



Effecten van het Rijksbrede Programma
Circulaire Economie en de Transitieagenda's
op de emissie van broeikasgassen

Effecten van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en de Transitieagenda's op de emissie van broeikasgassen

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	30 maart 2018
Auteur(s)	Elmer Rietveld Hettie Boonman Mohammed Chahim Ton Bastein Jinxue Hu
Aantal pagina's	69
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Ministerie Infrastructuur en Waterstaat
Projectnaam	Effecten van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en de Transitie agenda's op de emissie van broeikasgassen
Projectnummer	060.30826

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

Dankbetuiging.....	6	
Samenvatting.....	7	
Context van deze studie		
1.1 Context en doel van deze studie.....	12	
1.2 Hypothese: materiaalgebruik beïnvloedt broeikasgas-emis.....	13	
1.3 Broeikasgas-emissiereducties gevonden in andere studies.....	16	
Inzet van een algemeen evenwichtsmodel		
2.1 Dynamisch Algemeen Evenwichtsmodel.....	18	
2.2 Definitie broeikasgas in Nederland en BKG in de keten.....	20	
2.3 In acht nemen positief effect klimaattransitie.....	20	
Scenario's		
3.1 Introductie scenario's.....	21	
3.2 Scenario 0: Het basispad.....	22	
3.3 Scenario 1: Op basis van de doelen uit het RPCE.....	22	
3.4 Scenario 2: Op basis van de doelen uit de Transitieagenda's.....	23	
3.5 Scenario 3: Op basis van combinatie scenario's 1 en 2.....	24	
3.6 Vermijden overlap doelen circulaire transitie en andere beleidsdossiers.....	25	
Modelresultaten van de drie scenario's.....		27
Conclusies en aanbevelingen		
5.1 Conclusies.....	30	
5.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek.....	31	

Bijlagen

Bijlage A: Het technische rapport

A.1 Toelichting op goed boekhouden.....	34
A.1.1 Gebruik standaarden emissie registraties.....	34
A.1.2 Milieurekeningen CBS, UNFCCC standaarden en EXIOBASE.....	34
A.1.3 Illustratie van overlap tussen doelen transitieagenda's Circulaire Economie en Energieakkoord.....	35
A.1.4 Emissies van broeikasgas door brandstoffen versus overige emissies.....	37
A.1.5 Verdeling resultaten in ETS en non-ETS sectoren.....	37
A.1.6 Overzicht broeikasgas-emissiereductie uitspraken in transitieagenda's circulaire economie.....	38
A.2 De gekwantificeerde doelen van RPCE en TA die de basis vormen voor de overeenkomstige scenario's.....	39
A.2.1 Als resultaten in deze studie als statisch worden behandeld.....	39
A.3 Specifieke aannames van de opgestelde scenario's.....	42
A.3.1 Opmerkingen voor alle scenario's.....	42
A.3.2 Basispad.....	42
A.3.3 Scenario 1: gebaseerd op de doelstellingen in het RPCE.....	44
A.3.4 Scenario 2: Gebaseerd op de doelstellingen uit de transitie-agenda's.....	44
A.3.5 Scenario 3: Gebaseerd op een combinatie van de doelstellingen uit het RPCE en de transitie-agenda's.....	45
A.3.6 Scenario 4: Servitization.....	45
A.4 Overzicht input files: jaarlijkse percentages voor 200 product groepen, per scenario.....	46
A.5 Implementatie EXIOMOD: aggregatie van productgroepen.....	53
A.6 Output per geaggregeerde sector.....	55
A.7 Impacts van Icoonprojecten.....	56
A.8 Andere impacts in 2050.....	58

Bijlage B: Beschrijving EXIOBASE en EXIOMOD

B.1.1 Introduction.....	60
B.1.2 A modular approach.....	61
B.1.3 Economic and environmental data.....	61
B.1.4 Conducting IO and CGEM analysis.....	62

Literatuur.....	68
-----------------	----

Dankbetuiging

Deze studie is verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Namens het ministerie was Bert Kornet het aanspreekpunt; Kees Veerman heeft het initiatief genomen tot deze studie. De begeleidingscommissie bestond uit Aldert Hanemaaijer, Eric Drissen (PBL), Jaap Stokking, Marijke Bos, Frans Duijnhouwer (ministerie EZK), Nicole van Beeck (RVO), Mark Overman (ministerie I&W).

De auteurs van dit rapport zijn hen allen veel dank verschuldigd vanwege het geduld, de betrokkenheid en de behulpzaamheid waarmee zij hun bijdrage aan dit rapport hebben geleverd.

Den Haag, maart 2018

Samenvatting

De transitie naar een circulaire economie in Nederland krijgt (mede) vorm door het Rijksbrede Programma Circulaire Economie (RPCE) Nederland Circulair in 2050! uit september 2016 en de vijf transitieagenda's circulaire economie die zijn aangeboden in januari 2018. In deze studie is gekeken naar wat de bijdrage is aan de klimaatopgave als de in het RPCE en de transitieagenda's te kwantificeren doelen worden gerealiseerd.

Het uitvoeren van het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie kan in Nederland leiden tot een additionele reductie van broeikasgas (BKG) emissies van ongeveer 7,7 Mton CO₂-equivalent per jaar in 2030 en ongeveer 13,3 Mton CO₂-equivalent per jaar in 2050. Dat is een vijfde deel van de beleidsopgave om het 49%-doel te realiseren in 2030. De resultaten berusten op een doorrekening van de impact van gekwantificeerde doelen uit het RPCE en de vijf transitieagenda's. Dit rapport doet geen uitspraken over interventies of maatregelen die nodig zijn om deze doelen te halen. Voor de uitkomsten geldt dat een bandbreedte van 1 Mton in 2030 en 2 Mton in 2050 de uitkomsten robuust maakt.

Om de additionele reductie te realiseren dienen concrete maatregelen te worden genomen en instrumenten concreet worden ingevuld, zodat de effecten in de praktijk ook zullen worden gerealiseerd.

De resultaten van deze studie zijn berekend met behulp van EXIOMOD v2.0, een dynamisch macro-economisch algemeen evenwichtsmodel. Bij de doorrekening zijn een basispad en drie scenario's gebruikt, waarbij de resultaten van de scenario's zijn afgezet tegen dit basispad voor de periode tot 2050. Het basispad wordt gedefinieerd door het WLO scenario "laag", waarbij de BKG-emissies, vanwege de invloed van het tweegradenscenario, op 106 Mton BKG i.p.v. 121 Mton BKG is gesteld. Deze wijziging maakt de gevonden bijdrage van het RPCE en de transitieagenda's aan de klimaatdoelstellingen kleiner. Het eerste scenario is gebaseerd op de door TNO gekwantificeerde strategische doelen uit het RPCE (bijvoorbeeld substitutie van een primair mineraal door bouwafval). Het tweede scenario is gebaseerd op de doelen uit de vijf transitieagenda's (bijvoorbeeld een verschuiving van dierlijke naar plantaardige eiwitten). Scenario 3 is gebaseerd op

een combinatie van scenario 1 en 2 (het RPCE en de transitieagenda's scenario), waarbij dubbeltellingen zijn geëlimineerd. Scenario 3 komt overeen met het regeerakkoord waarin staat vermeld dat het RPCE en de transitieagenda's worden uitgevoerd in het kader van de klimaatopgave. Daarmee is scenario 3 het scenario waarvan de resultaten leidend zijn in de conclusies van deze studie. Scenario 3 blijkt de hierboven genoemde 7,7 Mton en 13,3 Mton in respectievelijk 2030 en 2050 bij te dragen aan de klimaatdoelstellingen.

Een overlap is vermeden tussen impacts op de broeikasgasemissies, van het RPCE en de transitieagenda's enerzijds en impacts van bestaand beleid op energiegebied (zoals weergegeven in het Energieakkoord en/of de Nationale Energie Verkenning, de NEV) anderzijds. De reducties als gevolg van beleid op het gebied van circulaire economie zijn dus additioneel aan reeds vastgestelde of voorgenomen maatregelen die onderdeel zijn van de energietransitie. Ze vormen daarmee een mogelijkheid om conform het regeerakkoord additioneel broeikasgasemissies te reduceren teneinde de 49%-doelstelling in 2030 te bereiken.

De berekende broeikasgas emissiereducties van de in deze studie geanalyseerde doelen zijn conservatiever dan de inschattingen uit eerder verrichte studies. Dit komt mede voort uit de opzet van het model waarbij elke monetaire besparing elders in de economie weer wordt ingezet: het zogenaamde "rebound effect". Ook prijsveranderingen en verschuivingen in import/export verkleinen de impacts op broeikasgas emissies in deze doorrekening. Bovendien gebruikt deze studie alleen de gekwantificeerde doelen uit het RPCE en de transitieagenda's, terwijl deze doelen niet altijd de volle breedte bestrijken van circulaire handelingsperspectieven, zoals intensiever -of langer gebruik of ontwerp dat het rendement van recycling vergroot. Het is dus voorstelbaar dat de impact van een circulaire transitie op de Nederlandse BKG-emissie nog groter is dan de resultaten uit deze studie suggereren. De doelen zijn ook niet evenredig verdeeld over de transitieagenda's, de agenda's van biomassa & voedsel en kunststoffen bevatten naar verhouding veel gekwantificeerde doelen en dragen daardoor sterker bij aan de totale impact.

Er wordt algemeen aangenomen dat een significante hoeveelheid (kritische) materialen nodig zijn voor het realiseren van de energietransitie. In deze studie is de beschikbaarheid van (kritische) materialen voor de energietransitie nog niet meegenomen. Het uitdiepen van deze relatie verdient intensieve aandacht in de komende jaren. Daarnaast is het nodig

dat per transitie agenda wordt ingevuld met behulp van welke maatregelen de effecten kunnen worden gerealiseerd.

In onderstaande tabel worden de methodische keuzes van deze studie nogmaals opgesomd.

