

De bijdrage van circulariteit aan een betaalbare energietransitie



De bijdrage van circulariteit aan een betaalbare energietransitie

Dit rapport is geschreven door:

Sjoerd Boerdijk, Geert Warringa (CE Delft)
Maja Lardot, Lucia van den Boogaart en Irati Artola
(Trinomics)

Delft, CE Delft, december 2025

Publicatienummer: 25.250294.234

Opdrachtgever:
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Sjoerd Boerdijk (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

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

Inhoud

	Samenvatting	5
	Aanleiding	5
	Scenario's	6
	Resultaten	7
	Gevoeligheidsanalyse	8
	Duiding	9
	Aanbevelingen	9
1	Inleiding	11
	1.1 Achtergrond en aanleiding	11
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	12
	1.3 Afbakening	13
	1.4 Leeswijzer	15
2	Methode	16
	2.1 Kern van de methode	16
	2.2 Selectie van sectoren	18
	2.3 Energietransitiemodel	21
3	Gebouwde omgeving	23
	3.1 Circulaire strategieën	23
	3.2 Effecten op kosten energietransitie	26
4	Mobiliteit	27
	4.1 Circulaire strategieën	27
	4.2 Effecten op kosten energietransitie	30
5	Industrie: plastics	32
	5.1 Circulaire strategieën	32
	5.2 Effecten op de kosten van de energietransitie	34
6	Industrie: staal	36
	6.1 Circulaire strategieën	36
	6.2 Effecten op de kosten van de energietransitie	40
7	Conclusies en aanbevelingen	42

	Literatuur	47
A	Toelichting bij methode	49
B	Beschrijving scenario's Netbeheer Nederland	55

Samenvatting

Aanleiding

Nederland wil in 2050 een circulaire economie realiseren waarin we zuinig en slim omgaan met grondstoffen en producten. De uitgangspunten om hiertoe te komen zijn opgenomen in het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE). Het gaat om het stimuleren van efficiënter grondstoffengebruik, levensduurverlenging van producten, hoogwaardige verwerking en substitutie van grondstoffen.

Recente studies van de Europese Commissie (2024) en CE Delft (2024a) laten zien dat circulair beleid kan bijdragen aan een kostenverlaging van de energietransitie. De energietransitie vraagt de komende decennia om omvangrijke investeringen in energieproductie, infrastructuur en de elektrificatie van industrie, mobiliteit en gebouwen. Circulaire strategieën, zoals efficiënter ruimtegebruik, hergebruik van materialen en deel-mobiliteit, verlagen de energievraag. Dit kan benodigde investeringen ten behoeve van de energietransitie beperken, bijvoorbeeld doordat minder capaciteit nodig is voor energie-productie, opslag, netverzwaring en installaties. Dit komt de betaalbaarheid van de energietransitie ten goede.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) heeft CE Delft en Trinomics gevraagd om te berekenen wat de potentiële kostenbesparingen zijn van circulair beleid voor de energietransitie. In dit onderzoek is een eerste schatting gemaakt van deze kostenbesparingen voor vier sectoren in de Nederlandse economie: gebouwde omgeving, mobiliteit, plastic- en staalindustrie.^{1, 2} We schatten het energieverbruik van deze sectoren op ongeveer de helft van het totale energieverbruik in Nederland. De potentiële kostenbesparingen hebben betrekking op de gehele economie, niet uitsluitend op de rijksoverheid.

¹ De keuze voor deze sectoren is bepaald door de mate waarin circulair beleid tot kostenbesparingen in Nederland kan leiden, en de kostenbesparingen modelmatig konden worden doorgerekend.

² Voor de plasticindustrie richten we ons uitsluitend op de productie van plastics. Sectoren die plastic producten vervaardigen blijven buiten beschouwing.

Scenario's

Om de kostenbesparingen te bepalen, hebben we voor de sectoren referentiescenario's waarin huidig beleid wordt voortgezet, vergeleken met scenario's waarin ambitieuze circulaire strategieën worden toegepast, en deze doorgerekend met het Energietransitie-model. Dit is een open-sourcemodel dat breed wordt ingezet in beleids- en onderzoeksanalyses en grotendeels dezelfde parameters bevat als het model dat het Planbureau voor de Leefomgeving gebruikt voor de doorrekening in de Klimaat en Energieverkenning (KEV). Aannames over de vormgeving van het toekomstige energiesysteem zijn gebaseerd op het Koersvaste Middenweg-scenario van Netbeheer Nederland. In dit scenario zet Nederland de huidige koers van de energietransitie ongewijzigd voort richting een grotendeels hernieuwbaar systeem in 2050, met een sterke groei van wind en zon, nieuwe kerncentrales en een brede elektrificatie van industrie, mobiliteit en de gebouwde omgeving, aangevuld met een belangrijke rol voor waterstof. De circulaire strategieën, mogelijke besparingen en scenario's voor de sectoren zijn opgesomd in Tabel 1.

Tabel 1 – Circulaire strategieën, type kostenbesparingen en uitgangspunten

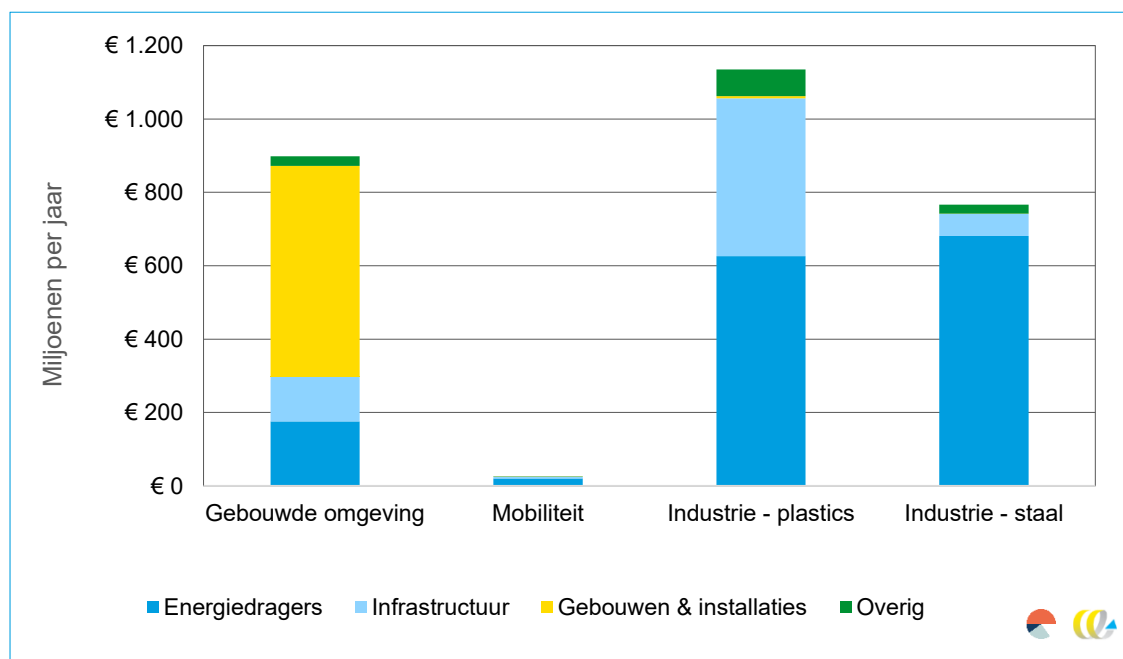
Sector	Circulaire strategie	Besparing kosten energietransitie	Scenario's
Gebouwde omgeving	Het beter benutten van bestaande woningen (zoals splitsen) vermindert de nieuwbouwopgave.	Kleinere nieuwbouwopgave verlaagt de vraag naar andere warmtepompen, zonnepanelen en isolatie.	In het referentiescenario worden tussen 2019 en 2050 in totaal 2,1 miljoen nieuwbouw-woningen gerealiseerd. Circulaire strategieën zoals splitsen, optoppen en transformeren verminderen deze opgave met 870.000 woningen.
Mobiliteit	Striktere parkeernormen en inzet op deelauto's vermindert aantal benodigde auto's en vermindert autopassagierskilometers.	Minder passagierskilometers vermindert energieverbruik. Dit leidt tot besparingen in energieproductie, energie-infrastructuur en laad-infrastructuur.	Het referentiescenario bevat 10.000 deelauto's in 2050. Het Circulaire scenario gaat uit van 161.000 deelauto's en een 1,7% afname van het aantal passagierskilometers ten opzichte van het referentiescenario.
Industrie – plastics (productie)	Hergebruik van plastics verlaagt de vraag naar nieuwe (virgin) plastics.	Minder productie nieuwe (virgin) plastics leidt tot besparingen in energieproductie en investeringen in energie-infrastructuur.	De Europese plasticproductie groeit in het referentiescenario met ca. 35% richting 2050 en met ca. 22% in het Circulaire scenario. Aangenomen wordt dat de Nederlandse productie dezelfde trend volgt.

Sector	Circulaire strategie	Besparing kosten energietransitie	Scenario's
Industrie - staal	Efficiënter gebruik en hergebruik van staal verlaagt de vraag naar nieuw staal.	Minder productie nieuw staal leidt tot besparingen in energieproductie en investeringen in energie-infrastructuur.	De Europese staalproductie groeit in het referentiescenario met 14% richting 2050, terwijl de productie in het Circulaire scenario met 18% daalt. Ook hier wordt verondersteld dat de Nederlandse staalproductie overeenkomt met de Europese ontwikkeling.

Resultaten

Figuur 1 toont de kostenbesparingen van de circulaire strategieën per sector. De resultaten zijn indicatief, omdat het Energietransitiemodel vereenvoudigde aannames bevat over energieprijzen, technologische kosten en de ontwikkeling van het energiesysteem en de sectoren richting 2050. De resultaten voor de plastic- en staalindustrie zijn bovendien gebaseerd op een scenario waarin de industrie in Nederland behouden blijft en in het referentiescenario meegroeit met de toenemende Europese vraag. Daarbij wordt verondersteld dat circulaire strategieën Europees worden toegepast en dat de lagere vraag in het Circulaire scenario volledig wordt vertaald naar een lagere productie in Nederland. In het geval dat de industrie in Nederland kleiner wordt door de (huidige) ongunstige concurrentiepositie, zijn er nog steeds kostenbesparingen bij beleid gericht op efficiënter grondstoffengebruik, maar wel kleiner omdat de sector in omvang afneemt.

Figuur 1 – Kostenbesparingen per sector als gevolg van circulaire strategieën (€ miljoenen per jaar)



De figuur laat zien dat de kostenbesparingen in 2050:

- € 0,9 miljard per jaar bedragen in de gebouwde omgeving. Dit betreft voornamelijk besparingen in gebouwen en installaties zoals warmtepompen, zonnepanelen en isolatie.
- € 25 miljoen per jaar bedragen in de mobiliteitssector. De besparing blijft beperkt omdat deelauto's in 2050 nog slechts ca. 1,3% van het wagenpark uitmaken. Bij een ambitieuzere groei van het aantal deelauto's zouden de besparingen groter zijn. Bovendien zijn besparingen in laadinfrastructuur niet meegenomen in het model (potentieel tientallen miljoenen per jaar door minder benodigde laadpalen).
- € 1,1 miljard per jaar in de plasticssector. We gaan daarbij uit van een sterk geëlektrificeerde sector in 2050, waarin elektrische krakers naftakrakers vervangen en de vraag naar elektriciteit en waterstof toeneemt. De besparingen door een lager productievolume komen vooral voort uit een verminderd waterstofverbruik en uit het vermijden van investeringen in elektriciteitsinfrastructuur.
- € 0,8 miljard per jaar in de staalsector. Hierbij veronderstellen we dat staalproductie in 2050 grotendeels plaatsvindt met waterstof en elektriciteit. De belangrijkste besparing bij een lager productievolume ontstaat door een afname van het waterstofverbruik, en in mindere mate door een lager gebruik van ammoniak, biomassa, biogas en elektriciteit.

Gezamenlijk leveren de circulaire strategieën een potentiële kostenbesparing op van ongeveer € 925 miljoen per jaar in 2050 wanneer uitsluitend de gebouwde omgeving en mobiliteit worden meegenomen. In een scenario waarin ook andere landen circulair beleid voeren en de circulaire strategieën rechtstreeks resulteren in een lagere Nederlandse productie van plastics en staal, kan de totale besparing voor de onderzochte strategieën en sectoren oplopen tot ca. € 2,8 miljard per jaar in 2050.

Gevoeligheidsanalyse

De kostenbesparingen zijn ook doorgerekend onder alternatieve aannames over de vormgeving van het energiesysteem in 2050. In een scenario waarin een deel van de energie-intensieve industrie naar het buitenland verplaatst en de productie van plastics en staal in 2050 met 44% afneemt ten opzichte van 2019, halveren de besparingen voor deze sectoren. In scenario's met een hoger aandeel (relatief dure) hybride warmtepompen vallen de besparingen in de gebouwde omgeving juist hoger uit. Hoewel verschillende aannames tot variatie in de uitkomsten leiden, blijft de orde van grootte van de besparingen gelijk, wat wijst op robuuste resultaten.

Duiding

In deze studie is een selectie van sectoren onderzocht en is niet het gehele NPCE doorgerekend. De totale kostenbesparing zou hoger uitvallen wanneer alle sectoren en circulaire strategieën uit het NPCE worden meegenomen. Ook maatregelen rond recycling en grondstoffensubstitutie zijn buiten scope gelaten, terwijl deze aanvullende besparingen kunnen opleveren. Tegelijkertijd zijn extra kosten van circulaire strategieën, zoals extra logistieke, sorteer- en schoonmaakkosten bij hergebruik van plastics, niet meegenomen. Nader onderzoek kan deze elementen meenemen om tot een integrale schatting van het besparingspotentieel te komen.

CE Delft (2024a) berekende in de impactanalyse van het Klimaatplan dat duurzamere consumptiepatronen in het LIFE-scenario de jaarlijkse energiekosten in Nederland met € 4,6 miljard verlagen. De hogere besparing in die studie komt onder meer doordat sectoren als Landbouw, Luchtverkeer en Maakindustrie daar wel zijn opgenomen. Daarnaast wijken de resultaten af omdat CE Delft (2024a) nationale effecten slechts globaal uit Europese cijfers afleidde, terwijl in deze studie wel Nederlandse scenario's en strategieën zijn uitgewerkt.

Tot slot kent circulair beleid diverse bijkomende positieve effecten. Het vermindert milieu-impact, verkleint de afhankelijkheid van niet-Europese grondstoffen en versterkt daarmee de strategische autonomie. Efficiënt gebruik van bestaande woningen verlaagt de nieuwbouwopgave, terwijl lager elektriciteitsverbruik kan bijdragen aan het verminderen van netcongestie en CO₂-uitstoot. Deelmobiliteit zorgt bovendien voor minder auto's in het straatbeeld en meer ruimte in stedelijke gebieden.

Aanbevelingen

Dit onderzoek laat zien dat circulair beleid niet alleen milieuwinst oplevert, maar ook kan helpen de kosten van de energietransitie te verlagen. De grootste directe besparingen liggen in sectoren waar Nederlands beleid zelf effect kan hebben, zoals de gebouwde omgeving en mobiliteit. Maatregelen als het aanscherpen van parkeernormen en het bevorderen van woningsplitsing en optoppen dragen hieraan bij. Hoewel de besparing in mobiliteit in deze studie beperkt is, kan een grotere groei van deelmobiliteit en het vermijden van investeringen in laadinfrastructuur de totale besparing vergroten.

Voor de plastics- en staalindustrie ontstaat vooral meerwaarde wanneer circulair beleid breder Europees wordt toegepast, aangezien deze sectoren internationaal concurreren en een groot deel van de productie wordt geëxporteerd (met name naar andere landen binnen Europa). De resultaten onderstrepen daarom het belang van versnelling van circulair beleid op EU-niveau. Nederland kan dit ondersteunen door in Europees verband te pleiten voor maatregelen die efficiënt grondstoffengebruik stimuleren, zoals hogere eisen aan herbruikbaarheid en recycling in de PPWR en strengere duurzaamheids- en

materiaalstandaarden onder de ESPR. Aanvullend kan Nederland nationale instrumenten inzetten, zoals tariefdifferentiatie binnen de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid (UPV), verplichtingen voor voorbereiding op hergebruik en een dekkend netwerk van reparatiediensten.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Nederland wil een klimaatneutrale economie in 2050 (Ministerie van KGG, 2025). Om dit te bereiken zijn de komende decennia forse klimaatinvesteringen nodig, onder andere in de verduurzaming van de gebouwde omgeving, de elektrificatie van energie-intensieve industrieën en de overstap naar elektrisch vervoer. Tegelijkertijd blijkt uit onderzoek van het CBS (2023a) dat 58% van de Nederlandse volwassenen zich zorgen maakt over de kosten van het overheidsbeleid op dit gebied. Het is daarom van groot belang dat de energietransitie tegen de laagst mogelijke kosten wordt gerealiseerd.

