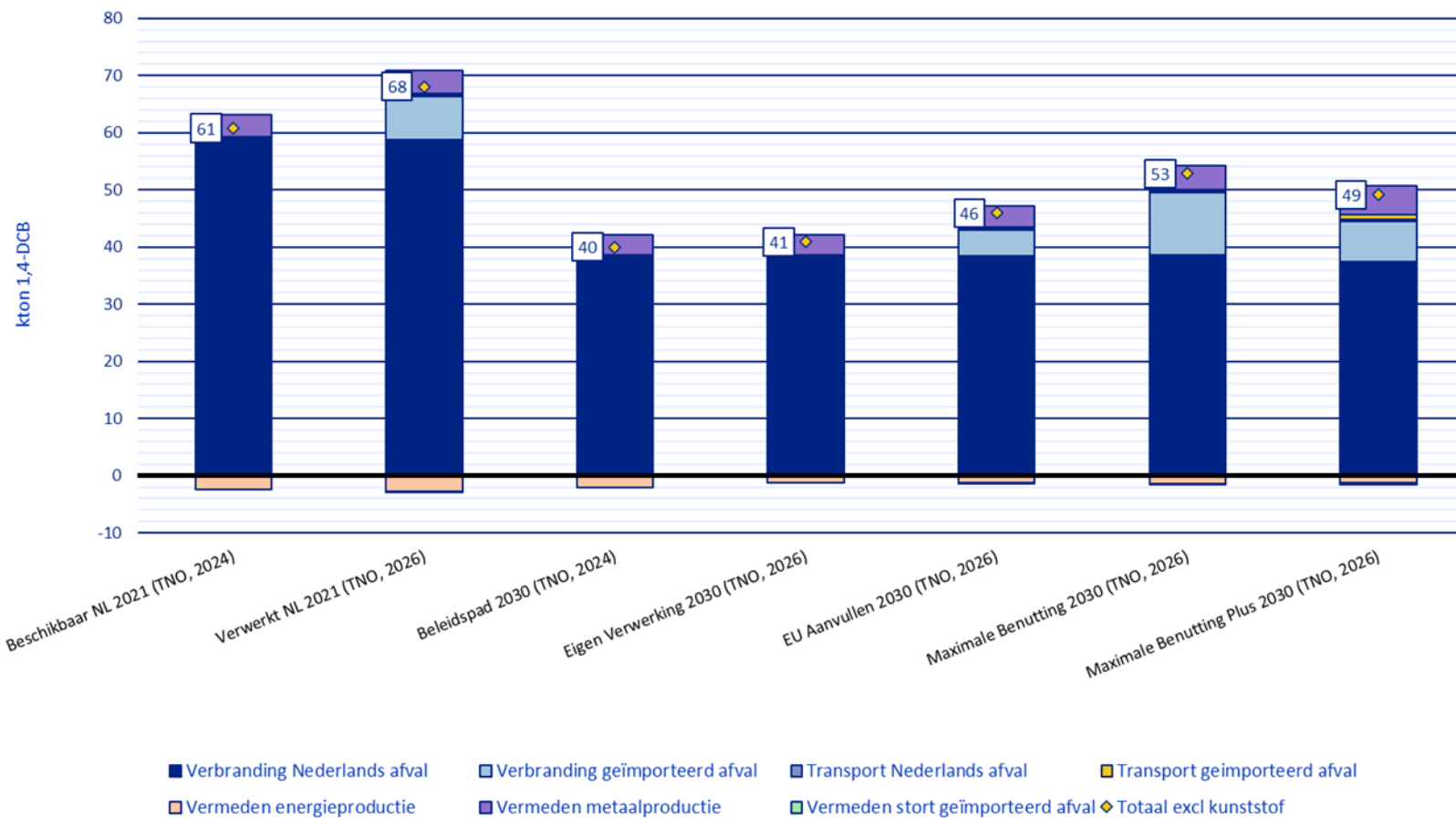
Ecotoxiciteit van zoetwater