Keuzes in deze studie	Opmerkingen
Gekwantificeerde doelen uit RPCE en de transitieagenda's zijn vertaald naar macro-economisch model, omdat deze voldoende concreet zijn	Acties uit RPCE en transitieagenda's zijn niet gemodelleerd, omdat relaties met producten en sectoren te moeilijk vast te stellen zijn
Economisch basispad op basis WLO laag	BKG-emissie basispad gekozen als "WLO laag +" om tegemoet te komen aan rol tweegradenscenario in klimaatbeleid sinds verschijnen WLO scenario's (november 2015)
Gebruik EXIOBASE en dynamisch macro-economisch model EXIOMOD	Doorwerking BKG-emissie reducties op rest van de economie wordt geanalyseerd
Gemodelleerde onderdelen van het RPCE en de transitieagenda's overlappen niet met vastgesteld of voorgenomen beleid NEV	





1

Context van deze studie

1.1 Context en doel van deze studie

In 2016 is het Rijksbrede Programma Circulaire Economie (RPCE)¹ verschenen, resulterend in een op 24 januari 2017 ondertekend Grondstoffenakkoord. Gedurende 2017 is gewerkt aan vijf transitieagenda's (Biomassa en Voedsel, Kunststoffen, Maakindustrie, Bouw en Consumptiegoederen) op basis van het Grondstoffenakkoord.

Eerdere analyses op het gebied van circulaire economie gaan uit van positieve effecten voor de economie, de arbeidsmarkt en het milieu. Het regeerakkoord van het huidige kabinet stelt dat het RPCE en de transitieagenda's als onderdeel van het klimaatbeleid worden uitgevoerd, gegeven de bijdrage die een meer circulaire economie kan leveren. Daarbij is het doel om in 2030 49% emissiereductie van de emissie van broeikasgassen (in het vervolg van dit rapport: BKG) te realiseren.

Het doel van deze studie is het beantwoorden van de vraag:

“Wat is de bijdrage van het halen van de kwantitatieve doelen uit het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie aan de klimaatopgave zoals bepaald in de nationale klimaatdoelstellingen?”

De studie gaat er van uit dat de gestelde kwantitatieve doelen in de transitieagenda's circulaire economie en/of het Rijksbrede Programma Circulaire Economie worden gehaald. De studie gaat dus niet in op de wijze hoe deze doelen (bijvoorbeeld via specifieke interventies) zouden moeten worden bereikt. Maatregelen uit het RPCE en/of de transitieagenda's zijn niet voldoende causaal te verbinden met producten of sectoren en daarom niet gemodelleerd (bijvoorbeeld maatregelen rond kennisontwikkeling, emissieboekhouding, wetgeving rond lease of reparatie etc.).

De studie geeft een kwantitatieve onderbouwing van de hypothetische effecten van de transitie-agenda's en het RPCE². Deze hypothetische effecten hebben vooral betrekking op het verschuiven van “inputs” voor sectoren, zoals het gebruik van andere en/of secundaire materialen. De resultaten van deze studie illustreren daardoor de effecten van nieuw beleid (beprijzen, normeren, subsidiëren etc. en de bijbehorende schaalniveaus) op het raakvlak van BKG-emissiereductie en circulaire economie. Tegelijkertijd biedt deze studie dus in mindere mate handelingsperspectief voor specifieke maatregelen.

¹<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/09/14/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050>

De Nederlandse klimaatdoelstellingen gaan uit van 49% BKG-emissiereductie in 2030 en 85-95% in 2050 ten opzichte van 1990. De maatregelen in het huidige regeerakkoord zullen een dergelijke reductie nog niet doen realiseren³. Additionele maatregelen zijn nodig, zoals bijvoorbeeld de maatregelen die voortkomen uit het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie.

De reductie van het gebruik van kritieke grondstoffen (bijvoorbeeld noodzakelijk voor technologie t.b.v. de energietransitie) is nadrukkelijk benoemd als onderdeel van de strategische doelstellingen van het RPCE. Echter, de relatie tussen de energietransitie en het daarvoor noodzakelijk grondstofgebruik wordt in deze studie niet meegenomen omdat dit doel niet is gekwantificeerd.

1.2 Hypothese: materiaalgebruik beïnvloedt broeikasgas-emissie

De hypothese achter dit onderzoek is dat circulaire strategieën leiden tot reducties van BKG-emissies in aanvulling op de reducties die door maatregelen t.b.v. de energietransitie behaald kunnen worden. Circulaire strategieën zijn gericht op bijvoorbeeld levensduur verlenging, lease, gedeeld gebruik en nog efficiëntere recycling.

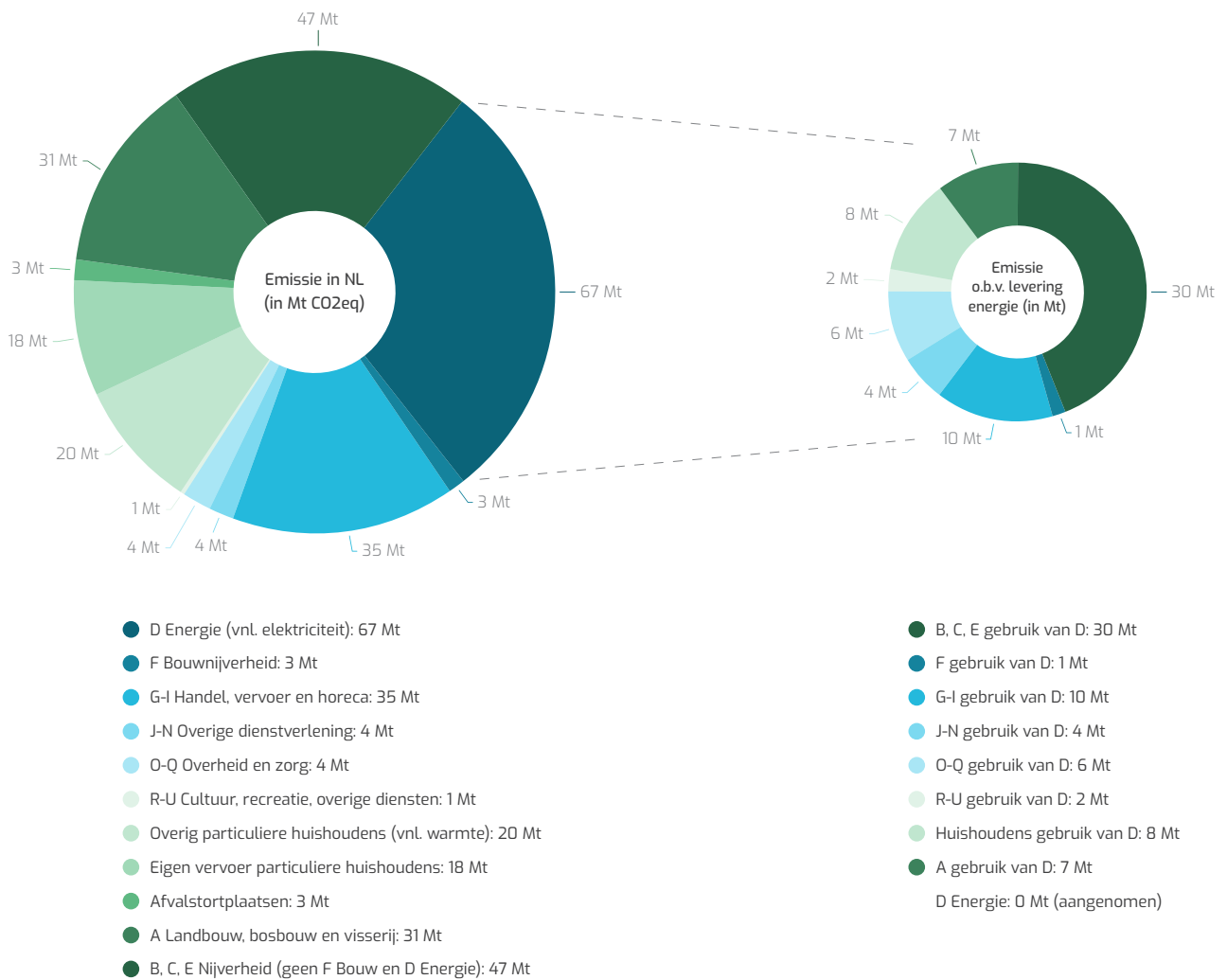
Om bovenstaande te illustreren zijn in Figuur 1 de emissies van BKG naar de lucht op Nederlandse bodem gegeven voor 2015. Enkele zaken vallen op: de grootste uitstoot kan worden toegeschreven aan de nijverheid, exclusief bouwactiviteiten. Dit deel van de economie (delfstoffen-, industrie- en utiliteiten) is verantwoordelijk voor bijna de helft van de emissies, waarvan de energiesector op haar beurt de helft in beslag neemt (ca. 67 Mton). Deze sectoren vragen en leveren materialen aan een economie. Deze sectoren gebruiken en produceren dus zowel primaire grondstoffen, halffabricaten en eindproducten zoals veevoeder, basismetalen, ruwe olie, bouwmaterialen, voertuigen, machines, elektronica etc.

Het aandeel van de energiesector aan de totale BKG-emissie wordt in Figuur 1 uitgesplitst (in het rechter cirkeldiagram, op basis van de levering van aardgas en elektriciteit) naar de afnemers van de energiesector. Ze komen feitelijk "bovenop" de emissies die deze

² Zoals bevonden in <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/07/06/tno-rapport-ex-ante-evaluatie-van-het-rijksbrede-programma-circulaire-economie>

³ <http://www.pbl.nl/publicaties/analyse-regeerakkoord-rutte-iii-effecten-op-klimaat-en-energie>

sectoren zelf veroorzaken door hun professionele activiteiten. Dit kan ook wel worden gezien als het verschil tussen scope 1 en scope 2 in emissieanalyse⁴.