Alhoewel de uitstoot van broeikasgassen in Nederland daalt, stijgt de consumptie van materialen en producten. Deze groeiende vraag zorgt ervoor dat er op de lange termijn steeds meer materialen en producten verduurzaamd moeten worden om de klimaatdoelen te behalen. Een tempering in de groei van de vraag naar producten, bijvoorbeeld door producten langer mee te laten gaan (waardoor minder snel een nieuw product nodig is) of het delen van producten, kan leiden tot kostenbesparingen.

Recente studies van de Europese Commissie (2024) en CE Delft (2024a) laten zien dat circulaire strategieën, zoals het vermijden en verminderen van energie- en materiaalgebruik, hergebruik van materialen en levensduurverlenging, een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de betaalbaarheid van de energietransitie. CE Delft berekende dat de kosten van het energiesysteem in Nederland 3,6% lager liggen in een scenario waarin maatschappelijke trends en gedragsveranderingen zorgen voor een verminderd gebruik van energie en materialen (CE Delft, 2024a). Dit suggereert dat circulair beleid niet alleen CO₂-besparingen, maar ook kostenbesparingen kan opleveren. Dat maakt een onderbelicht aspect van de circulaire economie zichtbaar.

CE Delft (2024a) berekende de kostenbesparingen op basis van het LIFE-scenario dat is ontwikkeld door de Europese Commissie (2024). Een toelichting op het LIFE-scenario is opgenomen in Tekstkader 1.

Tekstkader 1 – Het LIFE-scenario van de Europese Commissie (2024)

In de impact assessment van het 2040 klimaatdoel berekent de Europese Commissie, naast drie kernscenario's, ook de effecten van een alternatief scenario: de LIFE-variant. In dit scenario worden emissiereducties gerealiseerd aan de hand van brede maatschappelijke trends, waarbij consumenten klimaatvriendelijke producten kiezen en efficiënter gebruik maken van energie, materialen, en land. Vanwege een duurzamere leefstijl is de energievraag en de vraag naar grondstoffen lager dan in de kernscenario's, wat leidt tot kostenbesparingen en vermeden investeringen ten opzichte van de drie kernscenario's. Het LIFE-scenario hanteert hetzelfde emissiereductiepad als Kernscenario 3, oftewel een 90% reductie in de uitstoot van broeikasgassen in 2040 ten opzichte van 1990. Het LIFE-scenario is bedoeld ter illustratie van hoe vraaggestuurde beleidsinterventies de in de kernscenario's geanalyseerde inzet van technologie aan de aanbodzijde kunnen aanvullen. De belangrijkste uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de LIFE-analyse zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Belangrijkste kenmerken van het LIFE-scenario

Sector	Actie	Effect
Industrie	Verbeterd herstel, hergebruik, en levensduurverlenging.	Verlaging industriële activiteit.
Gebouwen	Binnentemperatuurstelling lager in de winter en hoger in de zomer.	Besparing energieverbruik in de gebouwde omgeving.
Vervoer en mobiliteit	Verschuiving naar gedeelde mobiliteit en multimodaal vervoer.	Vermindering autovervoer, verhoging bezettingsgraad auto.
Landsector	Duurzaam dieet, vermindering voedselverspilling.	Vermindering voedselverspilling, verschuiving naar gezonder dieet, naleving Farm to Fork en Biodiversiteitsstrategie.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) heeft CE Delft en Trinomics gevraagd om circulaire scenario's voor Nederland te ontwikkelen en de bijbehorende potentiële kostenbesparingen door te rekenen. De aanleiding hiervoor is dat bestaande inzichten, zoals de eerdere analyse van CE Delft (2024a), zich primair richtten op het in kaart brengen van de impact van het Europese 2040-klimaatdoelvoorstel voor Nederland. Het doorrekenen van de kostenbesparing in het LIFE-scenario (zie Tabel 2) vormde daarin slechts een kleine, aanvullende analyse. De nationale resultaten zijn toen op hoofdlijnen afgeleid door Europese uitkomsten met enkele kentallen te vertalen naar de Nederlandse situatie, zonder het opstellen van specifieke Nederlandse scenario's of het bepalen welke

circulaire strategieën het meest passend zijn voor Nederland. In deze studie is dat wel gedaan, waardoor de resultaten nauwkeuriger aansluiten op de Nederlandse context.

De centrale onderzoeksvraag luidt:

Wat is het effect van circulair economisch beleid op de toekomstige kosten van het energiesysteem in Nederland?

In dit onderzoek is een eerste schatting gemaakt van deze kostenbesparingen voor vier sectoren in de Nederlandse economie: Gebouwde omgeving, Mobiliteit, de Staal- en Plasticsindustrie. De keuze voor deze sectoren is bepaald door de mate waarin circulair beleid tot kostenbesparingen in Nederland kan leiden, en de kostenbesparingen modelmatig konden worden doorgerekend. Daarbij rekenen we kostenbesparingen uit voor een aantal geselecteerde circulaire strategieën. Het was binnen deze studie niet mogelijk om kostenbesparingen voor alle strategieën in deze sectoren, of voor alle sectoren binnen het NPCE, door te rekenen.

Om de kostenbesparingen te bepalen, hebben we referentiescenario's voor de sectoren vergeleken met scenario's waarin circulaire strategieën worden toegepast, en deze doorgerekend met het Energietransitiemodel. Dit is een open-sourcemodel dat breed wordt ingezet in beleids- en onderzoeksanalyses en grotendeels dezelfde parameters bevat als het model dat PBL gebruikt voor de doorrekening in de Klimaat en Energieverkenning (KEV). De analyse richt zich op het jaar 2050 omdat dit het jaar is waarin Nederland klimaatneutraal wil zijn.

Deze sectorgerichte en modelmatige aanpak maakt het mogelijk om gerichte inzichten te verkrijgen in de potentiële kostenbesparingen van circulair beleid, die kunnen bijdragen aan een breder maatschappelijk draagvlak.

1.3 Afbakening

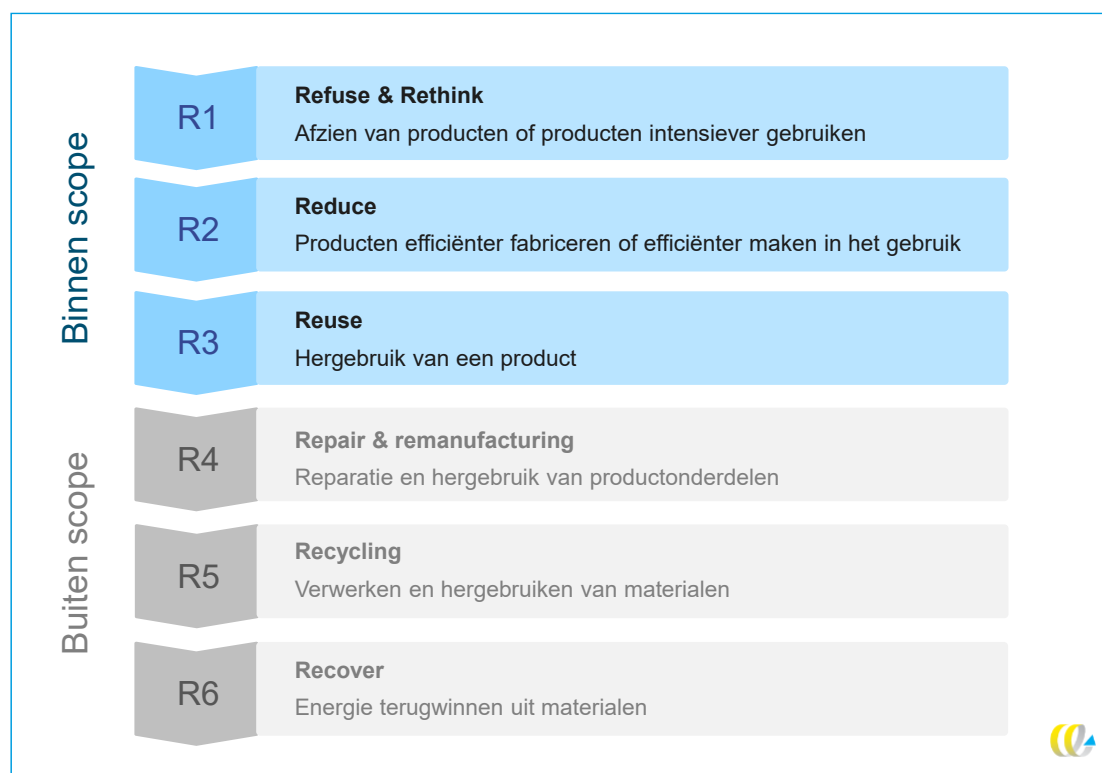
Deze studie richt zich uitsluitend op circulair beleid dat aansluit bij de circulaire strategieën R1 (Refuse & Rethink), R2 (Reduce), en R3 (Reuse). Minder grondstoffengebruik, door bijvoorbeeld afzien van consumptie, consumptiebesparingen, hergebruik of door het delen van producten, biedt naar verwachting de grootste mogelijkheden voor kostenbesparingen op de lange termijn.

Andere circulaire strategieën op de R-ladder, zoals reparatie, recycling, grondstofsubstitutie en hoogwaardige verwerking, kunnen eveneens tot lagere klimaatinvesteringen leiden, maar vergen een bredere modelaanpak omdat zij tegelijk nieuwe investeringen vereisen, bijvoorbeeld in recyclinginstallaties of biobased productiecapaciteit. Dit maakt de modellering complex en het is onzeker of deze strategieën per saldo tot lagere kosten voor de energietransitie leiden. Om deze redenen zijn deze circulaire strategieën in dit

onderzoek niet meegenomen. Ook het verwerken van afval is vanwege modelbeperkingen niet meegenomen in dit onderzoek.

Het LIFE-scenario van de Europese Commissie (2024) richt zich eveneens uitsluitend op de lage R-strategieën, waarmee de afbakening van deze studie aansluit bij de benadering in dat scenario.

Figuur 2 – Deze studie richt zich op de lage circulaire R-strategieën



Bron: CE Delft & Trinomics op basis van PBL (2023).

Daarnaast gaan we uit van de fundamentele aanname dat de circulaire strategieën waarop deze studie is gebaseerd, niet alleen in Nederland optreden, maar Europees worden toegepast. Deze aanname is vooral relevant voor kostenbesparingen in de industrie, omdat de kosten van het Nederlandse energiesysteem mede afhangen van de buitenlandse vraag naar in Nederland geproduceerde goederen. Nederlandse export van plastic en staal gaat voor het grootste deel naar andere Europese landen. Circulair beleid in het buitenland beïnvloedt indirect ook de kosten van het Nederlandse energiesysteem. Kostenbesparing in de gebouwde omgeving (door intensiever gebruik van woningen) en mobiliteit (door meer deelauto's) treden wel op door alleen Nederlands circulair beleid.

In deze studie berekenen we uitsluitend de kostenbesparingen voor het Nederlandse energiesysteem als gevolg van circulair beleid. Mogelijke kostenbesparingen in energiesystemen van andere landen vallen buiten de scope van dit onderzoek.

1.4 Leeswijzer

Het rapport is als volgt ingedeeld. Hoofdstuk 2 beschrijft de methode. We leggen in dit hoofdstuk eerst de kern van de methode uit om kostenbesparingen te berekenen. Vervolgens leggen we uit welke sectoren we onderzoeken en hoe we deze selectie hebben gemaakt. Vervolgens lichten we toe hoe we het Energietransitiemodel toepassen. Daarna beschrijven we hoe we het Circulaire scenario opstellen en hoe we beide scenario's toepassen in het Energietransitiemodel. In Hoofdstuk 3 t/m 6 presenteren we de resultaten van de analyse. In Hoofdstuk 7 trekken we de conclusies, vatten we de belangrijkste bevindingen samen en doen we een aantal aanbevelingen.

2 Methode

2.1 Kern van de methode

De kern van de methode in deze studie is dat we een referentiescenario vergelijken met een circulair scenario. In het Referentiescenario nemen zowel het energieverbruik als de energiesysteemkosten richting 2050 toe. In het Circulaire scenario is de verwachting dat energieverbruik minder hard stijgt, wat per saldo kan leiden tot kostenbesparingen.

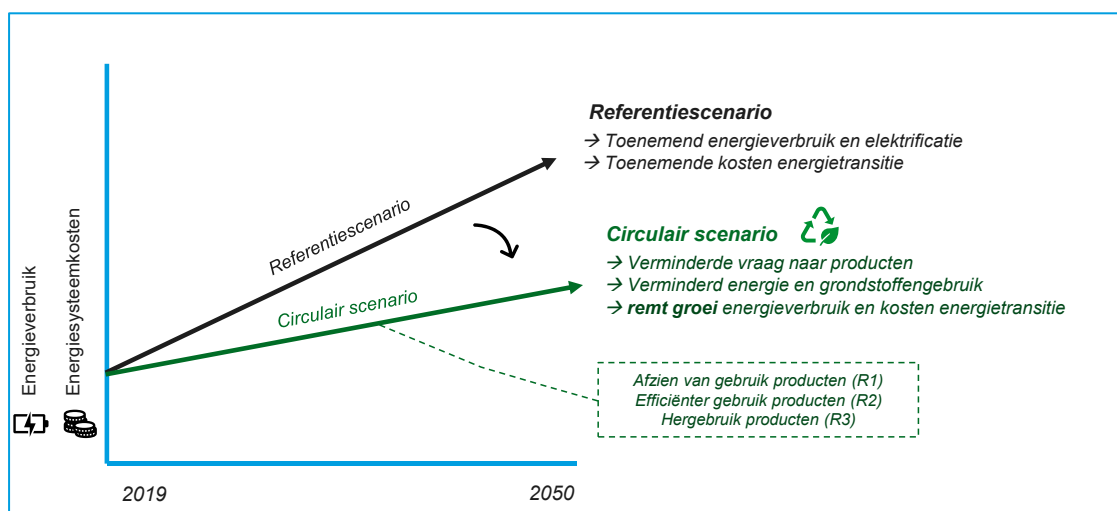
Om kostenbesparingen voor de lange termijn te kunnen berekenen moeten we aannames doen over hoe het Nederlandse energiesysteem er in 2050 uitziet. Daarvoor hanteren we het Koersvaste Middenweg-scenario dat door Netbeheer Nederland (2025b) is ontwikkeld en als module onderdeel is van het Energietransitiemodel. Het Koersvaste Middenweg-scenario schetst een toekomstbeeld waarin Nederland de huidige koers van de energietransitie consequent voortzet: geen radicale beleidswijzigingen, maar een gestage voortzetting van bestaande beleidsambities en technologische trends. Netbeheer Nederland heeft in totaal vier toekomstscenario's ontwikkeld, waarvan het Koersvaste Middenweg-scenario het centrale scenario vormt. We kiezen dit scenario omdat het een realistische, beleidsneutrale basis biedt voor het berekenen van kostenbesparingen.

In het Koersvaste Middenweg-scenario ontwikkelt het Nederlandse energiesysteem zich richting 2050 tot een grotendeels hernieuwbaar systeem waarin elektriciteit en waterstof de belangrijkste energiedragers zijn. De productie van elektriciteit neemt sterk toe door grootschalige uitbreiding van wind-op-zee en zon-op-land, aangevuld met nieuwe kerncentrales voor leveringszekerheid. Deze toename is nodig om de sterk groeiende elektriciteitsvraag te dekken, aangezien industrie, mobiliteit en de gebouwde omgeving in toenemende mate elektrificeren. Industriële processen worden omgeschakeld van aardgas en kolen naar elektrische technieken en groene waterstof. In de gebouwde omgeving worden aardgasgestookte installaties vervangen door warmtepompen en warmtenetten, en het personenvervoer is volledig elektrisch. Door deze ontwikkelingen verschuift de energie-infrastructuur van een op fossiele brandstoffen gebaseerd systeem naar een systeem waarin productie, opslag en transport van elektriciteit en waterstof centraal staan. Dit vraagt om investeringen in opwekcapaciteit, netverzwaring en energiedragers zoals (groene) waterstof, waardoor de energiesysteemkosten richting 2050 aanzienlijk toenemen, maar het resulteert tegelijkertijd in een sterk verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en een emissiearm energiesysteem.

Zowel het Referentie- als het Circulaire scenario gebruiken het Koersvaste Middenweg-scenario als basis voor de vormgeving van het toekomstige energiesysteem. Het verschil is dat in het Circulaire scenario sectoren sterk inzetten op circulaire strategieën, waardoor producten efficiënter worden gebruikt en de vraag naar nieuwe producten, en daarmee energie, naar verwachting afneemt. Dit drukt de groei van de energievraag en vermindert de benodigde investeringen in opwek, infrastructuur en netverzwaring, waardoor de stijging van de elektriciteitsvraag en systeemkosten richting 2050 naar verwachting lager uitvalt dan in het Referentiescenario.