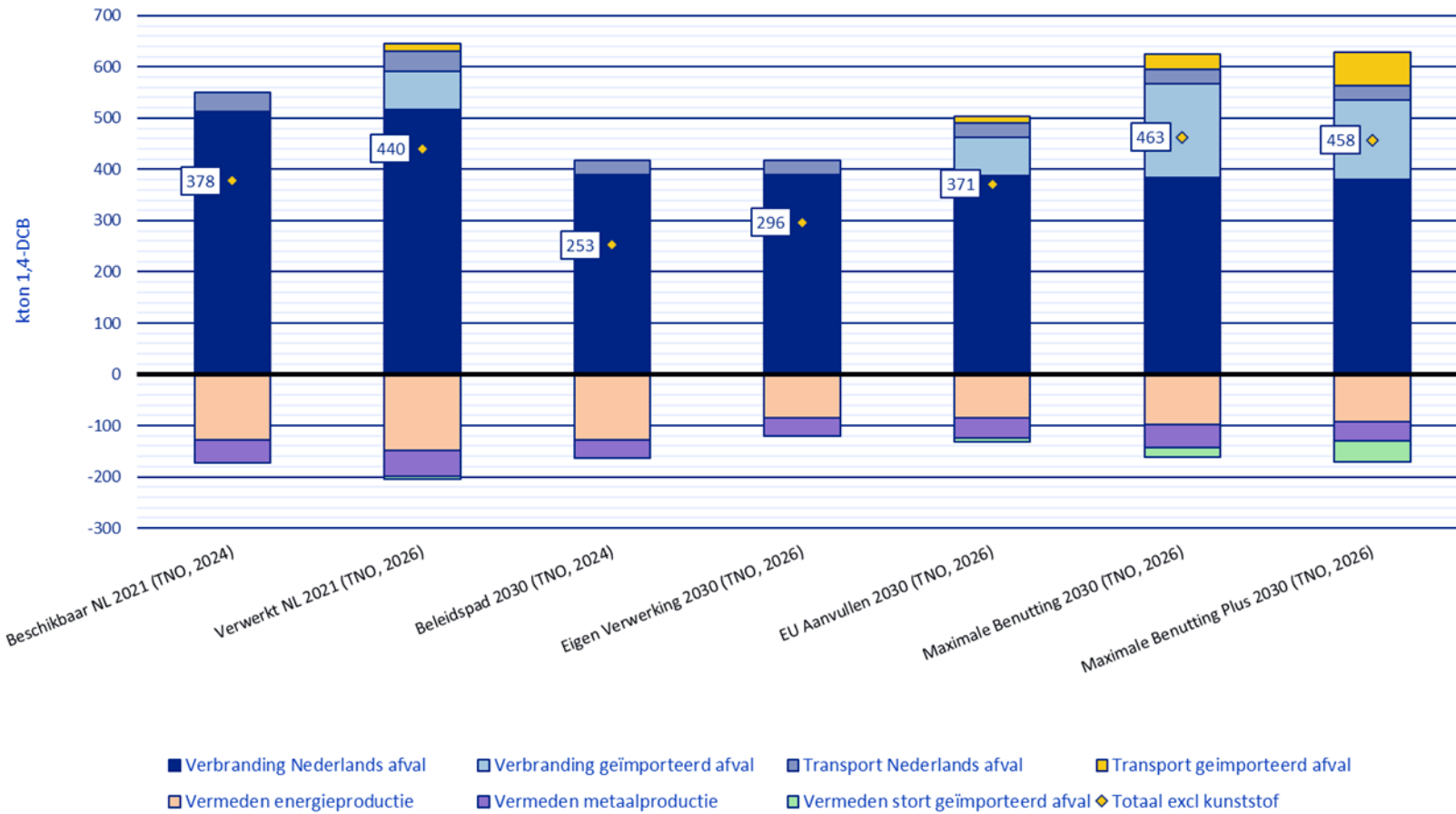
Ecotoxiciteit van zoutwater

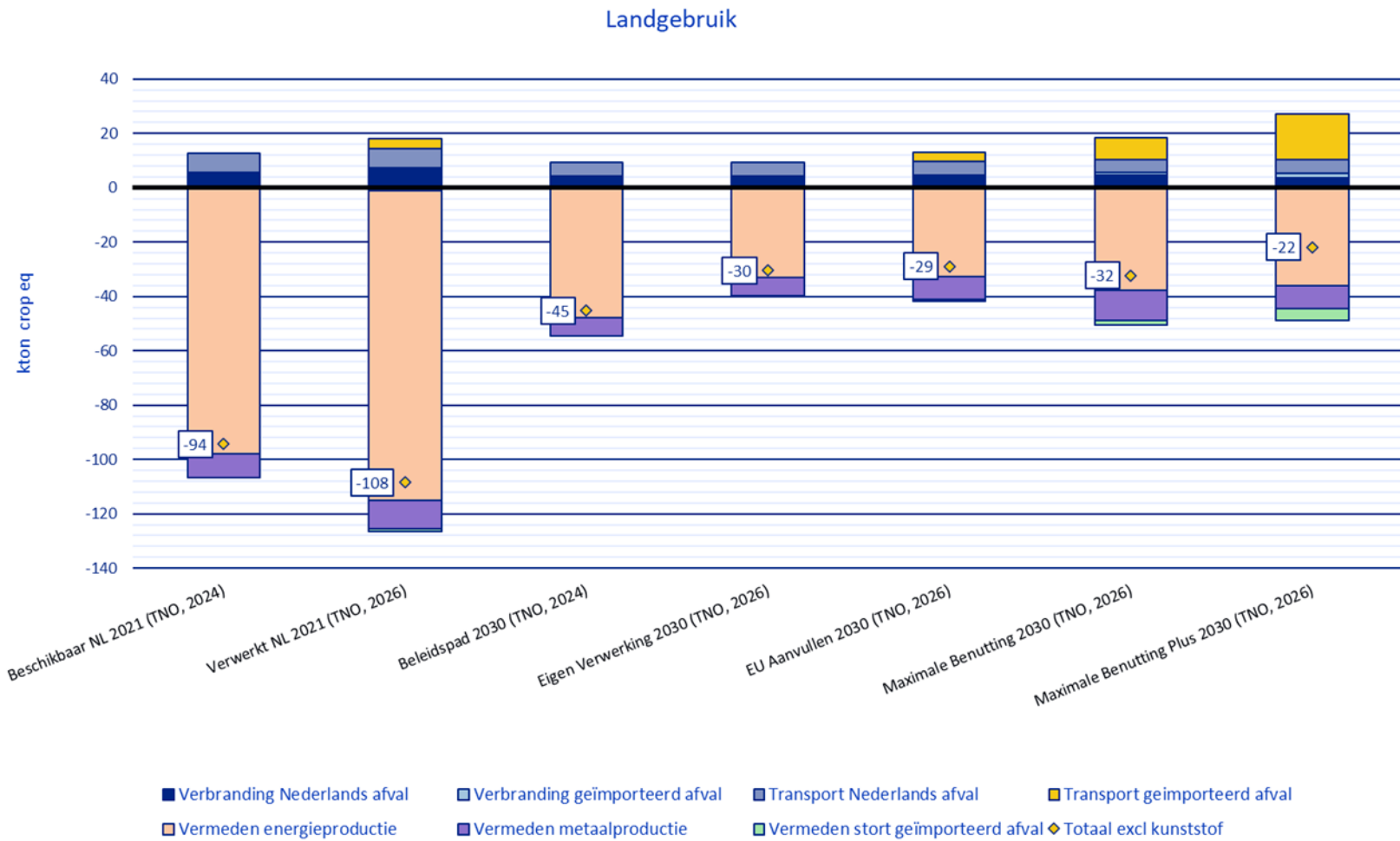