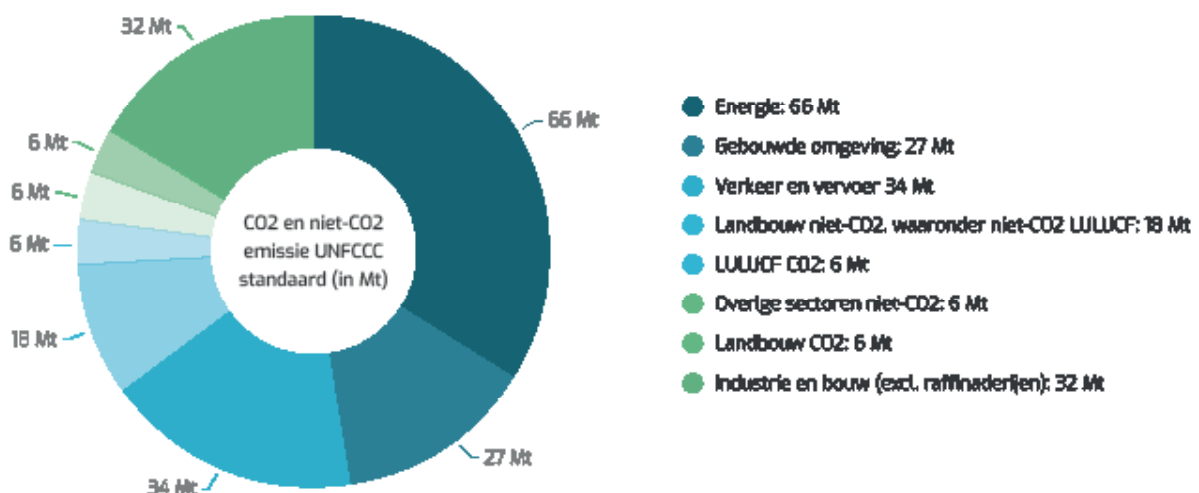
Figuur 1: jaarlijkse CO2eq (c.q.BKG) emissies naar lucht in Nederland (bron: Milieurekeningenstatline CBS⁵)

⁴ Scope 1 van een emissieanalyse betreft de emissie verbonden aan bedrijfsactiviteiten. Scope 2 van de analyse betreft daarbij emissies vrijgekomen bij elektriciteit opgewekt door andere bedrijven. Scope 3 neemt de emissies in de gehele keten mee, bijvoorbeeld emissies verbonden aan de onttrekking van grondstoffen en afvalverbranding.

⁵ <http://statline.cbs.nl/Statweb/selection/?DM=SLNL&PA=83300NED&VW=T>

De implicatie van Figuur 1 is dat een relevante reductie kan worden bereikt van BKG-emissies via "circulaire" maatregelen die de materiaal-intensieve activiteiten beïnvloeden in de sectoren landbouw, de nijverheid, bouw, horeca en logistieke dienstverlening.

Figuur 1 is gebaseerd op macro-economische sectorindelingen, voor klimaatbeleid wordt echter de UNFCCC definitie gehanteerd. Een indeling op basis van de UNFCCC definitie wordt getoond in Figuur 2. De niet-CO2 emissies in deze figuur zijn Methaan (CH₄), F-gassen en Lachgas (N₂O) die samen met CO₂ optellen tot het geheel aan BKG. Dit figuur illustreert dat er in relatieve en absolute zin verschillende manieren zijn om BKG-boekhouding te verrichten. In bijlage A.1.1 wordt nader ingegaan op de verschillende emissie standaardregistraties.. De totalen in Figuur 1 en 2 (respectievelijk 233 Mton en 195 Mton) wijken dus af, bijvoorbeeld vanwege de verrekening van internationaal transport. In het totaal van de gebouwde omgeving (27 Mton) zitten emissies van alle utiliteitsbouw (handel, dienstverlening, overheid) en niet-vervoeremissies van huishoudens.



Figuur 2: indeling CO₂ en niet-CO₂ emissie volgens BKG thema's, emissie per jaar (bron: Milieurekeningenstatline CBS⁶)

⁶ <http://statline.cbs.nl/Statweb/selection/?DM=SLNL&PA=70946NED&VW=T>

1.3 Broeikasgas-emissiereducties gevonden in andere studies

In de afgelopen jaren hebben tal van andere studies de relatie geschat tussen maatregelen die onderdeel zijn van een circulaire transitie en BKG-emissiereducties. In Tabel 1 staan een aantal voorbeelden van studies waarin impacts van een circulaire transitie wordt gegeven. Voor de genoemde studies geldt dat de impact op BKG-emissies is gebaseerd op de maatregelen die kort zijn beschreven in Tabel 1. Daarbij is ten behoeve van de onderhavige notitie in alle gevallen een poging gedaan om de resultaten te vertalen naar de betekenis voor de Nederlandse context. Deze berekeningen zijn veelal gebaseerd op gebruik van kengetallen of het gebruik van statische modellen. Afgezien van het Matter-project en de studie van de Club van Rome is er in de genoemde studies geen gebruik gemaakt van een basispad.

In het Regeerakkoord van kabinet Rutte III werden doelen opgenomen op het gebied van BKG-emissiereductie in 2022 (en verder). Deze zijn additioneel ten opzichte van bestaand beleid (Energieakkoord/ NEV)⁷. Het regeerakkoord kent 1 Mton BKG-emissiereductie toe aan een bijdrage van het circulaire economie-programma op basis van een toename in recycling.

Deze studie biedt een inhoudelijke verdieping ten opzichte van bovenstaande studies. Op de eerste plaats wordt gebruikt gemaakt van een economisch model dat het mogelijk maakt de bijdrage van RPCE- en transitiedoelen aan Nederlandse BKG-emissies expliciet te bekijken. Op de tweede plaats leidt het gebruik van een algemeen evenwichtsmodel (EXIOMOD) tot een analyse van complexe en indirecte effecten in andere sectoren dan waarop de doelstellingen in directe zin betrekking op hebben. Hoofdstuk 2 biedt een dieper inzicht in deze aanpak. Op de derde en laatste plaats worden de BKG-emissie van deze studie gerapporteerd in dezelfde (UNFCCC) emissie standaarden die gebruikelijk zijn bij onderzoek in het kader van de klimaatopgave.

⁷<http://www.pbl.nl/publicaties/analyse-regeerakkoord-rutte-iii-effecten-op-klimaat-en-energie>

Wie	Jaar studie	Horizon	Extrapolatie naar directe BKG-emissiereductie in Nederland (Mton) per jaar	Beschrijving van bevonden reductie
Bio by Deloitte	2016	2030	22	Gevonden door reductie van voedselafval, majeure schaalvergrotingen in Electrical Equipment & Electronics en transport equipment recycling en een meer circulaire bouw. De waarde van 22Mton is gebaseerd op de ondergrens van de in deze studie bepaalde bandbreedte, welke wordt gesteld op 13% tot 66% reductie voor EU landen.
Club van Rome	2015	2030	5	Berekend met het, voor BKG minst gunstige, "materiaal efficiëntie" scenario, t.o.v. een "business as usual scenario" (basispad). Dit betreft reductie van primaire grondstoffen met 50% en het verdubbelen van de levensduur van goederen/objecten met een "lange levensduur".
Ellen mcArthur Found.	2015	2030	25	Heeft betrekking op circulaire strategieën voor mobiliteit, voedsel en gebouwde omgeving.
Matter project	2001	2050	30	De studie geeft aan dat 67% van de totale materiaal gerelateerde (nijverheid minus energie) BKG-emissies in West-Europese landen kunnen worden gereduceerd met materiaal-efficiëntie maatregelen, t.o.v. een baseline scenario, gegeven een BKG prijs van 100 EUR/ton.
McKinsey & Company	2016	2040	20	Heeft betrekking op de industrie. De meest conservatieve raming voor 2040 is genomen (60% i.p.v. 95% reductie t.o.v. 1990). Maatregelen omvatten efficiëntie verhogingen, elektrificatie en CCS/U. Kosten worden in lopende prijzen geschat op 21-23 mld. EUR.
OECD	2012	2030	12	Heeft betrekking op verbeterde recycling, 4% van totale BKG van huidige jaarlijkse uitstoot. De genoemde 12Mton komt overeen met ca. 120% van de BKG-emissie van de sector waterzuivering en afvalverwerking in NL in 2012.
TNO	2013	2025	17	Op basis van vijftientig aangenomen specifieke trends in EEE en metaal. Deze worden vervolgens geëxtrapoleerd naar de NL economie.

Tabel 1: overzicht bevonden binnenlandse BKG impacts als gevolg van een set maatregelen die passen in een circulaire transitie.

2

Inzet van een algemeen evenwichtsmodel

In deze studie wordt het macro-economisch model EXIOMOD v2.0 toegepast. In dit hoofdstuk wordt EXIOMOD kort geïntroduceerd en wordt een aantal aandachtspunten aangestipt ten behoeve van een goede toepassing en goede interpretatie van EXIOMOD.

2.1 Dynamisch Algemeen Evenwichtsmodel

EXIOMOD is een 'computable general equilibrium model' (algemeen evenwichtsmodel). Dit betekent dat het model op basis van veranderingen in vraag, aanbod -en eenheidsprijzen in een economie een nieuw evenwicht zoekt over meerdere jaren. De scenario's die als input in dit model worden gebruikt zijn te beschouwen als een serie van jaarlijks toebedeelde statische schokken aan het systeem van de economie. Het model zoekt vervolgens naar een dynamisch nieuw evenwicht. Dit doet het model voor de gehele (wereld)economie, verschillende productgroepen en sectoren, met aanpassingen van gebruik van inputs per sector, prijzen, demografie en milieu-impact-coëfficiënten (zoals EUR/Ton BKG-emissies). Het model biedt daardoor de mogelijkheid uitspraken te doen over emissies in ketens en over specifieke landen.

Het model EXIOMOD v2.0 baseert de berekeningen op de data uit EXIOBASE v3.3. De data in EXIOBASE zijn in een periode van tien jaar ontwikkeld door Europese toonaangevende kennisinstututen zoals NTNU, Wuppertal, UC London, Wien University en CMLeiden. Instututen als het PBL, OECD⁹ of het JRC van de EU gebruiken EXIOBASE in hun berekeningen. Het basisjaar van deze studie is 2012.

⁹ Uit een OECD review paper: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPRPW/WPI-EEP\(2017\)1/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPRPW/WPI-EEP(2017)1/FINAL&docLanguage=En)

All models considered in this review include at least one upstream extractive sector, and many differentiate between mineral extraction and different types of fossil fuel or biomass extraction. EXIOBASE has the most disaggregated upstream production structure, differentiating between forestry, fisheries, 11 agricultural sectors, 4 fossil fuel sectors, and 11 mining sectors. The EXIOBASE SAM has perhaps the best representation of waste related activities, with individual sectors for waste collection, incineration, disposal, metal recycling and non-metal recycling

Het voordeel van een wereldwijde database zoals EXIOBASE is dat alle gerapporteerde economische activiteit, materiaalgebruik en milieu-impacts onderdeel zijn van de analyse. Bovendien dwingt het gebruik van deze database en het model om maatregelen zoals beschreven in een RPCE of de transitieagenda's circulaire economie te kwantificeren en te specificeren.