De kern van de methode is schematisch weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 – Schematisch overzicht van de vergelijking tussen het Referentie- en Circulaire scenario (hypothese)



Bron: CE Delft & Trinomics.

Naast het Koersvaste Middenweg-scenario zijn er drie alternatieve toekomstbeelden ontwikkeld door Netbeheer Nederland: Eigen Vermogen, met nadruk op energie-autonomie en binnenlandse productie; Gezamenlijke Balans, gericht op Europese samenwerking en een gemengde inzet van elektriciteit en gas; en Horizon Aanvoer, waarin Nederland sterk afhankelijk blijft van internationale energieketens en import. Met deze drie scenario's is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarvan de resultaten zijn meegenomen in de conclusies van dit onderzoek.

Definitie energiesysteemkosten

In deze studie berekenen we het effect van circulair beleid op de energiesysteemkosten. Dit zijn de totale kosten voor het opwekken, transporteren, opslaan en gebruiken van energie binnen het energiesysteem, waarbij uitsluitend energetisch energieverbruik wordt meegenomen; non-energetisch gebruik valt buiten scope. We onderscheiden zes typen energiesysteemkosten:

- **Gebouwen en installaties:** Kosten voor installaties die energie gebruiken binnen sectoren zoals Huishoudens, Gebouwde omgeving en industrie (bijv. warmtepompen, elektrische boilers en elektrische krakers).
- **Productiemiddelen:** Kosten voor installaties die energie produceren (bijv. elektriciteitscentrales, waterstof- en warmteproductie).
- **Infrastructuur:** Kosten voor aanleg en onderhoud van energienetten (bijv. elektriciteits-, warmte- en waterstofnetten).
- **Flexibiliteit en opslag:** Kosten voor systemen die energie opslaan of omzetten (bijv. batterijen, waterstofopslag en power-to-heat).
- **Energiedragers:** Kosten voor energie dat worden opgewekt of geïmporteerd (bijv. elektriciteit, waterstof, biogas, biomassa en ammoniak).
- **CO₂-emissiekosten:** Kosten voor uitstoot, afvang, gebruik en opslag van CO₂ (bijv. CCS-installaties en CO₂-rechten).

Besparingen in energiesysteemkosten verlagen de maatschappelijke kosten van de energietransitie, maar leiden niet automatisch tot evenredige besparingen in de overheidsuitgaven. De overheid financiert slechts een deel van het energiesysteem (bijvoorbeeld via subsidies of infrastructuurinvesteringen), maar veel besparingen treden op bij marktpartijen en consumenten, die profiteren van lagere productiekosten en lagere energierekeningen. Bovendien kan de overheid tegelijkertijd minder inkomsten ontvangen bij lager energieverbruik, bijvoorbeeld uit energiebelastingen. De energiesysteemkosten die worden berekend met het Energietransitiemodel zijn exclusief energiebelasting.

2.2 Selectie van sectoren

In dit onderzoek is geprobeerd zoveel mogelijk aan te sluiten bij de doelen en prioriteiten van het Nationaal Programma Circulaire Economie (NPCE 2025), dat inzet op grondstofbesparing, een hoger aandeel secundaire en biograndstoffen en het behoud van grondstoffen via hoogwaardige recycling. In deze studie ligt de nadruk, net als in een belangrijk deel van het NPCE, op grondstofbesparing als middel om de energievraag en daarmee de toekomstige energiesysteemkosten te verlagen.

De keuze voor de gebouwde omgeving, mobiliteit en de industrie (staal en plastics) volgt uit een combinatie van inhoudelijke relevantie en praktische haalbaarheid: deze sectoren vertegenwoordigen samen ongeveer de helft van het totale energieverbruik in Nederland³. Bovendien maken deze sectoren onderdeel uit van het Energietransitiemodel, waardoor de effecten van circulaire maatregelen op energiesysteemkosten op een robuuste manier kunnen worden doorgerekend.

Tegelijkertijd zijn er sectoren die in het NPCE centraal staan, zoals de maakindustrie, waaronder textiel en meubels, die in deze studie niet zijn meegenomen. Dat komt doordat deze sectoren geen onderdeel zijn van het Energietransitiemodel en mogelijke besparingen vaak buiten Nederland in de keten optreden, waardoor een betrouwbare modellering van de effecten op de Nederlandse energiesysteemkosten niet mogelijk is.

In de volgende paragrafen wordt per sector toegelicht welke circulaire strategieën in de doorrekening zijn meegenomen.

2.2.1 Gebouwde omgeving

Binnen de gebouwde omgeving richten we ons op het **efficiënter bewonen van bestaande woningen**. Nederland staat voor een grote nieuwbouwopgave, wat ook leidt tot toenemende vraag naar elektriciteit en warmte. Door de bestaande bouwvoorraad beter te benutten via transformatie, splitsing en optoppen, en door kleiner te bouwen, kan de vraag naar nieuwbouw worden vermindert. Daarmee neemt ook de vraag naar energie af. Het beperken van nieuwbouw verlaagt de materiaal- en energie-intensiteit van de gebouwde omgeving en vermindert de investeringsbehoefte in nieuwe infrastructuur, zoals warmtenetten en elektriciteitscapaciteit.

2.2.2 Mobiliteit

Binnen de mobiliteitssector kijken we naar striktere parkeernormen bij nieuwbouwwijken en daarmee gepaard gaande inzet op **deelauto's**. De elektrificatie van het wagenpark leidt de komende decennia tot een sterke toename van de elektriciteitsvraag, wat vraagt om uitbreiding van de duurzame elektriciteitsproductie en de bijbehorende infrastructuur. Daarnaast vereist de overgang naar elektrische mobiliteit aanzienlijke investeringen in de vervanging van voertuigen met een brandstofmotor en in de uitrol van laadinfrastructuur.

Een groei van het aantal deelauto's vermindert het aantal huishoudens met een eigen auto, waardoor de totale omvang van het wagenpark afneemt. Uit onderzoek van KiM (2015) en Goudappel (2023a) blijkt bovendien dat gebruikers van deelauto's gemiddeld minder autokilometers afleggen dan bezitters van een eigen voertuig. Door deze combinatie van een kleiner wagenpark en minder gereden kilometers is de verwachting dat

³ Het finale energieverbruik in 2023 bedroeg voor de gebouwde omgeving (woningen), mobiliteit (wegverkeer), en de industrie (plastics en staal) 51%. Deze schatting is gebaseerd op cijfers uit de KEV (2025) en sectorale energieverbruiksgegevens van het CBS (2025).

deelmobiliteit het energieverbruik in de mobiliteitssector kan verminderen en daarmee kan bijdragen aan een kostenefficiënte energietransitie.

2.2.3 Industrie: plasticsector

De plasticsector behoort tot de meest energie-intensieve sectoren van Nederland en legt daarmee een aanzienlijk beslag op het energiesysteem. In deze studie richten we ons uitsluitend op de productie van plastics. Industrieën die plastic producten vervaardigen blijven buiten beschouwing. De elektrificatie van productieprocessen, zoals de vervanging van naftakrakers door elektrische krakers, leidt tot een sterke toename van de vraag naar elektriciteit, terwijl ook de vraag naar groene waterstof toeneemt. Deze ontwikkelingen dragen bij aan een stijging van de benodigde investeringen in een CO₂-vrij energiesysteem richting 2050, maar zorgen tegelijkertijd voor een afname van de import van fossiele brandstoffen. In lijn met het Koersvaste Middenweg-scenario blijft de sector in beperkte mate afhankelijk van olie als grondstof voor de vervaardiging van plastics, waarvoor nog geen grootschalige fossielvrije alternatieven beschikbaar zijn. Besparingen in non-energetisch energieverbruik zoals olie worden binnen deze studie niet als kostenbesparingen meegerekend.

Deze studie richt zich als circulaire strategie op een grotere inzet van **hergebruik van plastics**. Door efficiënter gebruik en hergebruik neemt de groei van de vraag naar plastics af, waardoor minder virgin plastics hoeven te worden geproduceerd. Dit verlaagt de energievraag in de sector en helpt de toenemende druk op het energiesysteem door elektrificatie te verminderen.

2.2.4 Industrie: staalsector

Naast de plasticindustrie is ook de staalsector in Nederland een van de grootste energieverbruikers. In het Koersvaste Middenweg-scenario wordt aangenomen dat de sector tegen 2050 volledig is overgestapt van kolen op waterstof en elektriciteit voor de productie van staal, wat leidt tot een vrijwel CO₂-vrije staalproductie. Deze omschakeling vraagt om zeer grote investeringen in nieuwe productie-installaties, zoals directe reductie met waterstof, en veroorzaakt een sterke toename van de vraag naar elektriciteit en groene waterstof. Daarmee neemt de druk op het energiesysteem toe en groeit de noodzaak tot uitbreiding van duurzame elektriciteitsproductie, netverzwaring en waterstofinfrastructuur.

Binnen deze studie wordt gekeken naar **circulaire strategieën in de belangrijkste afzetmarkten voor staal**, met name de bouwsector en de deelmobiliteitssector. Door het efficiënter gebruik en hergebruik van staal kan de vraag naar nieuw staal afnemen. Dat verlaagt niet alleen de energiebehoefte in de staalsector, maar vermindert ook de druk op het energiesysteem en kan de behoefte aan verdere investeringen in opwekking en infrastructuur beperken.

2.2.5 Internationale context

In deze studie nemen we aan dat de hierboven beschreven circulaire strategieën niet alleen in Nederland, maar Europees worden toegepast. Voor de plastic- en staalsector is dit relevant: een groot deel van hun productie is bestemd voor export, terwijl een aanzienlijk deel van de vraag via import wordt ingevuld. Circa 80% van de Europese staalproductie, en circa 75% van de Europese plasticproductie wordt binnen Europa geconsumeerd (Deloitte, 2025b) (Plastics Europe, 2025). Voor de gebouwde omgeving en mobiliteit heeft deze vereenvoudigde aanname beperkte invloed en wordt daarom buiten beschouwing gelaten, aangezien de kostenbesparingen voortkomen uit nationaal circulair beleid.

Daarnaast nemen we aan dat staal- en plasticindustrie in Nederland gevestigd blijven, dat hun productie meegroeit met de Europese vraag en dat hun energieverbruik en investeringsbehoefte richting 2050 toenemen door elektrificatie en de inzet van groene waterstof. Door stijgende energieprijzen en internationale concurrentiedruk is het echter onzeker of de industrie in deze omvang behouden blijft. Daarom is in een gevoeligheidsanalyse, opgenomen in de conclusies, ook een scenario doorgerekend waarin een deel van de energie-intensieve industrie uit Nederland verdwijnt en wat dat betekent voor de potentiële kostenbesparingen uit circulaire strategieën.

2.3 Energietransitiemodel

2.3.1 Inputvariabelen

Het Energietransitiemodel dat in deze studie wordt gebruikt, laat zien hoe veranderingen in energievraag of energiemix doorwerken in broeikasgasemissies, energiegebruik en de totale kosten van het toekomstige energiesysteem. De toepassing van circulair beleid is in het model per sector vertaald naar aanpassingen in relevante variabelen die de energievraag beïnvloeden. Voor de gebouwde omgeving is het effect van circulair beleid gemodelleerd door het *aantal nieuwbouwwoningen per woningtype te verminderen*, op basis van aannames over beter benutten van de bestaande woningvoorraad en kleiner bouwen. In de mobiliteitssector is het effect van deelauto's vertaald naar een *lagere groei in het aantal passagierskilometers*. Besparingen in laadinfrastructuur vallen buiten de scope van het Energietransitiemodel. Deze besparingen zijn daarom buiten het model om geschat. Voor de plasticsector is het effect van hergebruik van plastics gemodelleerd als *een vermindering van de energievraag in de chemische sector*. In de staalsector is circulair beleid vertaald naar een *verlaagd productievolume voor staal*. Een overzicht van de circulaire strategieën en de vertaling naar het Energietransitiemodel is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – Overzicht circulaire strategieën en variabelen in het Energietransitiemodel per sector

Sector	Circulaire strategie	Vertaling naar Energietransitiemodel
Gebouwde omgeving	Splitsen, optoppen en transformeren van bestaande woningen.	Aantal nieuwbouwwoningen per type woning.
Mobiliteit	Striktere parkeernormen en inzet op deelauto's.	Aantal autopassagierskilometers.
Industrie: plastics	Inzet op hergebruik van plastics.	Energievraag in de chemische sector.
Industrie: staal	Inzet op hergebruik en levensduurverlenging staal in afzetmarkten.	Productie van staal.

2.3.2 Onzekerheden

De door het Energietransitiemodel berekende kostenbesparingen moeten worden geïnterpreteerd als **indicatieve ordegroottes, niet als exacte waarden**. De uitkomsten zijn gebaseerd op vereenvoudigde aannames over energieprijzen, technologische kosten en de toekomstige inrichting van het Nederlandse energiesysteem, factoren die richting 2050 met grote onzekerheden zijn omgeven. De resultaten geven daarom vooral inzicht in de richting en relatieve omvang van de besparingen per circulaire strategie.

3 Gebouwde omgeving

3.1 Circulaire strategieën

Efficiënter bewonen van bestaande panden als circulaire strategie

Efficiënter bewonen van bestaande panden en het bouwen van kleinere woningen dragen bij aan het verlichten van de grote nieuwbouwopgave in Nederland. Voor het efficiënter benutten van de bestaande bouwvoorraad richten we ons op circulaire strategieën zoals transformatie, splitsing en optoppen van bestaande panden, evenals het realiseren van kleinere woningen, zoals hieronder nader wordt toegelicht (Metabolic & Copper, 2023).

- **Beter benutten:** Door de bestaande woningvoorraad efficiënter te gebruiken, vermindert de behoefte aan nieuwe woningen zonder dat daarvoor grote bouwkundige ingrepen nodig zijn. Hierbij kan het gaan om bijvoorbeeld het splitsen van woningen.
- **Optoppen en transformeren:** Het optoppen van bestaande gebouwen en het transformeren van leegstaande kantoren of ruimtes boven winkels maakt het mogelijk de woningvraag binnen de bestaande gebouwde omgeving op te vangen. Dit vraagt minder materiaal, omdat de draagconstructies al aanwezig zijn.
- **Kleiner bouwen:** Door woningen compacter te realiseren sluit de voorraad beter aan op de gemiddeld kleiner wordende huishoudenssamenstelling. Dit verlaagt het materiaalgebruik, en daarmee ook de CO₂-uitstoot en de milieu-impact. Dit kan zowel door bij nieuwbouw te kiezen voor appartementen in plaats van grondgebonden woningen, als door nieuwe woningen in het algemeen kleiner te bouwen.

Door minder nieuwe woningen te realiseren, neemt ook de behoefte aan gebouwgebonden energievoorzieningen af, zoals warmtepompen, zonnepanelen en isolatie. Hierdoor kan circulair beleid tot een efficiëntere energietransitie met lagere kosten als gevolg.

Circa 2,1 miljoen nieuwbouwwoningen in 2050

In het Referentiescenario worden er tussen 2019 en 2050 2.112.278 nieuwbouwwoningen gebouwd. Deze verwachting, afkomstig uit het Koersvaste Middenweg-scenario, is gebaseerd op de openbare Primos-prognose voor nieuwbouwwoningen. In dit scenario zijn geen verdere aanpassingen gedaan, omdat het volledig uitgaat van geagendeerd en verwacht beleid (Netbeheer Nederland, 2025b). De andere scenario's zijn variaties hierop.

Tabel 4 geeft een overzicht van de verwachte nieuwbouw per woningtype van 2019 tot 2050. De reden dat dit onderzoek zich voornamelijk richt op de vermindering van nieuwbouwwoningen en niet op niet-residentiële gebouwen is tweeledig: enerzijds vanwege het grotere aandeel van woningen, en anderzijds vanwege de betere beschikbaarheid van data over circulair beleid.

Tabel 4 – Verwachte aantal nieuwwoningen per woningtype van 2019 tot 2050

Woningtype	Verwachte aantal nieuwbouwwoningen
Appartementen	767.742
Vrijstaande woningen	272.864
Hoekwoningen	218.846
Rijttjeswoningen	852.826
Totaal	2.112.278

Bron: Netbeheer Nederland (2025b).

Uit onderzoek van Copper8 en Metabolic komen verschillende schattingen naar voren van het aantal potentiële nieuwe woningen dat via circulair beleid kan worden gerealiseerd. Een overzicht hiervan is opgenomen in Bijlage A.1. Dit kan ertoe bijdragen dat de vraag naar volledig nieuwe gebouwen afneemt, en daarmee ook het energieverbruik vermindert. Daarnaast kan het ook resulteren in een lager gebruik van materialen en CO₂-uitstoot. Het materiaalgebruik van een gemiddeld nieuwbouwappartement veroorzaakt een CO₂-uitstoot van 230 kg per m², terwijl bij splitsen, optoppen, en woningtransformaties de uitstoot respectievelijk ongeveer 85%, 50% en 66% lager ligt (Economisch Instituut voor de Bouw, 2024).