Humane carcinogene toxiciteit

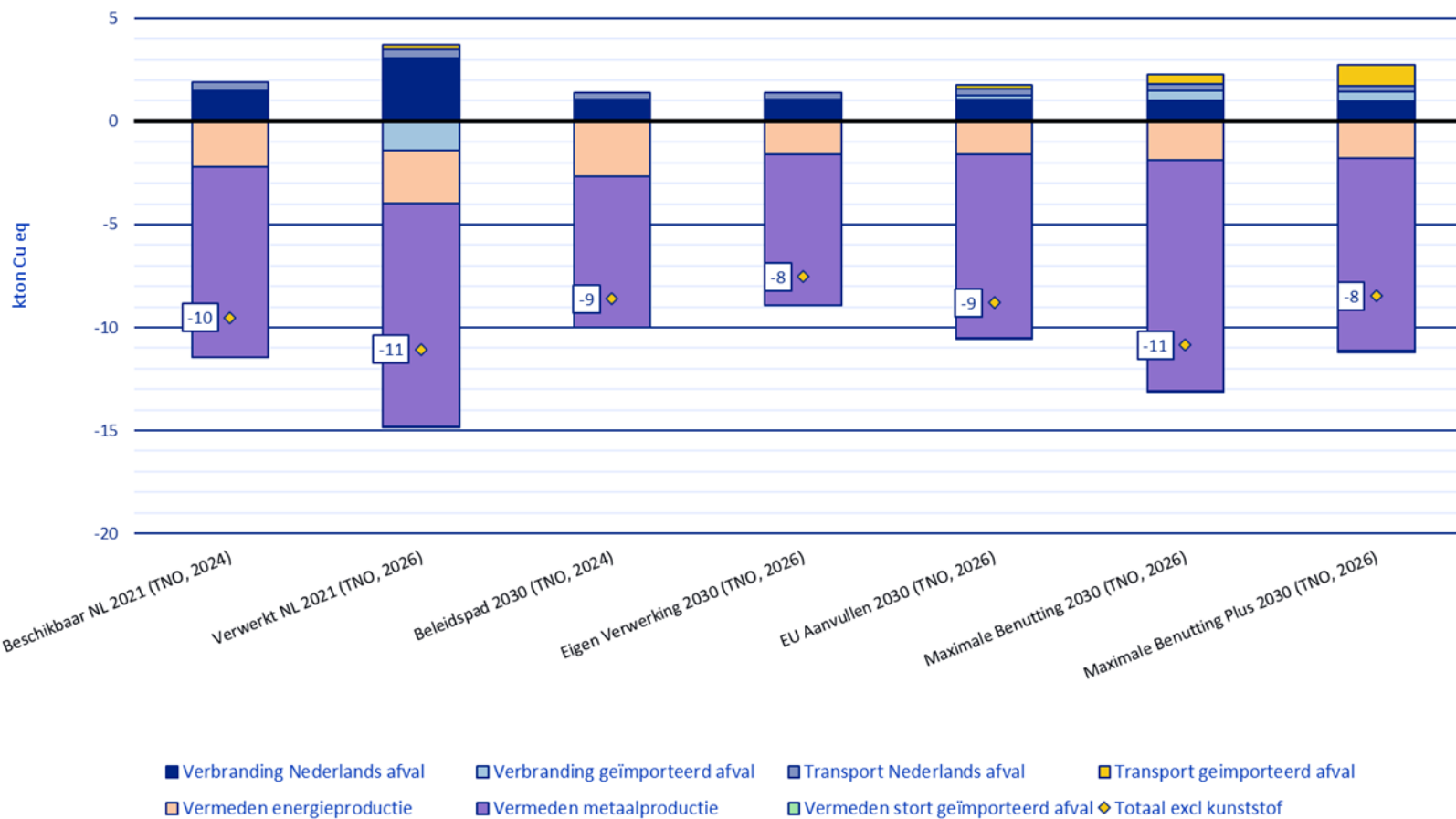