Het is tegelijk belangrijk om bewust te zijn van de (mogelijke) beperkingen van het macro-economisch modelleren. Deze modellen ontleen hun uitkomsten vanzelfsprekend aan de gebruikte data en economische principes (tendens naar evenwicht, elasticiteiten, goed geïnformeerde agenten etc.), die in ogenschouw genomen moeten worden bij het interpreteren van de resultaten. Daarnaast staan empirische macro-economische modellen per definitie op een gespannen voet met een brede maatschappelijke disruptieve transitie, zoals de transitie naar een meer circulaire economie wordt verwacht te zijn.

De meeste studies naar de relatie tussen economische, sociale en milieukundige aspecten zijn statisch, zelfs als ze zich jaarlijks herhalen. Statische resultaten gaan uit van een verandering relevant voor een specifieke productgroep of specifiek proces, waarbij vervolgens geen effect op de (wereld)economie wordt meegenomen of verondersteld. De theorie achter een evenwichtsmodel c.q. dynamische impacts is dat eenmalige of periodieke statische veranderingen in één of meerdere sectoren zich uitbreiden naar de hele economie in binnen- en buitenland, te vergelijken met een "waterbedeffect". Het model zoekt een nieuw evenwicht, een evenwicht dat wel de hele wereldeconomie modelleert. Een voorbeeld van zo'n effect is het zogenaamde "rebound effect": besparingen enerzijds leiden tot toenemende bestedingen elders. Het zijn juist deze overwegingen die ertoe hebben geleid dat in deze studie van het algemene evenwichtsmodel EXIOMOD is uitgegaan: het levert immers een door empirie bewezen, zij het in sommige gevallen conservatiever, beeld op van de impact van circulaire maatregelen op de reductie van BKG-emissies.

In Bijlage A (Het technische rapport) wordt nader ingegaan op dit rebound effect, een overzicht van de jaarlijkse optredende statische schokken. In Bijlage 2 wordt een nadere introductie gegeven van het Algemeen Evenwichtsmodel EXIOMOD.

2.2 Definitie broeikasgas in Nederland en BKG in de keten

In deze studie worden de effecten van het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie op de BKG-emissies van de Nederlandse economie gepresenteerd. Hierbij is het onderscheid belangrijk welke emissies op Nederlands grondgebied plaatsvinden en welke elders in de wereld.

De emissies op Nederlands grondgebied zijn onderdeel van de voor Nederland bepaalde "Nationally Determined Contributions", ofwel de Nederlandse bijdrage aan het klimaat-akkoord van Parijs. Deze worden in deze studie berekend volgens de standaard van de Verenigde Naties (de UNFCCC c.q. IPCC standaard).

De emissies die plaatsvinden in de keten buiten het Nederlands grondgebied worden ook berekend, naast de emissies op Nederlands grondgebied. Dit is inherent aan het toepassen van het macro-economisch model EXIOMOD dat de gehele wereldeconomie beschrijft. Zo kunnen de verhoudingen worden gegeven tussen de BKG-emissies door de Nederlandse economie in binnen- en buitenland. In Bijlage A wordt een nadere toelichting gegeven op de definitie van de BKG.

2.3 In acht nemen positief effect klimaattransitie

Dankzij de positieve effecten van de energietransitie zal naar verwachting uitstoot van BKG ten behoeve van energie-opwekking, in 2030 en 2050 afnemen. De veranderingen in de energiemix maken de geleverde energie dus schoner. Dit betekent dat een reductie van emissies als gevolg van maatregelen in een circulaire transitie niet moeten uitgaan van emissies op basis van het jaar 2012. Dit zou het positieve effect op BKG-emissies van een circulaire transitie overschatten. Immers, een daling van energiegebruik door maatregelen die passen in een circulaire transitie (bijvoorbeeld verlengen levensduur) in 2030 of 2050 leidt tot netto minder emissiereductie in het geval deze energie schoner wordt geproduceerd. Deze indirecte gevolgen van de energietransitie worden in de uitwerking van de scenario's (via het in hoofdstuk 3 te introduceren 'basispad') meegenomen.

Het effect van autonome energiebesparingen van producten, bijvoorbeeld huishoudelijk apparatuur, wordt niet apart meegenomen. Deze effecten worden aangenomen onderdeel te zijn van het basispad.

3

Scenario's

3.1 Introductie scenario's

De toepassing van het model EXIOMOD gaat uit van een basispad ('scenario 0') en drie scenario's⁹:

0. Basispad;
1. Scenario 1: Gebaseerd op de door TNO gekwantificeerde doelen uit het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en expliciet gemaakt in de ex-ante-evaluatie van het RPCE;
2. Scenario 2: Gebaseerd op de gekwantificeerde doelen van een combinatie van de vijf transitieagenda's;
3. Scenario 3: Gebaseerd op een combinatie van scenario's 1 en 2, waarbij ervoor gewaakt is dubbeltellingen te introduceren.

Voor alle scenario's geldt dat de uitkomsten worden gerapporteerd ten opzichte van het basispad voor het desbetreffende jaar en niet ten opzicht van de status quo in het basisjaar 2012. Het basispad gaat bovendien uit van economische groei van 1,1% per jaar. Alle scenario's, de aannames en de wijze waarop het heeft geleid tot "input bestanden" voor de modellering zijn uitgebreid beschreven in Bijlage A.3.

Geen enkel scenario gaat "exogeen" (c.q. in de scenario inputbestanden) uit van een aanpassing in de verhouding tussen Toegevoegde Waarde en Output (verschil inkoopkosten en verkoop opbrengsten van een sector), belastingen, de absolute omvang van de finale consumptie van specifieke productgroepen of de omvang van investeringen in vaste activa (gebouwen, machines, voertuigen, ICT etc.). Endogeen, d.w.z. binnen de berekeningen die het model maakt, kunnen deze zaken wel veranderen. De nadruk is in alle scenario's bewust gelegd op een verschuiving in de economie van het gebruik van bepaalde productgroepen c.q. macro-economische inputs. Simpel gezegd: meer secundaire materialen en meer diensten, mindere primaire materialen.

De scenario's worden in dit hoofdstuk kort beschreven. Vervolgens wordt in het volgende hoofdstuk op de resultaten ingegaan.

⁹ Een 4e scenario genaamd "servitization" met hoge materiaalreducties (tot 80%) en impact service-sectoren is ook opgenomen in het technisch rapport

3.2 Scenario 0: Het basispad

Dit scenario gaat voor de macro-economische groei uit van het Welvaart en LeefOmgeving (WLO)¹⁰ "laag" scenario, met een jaarlijks gemiddelde groei tot 2050 van 1.1%.

In het WLO-scenario "laag" neemt in 2050 de BKG-emissie af met 45% t.o.v. het niveau van 1990 (overblijvende BKG-emissie 121 Mton per jaar). Het WLO scenario is beleidsrijker en daarmee ambitieuzer dan het geheel aan vastgesteld of voorgenomen beleid in de Nationale Energie Verkenning (NEV)¹¹, hoewel voor 2030 de geprojecteerde BKG-emissie voor zowel WLO "laag" en de NEV beide 154 Mton bedraagt. Gegeven de impact van het klimaatakkoord van Parijs op de beleidsvorming is besloten om het basispad in deze studie te stellen op een jaarlijkse BKG-emissie in 2050 van 106 Mton en niet 121 Mton per jaar die het WLO laag scenario voorschrijft. Deze aanpassing is gebaseerd op de consequenties van het volgen van het tweegradenscenario, zoals ook beschreven in de WLO bijsluiter¹² en het achtergronddocument van de WLO cahier "energie en klimaat"¹³. Deze keuze maakt de potentiële bijdrage van kwantitatieve circulaire economie doelstellingen aan de klimaatdoelstellingen overigens kleiner.

De trends zijn aangevuld door de trends voor staal-, kunstmest -en basisplastic productie uit het "lage" scenario van de WLO studie. Deze zijn ook gegeven in Annex 1 van het achtergronddocument "energie en klimaat". In scenario's voor andere materiaalsoorten voorziet het WLO cahier niet. Het materiaalgebruik wordt voor overige materialen gebaseerd op de grondstoffen trendstudie van de Europese Commissie¹⁴.

3.3 Scenario 1: Op basis van de doelen uit het RPCE

Dit scenario is opgesteld op basis van het beleidsdocument RPCE en de vervolgens door TNO gekwantificeerde impacts van de doelen zoals deze zijn gesteld in hoofdstuk 5 van het beleidsdocument in hun "ex-ante" studie¹⁵. De nadruk in dit scenario ligt op

¹⁰ <https://www.cpb.nl/publicatie/toekomstverkenning-welvaart-en-leefomgeving-wlo-2015>

¹¹ <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>

¹² http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/PBL_2015_WLO_Bijsluiter_1771.pdf, pagina 27

¹³ <http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-klimaat-en-energie-1775.pdf>

¹⁴ http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf

¹⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/07/06/tno-rapport-ex-ante-evaluatie-van-het-rijksbrede-programma-circulaire-economie>

verschuivingen in metaal-, mineraal- en kunststoffen gebruik. Hoewel biomassa ook een prioriteit is in het RPCE zijn deze materialen geen onderdeel van de RPCE 50% reductiedoelstelling vanwege ambities op voor de "biobased" economie. Reducties of verschuivingen in biomassa of fossiele brandstoffen zijn aldus in dit scenario niet voorzien. Het negeren van verschuivingen in het gebruik van biotische grondstoffen wordt als geldig uitgangspunt aangenomen gegeven de als groot aangenomen milieukundige sociale en economische kosten (FAO 2014). Ook de rol van circulaire diensten zoals reparatie, onderhoud en lease is nagenoeg afwezig.

Een voorbeeld van een kwantitatief doel uit het RPCE is het volledig recyclen van asfalt. Dit heeft effect op het jaarlijks gebruik door de economie van productgroep "Other non-metallic mineral products". Dit gebruik neemt af. Wat de nieuwe bestemming is van de restmaterialen van de raffinage valt buiten de scope van dit onderzoek.