Besparing 870.000 nieuwbouwwoningen

We berekenen de effecten van aantal bespaarde nieuwbouwwoningen om de bijbehorende investeringsbesparingen vast te stellen. Om de potentiële kostenbesparingen te berekenen, worden aannames gemaakt over welk type nieuwbouwwoningen (appartementen, vrijstaande woningen, rijttjeswoningen en hoekwoningen) mogelijk vervangen kan worden door woningen gerealiseerd via circulair beleid. Op basis hiervan kan het aantal nieuwbouwwoningen per woningtype worden verlaagd. Daarbij wordt aangenomen dat het type omgebouwde woning overeenkomt met een vermindering van nieuwbouw van hetzelfde type. Zo kunnen bijvoorbeeld door optoppen tien nieuwe appartementen ontstaan, wat betekent dat er tien appartementen minder nieuwbouw nodig is. Het Energietransitie-model wordt vervolgens gebruikt om de effecten van vermindering van nieuwbouwwoningen op klimaatinvesteringen te analyseren. Een overzicht van de geschatte vermindering van nieuwbouwwoningen per woningtype is weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 – Vermindering van het aantal nieuwbouwwoningen per woningtype door circulair beleid

Circulair beleid	Appartementen	Vrijstaande woningen	Hoekwoningen	Rijtjeswoningen	Totaal
Transformeren	-277.020	-10.935	-21.870	-54.675	-364.500
Optoppen	-364.300	0	0	0	-364.300
Splitsen	-126.451	0	0	-15.549	-142.000
Kleiner bouwen	336.134	-68.235	-54.790	-213.109	0
Totale vermindering	-431.637	-79.170	-76.660	-283.333	-870.800

Bron: CE Delft & Trinomics.

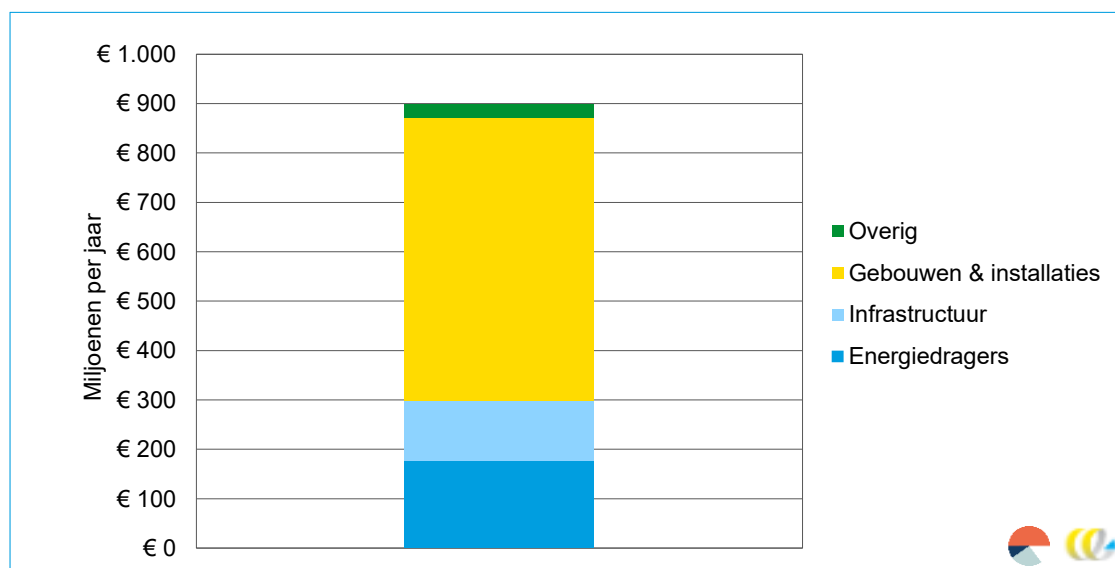
- **Optoppen:** Het optoppen van woningen is niet voor ieder woongebouw geschikt. Bouwtechnisch zijn vooral appartementsgebouwen van vier tot tien woonlagen, gebouwd vanaf 1964, hiervoor geschikt (Economisch Instituut voor de Bouw, 2024). Om die reden wordt aangenomen dat door middel van optoppen er alleen appartementen bij zullen komen.
- **Splitsen:** Wat betreft woningsplitsing komt ongeveer 73% voort uit grondgebonden woningen en 27% uit appartementen (Economisch Instituut voor de Bouw, 2024). Voor appartementen mag worden aangenomen dat zij ook weer gesplitst worden naar appartementen. 27% van het totaal aantal woningen door splitsing worden dus appartementen. Voor de overige 73% (grondgebonden woningen) zijn er technisch gezien meer opties mogelijk. We gaan ervanuit dat hierbij ongeveer 15% van de grondgebonden woningen die geschikt zijn voor splitsing resulteert in rijtjeswoningen. De overige 85%, wordt verondersteld gesplitst te worden naar appartementen.
- **Transformeren:** Op basis van CBS-data over woningtransformaties in oppervlakteklasse in 2022 is een inschatting gemaakt van het aandeel te transformeren woning per woningtype (CBS, 2023b). Het grootste deel betreft appartementen (76%), gevolgd door rijtjeswoningen (15%), hoekwoningen (6%) en vrijstaande woningen (3%).
- **Kleiner bouwen:** Bij kleiner bouwen wordt uitgegaan van een verschuiving van 25% van grondgebonden woningen naar appartementen. Hierbij wordt uitgegaan van een evenredige verdeling over alle typen (Metabolic & Copper, 2023). Dit resulteert in een toename van appartementen en een afname van vrijstaande woningen, hoekwoningen en rijtjeswoningen.

In het Circulaire scenario zullen dus in totaal tegen 2050 nog 1.241.478 nieuwbouwwoningen gebouwd worden, wat overeenkomt met een **vermindering in het aantal nieuwbouwwoningen met 870.800** of 41% ten opzichte van het Referentiescenario. De volledige berekeningen en aannames zijn te vinden in Bijlage A.1.

3.2 Effecten op kosten energietransitie

Een vermindering van 870.000 nieuwbouwwoningen kan tegen 2050 een kostenbesparing van **circa € 900 miljoen** per jaar opleveren. Hiervan komt het grootste deel (64%) voort uit lagere kosten voor gebouwen en installaties, vooral door minder nood aan investeringen in systemen voor verwarming, koeling en elektriciteit in woningen. Daarbovenop komt 20% van de besparingen door lagere kosten voor energie, als gevolg van een lagere warmtevraag door minder nieuwbouw. Hierdoor wordt minder gebruikgemaakt van dure energiedragers zoals waterstof, biomassa en ammonia, wat bijdraagt aan de kostenbesparing. In het scenario voor 2050 wordt aangenomen dat hybride warmtepompen 22% van de warmte voor alle woningen leveren. Een deel hiervan wordt in het Referentiescenario opgewekt met waterstof, biomassa of ammonia, maar in het Circulaire scenario wordt dit beperkt. Omdat deze dragers vaak duurder zijn dan bijvoorbeeld elektriciteit, leidt hun afname tot aanzienlijke kostenbesparingen. Daarnaast komt 14% voort uit besparingen in de infrastructuur voor warmte en elektriciteit en zijn er minimale kostenbesparingen mogelijk uit productiemiddelen en flexibiliteit en opslag. Dit is weergegeven in Figuur 4.

Figuur 4 – Besparingen energiesysteemkosten door minder nieuwbouw



Bron: CE Delft & Trinomics op basis van het Energietransitiemodel.

4 Mobiliteit

4.1 Circulaire strategieën

Stimuleren van gebruik deelauto's als circulaire strategie

Binnen de mobiliteitssector onderzoeken we kostenbesparingen door toenemend gebruik van deelauto's. De elektrificatie van het wagenpark leidt de komende decennia tot een sterke toename van de elektriciteitsvraag, wat vraagt om uitbreiding van de duurzame elektriciteitsproductie en uitbreiding in laadinfrastructuur. Onderzoek toont aan dat gebruikers van deelauto's gemiddeld minder autokilometers afleggen dan bezitters van een eigen voertuig. De verwachting is dat deelmobiliteit het energieverbruik in de mobiliteitssector daardoor kan verminderen en daarmee kostenbesparingen kan opleveren.

Deelmobiliteit heeft de afgelopen jaren groei doorgemaakt. Vooral in sterk verstedelijkte gebieden neemt het aantal deelauto's toe. Het exacte aantal deelauto's in Nederland is lastig vast te stellen, omdat schattingen variëren en afhankelijk zijn van welke typen voertuigen worden meegerekend. Natuurlijk! Deelmobiliteit (2024) schatte dat er in 2022 ongeveer 22.000 deelauto's in Nederland waren, zowel B2C als B2B. Volgens de meest recente cijfers waren er in 2024 naar schatting 7.464 B2C-deelauto's (CROW, 2025)

Langetermijnprognoses voor de groei van het aantal deelauto's, zowel in Nederland als in Europa, zijn beperkt beschikbaar.⁴ In dit onderzoek koppelen we daarom het verwachte aantal deelauto's aan gemeentelijke parkeernormen voor nieuwbouwwijken. Ruimtegebrek vormt een groeiende uitdaging bij gebiedsontwikkeling en ook bij woningsplitsing, waar parkeernormen in veel grote deelsteden als belangrijke bottleneck worden ervaren omdat extra woningen ook extra parkeerplaatsen vergen (Knoop, 2025). Gemeenten kunnen parkeernormen aanscherpen om de beschikbare ruimte efficiënter te gebruiken. Minder parkeerplaatsen creëren ruimte voor woningen, groen en voorzieningen. Om te borgen dat toegang tot automobilititeit blijft gewaarborgd, wordt door gemeenten steeds actiever nagedacht over de inzet van deelauto's. Deelauto's kunnen een bijdrage leveren aan het afnemen van de parkeerdruk.

⁴ MuConsult (2021) schetst toekomstscenario's voor 2030 waarin het aantal deelauto's stijgt tot 270.000 in een progressief scenario (versnelde groei op basis van recente ontwikkelingen) en tot 500.000 in een ambitieus scenario (zeer sterke toename van het aantal deelauto's). Deze prognoses worden door verschillende partijen in de branche niet langer realistisch geacht.

Deelauto's bieden kansen voor andere mobiliteitsmix

De beschikbaarheid van deelauto's kan ervoor zorgen dat er op een andere manier naar automobilititeit wordt gekeken. Deelautogebruikers hebben minder vaak een auto in bezit, het zogenoemde waargenomen effect (KiM, 2021). Tegelijkertijd wordt in de literatuur benoemd dat autodelen ook een tegengesteld effect kan hebben, doordat mensen zonder auto op een laagdrempelige manier kennis maken met de auto en later besluiten er zelf één aan te schaffen (KiM, 2021). Diverse studies hebben geprobeerd deze effecten te kwantificeren, met uiteenlopende resultaten. Volgens Shaheen et al. (2019) leidt een deelauto gemiddeld tot een reductie van het autobezit van 3 à 11 particuliere auto's. Voor Nederland schat het KiM (2015) dat het autobezit onder autodelers met ongeveer 30% afneemt vanaf het moment dat zij beginnen met autodelen. Een recentere schatting van Goudappel (2023b) komt zelfs uit op een verhouding waarbij 1 Greenwheelsdeelauto 14 privéauto's vervangt. In deze studie doen we de conservatieve aanname dat 1 deelauto 6 privéauto's vervangt. Deze aanname is in lijn met eerder onderzoek van CE Delft (CE Delft, 2024b).

Ook het aantal gereden autokilometers verandert door autodelen. Het KiM (2015) geeft aan dat autodelers gemiddeld 20% minder autokilometers maken dan voordat zij begonnen met autodelen. Achter dit netto-effect schuilen verschillende gedragsveranderingen: ongeveer 40% van de autodelers is overgestapt van een eigen of geleende auto en gebruikt de deelauto selectiever vanwege de hogere kosten per kilometer. Nog eens 40% is afkomstig uit het openbaar vervoer en genereert daardoor nieuwe autokilometers, en circa 16% maakt met de deelauto ritten die anders niet zouden zijn gemaakt. Het gecombineerde effect is per saldo een afname van het totale autogebruik. Volgens Goudappel (2023b) rijdt een gemiddelde gebruiker van Greenwheels ongeveer 1.250 kilometer minder per jaar met de auto dan vóór het gebruik van de deelauto.

Berekening effect deelauto's op wagenpark

Omdat er geen betrouwbare prognoses zijn voor het aantal deelauto's richting 2050, koppelen we deze ontwikkeling in deze studie aan striktere parkeernormen bij nieuwbouwwijken. Striktere parkeernormen beperken de ruimte voor privéauto's. Om automobilititeit voor bewoners toch te waarborgen, kan worden ingezet op deelauto's: deze nemen minder ruimte in omdat meerdere huishoudens dezelfde auto gebruiken.

In werkelijkheid werkt deze relatie niet één-op-één: deelmobiliteit functioneert alleen goed als een gebied ook beschikt over voldoende voorzieningen, goede OV- en fietsinfrastructuur, en een minimale schaal en organisatie van het aanbod (Deloitte, 2025a). Voor deze studie laten we deze complexiteit buiten beschouwing. We gaan uit van de vereenvoudigde aanname dat strengere parkeernormen leiden tot een toename van het aantal deelauto's.

Voor het bepalen van het effect van deelauto's op de omvang van het wagenpark en het aantal passagierskilometers sluiten we aan bij de methode en aannames van MuConsult (2021). Het effect wordt berekend door een referentiescenario te vergelijken met een circulair scenario. In het Referentiescenario veronderstellen we dat het aandeel deelauto's in het wagenpark gelijk blijft aan het niveau van 2024: circa 7.500 deelauto's bij 8,8 miljoen personenauto's (0,08%) (Natuurlijk! Deelmobiliteit, 2024) (CBS, 2025a). Uitgaande van 12,2 miljoen personenauto's in 2050 (PBL, 2025) betekent dit ongeveer 10.000 deelauto's in 2050.⁵

In het Circulaire scenario gaan we uit van een hogere inzet van deelauto's door strengere parkeernormen. Bij 9,7 miljoen woningen in 2050 (Koersvaste Middenweg-scenario) bedraagt de huidige verhouding 1,3 auto per woning. We hanteren een parkeernorm van 0,8 voor nieuwbouw, tussen de huidige norm en de lage normen van 0,3 in steden als Utrecht en Amsterdam (Gloudemans, 2020). Dit betekent 0,5 auto minder per nieuwbouwwoning. Bij 2,1 miljoen nieuwbouwwoningen tot 2050 resulteert dit in 970.000 minder privéauto's. Met de conservatieve aanname dat één deelauto zes privéauto's vervangt (CE Delft, 2024b), schatten we het aantal deelauto's in 2050 op **circa 161.000** (een toename van circa 151.000 deelauto's ten opzichte van de referentie).

Na correctie voor de snellere vervanging van deelauto's door intensiever gebruik is het totale wagenpark in 2050 5,6% kleiner dan in het Referentiescenario.⁶

Berekening effect deelauto's op het aantal autopassagierskilometers

Een groter aantal deelauto's beïnvloedt niet alleen de omvang van het wagenpark, maar ook het totaal aantal autopassagierskilometers. Het effect hierop is geschat volgens de methode van MuConsult (2021). We nemen aan dat 80% van de deelauto's particulier wordt gebruikt en 20% zakelijk. Particuliere deelauto's rijden gemiddeld 75% meer kilometers dan privéauto's en zakelijke deelauto's ongeveer twee keer zoveel. Daarnaast corrigeren we voor verschuiving van ritten binnen huishoudens en extra ritten door een groter deelautobestand, waardoor het initiële besparingseffect van een kleiner wagenpark wordt gehalveerd.

Het Energietransitiemodel hanteert de jaarlijkse groei van passagierskilometers tussen 2019 en 2050 als inputvariabele. PBL (2025) schat het aantal passagierskilometers in 2050 op 194 miljard (WLO Hoog), een groei van 0,90% per jaar sinds 2019. In het Circulaire scenario daalt dit door de inzet van meer deelauto's naar 191 miljard kilometer,

⁵ Het uitgangspunt van 12,2 miljoen personenauto's in 2050 is gebaseerd op een scenario met hoge bevolkingsgroei (Hoog Snel, Hoog Vertraagd). Dit scenario is gekozen omdat het aantal personenauto's daarin meegroeit met het aantal nieuwbouwwoningen, waardoor het gemiddelde aantal auto's per woning in het Referentiescenario relatief constant blijft.