Humane non-carcinogene toxiciteit

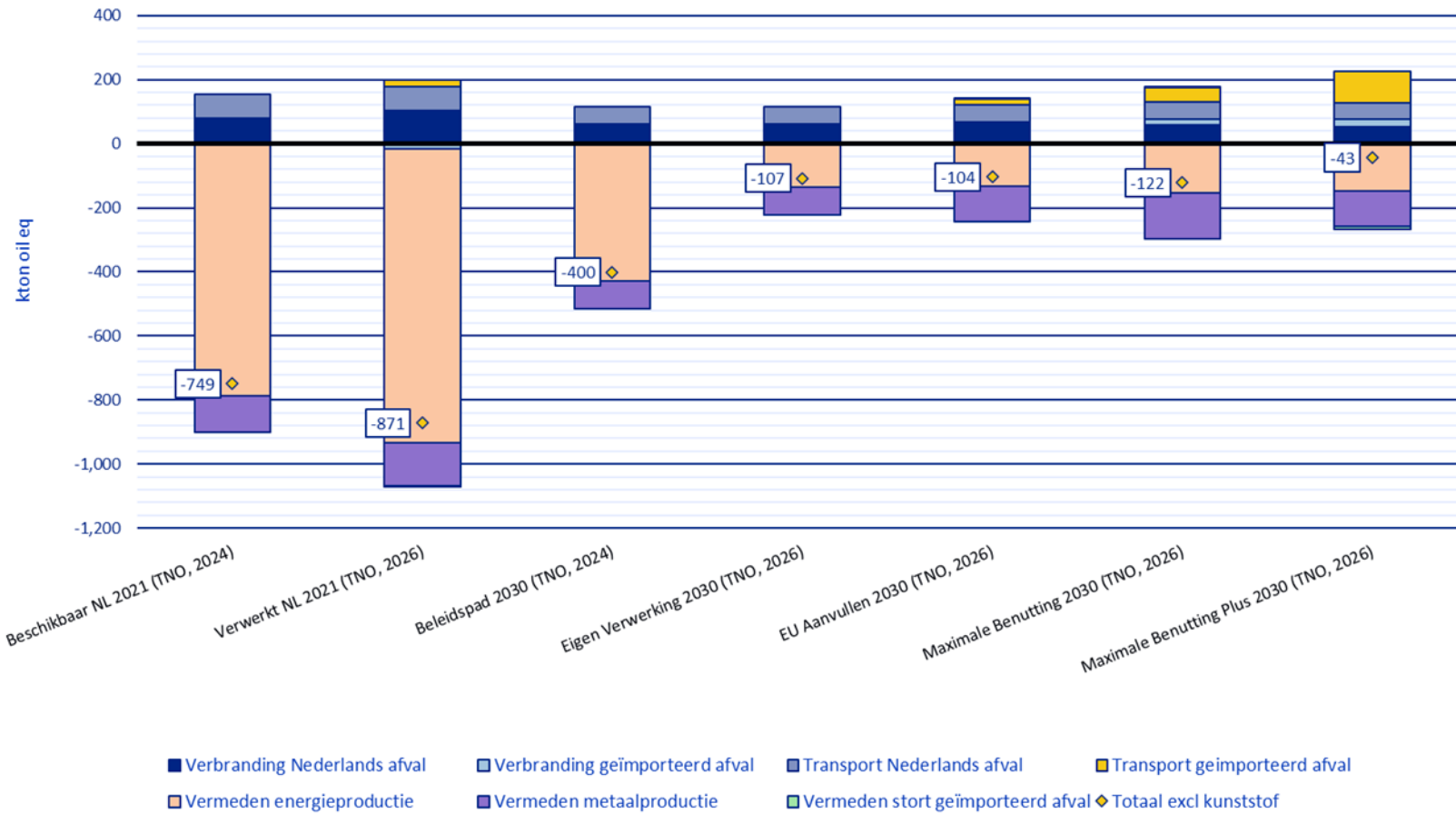