3.4 Scenario 2: Op basis van de doelen uit de Transitieagenda's

Dit scenario wordt opgesteld op basis van de op 15 januari 2018 gepresenteerde transitieagenda's en de vastgestelde kwantitatieve doelen daarin. De belangrijkste aanvullingen ten opzichte van het scenario RPCE (scenario 1) is het in acht nemen van veranderingen van materiaalgebruik in de landbouw en een iets grotere rol voor private en publieke diensten. Omgekeerd zijn enkele vormen van materiaalgebruik in het RPCE wel benoemd die een kleinere (of geen) rol hebben in de transitieagenda's. Hoewel de transitieagenda bouw wel refereert aan andere akkoorden, zoals het beton-akkoord, hebben we aan deze referenties geen kwantitatieve doelstellingen kunnen ontleen.

De gemodelleerde doelen zijn niet evenredig verdeeld over de transitieagenda's, de agenda's van biomassa & voedsel en kunststoffen bevatten naar verhouding veel gekwantificeerde doelen. Voor een volledig overzicht van de gemodelleerde kwantitatieve doelen in scenario 2 zie bijlage A.2.

Een voorbeeld van een kwantitatief doel uit de transitieagenda's circulaire economie is het vergroten van het aandeel plantaardig eiwit in de Nederlandse voedselconsumptie. Dit

heeft o.a. effect op het jaarlijks gebruik door de economie van productgroepen "Pigs" of "Raw milk". Dit gebruik neemt af.

De procentuele bijdrage aan dit scenario (c.q. aan de modelmatige input) van de verschillende transitieagenda's is in Tabel 2 beschreven. De bijdrage is uitgedrukt op basis van de jaarlijkse verandering van het gebruik van productgroepen door de Nederlandse economie. Het hogere aandeel voor de Biomassa & Voedsel en Kunststoffen agenda betekent simpelweg dat deze agenda's kwantitatieve doelen bevatten met een grotere BKG-impact. Alle kwantitatieve doelen van de agenda's zijn opgenomen: de omvang van de bijdragen is niet onderworpen aan een selectie.

Transitieagenda	Aandeel in BKG-emissiereductie in transitieagenda scenario in NL in 2050
Biomassa en Voedsel	34%
Kunststoffen	32%
Maakindustrie	11%
Bouw	17%
Consumptiegoederen	6%
<i>Totaal</i>	100%

Tabel 2: Bijdrage aan scenario 2 van vijf transitieagenda's. De bijdrage is bepaald op basis van jaarlijkse verandering van gebruik van productgroepen door Nederlandse economie die het meest direct aan transitieagenda's verbonden zijn

3.5 Scenario 3: Op basis van combinatie scenario's 1 en 2

De individuele bijdragen van de door TNO gekwantificeerde doelen uit het RPCE (scenario 1) en de transitieagenda's (scenario 2) hebben een kleine inhoudelijke overlap, bijvoorbeeld op het gebied van gebruik van plastic recycling en tegengaan van voedselverspilling. Het modelleren van beide scenario's leidt dus tot een totale BKG-emissiereductie die iets kleiner is dan de eenvoudige optelling van de twee individuele scenario's. Beide scenario's volgen de UNFCCC standaard in de zin dat ze geen betrekking hebben op bijvoorbeeld zeevaart en internationale luchtvaart.

Scenario 3 komt overeen met het regeerakkoord waarin staat vermeld dat het RPCE en de transitieagenda's worden uitgevoerd in het kader van de klimaatopgave. Daarmee is scenario 3 het scenario waarvan de resultaten leidend zijn in de conclusies van deze studie

3.6 Vermijden overlap doelen circulaire transitie en andere beleidsdossiers

Deze studie wil de mogelijke bijdrage van een circulaire transitie aan de klimaatopgave in beeld brengen. Het is daarbij belangrijk om dubbeltellingen te vermijden, die zouden kunnen ontstaan door het analyseren van een te groot aantal beleidsdoelen.

Om een ongewenste overlap van beleidsdoelen te vermijden worden in de opzet van deze studie de volgende twee vragen gesteld:

1. Zijn de te analyseren kwantitatieve doelen onderwerp van reductie van materiaalgebruik volgens de drie strategische doelen van het RPCE? ("zijn de doelen onderdeel van een circulaire transitie?")
2. Zijn de te analyseren kwantitatieve doelen reeds onderdeel van overig vastgesteld- of voorgenomen beleid? ("zouden de doelen ook worden nagestreefd zonder RPCE en transitieagenda's?")

Kwantitatieve doelen uit het RPCE of de transitieagenda's circulaire economie worden in deze studie slechts geanalyseerd indien het antwoord bij vraag 1) "Ja" is en bij vraag 2) "Nee" luidt.

In Tabel 3 is een aantal voorbeelden van toedelingen weergegeven. De voorbeelden zijn ontleend aan de gekwantificeerde doelen zoals volledig beschreven in Bijlage A.2. De voorbeelden in de tweede kolom zijn geen uitputtende weergave van alle mogelijke circulaire strategieën.

Sector	Geen strategisch doel uit RPCE en/of reeds onderdeel van overig vastgesteld of voorgenomen beleid. Geen onderdeel deze studie	Voorbeelden van geanalyseerde soort beleidsdoelen in deze studie
Landbouw	<ul style="list-style-type: none"> · licht en warmte · methaan oxidatie, vergisting mest en biomassateelt 	
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> · CCS · efficiëntere processen · Substitutie fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> · geen netto uitstroom kritische materialen · circulair modulair ontwerp finale producten
Elektriciteit	<ul style="list-style-type: none"> · opwekking 	
Gas	<ul style="list-style-type: none"> · opwekking en CCS 	
Gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> · maatregelen besparing licht en warmte 	<ul style="list-style-type: none"> · asfalt volledig recyclen
Verkeer	<ul style="list-style-type: none"> · beprijzen, voorstuwing, productnormen 	
Diensten	2013	<ul style="list-style-type: none"> · aanbieden leasediensden meubels · afvalverwerking huishoudelijk afval gericht op secundaire grondstoffen

Tabel 3: voorbeelden selectie te analyseren kwantitatieve doelen in deze studie

In bijlage A wordt een nadere toelichting gegeven op de selectie van te analyseren doelen.

4

Modelresultaten van de drie scenario's

In Tabel 4 zijn de uitkomsten van de modelberekeningen gegeven. Deze liggen voor 2030 tussen 2,4 en 7,7 Mton BKG-emissiereductie, afhankelijk van het gevolgde scenario. Voor de uitkomsten geldt dat een bandbreedte van 1 Mton in 2030 en 2 Mton en 2050 de uitkomsten robuust maakt.

	2030	2050	2030	2050
Basispad BKG-emissies (Mton)	135	106	29 688	29 020
	BKG-emissiereductie op Nederlands grondgebied (Mton)		BKG-emissiereductie in de gehele keten (Mton)	
	2030	2050	2030	2050
Doelen RPCE	2,4	2,6	2,8	3,6
Doelen TA	5,7	11,6	6,1	12,3
Combinatie TA en RPCE	7,7	13,3	7,8	14,0

Tabel 4: overzicht resultaten (als reductie t.o.v. absoluut weergegeven basispad scenario) per scenario, in Mton BKG per jaar

Scenario 1 (gebaseerd op het RPCE) heeft de kleinste bijdrage aan BKG-emissiereductie. Dit komt omdat dit scenario relatief zwaar leunt op substitutie van bouwmaterialen met een kleinere BKG impact. De transitieagenda's betrekken, in tegenstelling tot het RPCE scenario, wel biotische grondstoffen bij hun kwantitatieve doelstellingen. Dat leidt tot een grotere impact op BKG-emissies in scenario 2. Daarnaast zijn de doelen voor kunststoffen in de transitieagenda's duidelijker geformuleerd dan in het RPCE.

Het verschil tussen het Nederlands grondgebied en het keteneffect voor het TA scenario (scenario 2) is klein omdat veel effecten in dit scenario voortkomen uit de eiwittransitie en

het bestrijden van voedselverspilling. Deze effecten slaan relatief veel neer op Nederlands grondgebied. De rol van geïmporteerd veevoeder zorgt voor een hogere reductie in de keten, al is de absolute invloed van een afname van import van deze productgroep kleiner dan verwacht.

In §2.1 werd het fenomeen van het "rebound effect" geïntroduceerd om aan te geven dat besparingen in één sector kunnen leiden tot toenemende bestedingen en dito emissies elders. Een voorbeeld van een gevonden rebound effect ligt in de toename van de output van de bouw in het RPCE scenario nummer 2, dat 7 procentpunten hoger ligt dan in het basispad scenario (200% voor RPCE in 2050 t.o.v. 2012 versus 193% voor het basispad scenario in 2050). Zie bijlage A.6 voor een volledig overzicht. Ondanks dat in dit RPCE scenario 1 het gebruik van bouwdiensten zou kunnen afnemen door circulaire strategieën, wordt er voor de gehele economie een toename in output (monetaire waarde) voorzien, geen afname. Zie ook bijlage A.5 in het technisch rapport voor een overzicht van het jaarlijks veranderde gebruik van productgroepen in verschillende scenario's in 2050.