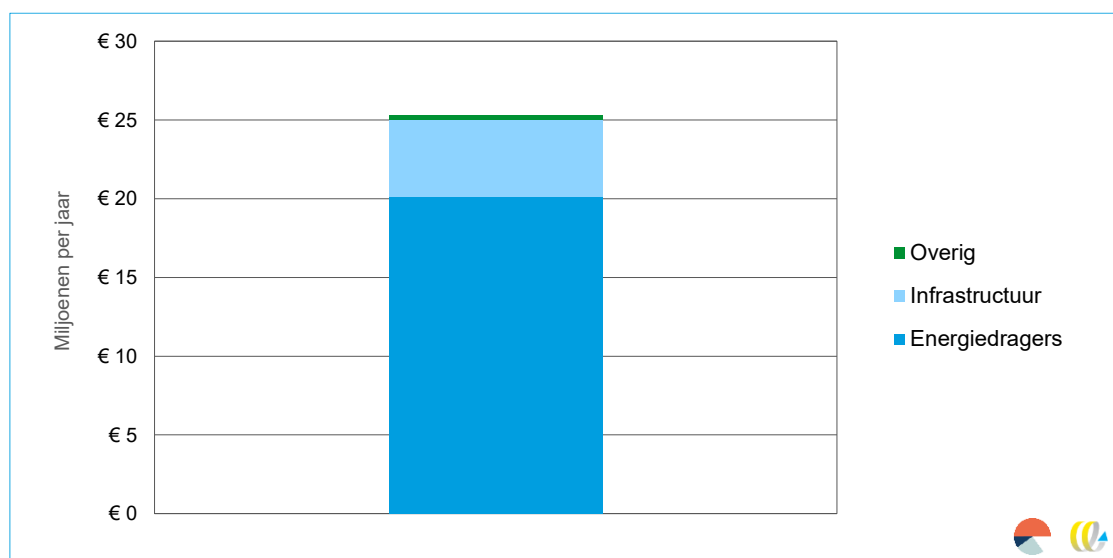
⁶ Deze correctie voor snellere vervanging van deelauto's is in lijn met de methode van MuConsult (2021).

1,7% lager dan in de referentie. Dit komt overeen met een jaarlijkse groei van 0,84% ten opzichte van 2019 als input voor het Energietransitiemodel.

4.2 Effecten op kosten energietransitie

Onder de aanname dat er in 2050 circa 161.000 deelauto's in Nederland zijn, 1 deelauto 6 privéauto's vervangt en dit de groei van het aantal autopassagierskilometers met 1,7% remt, worden de kostenbesparingen geschat op ongeveer **€ 25 miljoen per jaar** (zie Figuur 5). Het grootste deel hiervan (circa € 20 miljoen) komt doordat minder autokilometers leiden tot een lager energieverbruik in het volledig elektrische wagenpark, waardoor met name minder elektriciteits- en waterstofproductie nodig is.⁷ Daarnaast dalen de benodigde investeringen in de elektriciteitsinfrastructuur; circa € 5 miljoen van de totale besparing komt voort uit lagere kosten voor het laagspannings- en middenspanningsnet.

Figuur 5 – Besparingen jaarlijkse energiesysteemkosten door toename deelauto's (€ miljoenen per jaar)



Bron: CE Delft & Trinomics op basis van het Energietransitiemodel.

De kostenbesparingen voor mobiliteit blijven beperkt in vergelijking met de andere geanalyseerde sectoren. Het uitgangspunt van 161.000 deelauto's in 2050 is relatief terughoudend ten opzichte van de 270.000 tot 500.000 deelauto's waarmee MuConsult (2021) rekende, waardoor de daling in passagierskilometers tussen het Referentie- en Circulaire scenario beperkt blijft. Bij een ambitieuzere groei van het aantal deelauto's zouden de besparingen dan ook groter kunnen zijn. Naast het aanscherpen van

⁷ Hoewel het wagenpark in 2050 volledig elektrisch is, leidt een lagere elektriciteitsvraag door minder autokilometers ook tot minder inzet van waterstof, omdat waterstof in het Koersvaste Middenweg-scenario als flexibel vermogen voor het elektriciteitssysteem wordt ingezet.

gemeentelijke parkeernormen bestaan er bovendien andere manieren om deelmobiliteit te stimuleren (zie CE Delft (2024b)).

Daarnaast zijn de kosten voor laadinfrastructuur geen onderdeel van het Energietransitie-model. Gezien de forse toename van elektrisch rijden zijn er echter aanzienlijke kosten en investeringen gemoeid met de uitrol van laadinfrastructuur. Quee (2025) verwacht dat er in 2044 circa 4,3 miljoen laadpunten nodig zijn. Op basis van de vaste kosten van laadinfrastructuur, ontleend aan Topsector Logistiek et al. (2019), schatten we de totale vaste kosten hiervan op ongeveer € 4,3 miljard per jaar in 2050.

Het uitgangspunt van 161.000 deelauto's in 2050 kan daarmee naar schatting **tientallen miljoenen euro per jaar** aan laadinfrastructuurkosten besparen. De berekening hiervan is opgenomen in Bijlage A.2.

| 5 Industrie: plastics

5.1 Circulaire strategieën

Hergebruik als circulaire strategie binnen de plastic-industrie

Binnen de plasticindustrie onderzoeken we mogelijke kostenbesparingen door hergebruik van plastics.^{8, 9} De plasticproductie is de afgelopen decennia flink gegroeid, en de verwachting is dat deze ook de komende decennia blijft groeien. Prognoses van OECD (2022) zijn dat de mondiale vraag naar plastics toeneemt van 460 miljoen ton (Mton) in 2019 naar 1.231 Mton in 2060, een verdrievoudiging. In Europa verwacht OECD (2022) een verdubbeling in de vraag naar plastics tussen 2019 en 2060.

Een toename van plasticproductie in combinatie met elektrificatie van productieprocessen, zoals de vervanging van naftakrakers door elektrische krakers, leidt tot een sterke verwachte toename van de vraag naar elektriciteit en groene waterstof. Daarvoor zijn investeringen nodig in elektrificatie van productieprocessen, duurzame elektriciteitsproductie en mogelijk uitbreidingen in elektriciteitsinfrastructuur.

Hergebruik van plastics kan de groeiende vraag naar nieuwe (virgin) plastics dempen, bijvoorbeeld door levensduurverlenging van plasticproducten of het vervangen van wegwerpverpakkingen door herbruikbare varianten. Een lagere vraag naar nieuwe plastics vermindert de mondiale productie van nieuwe plastics en kan daardoor leiden tot een lager energiegebruik en minder benodigde investeringen in elektrificatie van productieprocessen, elektriciteitsproductie en infrastructuur.

De vraag is of een groeiende Europese of mondiale vraag naar plastics ook daadwerkelijk tot meer productie in Nederland zal leiden. Door stijgende energieprijzen en toenemende internationale concurrentie staat de Nederlandse chemische sector (waar plasticproductie een belangrijk onderdeel van uitmaakt) onder druk. Voor deze studie sluiten we aan bij de prognoses van Plastics Europe (2023b), die verwachten dat de Europese plasticproductie stijgt van 56 Mton in 2021 naar 77 Mton in 2050 (+35%). We nemen aan dat de Nederlandse productie in hetzelfde tempo groeit. Gezien de verwachte verdubbeling van

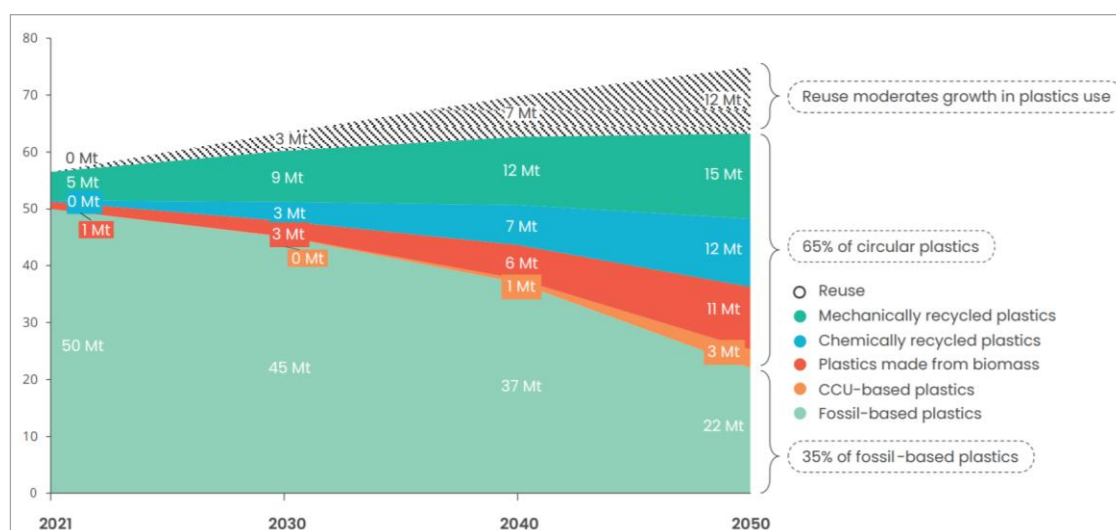
⁸ Voor de plasticindustrie richten we ons uitsluitend op de productie van plastics. Sectoren die plastic producten vervaardigen blijven buiten beschouwing.

⁹ Met hergebruik doelen we op levensduurverlenging en herbruikbare producten, niet op het hergebruiken van materialen zoals recycling.

de Europese vraag naar plastics richting 2060 impliceert dit dat Europa (en daarmee Nederland) marktaandeel verliest en afhankelijker wordt van import.

Plastics Europe (2023b) schat dat hergebruik, dat Europa breed wordt toegepast¹⁰, de Europese behoefte aan virgin plastics met circa 12 Mton kan verminderen, een reductie van ongeveer 16% (zie Figuur 7). We nemen aan dat deze vermindering ook in Nederland optreedt, waardoor de netto groei van de plasticproductie in 2050 uitkomt op circa +22% in het Circulaire scenario, ten opzichte van +35% in het Referentiescenario. In lijn met Plastics Europe (2023b) gaan we ervan uit dat hergebruik niet alleen in Nederland, maar Europees wordt toegepast, wat relevant is omdat een groot deel van de Nederlandse productie wordt geëxporteerd en een aanzienlijk deel van de consumptie via import wordt ingevuld. Daarnaast gaan we ervanuit dat de lagere Europese productie in het Circulaire scenario zich ook volledig doorvertaalt naar een lagere productie in Nederland.

Figuur 6 – Hergebruik remt de productie van virgin plastics



Bron: Plastics Europe (2023b).

De inputvariabele voor het Energietransitiemodel is de totale energievraag van de chemische sector. Het aandeel van de plasticindustrie daarin wordt geschat op ongeveer 60%. In combinatie met een veronderstelde reductie van 16% in plasticproductie door hergebruik leidt dit tot een geschatte afname van circa 10% in de energievraag van de chemische sector. De berekeningswijze hiervan is toegelicht in Bijlage A.3.

Deze studie richt zich uitsluitend op het inzichtelijk maken van kostenbesparingen door hergebruik van plastics. Andere circulaire strategieën, zoals recycling en grondstoffen-transitie, leveren mogelijk aanvullende besparingen op. Tegelijkertijd brengt hergebruik ook extra kosten met zich mee, zoals voor inzameling, reiniging en logistiek; deze vallen

¹⁰ De analyse van Plastic Europe richt zich op de EU27 + Noorwegen, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk.

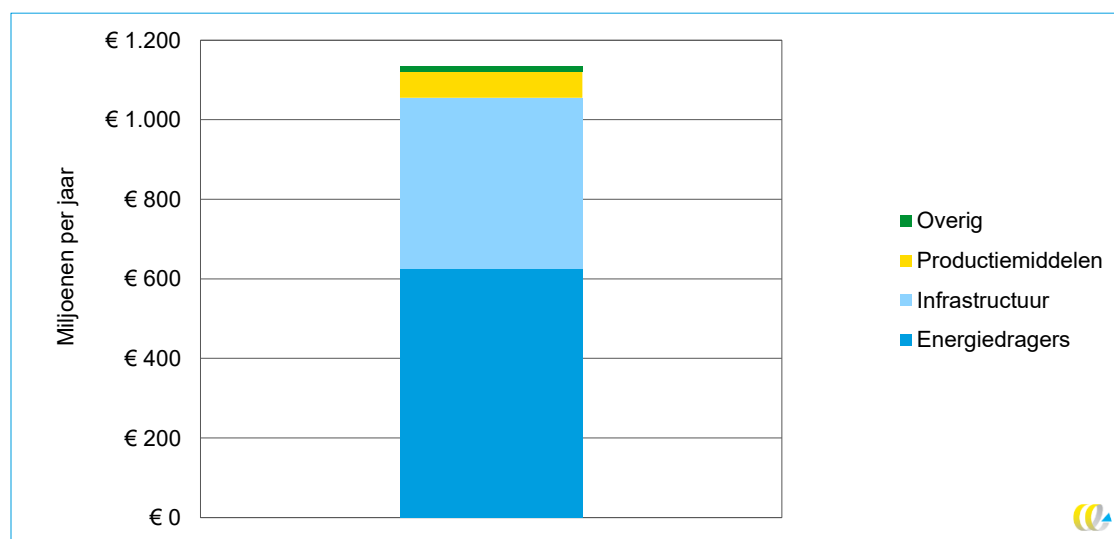
buiten de scope van het Energietransitiemodel en zijn daarom niet in de doorrekening meegenomen.

5.2 Effecten op de kosten van de energietransitie

De resultaten moeten worden geïnterpreteerd in het licht van de aannames die in deze studie zijn gebruikt. Het Koersvaste Middenweg-scenario gaat ervan uit dat de plastic-industrie richting 2050 sterk elektrificeert en het gebruik van elektriciteit en waterstof flink toeneemt, wat extra druk op het energiesysteem legt en vraagt om uitbreiding van duurzame elektriciteitsproductie, netverzwaring en waterstofinfrastructuur. Daarnaast zijn de resultaten gebaseerd op een scenario waarin de plasticindustrie in Nederland behouden blijft, in het Referentiescenario meegroeit met de door Plastics Europe (2023b) verwachte toenemende Europese productie, circulaire strategieën Europees worden toegepast en de lagere vraag in het Circulaire scenario volledig wordt vertaald in een lagere productie in Nederland. Eventuele non-energetische (grondstoffen) besparingen zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Onder deze aannames schatten we de kostenbesparingen in de plasticindustrie als gevolg van hergebruik van plastics op **circa € 1.140 miljoen per jaar** (€ 1,1 miljard). Figuur 7 geeft de verdeling van de kostenbesparingen weer. Ongeveer de helft (€ 0,6 miljard) van de besparingen zijn besparingen in energiekosten, dit is voor een groot deel waterstof en voor een kleiner deel biomassa, ammoniak en elektriciteit. Iets meer dan een derde van de besparingen (€ 0,4 miljard) betreft besparingen in elektriciteitsinfrastructuur, zoals vermeden investeringen in hoogspanningsnet en middenspanningsnet. Een klein deel (€ 0,1 miljard) betreft productiemiddelen doordat minder productie-installaties hoeven te worden ingezet of uitgebreid.

Figuur 7 – Besparingen energiesysteemkosten door toename hergebruik plastics (€ miljoenen)



Bron: CE Delft & Trinomics op basis van het Energietransitiemodel.

Hoewel de besparingen in elektriciteitskosten relatief beperkt zijn, gaat het energetisch om een groot volume: hergebruik van plastics leidt tot ongeveer 14 PJ minder elektriciteitsverbruik, circa 10% van het totale elektriciteitsgebruik in de chemische sector. Omdat elektriciteit een relatief goedkope energiedrager is, vertaalt deze daling zich maar beperkt in kostenbesparingen. De besparing in waterstofverbruik bedraagt circa 5 PJ per jaar. Omdat waterstof veel duurder is dan elektriciteit, vallen de kostenbesparingen daar aanzienlijk hoger uit. De lagere elektriciteitsvraag vermindert bovendien zowel de base-load als de piekbelasting van de chemische industrie op het hoog- en middenspannings-net, waardoor de druk op het net afneemt en netverzwaring kan worden voorkomen.