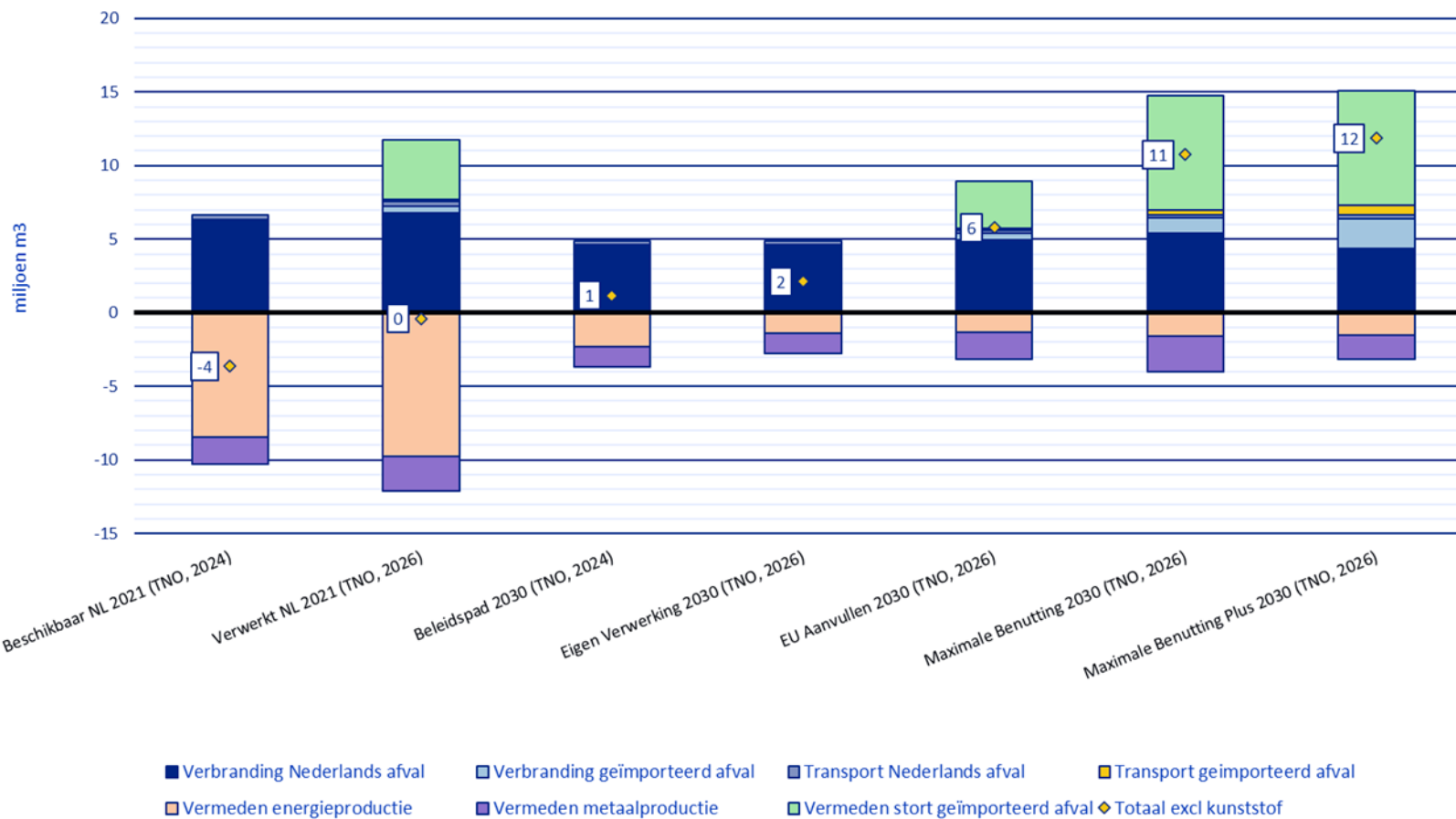
Schaarste aan minerale hulpbronnen



Schaarste aan fossiele hulpbronnen



Watergebruik



Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life