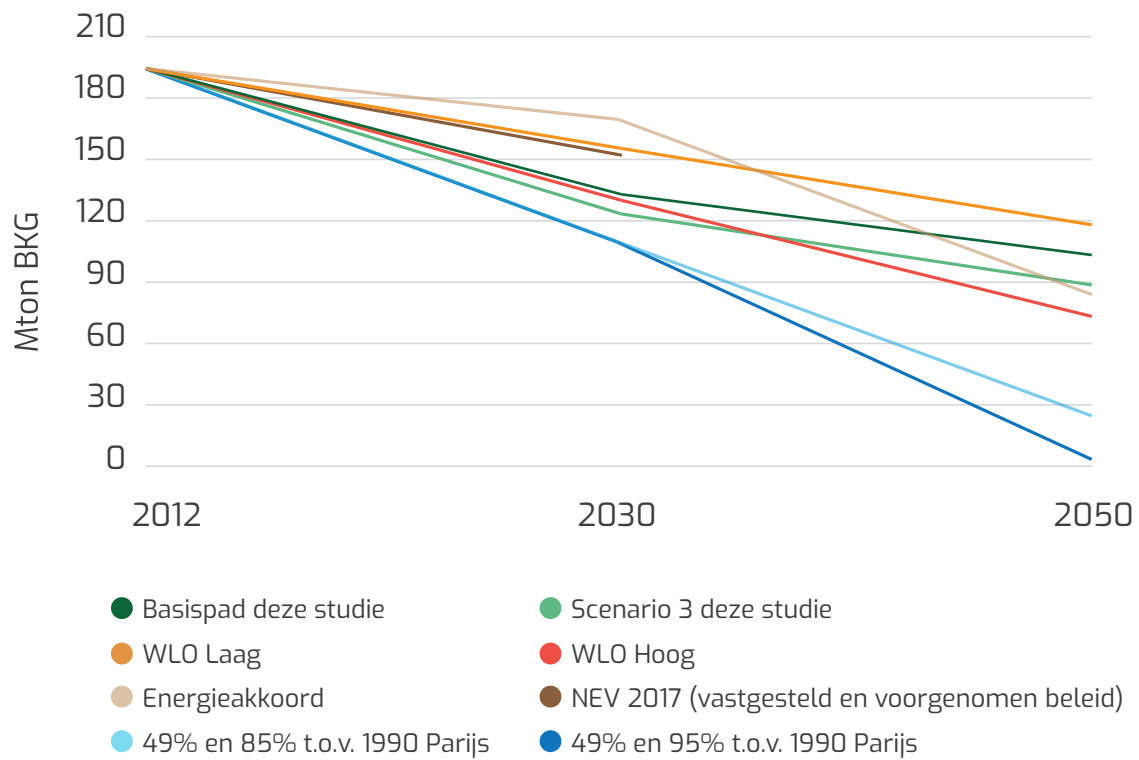
Figuur 3 laat de uitkomsten van de studie zien t.o.v. enkele andere relevante BKG-paden.

Het is belangrijk om te beseffen is dat de scenario's uit deze studie, de Nederlandse Energie verkenningen, het Energieakkoord en de WLO scenario's zijn gebaseerd op verschillende beleidsaannames en verschillende bijbehorende interventies. Deze figuur dient hier slechts ter duiding van kwantitatieve resultaten, maar is niet leidend bij het trekken van conclusies of het maken van aanbevelingen voor aanvullend beleid.

De grafiek leert dat voor het halen van de klimaatdoelstellingen van Parijs aanvullende inspanningen noodzakelijk zijn. Het behalen van de kwantitatieve doelen uit het Rijksbrede Programma Circulaire Economie en de transitieagenda's Circulaire Economie (Scenario 3) levert een zichtbare aanvullende bijdrage aan het halen van de klimaatdoelstellingen. Het levert ruim een zesde deel van de resterende beleidsopgave om het 49%-doel te realiseren in 2030¹⁶. In 2050 is de gevonden potentiële bijdrage (13.3 Mton BKG-emissie reductie) van de circulaire strategieën uit het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie 12.5% van de totale emissie in Nederland (als onderdeel van het basispad) en ruim 18% van de noodzakelijke aanvullende bijdrage aan de BKG reductie t.o.v. het basispad teneinde de 85% klimaatdoelstellingen van Parijs te halen.

¹⁶ <http://www.pbl.nl/publicaties/analyse-regeerakkoord-rutte-iii-effecten-op-klimaat-en-energie>

Reductie BKG (UNFCCC standaard) in Mton in verschillende scenario's



Figuur 3 Reductie jaarlijkse BKG-emissie in verschillende scenario's

5

Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Uitvoeren van het Rijksbrede Programma en de Transitieagenda's Circulaire Economie kan in Nederland leiden tot een reductie van broeikasgas-emissies (BKG) van ongeveer 7,7 Mton in 2030 en ongeveer 13,3 Mton in 2050. Voor de uitkomsten geldt dat een bandbreedte van 1 Mton in 2030 en 2 Mton in 2050 de uitkomsten robuust maakt.

De gevonden resultaten zijn waarschijnlijk een conservatieve schatting. Dit komt door de keuze voor het geformuleerde basispad, het negeren van circulaire strategieën die niet als gekwantificeerde doelen in het RPCE en de transitieagenda's CE worden benoemd en het gebruik van een dynamisch macro-economisch model EXIOMOD dat zogenaamde "rebound" effecten meeneemt. Het is dus voorstelbaar dat de impact van een circulaire transitie op de Nederlandse BKG-emissie nog groter is dan de resultaten in deze studie suggereren.

De gevonden resultaten in deze studie betekenen dat het uitvoeren van het RPCE en de transitieagenda's een bijdrage kan leveren aan de klimaatopgave van het huidige kabinet die groter is dan de in het regeerakkoord Rutte III vermelde 1 Mton. De reductie van BKG-emissies in de hele (wereldwijde) keten bedraagt jaarlijks 7,8 Mton en 14,0 Mton BKG. Deze impacts van het RPCE en de transitieagenda's op de BKG-emissies overlappen niet met de impacts van bestaand beleid op energiegebied zoals weergegeven in het Energieakkoord¹⁷ en/of de Energieverkenning¹⁸. De reducties als gevolg van beleid op het gebied van circulaire economie zijn dus additioneel aan maatregelen die onderdeel zijn van de energietransitie.

De gevonden bijdragen (7,7 Mton en 13,3 Mton) aan de klimaatopgave worden gerealiseerd in een groeiende Nederlandse economie volgens het WLO "laag" scenario. Daarbij wordt aangenomen dat de gestelde kwantitatieve doelen uit het RPCE en/of de transitieagenda's worden gehaald. Maatregelen uit het RPCE en/of de transitieagenda's zijn niet voldoende causaal te verbinden met producten of sectoren en daarom in deze fase nog niet gemodelleerd. (bijvoorbeeld maatregelen rond kennisontwikkeling, emissieboekhouding, wet-

¹⁷ <https://www.energieakkoordser.nl/energieakkoord.aspx>

¹⁸ <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>

geving rond lease of reparatie).

Een analyse van BKG met macro-economische modellen zoals EXIOMOD is een nuttige aanvulling op de huidige bekende levenscyclusanalyse (LCA) methodieken. De LCA methodieken kenmerken zich tot een specifieke analyse van een product (keten), waarbij eerder genoemde rebound-effecten buiten zicht blijven. Macro-economische modellen beschouwen de totalen van zowel nationale economieën als de wereldeconomie, waardoor een beter inzicht is te geven in nationale effecten en effecten in de totale waardeketen. De uitkomsten van deze macro-economische modellen zijn daarom duidelijker te verbinden aan de kwantitatieve klimaatdoelstellingen van Parijs.

5.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Het goed laten aansluiten en verrijken van enkele macro-economische modellen met enkele erkende Life Cycle Inventories (bijvoorbeeld die uit EcoInvent) zal de (Nederlandse) onderzoekswereld de komende jaren in staat stellen studies zoals deze in meer detail uit te voeren. De doorontwikkeling van deze databases zou een plaats verdienen in nationale en internationale onderzoekstrajecten. De mogelijkheid om emissies in de gehele keten te analyseren, en het accuraat vaststellen voor de gevolgen voor het te voeren beleid, hangen nauw samen met de kwaliteit van de data.

Er is een algemeen aangenomen relatie tussen beleid gericht op het realiseren van de energietransitie en het daarvoor noodzakelijke materiaalgebruik. In deze studie is deze relatie nog niet meegenomen. Het uitdiepen van deze relatie verdient intensieve aandacht in de komende jaren. Met name omdat de energietransitie verwacht wordt gepaard te gaan met aanzienlijke materiaalconsumptie voor de Nederlandse economie. Tevens omdat een groter aandeel hernieuwbare energie invloed heeft op de realiseerbare reductie van BKG-emissies via beleid op het gebied van materiaalgebruik c.q. circulaire economie.

De belangrijkste uitgangspunten van de modeloefening zouden getoetst kunnen en moeten worden met een brede groep stakeholders van bedrijven, overheden en kennisinstellingen. Dit vergroot het draagvlak van de uitkomsten en het begrip van de complexe interacties die inherent boven water worden gehaald bij de hier gevolgde macro-economische

modellering.

Het opzetten van een grondstofregistratie in lijn met emissieregistratie zou de kwaliteit van databases zoals EXIOBASE sterk verbeteren.

In deze studie is uitgegaan (met name in scenario's 1,2 en 3) van de gekwantificeerde doelen in voorliggende documenten (RPCE en transitie-agenda's). Al eerder werd geconstateerd dat deze doelen niet de volle breedte van circulaire handelingsperspectieven adresseren, zoals die geïllustreerd worden in de zogenaamde "R-ladder". Bij vervolgactiviteiten zou er meer aandacht besteed kunnen worden aan die onderbelichte strategieën (zoals reparatie en onderhoud, refurbishment en tweede-handsgebruik) en de impact op BKG-emissiereductie.

Het verdient ook aanbeveling om verder onderzoek te doen naar causale Kosten-Baten relaties tussen interventies in de circulaire economie en BKG-emissiereductie. Zo kunnen deze interventies een plaats krijgen in het bestaand onderzoek naar cost-abatement curves en BKG effectiviteit.

In vervolgonderzoek zal ook aandacht moeten worden besteed aan de in de transitie-agenda's geïdentificeerde acties en (overheids)interventies, zoals de duiding van impact van verschillende subsidie en heffingssystemen, implicatie van BKG-emissiereductie voor de werking (aard en levensduur) van het ETS systeem.

De culturele component van circulaire economie is naar verwachting sterk, maar niet sterk vertegenwoordigd in kwantitatieve impactstudies. Het verdient aanbeveling om standaarden te ontwikkelen en aan te bieden voor onderzoek. Met name de wijze waarop veranderingen door een transitie (bijv. gedragsveranderingen) zouden kunnen worden gemodelleerd verdient methodische ondersteuning.