6 Industrie: staal

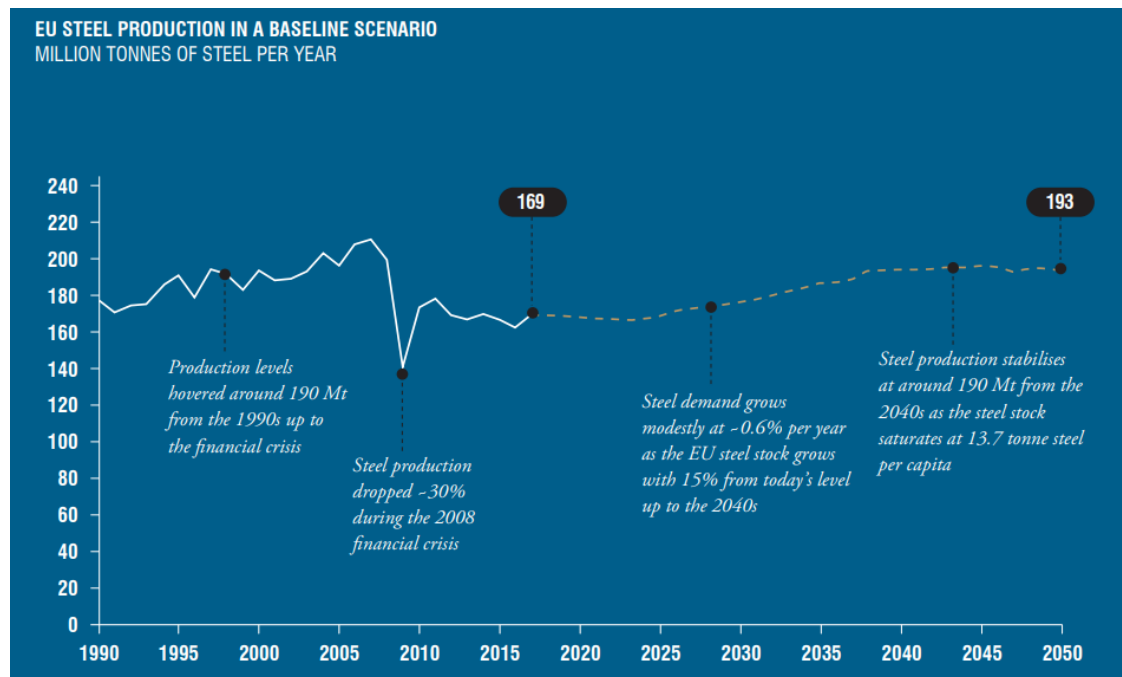
6.1 Circulaire strategieën

In de EU27 werd 129,6 Mton ruw staal geproduceerd in 2024, goed voor 7% van de wereldproductie. **Nederland produceerde in 2024 6,4 Mton ruw staal**, ongeveer 4,9% van de totale productie in de EU27 (Eurofer, 2025). De belangrijkste afzetmarkten voor Nederlands hoog- en laagwaardig staal zijn de auto-industrie (32%), fabrieksproducten (32%), constructie industrie (22%), en verpakkingen (13%) (College van Rijksadviseurs, 2023). De Nederlandse staalexport gaat grotendeels (80%) naar de EU en slechts een fractie blijft binnen Nederland zelf (College van Rijksadviseurs, 2023). De staalindustrie is dus een zeer internationale sector, wat het moeilijk maakt om de impact van Nederlands circulair beleid te isoleren. Overeenkomstig met de chemische sector, zullen we voor staal kijken naar een Europees scenario. In 2023 werd 80% van de staalproductie van de EU ook binnen de EU geconsumeerd. Om deze reden wordt de sector op EU-niveau geanalyseerd, en houden we de rest van de wereld buiten beschouwing (Deloitte, 2025b).

Voorspelde gematigde groei in staalproductie in Europa

Material Economics (2019) ontwikkelde een groeiscenario voor de Europese staalsector waarin consumptie op een vergelijkbaar niveau als het huidige gebruik evolueert en de import en export gelijk blijven. Bovendien is dit een scenario zonder een vermindering van de vraag door een meer circulaire economie of een verminderde materiaalintensiteit. In dit scenario zou de productie van staal in de EU stijgen tot ongeveer 190 Mton per jaar tegen 2050. Dit stemt overeen met een **groei van 14% tussen 2019 en 2050**, en zullen we gebruiken als referentiescenario in deze studie.

Figuur 8 – Verwachte evolutie in de productie van staal in de EU



Bron: Material Economics (2019)

Circulaire strategieën in de belangrijkste consumptie-sectoren van staal

Om de circulaire strategie van een vermindering van grondstoffengebruik toe te passen op de staalindustrie en de besparingen in klimaatinvesteringen in kaart te brengen, moeten we kijken naar de afzetmarkten van staal. De belangrijkste consumptiesectoren volgens Eurofer (2025) zijn de bouwsector (37% van totale EU-staalconsumptie in 2024), en auto-industrie (20%). Circulair beleid kan in deze sectoren op verschillende manieren worden toegepast¹¹:

- Een transitie naar deelmobiliteit zorgt voor een verminderde vraag naar auto's. Dit zorgt op zijn beurt voor een vermindering van de hoeveelheid staal nodig voor eenzelfde hoeveelheid passagierskilometers.
- In de bouwsector kan het staalgebruik worden beperkt door het terugdringen van overdimensionering (in hedendaagse gebouwen wordt vaak 50% meer staal gebruikt dan nodig is), renovatie in plaats van sloop, hergebruik van constructie-elementen en modulair bouwen.
- Voor producten, machines en apparaten kunnen een reeks principes zoals technieken voor gewichtsvermindering, mogelijkheden voor herverwerking,

¹¹ Als de uiteindelijke focus van deze variabelen het gebruik van staal is, kunnen we ervan uitgaan dat er geen dubbeltellingen in het model zouden zitten door de sectoren die overlappen met de vorige hoofdstukken.

product-als-dienst-bedrijfsmodellen enzovoort voor een vermindering in de vraag naar staal veroorzaken.

Circulair scenario gebaseerd op een vermindering in vraag naar staal in consumptiesectoren

Als basis voor de ontwikkeling van een circulair scenario gebruiken we de studie van Material Economics (2019). Ze gebruiken de circulaire strategieën die hierboven werden geïntroduceerd als een van de routes voor de vermindering in de vraag naar staal. Andere routes in de studie van Material Economics (2019), zoals recycling en opslag en gebruik van koolstof worden buiten beschouwing gehouden voor het huidige rapport. Hun scenario met een hoge mate van circulariteit leidt tot een realisatie van 75%¹² van het totale geïdentificeerde potentieel.¹³ In dit scenario zullen de circulaire maatregelen in de consumptiesectoren leiden tot een vermindering in de benodigde hoeveelheid staal per jaar met 54 Mton¹⁴, wat resulteert in een totale staalvraag van 139 Mton per jaar tegen 2050. Dit stemt overeen met een **vermindering in staalproductie van 18% tegen 2050** ten opzichte van een jaarlijks productieniveau van 169 Mton in 2019.

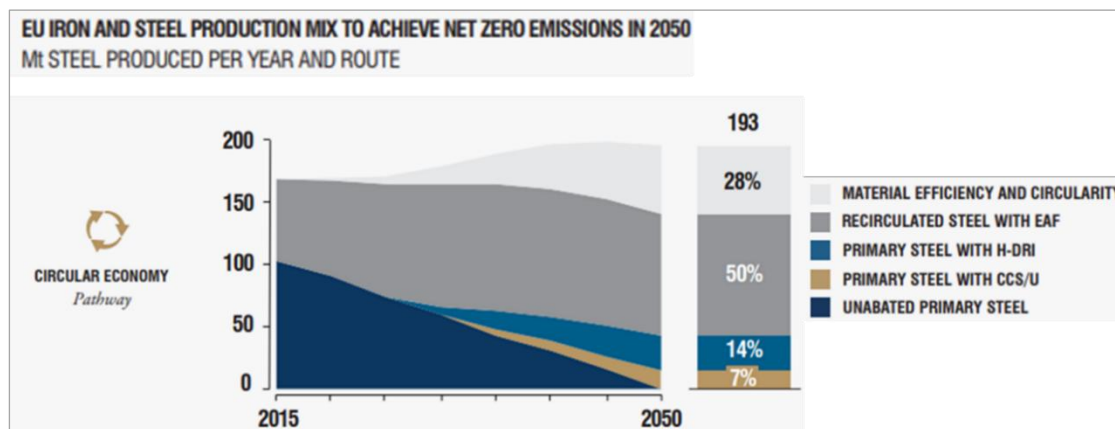
Figuur 9 toont aan dat circulaire strategieën rond materialen, efficiëntie in productie, en vermindering van grondstoffengebruik in consumptiesectoren tot een vermindering van 28% in de staalproductie tegen 2050 kan leiden ten opzichte van een referentiescenario. Deze figuur gaat uit van een productieniveau van 193 Mton staal geproduceerd per jaar tot 2050 in het Referentiescenario, waarbij circulariteit dus een vermindering tot 139 Mton opbrengt. De andere categorieën in de figuur zijn gerelateerd aan recyclen van staal en gebruik van alternatieve technologieën bij de productie (bijvoorbeeld opslag en gebruik van koolstof, groen staal) die extra investeringen zouden vereisen en dus buiten de scope van dit onderzoek vallen.

¹² Material Economics (2019) vermeldt dat het onzeker is hoe veel circulair potentieel uiteindelijk zal kunnen worden benut doordat er nog een aantal barrières zijn zoals de nood aan complexe coördinatie en informatiestromen, stimulansen die vaak slecht op elkaar zijn afgestemd en een gebrek aan aandacht voor materiaalgebruik in de huidige economische modellen (inclusief prestatiebeheer en contracten). Alhoewel ze niet expliciet benoemen waarom ze kiezen voor een realisatie van 75% van het totale circulaire potentieel, gaan we ervan uit dat dit enkele van de redenen zijn.

¹³ Material Economics (2019) heeft ook een minder ambitieus scenario ontwikkeld waar slechts 25% van het circulair potentieel wordt gerealiseerd. In dit scenario stijgt de vraag naar staal tot 181 Mt per jaar tegen 2050.

¹⁴ De totale vermindering in vraag naar staal met 54 Mt tegen 2050 komt door maatregelen aan de vraagzijde in materiaalefficiëntie en circulaire bedrijfsmodellen: 19 Mt in transport, 17 Mt in bouw, 12 Mt in materiaal-efficiënte productie en 6 Mt in andere sectoren zoals machines en producten.

Figuur 9 – Evolutie van staalproductie in een circulair scenario (Mt)



Bron: Material Economics (2019)

Additionele kosten gerelateerd aan het uitvoeren van circulaire strategieën in de consumptiesectoren zoals de digitale infrastructuur voor deelmobiliteit platformen worden niet in acht genomen voor de berekening van de staalsector.

De vermindering in de vraag naar staal in dit circulaire scenario is berekend op basis van Europese gegevens.¹⁵ Of dit ook in Nederland zal leiden tot een vermindering in de benodigde klimaatinvesteringen, is onzeker. We veronderstellen in deze studie dat de groei en afname van de staalproductie in zowel het Referentie- als het Circulaire scenario evenredig over Europa plaatsvindt¹⁶, en dus ook in Nederland.

Effect van een vermindering in vraag naar staal op investeringsbesparingen

Het Energietransitiemodel wordt gebruikt om de impact te berekenen op de nodige klimaatinvesteringen door de verminderde nood aan energie met als inputvariabele de hoeveelheid staal die wordt geproduceerd. We vergelijken hier een circulair scenario waarin het productievolume van staal 28% lager ligt dan in een referentiescenario. De relevante cijfers voor het Referentie- en Circulaire scenario zijn samengevat in Tabel 6. In het Referentiescenario gaan we uit van een groei in productie van staal met 14% tot 193 Mton per jaar tegen 2050 ten opzichte van 2019. In het Circulaire scenario gebruiken we, op basis van circulaire maatregelen in de afzetmarkten, een vermindering in het productievolume van staal met 18% tot 139 Mton per jaar tegen 2050 ten opzichte van 2019. Als input voor het Energietransitiemodel gebruiken we dus een productiegraad voor staal van 114% voor het Referentiescenario en 82% voor het Circulaire scenario.

¹⁵ 80% van productie in EU blijft in EU, dus daling in vraag in EU kan worden doorgetrokken naar daling in productie.

¹⁶ Met evenredig bedoelen we hier dat een 1% groei van de Europese staalsector ook een 1% groei van de Nederlandse staalsector betekent.

Tabel 6 – Overzicht van vermindering in staalproductie door circulair beleid

	2019 (Mton per jaar)	2019 (%)	2050 (Mton per jaar)	2050 (%)
Referentie	169	100%	193	114%
Circulair	169	100%	139	82%

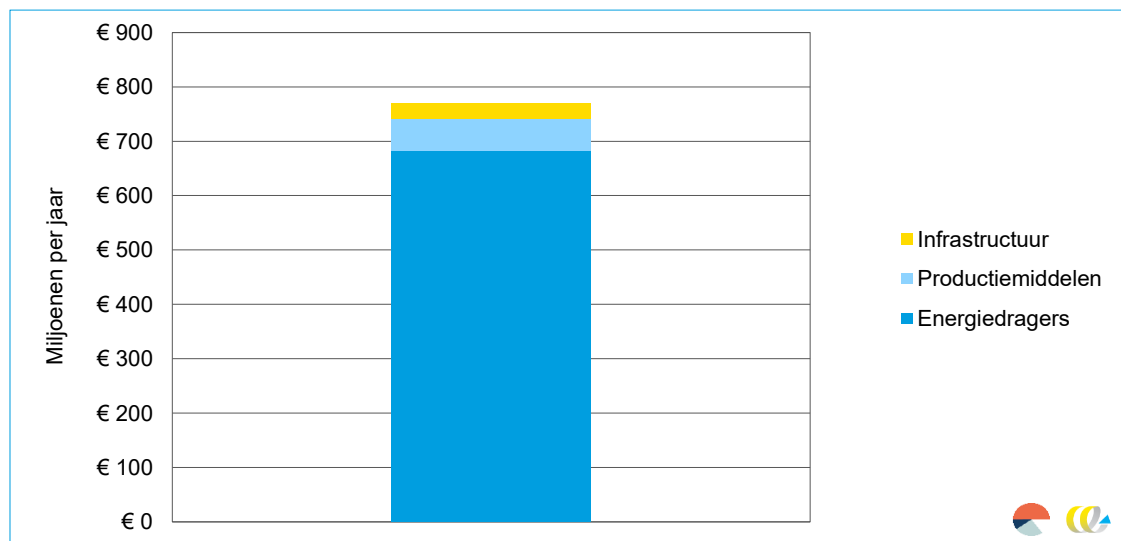
Bron: CE Delft & Trinomics op basis van Material Economics (2019).

6.2 Effecten op de kosten van de energietransitie

De resultaten moeten worden geïnterpreteerd in het licht van de aannames die in deze studie zijn gebruikt. Het Koersvaste Middenweg-scenario gaat ervan uit dat de staalsector tegen 2050 volledig overschakelt van kolen naar waterstof en elektriciteit, waardoor de productie bijna CO₂-vrij wordt. Hiervoor zijn grote investeringen nodig in nieuwe installaties en neemt de vraag naar elektriciteit en groene waterstof sterk toe, wat extra druk op het energiesysteem legt en vraagt om uitbreiding van duurzame elektriciteitsproductie, netverzwaring en waterstofinfrastructuur. Daarnaast zijn de resultaten gebaseerd op een scenario waarin de staalindustrie in Nederland behouden blijft, in het Referentiescenario meegroeit met de door Material Economics (2019) veronderstelde toename van de Europese productie, circulaire strategieën Europees worden toegepast en de lagere vraag in het Circulaire scenario zich vertaalt in lagere productie in Nederland.

Onder deze aannames kunnen circulaire strategieën in de consumptiesectoren van staal tegen 2050 een besparing opleveren van **€ 770 miljoen per jaar**. Daarvan komt voor het overgrote deel voort uit besparingen in energiedragers, en klein deel uit productiemiddelen en infrastructuur. Dit is weergegeven in Figuur 10.

Figuur 10 – Besparingen energiesysteemkosten door vermindering staalproductie



Bron: CE Delft & Trinomics op basis van het Energietransitiemodel.

Richting 2050 elektrificeert de staalindustrie en neemt het gebruik van elektriciteit en groene waterstof flink toe. In de staalsector verdwijnen kolen en cokes geleidelijk en wordt waterstof de belangrijkste energiebron. Er wordt sterk ingezet op waterstof als energiedrager en directe productie-input om groen staal te produceren. Een reductie in de staalproductie als gevolg van circulaire strategieën leidt vooral tot een lager verbruik van waterstof en elektriciteit, wat resulteert in dalende kosten voor deze energiedragers en in beperkte mate voor aardgas en biomassa. Een reductie in de staalproductie zal maar tot een lichte vermindering van kosten voor de waterstof en elektriciteitsinfrastructuur leiden (in tegenstelling tot de plasticindustrie), terwijl de overgang naar groen staal wel nog investeringen in additionele infrastructuur zal vereisen tegen 2050. De totale kostenbesparingen voor staal zijn kleiner dan voor plastic, ondanks een grotere aangenomen daling in productievolume. Dit kan worden verklaard doordat de verwachte energievraag van staalproductie (circa 25 TWh in 2050) in Nederland veel kleiner is dan die van de plasticproductie (150 TWh in 2050).