Afsluitend levert de onderzochte relatie tussen klimaatbeleid en circulaire economie nieuwe vragen op. Ten eerste is de vraag of beleid op basis van het RPCE en de transitieagenda's circulaire economie gericht moet zijn op binnenlandse emissies of op totale emissies in de gehele wereldwijde leveringsketen. Ten tweede is het de vraag in hoeverre beleid op het gebied van circulaire economie slechts maatschappelijk wenselijk kan worden geacht indien het bijdraagt aan BKG-emissiereductie.

Bijlage A

Het technische rapport

A Bijlage: Het technische rapport

Dit technisch rapport gaat dieper in op de het gebruikte model, de gebruikte data, de methodische aandachtspunten, de geformuleerde scenario's en de uitkomsten.

A.1 Toelichting op goed boekhouden

A.1.1 Gebruik standaarden emissie registraties

Het is belangrijk om bij gerapporteerde impacts in studies na te gaan welke definities worden gehanteerd. Het is goed om de volgende vragen te stellen:

- Worden impacts berekend over aangenomen levensduur, gebruikseenheid (bijvoorbeeld het aantal ritten) of op jaarlijkse basis?
- Worden impacts op scope 1 (direct binnen een bedrijf of sector) , 2 (direct binnen een bedrijf of sector, inclusief elders opgewekte elektriciteit) of 3 (impact gerekend over de keten heen, bijvoorbeeld van grondstofwinning tot einde gebruiksduur)?
- Worden impacts uitgedrukt in BKG of CO₂?
- Worden impacts uitgedrukt in feitelijke emissies, volgens Milieurekeningen, volgens UNFCCC standaarden of volgens het Kyoto protocol?

In Tabel 1 staan de verschillende gerapporteerde emissies voor Nederland voor verschillende jaren. Ze geven inzicht in de resulterende totalen bij het gebruik van verschillende standaarden, ondanks het feit dat overige BKG's hier niet worden vermeld.

Tabel 1: verschillende gerapporteerde jaarlijkse CO₂ emissies in NL (bron: compendium voor de leefomgeving)

	1990	2000	2005	2010	2015	2016
Feitelijke emissies	171	182	190	199	183	177
Milieurekeningen-emissies	181	203	210	217	201	195
IPCC-emissies, UNFCCC standaard	163	172	178	183	166	158

De emissies binnen de wereldwijde ketens worden hier niet getoond. Hoewel deze van belang zijn en worden bepaald in deze studie door het gebruik van het model EXIOMOD, worden ze niet door officiële publieke publicaties gepresenteerd.

A.1.2 Milieurekeningen CBS, UNFCCC standaarden en EXIOBASE

De gerapporteerde UNFCCC BKG-emissies zijn lager dan de Nederlandse Milieurekeningen van het CBS¹. De Milieurekeningen rapporteren in omvang de grootste waarde voor emissies, andere berekeningswijze vallen lager uit. Het Milieurekeningen-getal is de som van de feitelijke emissies (volgens de Nederlandse Emissie registratie) en emissies door wegverkeer, luchtvaart en binnenscheepvaart

¹ Welke op hun beurt sterk overeenkomen met de Nederlandse Emissie Registratie, opgezet door o.a. PBL, CBS, RIVM, Rijkswaterstaat, TNO, Alterra, Fugro in 1974.

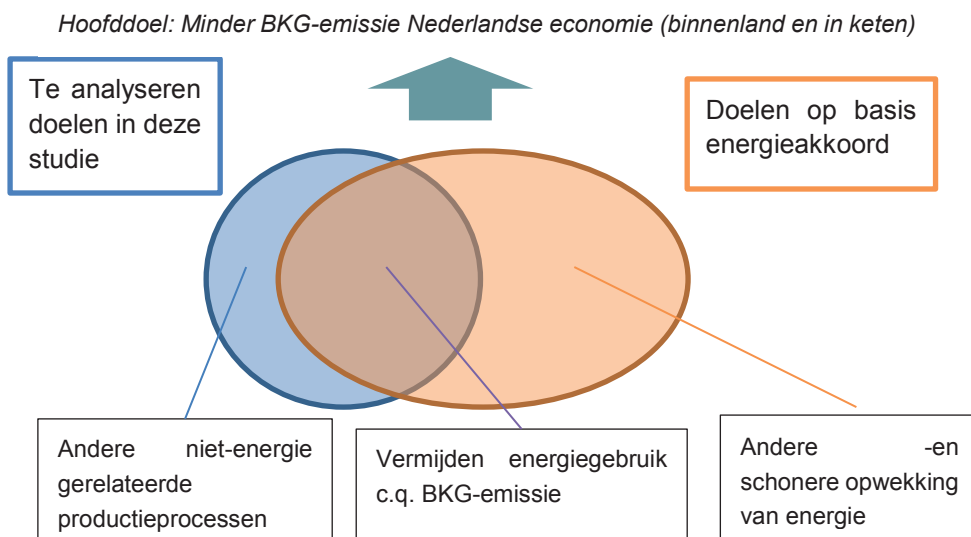
(van Nederlandse ingezetenen in het buitenland minus buitenlandse ingezetenen op Nederlands grondgebied).

EXIOBASE volgt voor BKG de UNFCCC standaard (Wood et al. 2015). Ook de EXIOBASE BKG-emissies zijn dus lager dan de emissies in de Nederlandse Milieurekeningen. De emissie van de kort-cyclische CO₂ wordt volgens de UNFCCC standaard niet meegenomen omdat ze geacht wordt geen nettobijdrage aan de broeikasproblematiek te leveren. Echter, net als in de UNFCCC standaard worden LULUCF emissies zoals veenoxidatie en permanente bomenkap weer wel meegenomen (Schütz & Schmidt 2013); dit type emissie wordt nog niet volledig begrepen en kampt ook met moeilijkheden rond het meten van emissies. De milieurekeningen nemen emissies van methaan en lachgas uit de natuur wel mee, de UNFCCC niet. De UNFCCC standaard kan worden gepresenteerd met of zonder temperatuurcorrectie; in deze studie wordt deze correctie niet meegenomen.

Er zijn ook geen afwijkingen tussen EXIOBASE en de UNFCCC standaarden in de berekeningswijze van de niet-CO₂ broeikasgassen (methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O) en enkele FluorKoolwaterstoffen), om uit te komen op een uitdrukking van BKG.

A.1.3 Illustratie van overlap tussen doelen transitieagenda's Circulaire Economie en Energieakkoord

In §3.6 is het vermijden van overlap besproken tussen kwantitatieve doelen in een circulaire transitie en andere beleidsdossiers. In Figuur 1 is geïllustreerd hoe de circulaire transitie en een beleidsdossier zoals de energietransitie kunnen overlappen.



Figuur 1: illustratie overlap transities

Figuur 4 illustreert ook het gemaakte punt in §3.6 over de noodzaak om “schonere” energie c.q. minder emissie per Joule in de toekomst mee te nemen. Het overlappende deel staat immers voor de vermijden van energiegebruik (inclusief CCS en CCU). Dit geeft aan dat het noodzakelijk is om bij het berekenen van de

BKG-emissiereductie in 2030 en 2050 als gevolg van een circulaire transitie, de verminderde emissie als gevolg van andere en schonere energiebronnen aan te houden. Een strikte scheiding van de beide transities zou hier tot een overschatting van de positieve effecten van een circulaire transitie leiden. Door te doen alsof de energietransitie niet plaatsvindt zouden de impacts van een circulaire energie worden verrekend met verouderde c.q. te hoge emissies per geleverde Joule.

De lijst met maatregelen en afspraken in de beleidsvarianten behorende bij de Nationale Energie Verkenningen (Schoots et al. 2017) toont aan dat er weinig vastgesteld of voorgenomen beleid is in deze lijst dat te karakteriseren valt als “circulair”. Er zijn tal van beleidsmaatregelen op het gebied van Energie InvesteringsAftrek (EIA) en het Meerjarenafspraken Energie Efficiëntie (MEE), maar deze komen niet terug in de transitieagenda’s circulaire economie. De onderstaande Tabel 2 toont 13 maatregelen uit de lijst van 198 maatregelen die mogelijk te omschrijven zijn als “circulair”, wat inhoudt dat ze eventueel kunnen bijdragen aan de strategische doelen van het RPCE.

Tabel 2: mogelijk als “circulair” te omschrijven maatregelen Energieverkenning 2017

Sector	Maatregel
Multisector	VAMIL- en MIA-regeling
	Aanscherping Ecodesign Europese Unie
Energie (conventioneel)	<i>Geen</i>
Energie (hernieuwbaar)	Green Deals
	Energiebelasting + opslag duurzame energie
	AMvB Biomassa duurzaamheidscriteria
	Tender Monomestvergisting 2017
Industrie	<i>Geen</i>
Gebouwde omgeving	<i>Geen</i>
Glastuinbouw	<i>Geen</i>
Verkeer en vervoer	ILUC richtlijn biobrandstoffen
	Green Deal Autodelen
Land- en tuinbouw	Besluit gebruik meststoffen: emissiearme aanwending (ook i.k.v. de PAS)
	P- en N-gebruiksnormen 5e AP
	Derogatie (en mestproductieplafond)
	Verplichte mestverwerking
	Fosfaatreductieplan
	Fosfaatrechten melkvee

A.1.4 Emissies van broeikasgas door brandstoffen versus overige emissies

Ruim 80% van de BKG-emissies op Nederlandse bodem zijn afkomstig van het verbranden (“combustibles”) van fossiele brandstoffen voor energetische doeleinden. De overige emissie (“non-combustibles”) zijn afkomstig van overige processen. Voorbeelden van zulke emissies van BKG zijn industriële processen (zoals de productie van olefinen, ammonia, kalksteen, ertsreductie als gevolg van de reactie cokes met ijzer en cementproductie) en landbouw.

Het aanpassen van productieprocessen om niet-verbranding gerelateerde BKG te vermijden is in potentie een duidelijk onderdeel van de circulaire transitie (bijvoorbeeld een andere samenstelling cement). Er is echter geen kwantitatief doel in het RPCE of de transitieagenda’s dat op deze processen ingaat, aldus zijn ze geen onderdeel van deze studie. Daarnaast hebben de benoemde industriële procesemissies in de NEV geen overeenkomst met het RPCE of de transitieagenda’s.