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Aanleiding en doel van de studie

Recente studies van de Europese Commissie en CE Delft laten zien dat circulair beleid de kosten van de energietransitie kan verlagen, doordat strategieën zoals efficiënter grondstoffengebruik, hergebruik van materialen en deelmobiliteit de energievraag verminderen. Hierdoor zijn minder investeringen nodig in energieproductie, infrastructuur en elektrificatie, wat de betaalbaarheid van de transitie verbetert.

Het ministerie van I&W heeft CE Delft en Trinomics gevraagd de potentiële kostenbesparingen van circulair beleid in kaart te brengen. In deze studie is een eerste schatting gemaakt voor vier sectoren: Gebouwde omgeving, Mobiliteit, Plastic- en Staalindustrie. De doorgerekende strategieën omvatten het beter benutten van bestaande woningen (zoals woningsplitsing), een grotere inzet van deelauto's, hergebruik van plastics en efficiënter gebruik en hergebruik van staal bij afnemers.

7.2 Duiding resultaten

Gezamenlijk leveren de circulaire strategieën voor de sectoren Gebouwde omgeving en Mobiliteit een jaarlijkse kostenbesparing op van ongeveer € 925 miljoen. Daarbij wordt aangenomen dat efficiënter wonen (zoals het splitsen van woningen) 870.000 nieuwbouwwoningen uitspaart tot 2050 en striktere parkeernormen het aantal deelauto's zal laten toenemen tot 161.000 in 2050. De besparingen in de sectoren Gebouwde omgeving en Mobiliteit kunnen direct met Nederlands beleid gerealiseerd worden, en zijn niet afhankelijk van soortgelijk circulair beleid in andere landen.

Voor de Plastic- en Staalproductie samen bedraagt de jaarlijkse kostenbesparing € 1,9 miljard, waardoor de totale potentiële besparing voor de vier sectoren oploopt tot circa € 2,8 miljard per jaar.

De resultaten moeten worden geïnterpreteerd in het licht van de aannames die in deze studie zijn genomen. Het Koersvaste Middenweg-scenario gaat ervan uit dat de industrie richting 2050 sterk elektrificeert en het gebruik van elektriciteit en waterstof flink toeneemt. Daarnaast zijn de resultaten gebaseerd op een scenario waarin de industrie in Nederland

behouden blijft, in het Referentiescenario meegroeit met de Europese vraag, circulaire strategieën Europees worden toegepast en de lagere vraag in het Circulaire scenario zich vertaalt in een lagere productie in Nederland.

Ter vergelijking: in de impactanalyse van het Klimaatplan berekende CE Delft (2024a) dat duurzamere consumptiepatronen in het LIFE-scenario de kosten van het energiesysteem in Nederland met € 4,6 miljard per jaar verlaagden. Dat de besparing in die studie hoger uitvalt, komt onder meer doordat het LIFE-scenario sectoren omvat die in deze analyse buiten de scope vallen, zoals Landbouw, Luchtverkeer, en de Maakindustrie. Daarnaast zijn de besparingen in CE Delft (2024a) een schatting op basis van de uitkomsten van de impactanalyse die is uitgevoerd door de Europese Commissie (2024). Daarbij zijn de aannames uit het LIFE-scenario die voor Europa als geheel gelden, ook toegepast op Nederland. In deze studie zijn scenario's toegespitst op Nederland, wat leidt tot andere aannames over de omvang van de reducties door circulaire strategieën. Het LIFE-scenario gaat voor mobiliteit en de chemische sector (waar plastics onder vallen) uit van sterkere afnames in autovervoer en plasticproductie: een daling van passagierskilometers van 5% (tegen 1,4% in deze studie) en een reductie van de industriële activiteit in de chemie van 15% (tegen 10% in deze studie). Bovendien zijn de aannames in het LIFE-scenario over de effecten van duurzame consumptie op sectorale activiteit relatief grof en niet gebaseerd op uitgebreid onderliggend onderzoek.

7.3 Sensitiviteitsanalyse

De kostenbesparingen in dit rapport zijn berekend op basis van het Koersvaste Middenweg-scenario van Netbeheer Nederland (2025a). Dit 'centrale' scenario zet de huidige koers van de energietransitie voort en gaat voor 2050 uit van sterke elektrificatie en een grote rol voor waterstof. Daarnaast wordt de industrie in Nederland behouden.

Netbeheer Nederland heeft daarnaast drie alternatieve scenario's ontwikkeld voor het energiesysteem in 2050. Eigen Vermogen richt zich op maximale binnenlandse opwek en forse investeringen in energieopslag en waterstofproductie; in dit scenario blijft de industrie in Nederland behouden. Gezamenlijke Balans gaat uit van Europese samenwerking en een hybride mix van elektriciteit en gas, waarbij aardgas, groengas en biobrandstoffen een blijvende rol spelen; hier verhuist een deel van de energie-intensieve industrie naar het buitenland. Horizon Aanvoer veronderstelt grootschalige energie-import, waardoor eveneens een deel van de energie-intensieve industrie uit Nederland vertrekt en de binnenlandse energievraag daalt.

Ter vergelijking hebben we ook voor de bovengenoemde scenario's van Netbeheer Nederland de kostenbesparingen doorgerekend. De resultaten hiervan staan in Tabel 7. Hierna wordt per sector de uitkomst van deze gevoeligheidsanalyse toegelicht.

Tabel 7 – Jaarlijkse besparingen energiesysteemkosten in 2050 (€) voor de vier toekomstscenario's van Netbeheer Nederland

	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Gebouwde omgeving	900	1.410	1.280	1.160
Mobiliteit	25	20	35	20
Industrie: plastics	1.140	930	530	560
Industrie: staal	770	900	460	420
Totaal	2.835	3.120	2.305	2.160

De besparingen in de **Gebouwde omgeving** variëren van € 0,9 miljard (Koersvaste Middenweg) tot € 1,4 miljard (Eigen Vermogen). In Eigen Vermogen zijn de besparingen het hoogst doordat volledig elektrisch wordt verwarmd en minder nieuwbouw direct leidt tot een lagere elektriciteitsvraag en minder elektriciteitsinfrastructuur. In Gezamenlijke Balans (€ 1,3 miljard) en Horizon Aanvoer (€ 1,2 miljard) vallen de besparingen iets hoger uit dan in Koersvaste Middenweg, vooral omdat deze scenario's uitgaan van een hoog aandeel relatief dure hybride warmtepompen in de warmtevoorziening (55-60% versus 22% in Koersvaste Middenweg). Minder nieuwbouw betekent minder plaatsing van deze systemen, wat in scenario's met een hoger gebruik ervan tot grotere besparingen leidt.

In de sector **Mobiliteit** zijn de verschillen tussen scenario's klein (€ 20 tot € 35 miljoen per jaar). Alle scenario's gaan uit van een volledig elektrisch wagenpark in 2050.

De variatie in kosten komt voort uit uiteenlopende aannames over de manier waarop energie wordt aangeleverd en de bijbehorende kosten in 2050.

Voor de **Plasticindustrie** wordt in de scenario's Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer aangenomen dat een deel van de productie naar het buitenland verschuift. In Horizon Aanvoer krimpt de sector met 44% ten opzichte van 2019. Daardoor daalt de jaarlijkse kostenbesparing tot circa € 0,6 miljard, ongeveer de helft van de € 1,1 miljard kostenbesparing in het Koersvaste Middenweg-scenario, waarin is verondersteld dat de Nederlandse plasticindustrie volledig behouden blijft en meegroeit met de Europese vraag.

Ook voor de **Staalindustrie** wordt in Gezamenlijke Balans en Horizon Aanvoer uitgegaan van het verplaatsen van een deel van de productie naar het buitenland. In Horizon Aanvoer veronderstellen we, net als bij plastics, een krimp van 44% ten opzichte van 2019. De jaarlijkse kostenbesparing komt in dit scenario uit op circa € 0,4 miljard, ongeveer de helft van de € 0,8 miljard in het Koersvaste Middenweg-scenario, waarin de Nederlandse staalindustrie intact blijft en meegroeit met de Europese vraag.

De sensitiviteitsanalyse laat zien dat alternatieve aannames over de vormgeving van het energiesysteem in 2050, gericht zijn op zelfvoorziening, Europese samenwerking of grootschalige import van energie, weliswaar tot verschillen in kostenbesparingen leiden, maar dat de orde van grootte van de besparingen vergelijkbaar blijft. Wanneer een deel

van de Nederlandse industrie naar het buitenland verhuist, nemen de kostenbesparingen door circulair beleid af. Toch blijven er ook in dit scenario besparingen mogelijk, ervan uitgaande dat andere landen eveneens vergelijkbare circulaire strategieën toepassen.

7.4 Conclusies en aanbevelingen

Gezamenlijk kunnen de onderzochte circulaire strategieën, uitgaande van besparingen in nieuwbouw en geremde groei van autopassagierskilometers, plastic- en staalproductie, circa € 2,8 miljard per jaar aan kosten besparen, waarvan € 925 miljoen direct met Nederlands beleid te realiseren is en € 1,9 miljard afhankelijk is van het behoud van de Nederlandse industrie en internationale toepassing van circulair beleid.

In deze studie is een selectie van sectoren onderzocht en is niet het volledige NPCE doorgerekend. De totale kostenbesparing zou waarschijnlijk hoger uitvallen wanneer alle sectoren en circulaire strategieën uit het NPCE zouden worden meegenomen. Ook zijn maatregelen rond recycling en grondstoffensubstitutie buiten scope gelaten, die aanvullende besparingen kunnen opleveren. Tegelijkertijd zijn mogelijke extra kosten van circulaire strategieën, zoals bijvoorbeeld extra logistieke, sorteer- en schoonmaakkosten bij hergebruik van plastics, niet meegenomen.

Daarnaast heeft circulair beleid diverse positieve neveneffecten. Efficiënter gebruik van bestaande woningen verlaagt de nieuwbouwopgave. Een lager elektriciteitsverbruik kan bijdragen aan verminderde netcongestie en zorgt voor lagere (mondiale) CO₂-uitstoot. Ook neemt de grondstoffenafhankelijkheid van niet-Europese landen af, wat de strategische autonomie versterkt. Deelmobiliteit zorgt bovendien voor minder auto's in het straatbeeld en meer ruimte in stedelijke gebieden.

Dit onderzoek laat zien dat circulair beleid niet alleen milieuwinst oplevert, maar ook een belangrijke bijdrage kan leveren aan het verlagen van de kosten van de energietransitie. Directe kostenbesparingen zijn vooral te realiseren in sectoren waar Nederlands beleid zelf het verschil kan maken, zoals de gebouwde omgeving en mobiliteit. Maatregelen als het aanscherpen van parkeernormen om deelmobiliteit te stimuleren en het actief bevorderen van woningsplitsing en optoppen kunnen hier direct effect sorteren. Hoewel de kostenbesparing in mobiliteit in deze studie beperkt is, kan een ambitieuzere groei van deelmobiliteit en het vermijden van investeringen in laadinfrastructuur de totale besparing aanzienlijk vergroten.

Voor de plastic- en staalindustrie laat dit onderzoek zien dat juist internationale samenwerking grote meerwaarde heeft. Omdat deze sectoren sterk concurreren op wereldmarkten en een groot deel van hun productie (circa 75-80%) binnen Europa wordt geconsumeerd, kunnen substantiële kostenbesparingen vooral worden gerealiseerd wanneer circulair beleid breder Europees wordt toegepast. De resultaten ondersteunen daarmee dat versnelling van circulair beleid op EU-niveau aanzienlijke besparingen kan

opleveren voor deze industrieën. Dit onderstreept het belang voor Nederland om in Europees verband te blijven pleiten voor maatregelen die efficiënt grondstoffengebruik stimuleren, zoals strengere eisen aan herbruikbaarheid en recycling in de Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) en zwaardere duurzaamheids- en materiaalstandaarden onder de ESPR-verordening. Aanvullend kan Nederland nationaal instrumenten inzetten, zoals tariefdifferentiatie binnen de Uitgebreide Producentenverantwoordelijkheid (UPV) voor producten met een langere levensduur, verplichtingen voor voorbereiding op hergebruik en een dekkend netwerk van reparatiediensten.

Literatuur

- CBS. (2023a). *Drie kwart volwassenen bezorgd over gevolgen klimaatverandering*.
- CBS. (2023b, 6-11-2023). *Transformaties in de woningvoorraad 2022*. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2023/transformaties-in-de-woningvoorraad-2022?onepage=true&utm_source=chatgpt.com
- CBS. (2023c). *Transformaties in de woningvoorraad 2022*.
- CBS. (2025a). *Hoeveel personenauto's zijn er in nederland?* CBS. Retrieved 28-11 from <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/vervoermiddelen-en-infrastructuur/personenautos>
- CBS. (2025b). *Welke sectoren stoten broeikasgassen uit?* Retrieved 30-09-2025 from <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/welke-sectoren-stoten-broeikasgassen-uit-#:~:text=In%202023%20werd%20van%20de%20totale%20hoeveelheid%20broeikasgassen,minus%20de%20netto%20CO%20%20-vastlegging%20door%20bossen%29.>
- CE Delft. (2021). *Co2-reductie met circulaire kunststoffen in nederland - scenarioanalyse voor 2030 en diverse praktijkcases*.
- CE Delft. (2024a). *Impactanalyse klimaatplan 2025 - 2035*.
- CE Delft. (2024b). *Top 10 van instrumenten ter stimulering van deelmobiliteit*.
- College van Rijksadviseurs. (2023). *De verduurzaming van de staalindustrie in het noordzeekanaalgebied*.
- Colliers. (2020). *De tuin gereduceert tot postzegel*.
- Copper8 & Metabolic. (2023). *Circulaire bouw 2035: Aanzet tot een toekomstperspectief*.
- CROW. (2025). *Staat van de deelmobiliteit 2024*.
- Deloitte. (2025a). *Leidraad deelmobiliteit in vastgoed- en gebiedsontwikkeling*.
- Deloitte. (2025b). *Mobilizing consumer demand for sustainable investments*.
- Economisch Instituut voor de Bouw. (2024). *Meer woningen door verbouw*.
- EIB. (2024). *Potentie en belemmeringen bij optoppen, splitsen en transformeren*.
- Eurofer. (2025). *European steel in figures 2025*.
- Europese Commissie. (2024). *Commission staff working document. Impact assessment report. Part 3. Accompanying the document communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Securing our future. Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society*.
- Gloudemans. (2020). *Parkeernormen binnen binnenstedelijke (her)ontwikkelingen*. Retrieved 28-11 from <https://www.gloudemans.nl/parkeernormen-binnen-binnenstedelijke-her-ontwikkelingen/>
- Goudappel. (2023a). *De impact van station-based autodelen*.
- Goudappel. (2023b). *Deelmobiliteit: Zo maakt u effectief beleid*.
- KiM. (2015). *Mijn auto, jouw auto, onze auto. Deelautogebruik in nederland: Omvang, motieven en effecten*.
- KiM. (2021). *Deelauto- en deelfietsmobiliteit in nederland: Ontwikkelingen, effecten en potentie*.
- Knoop, B. (2025). *Woningsplitsing is weer helemaal terug op de politieke agenda. Financiële Dagblad*. <https://fd.nl/samenleving/1576988/woningsplitsing-is-weer-helemaal-terug-op-de-politieke-agenda>

- Material Economics. (2019). *Industrial transformation 2050*.
- Metabolic & Copper. (2023). *Circulaire bouw 2035 - aanzet tot een toekomstperspectief*.
- Ministerie van KGG. (2025). *Klimaat- en energienota 2025*.
- MuConsult. (2021). *Analyse effecten van groei deelautopark*.
- Natuurlijk! Deelmobiliteit. (2024). *Nulmeting 2022*.
- Netbeheer Nederland. (2025a). *Netbeheer nederland scenario's editie 2025*.
- Netbeheer Nederland. (2025b). *Netbeheer nederland scenario's editie 2025*.
- OECD. (2022). *Global plastics outlook*.
- PBL. (2023). *Integrale circulaire economie rapportage 2023*.
- PBL. (2025). *Toekomstverkenning wlo 2025: Cahier mobiliteit*.
- Plastics Europe. (2023a). *Othe plastics transition. Our industry's roadmap for plastics in europe to be circular and have net-zero emissions by 2050*.
- Plastics Europe. (2023b). *The plastics transition*.
- Plastics Europe. (2025). *Plastics the fast facts 2025*.
- Quee, J. (2025). *Elektrisch rijden in 2050: Een geactualiseerde prognose van elaadnl*.
- RVO. (2025, 15-10-2025). *Aantal laadpunten*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). <https://laadinfrastructuur.databank.nl/mosaic/nl-nl/laadinfrastructuur/aantal-laadpunten>
- Shaheen, S., Cohen, A. & Farrar, E. (2019). Chapter five - carsharing's impact and future. *Advances in Transport Policy and Planning*, 2019, 87-120. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2019.09.002>
- Topsector Logistiek, B.C.I., TNO, CE Delft, Connekt, Districon, Hogeschool van Amsterdam & Panteia. (2019). *Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in de stadslogistiek*.

A Toelichting bij methode

A.1 Gebouwde omgeving

Aantal nieuwe woningen door circulair beleid

In Tabel 8 wordt een overzicht gegeven van het aantal nieuwe woningen dat via circulair beleid kan worden gerealiseerd. Bij kleiner bouwen gaat het nog steeds om nieuwe woningen, maar doordat er minder materiaal wordt gebruikt (kleinere woningen vergen minder bouwmaterialen, waardoor de vraag naar grondstoffen afneemt) kan dit beleid ook worden beschouwd als een onderdeel van circulair bouwen. De gemaakte schattingen van Copper8 en Metabolic zijn prognoses tot 2035. Er zijn geen cijfers beschikbaar tot 2050. Om deze reden hebben we aangenomen dat de toename in dezelfde mate zal doorgaan tot 2050. Vanuit bouwtechnisch oogpunt lijkt dit haalbaar: er is potentieel voor 2,1 miljoen woningen om gesplitst te worden, en daarnaast kunnen er 385.000 tot 517.000 extra woningen worden gerealiseerd door optoppen (EIB, 2024). Dit valt binnen het totale aantal dat we tot 2050 hebben verondersteld.

Tabel 8 – Aantal bespaarde nieuwbouwwoningen per jaar

Circulair beleid	2019-2024	2025-2029	2030-2050
Transformeren	9.000	18.000	10.500
Optoppen	300*	20.000	12.500
Splitsen	2.000*	5.000	5.000
Kleiner bouwen	0	0	0

Bron: Copper8 and Metabolic (2023).

* Bron: EIB (2024).

Splitsing

Er zijn geen openbare gegevens beschikbaar die exact beschrijven welk woningtype na splitsing ontstaat. Voor appartementen wordt ervan uitgegaan dat zij bij splitsing ook weer tot appartementen worden omgebouwd. Voor splitsing van grondgebonden woningen zijn technisch gezien meer opties mogelijk (appartementen, rijtjeswoning, hoekwoning).

Uit gegevens blijkt dat 22% van de grondgebonden woningen wordt gesplitst in twee of meer woningen (Tabel 9). Hierbij nemen we aan dat dit vrijwel altijd leidt tot appartementen, omdat het opsplitsen van een huis in meerdere wooneenheden meestal resulteert in kleinere, zelfstandige appartementen. Voor de overige 78% van de grondgebonden woningen maken we een schatting op basis van de verdeling van de woningvoorraad naar gebruiksoppervlak als geïllustreerd in Tabel 10 en waarin alleen woningen meegenomen worden die voldoende oppervlakte hebben om te kunnen splitsen (70% van alle grondgebonden woningen) (EIB, 2024). De gemiddelde oppervlakte van een recent gebouwde rijtjeswoning is 128 m², terwijl dit bij oudere rijtjeswoningen ongeveer 30 m² lager ligt (Colliers, 2020). Daarom gaan we ervan uit dat een woning met een initieel oppervlak tot circa 200 m² wordt gesplitst in appartementen. Bij woningen met een oppervlak van meer dan 200 m² nemen we aan dat deze worden gesplitst in rijtjeswoningen. Hoekwoningen en vrijstaande woningen zijn over het algemeen groter en worden daarom buiten beschouwing gelaten. Woningen met een oppervlak van meer dan 200 m² beslaan ongeveer 15% van de grondgebonden woningen die geschikt zijn voor splitsing. De overige 85%, waarbij een woonoppervlak geldt van minder dan 200 m², wordt verondersteld gesplitst te worden naar appartementen.

Tabel 9 – Gesplitste panden naar type woning

Gesplitste panden naar type woning	Grondgebonden (%)	Appartementen (%)	Totaal (%)
Gesplitste panden	73	27	100
- 1 extra woning	57	20	78
- 2 of meer extra woningen	16	7	22

Bron: EIB (2024).

Tabel 10 – Woonvoorraad naar gebruiksoppervlak (m²)

Gebruiksoppervlak (m ²)	Grondgebonden	Appartementen
Minder dan 50	21.000	333.000
50 tot 70	98.000	716.000
70 tot 90	489.000	848.000
90 tot 120	1.777.000	465.000
120 tot 150	1.315.000	114.000
150 tot 200	911.000	46.000
200 of meer	535.000	22.000
Totaal	5.146.000	2.544.000

Bron: EIB (2024).

Transformatie

Tabel 11 laat het aantal transformaties zien per oppervlakteklasse in 2022. Hierbij is een inschatting gemaakt van het type woning dat past bij elke oppervlakteklasse, op basis van CBS-gegevens over de gemiddelde woonoppervlakte van eengezinswoningen (143 m² en meergezinswoningen (80 m²). Het aantal transformaties bij een oppervlakte van 75 tot 100 m² zijn evenredig opgedeeld tussen appartementen en rijtjeswoningen en bij een oppervlakte van 100 tot 250 m² tussen rijtjes- en hoekwoningen.

Tabel 11 – Woningtransformaties naar oppervlakteklasse 2022

Oppervlakte	Aantal transformaties	Type woning
15 tot 50 m ²	3.750	Appartement (39%)
50 tot 75 m ²	2.710	Appartement (28%)
75 tot 100 m ²	1.620	Appartement (8%), rijtjeswoning (8%)
100 tot 250 m ²	1.210	Rijtjeswoning (6%), hoekwoning (6%)
250 m ² of groter	270	Vrijstaande woning (3%)

Bron: CBS (2023c).

Kleiner bouwen

Grondgebonden woningtypen omvat alle rijtjes-, hoek- en vrijstaande woningen samen. Van deze woningen verschuift 25% naar appartementen, wat resulteert in een toename van nieuwbouwappartementen en een afname van rijtjes-, hoek- en vrijstaande woningen. Hierbij is uitgegaan van een evenredige verdeling over alle typen, zoals geïllustreerd in Tabel 12 (Copper8 & Metabolic, 2023).

Tabel 12 – Aandeel type grondgebonden woning

Type woning	Aantal nieuwbouw	Aandeel
Vrijstaande woningen	272.864	20,3%
Hoekwoningen	218.846	16,3%
Rijtjeswoningen	852.826	63,4%
Totaal grondgebonden	1.344.536	100%

Bron: Netbeheer Nederland (2025a).

A.2 Mobiliteit

A.2.1 Laadinfrastructuur

Type laadpalen en de vaste kosten per laadpaal zijn ontleend aan het rapport van Topsector Logistiek et al. (2019), bijlage 3.4. De verdeling van laadpalen is gebaseerd op cijfers van RVO (2025), waarin het aandeel publieke, semi-publieke en snellaadpalen wordt gerapporteerd. In 2025 bestaat 38% van de laadpalen uit semi-publieke, 59% uit openbare en 3% uit snellaadpalen.

Er is aangenomen dat de semi-publieke laadpalen overeenkomen met de private laadpalen uit Tabel 13, waarvan ongeveer twee derde bestaat uit AC3,7-thuisladers en een derde uit AC20-laadpalen op bedrijventerreinen. Voor de openbare laadpalen is uitgegaan van een vergelijkbare verhouding tussen AC10- (één derde) en AC20-laadpalen (twee derde). De 3% snellaadpalen zijn verondersteld gelijk verdeeld tussen publieke en private locaties.

Wanneer ervan uit wordt gegaan dat er in 2050 circa 4,3 miljoen laadpalen nodig zijn (Quee, 2025)¹⁷, resulteert dit in totale vaste kosten van ongeveer € 4,3 miljard per jaar. Toegepast op het Circulaire scenario met een 1,7% afname van passagierskilometers, komt dit neer op een jaarlijkse besparing van circa € 75 miljoen.

Het betreft een ruwe schatting van de vaste kosten van laadinfrastructuur, gebaseerd op een vereenvoudigde verdeling van laadpalen en een prognose van het aantal deauto's in 2050. De berekening illustreert dat de potentiële besparing in laadinfrastructuur, aanvullend op de elektriciteitsbesparingen, kan oplopen tot **tientallen miljoenen euro's per jaar**. Hierbij is geen rekening gehouden met mogelijke kostendalingen van laadinfrastructuur in de toekomst.

Tabel 13 – Grove schatting van de totale vaste kosten van laadinfrastructuur in 2050

Type laadpaal	Verdeling laadpalen	Aantal in 2050 (x 1.000)	Vaste kosten (€ per jaar)	Totale vaste kosten (€ miljoenen per jaar)
Privaat				
AC3,7 thuislader	25%	1.086	€ 147	160
AC20 lader bedrijf	13%	543	€ 447	243
FC50 snellader bedrijf	1%	64	€ 6.370	407

¹⁷ Quee, J. (2025) verwacht dat er in 2044 circa 4,3 miljoen laadpalen nodig zijn. In deze studie gaan we gemakshalve ook voor het jaar 2050 van dit cijfer uit.

Type laadpaal	Verdeling laadpalen	Aantal in 2050 (x 1.000)	Vaste kosten (€ per jaar)	Totale vaste kosten (€ miljoenen per jaar)
Openbaar				
AC10	39%	1.695	€ 982	1.665
AC20	20%	848	€ 1.677	1.421
FC50 snellader	1%	64	€ 6.838	437
Totaal	100%	4.300		4.333

A.3 Industrie: plastics

Voor de plasticindustrie berekenen we de kostenbesparingen op basis van hergebruik van plastics. De input voor het Energietransitiemodel is de energievraag van de chemische industrie als geheel, waardoor we eerst moeten schatten welk deel daarvan is toe te schrijven aan de primaire productie van virgin plastics (krakers). Dit aandeel ramen we op 61%. In deze appendix wordt toegelicht hoe deze schatting tot stand is gekomen.

Het directe energieverbruik van de plasticindustrie is niet eenduidig uit statistieken af te leiden, omdat daarin ook het energiegebruik voor verwerking tot plasticproducten is vervat, terwijl wij uitsluitend de primaire productie willen meenemen. Daarom gebruiken we CO₂-uitstoot als proxy voor energieverbruik.

In 2022 produceerde Nederland 6.194 kton plastic, waarvan 5.500 kton fossiel gebaseerd (Plastics Europe, 2023a). Met een klimateffect van 1,8 kg CO₂-eq. per kg fossiele plasticproductie (CE Delft, 2021)¹⁸ komt de uitstoot van deze productie uit op 9,9 Mton CO₂-eq. De totale CO₂-uitstoot van de chemische industrie bedroeg 16,1 Mton CO₂-eq. (CBS, 2025b). Het aandeel van plasticproductie in de emissies van de chemische sector komt daarmee uit op 61% (op basis van de Ecoinvent LCA-database ligt dit aandeel zelfs tussen 75 en 79%). We hanteren daarom conservatief dat 61% van het energieverbruik in de chemische sector is toe te schrijven aan primaire plasticproductie.

Om het effect van hergebruik op het energieverbruik in de chemische sector te bepalen, vermenigvuldigen we de veronderstelde afname in plasticproductie door hergebruik (16%) met dit aandeel van 61%. Dit betekent dat hergebruik van plastics leidt tot een daling van het energieverbruik in de chemische sector met circa 10% (ten opzichte van het Referentiescenario).

¹⁸ Dit is een conservatieve schatting. In de Ecoinvent LCA-database is de klimaatimpact van fossiel gebaseerde plasticproductie 2,2 kg CO₂-eq. (PP) of 2,3 kg CO₂-eq. (PE) per kg plasticproductie.

A.4 Industrie: staal

Voor de staalindustrie is de input voor het Energietransitiemodel direct gebaseerd op de omvang van de sector zelf, waardoor hiervoor geen aanvullende achtergrondberekeningen nodig waren.

B Beschrijving scenario's

Netbeheer Nederland

B.1 Koersvaste Middenweg

Het Koersvaste Middenweg-scenario beschrijft een toekomst waarin Nederland de **huidige koers van de energietransitie voortzet**, gebaseerd op bestaande beleidsambities en technologische trends. Elektriciteit vormt de ruggengraat van het energiesysteem, met een sterke groei van wind-op-zee, zon-op-land en een aanvullende rol voor kernenergie. Elektrificatie van industrie, mobiliteit en gebouwen leidt tot een fors hogere vraag naar elektriciteit, aangevuld met groene waterstof voor moeilijk te elektrificeren processen. In de industrie blijft de productie grotendeels in Nederland, met hoge investeringen in elektrificatie en netverzwaring. De gebouwde omgeving elektrificeert via warmtepompen en warmtenetten, en het personenvervoer (wagenpark) is volledig elektrisch. Het energiesysteem is grotendeels hernieuwbaar, maar kent nog restgebruik van fossiele grondstoffen zoals nafta in de plasticsector. In de staalsector verdwijnt het gebruik van kolen ten gunste van elektrificatie en waterstof.

B.2 Eigen vermogen

Het Eigen Vermogen-scenario richt zich op **energie-autonomie en zelfvoorzienendheid**. Nederland produceert het grootste deel van zijn energie zelf via zon-, wind- en kernenergie, aangevuld met groene waterstof uit binnenlandse elektrolyse. De nadruk ligt op centrale regie en flexibiliteit, met grootschalige opslag, power-to-heat en batterijen. De industrie elektrificeert snel en draait grotendeels op binnenlands opgewekte energie; de gebouwde omgeving zet in op volledig elektrische oplossingen; en het personenvervoer (wagenpark) is volledig elektrisch. Door de sterke binnenlandse focus neemt de afhankelijkheid van import af, maar de energiesysteemkosten zijn hoog door de grote investeringsbehoefte.

B.3 Gezamenlijke balans

Het Gezamenlijke Balans-scenario benadrukt **Europese samenwerking** en een **hybride mix van elektriciteit en gas**. De gasinfrastructuur blijft essentieel door het gebruik van aardgas, groengas, biobrandstoffen en blauwe waterstof. CCS en groengas spelen een grote rol in de verduurzaming van de industrie, terwijl kernenergie en wind-op-zee zorgen voor stabiele elektriciteitsproductie. In de gebouwde omgeving worden hybride warmtepompen veel toegepast en blijft gas deels in gebruik, vooral in oudere woningen. Het personenvervoer is deels elektrisch, deels op waterstof en biobrandstoffen. Nederland importeert veel energie, en de nadruk ligt op balans tussen betaalbaarheid, leveringszekerheid en duurzaamheid.

B.4 Horizon aanvoer

Het Horizon Aanvoer-scenario toont een toekomst waarin Nederland **sterk afhankelijk** is van **internationale energieketens** en **import van duurzame energie**. De energie-intensieve industrie krimpt en verschuift deels naar het buitenland, waardoor de energiesector zich richt op handel, opslag en doorvoer van waterstof. De eigen productie van duurzame elektriciteit blijft beperkt door ruimte- en draagvlakproblemen, terwijl waterstofcentrales het grootste deel van de elektriciteit leveren. In de gebouwde omgeving en het personenvervoer is elektrificatie belangrijk, maar de binnenlandse energievraag is laag. Het non-energetisch gebruik is grotendeels verduurzaamd via biomassa.

Tabel 14 – Samenvatting scenario's Netbeheer Nederland

Aspect	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Algemeen	Voortzetting van huidige beleids-trends.	Sterke focus op energie-autonomie en zelfvoorzienendheid.	Europese samenwerking met hybride mix van elektriciteit en gas.	Nederland leunt op internationale energieketens.
Energie-aanbod	Sterke groei van hernieuwbare en kernenergie, aangevuld met import van waterstof.	Maximale binnenlandse productie via zon, wind, kernenergie en elektrolyse; grootschalige opslag energie.	Hybride mix van elektriciteit en gas; aanzienlijke import van gas, groengas en biobrandstoffen.	Sterke afhankelijkheid van import, vooral waterstof en waterstofdragers.
Gebouwde omgeving	Volledige elektrificatie via warmtepompen en warmtenetten.	Volledig elektrisch, met decentrale opslag.	Hybride systemen met gas en warmtenetten; CCS ondersteunt verduurzaming.	Grotendeels elektrisch; beperkte warmtenetten door lage binnenlandse vraag.

Aspect	Koersvaste Middenweg	Eigen Vermogen	Gezamenlijke Balans	Horizon Aanvoer
Industrie	Sterk geëlektrificeerd.	Volledig geëlektrificeerd en zelfvoorzienend.	Hybride elektrificatie met gas, CCS en waterstof.	Krimp en verplaatsing naar buitenland.
Mobiliteit	100% elektrisch wagenpark.	100% elektrisch wagenpark.	100% elektrisch wagenpark.	100% elektrisch wagenpark.

Bron: CE Delft & Trinomics op basis van Netbeheer Nederland (2025a).