A.1.5 Verdeling resultaten in ETS en non-ETS sectoren

De resultaten van de BKG-emissiereductie per scenario, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4, zijn verdeeld in een ETS en non-ETS deel. Dit is gedaan op basis van bijlage II van (NEA 2015). Onderstaande Tabel 3 toont welke bedrijfsactiviteiten onder de gebruikte sectorindeling vallen.

De gereduceerde BKG impacts van deze studie hebben qua “wel ETS vs. niet ETS” verdeling voor scenario’s 1 t/m 4 respectievelijk de volgende waarden 29-71, 39-61, 33-67 en 9-91%.

Tabel 3: ETS sectorindeling

ETS activiteit/sector	Bijbehorend product
Productie en distributie van elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht	Elektriciteit, gas, stoom en gekoelde lucht
Vervaardiging van chemische producten	Kunstmest, plastic, farmaceutische producten en rubber
Vervaardiging van geraffineerde aardolieproducten	Benzine en diesel
Vervaardiging van metalen in primaire vorm	Staal, aluminium en anodes
Vervaardiging van voedingsmiddelen en dranken	Voedingsmiddelen (incl. voeding voor dieren) en dranken
Winning van aardolie en aardgas	Aardolie en aardgas
Vervaardiging van overige niet-metaalhoudende minerale producten	Asfalt, cement, kleiwaren, glas en stenen
Vervaardiging van papier en papierwaren	Papier en papierwaren
Teelt van gewassen	Eenjarige en meerjarige gewassen
Overige sectoren	Auto’s, textiel, tabak en activiteiten zoals onderwijs en gezondheidszorg

A.1.6 Overzicht broeikasgas-emissiereductie uitspraken in transitieagenda's circulaire economie

Algemeen

CCS is een aantal malen genoemd in de agenda's. Het is nog onduidelijk hoe de technische en economische kosten-baten verhouding ligt voor het afvangen van BKG. Vanuit wetenschappelijke hoek worden overigens kanttekeningen gemaakt over de invloed van de aangenomen potentie van CCS technieken op de energietransitie (Rackley 2017).

Biomassa & Voedsel

Voedselverspilling: In agenda's wordt gesteld dat door preventie, reduceren en hoger verwaarden van reststromen zal in Nederland, in de keten tot de consument, de voedselverspilling tussen 450 – 900 miljoen kg wordt teruggebracht. De agenda stelt dat dit een reductie van min. 2-3 Mton BKG per jaar oplevert. Dit getal wordt in orde van grootte gevalideerd door de bevindingen in dit rapport.

12.5M ton van Blonk Consultants: deze getallen zijn overgenomen uit het brondocument. Dit stelt dat de eiwitproductie 23 Mton BKG-emissie in NL veroorzaakt en aanvullend de consumptie 13 Mton in NL, aldus in totaal circa 35 Mton BKG. Het is niet direct duidelijk uit het brondocument hoe de genoemde bijdrage aan respectievelijk eiwitproductie en eiwitconsumptie bijdragen aan dit totaal. Dit getal wordt wel in orde van grootte gevalideerd door de bevindingen in dit rapport.

Mogelijkheid om landgebruik in BKG te vertalen: Het IPCC heeft al sinds 2003 advies gegeven over hoe om te gaan met zogenaamde LULUCF emissies in nationale emissie-inventories (Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry). Volgens de NEV bedragen deze in Nederland jaarlijks 6.7 Mton (voornamelijk CO₂). Veenoxidatie door verlaging van grondwaterstanden is in Nederland een voorbeeld van een LULUCF emissie. De vraag die de komende jaren beantwoord zou kunnen worden is hoe de waarde van deze LULUCF emissie kan worden verbonden aan activiteiten van individuele bedrijven.

Kunststoffen

Vermijden verbranding: De agenda stelt dat met de afgenomen verbranding van kunststoffen in de periode 2016-2030 de uitstoot van CO₂ in Nederland met 0.97 Mton wordt gereduceerd. Dit getal wordt in orde van grootte gevalideerd door de bevindingen in dit rapport.

Betere kunststofrecycling: De agenda stelt dat door forse investeringen in meer mechanische en chemische recycling en door investeringen in de productie van biobased plastics, de productie en het op de markt brengen van nieuwe (virgin) fossiele plastics afneemt van 1700 naar 1090 Kton. Dit getal wordt in orde van grootte gevalideerd door de bevindingen in dit rapport.

Bouw

Optrekken Bouwagenda: Een reductie van circa 107 Mton BKG wordt in de agenda genoemd (per jaar zowel voor de B&U als de GWW). In 2030 zou deze uitstoot gehalveerd zijn, hetgeen een reductie betekent van 50% (53 Mton BKG). Deze

getallen laat TNO voor rekening aan de auteur en zijn geen onderdeel van dit project gegeven de onduidelijkheid van de onderbouwing.

Circulair bouwen: er zullen deze woningen zoveel mogelijk circulair worden opgeleverd. Dit zal leiden tot een CO₂-reductie van ca 80% van 175 megaton CO₂-eq, dus 140 megaton CO₂-eq over de levensduur van de woningen. Deze getallen laat TNO voor rekening aan de auteur en zijn geen onderdeel van dit project, gegeven het vermijden van de overlap met bestaand beleid.

Maakindustrie en Consumptiegoederen

Geen concrete claims.

A.2 De gekwantificeerde doelen van RPCE en TA die de basis vormen voor de overeenkomstige scenario's

Zoals vermeld in §1.1 van het hoofdrapport, is het belangrijkste doel van deze studie om de gekwantificeerde doelen van de transitie-agenda's en RPCE te modelleren. Een uitputtend overzicht van alle gekwantificeerde doelen die van de agenda en / of de RPCE zijn gehaald, wordt getoond in Tabel 4. In sommige gevallen lezen gestelde doelen als zijnde een maatregel, maar ze zijn gegeven de brontekst toch allen als doel te karakteriseren. Deze tabel bevat aldus de bouwstenen van het scenario van de RPCE en de transitieagenda.

Tabel 4: Alle gekwantificeerde doelen uit vijf transitie-agenda's die worden gebruikt als modelinvoer

Kwantitatieve doelstellingen in het RPCE of in de TA	RPCE of TA	Ruime interpretatie nodig	Reductie primaire grondstoffen (Mton) in 2030
Biomassa en voedsel			
<i>Reductie voedselafval</i>	RPCE		1,1
Biotische reststromen >biogas	RPCE		2,2
Biotische reststromen > chemische producten	RPCE		0,36
Verhoogde houtproductie t.b.v. vervanging andere grondstoffen	RPCE		5,0
Biomassa > chemie	RPCE		0,44
60-70 % herbenutting van stikstof, 95% van P	TA	nee	0,3 ²
import kunstmest (in 2019 vast te stellen) net zo goed als volume gesloten ketens op eigen grondgebied	TA	nee	0,5 ³
reductie ongeconsumeerd aangekocht voedsel door huishoudens met 50% (=15% reductie in totale consumptie)	TA	nee	0,9 ⁴
verdubbeling biobased materialen in de bouw t.o.v. 2017 en driedubbeling in 2050	TA	nee	0,2 ⁵

² <http://www.pbl.nl/en/publications/evaluation-of-the-dutch-implementation-of-the-nitrates-directive-the-water-framework-directive-and-the-national-e-0>

³ <https://phosphorusplatform.eu/images/download/VanRuiten-P-recovery-potential-Netherlands-1998.pdf>

⁴ <https://www.milieucentraal.nl/media/3725/factsheet-voedselverspilling-huishoudens-mei-2017.pdf>

⁵ <https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/261239>

Kwantitatieve doelstellingen in het RPCE of in de TA	RPCE of TA	Ruime interpretatie nodig	Reductie primaire grondstoffen (Mton) in 2030
50 (ipv40) % plantaardig eiwit in nederlands dieet in 2030 en 60% (ipv 40) in 2050	TA	nee	0 ⁶
10-15 % afname eiwitconsumptie door mensen in nederland	TA	nee	0,29
300% toename biomassa voor energie in 2030 en 800% in 2050	TA	nee	-6 a -16
Kunststoffen			
<i>Kunststoffenrecycling</i>	<i>RPCE</i>		<i>0,17 - 0,5</i>
<i>Plastic zwerfvuil reduceren</i>	<i>RPCE</i>		<i>0,027</i>
<i>Biobased kunststoffen ontwikkelen</i>	<i>RPCE</i>		<i>-0,113</i>
Jaarlijkse reductie plastics consumptie	TA	nee	0,4 ⁷
Jaarlijkse reductie afgedankte plastics	TA	nee	0
Afgedankte plastics via route zonder sortering	TA	ja	0
Afgedankte plastics via route zonder sortering die verbrand worden (%)	TA	ja	0,1
Afgedankte plastics via route zonder sortering die geëxporteerd worden	TA	ja	0
Gesorteerde plastics als input voor mechanische recycling	TA	nee	-0,15
Rendement mechanische recycling	TA	ja	-
Chemisch gerecyclede plastics	TA	nee	-
Rendement chemische recycling	TA	ja	-
Geproduceerde bioplastics	TA	nee	-
Maakindustrie			
Maakindustrie: meer circulair	RPCE		0,21
Ambitie om geen netto uitstroom van kritische materialen te hebben	TA	ja	0
Bouw			
Vervanging portlandklinker door restproducten	RPCE		0,81
Extra doormalen van beton	RPCE		0,051
Betonpuin inzetten als grindvervanger (mits niet elders nodig; nu nog als wegfundering)	RPCE		3,6
Legoliseren van beton	RPCE		8,2
Legoliseren van bakstenen	RPCE		0,9
Asfalt volledig recyclen	RPCE		6,5
Lichter bouwen met hout	RPCE		3,2
Asbest onschadelijk maken en vezels nuttig hergebruiken	RPCE		0,065
Effecten van nieuw beleid n.a.v. Resource Efficient Europe	RPCE		0,2
Hoger gehalte gebruik van secundaire materialen	RPCE		0,389

⁶ <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/350123001.pdf>

⁷ <https://www.cpb.nl/publicatie/achtergronddocument-de-circulaire-economie-van-kunststof-van-grondstoffen-tot-afval>

Kwantitatieve doelstellingen in het RPCE of in de TA	RPCE of TA	Ruime interpretatie nodig	Reductie primaire grondstoffen (Mton) in 2030
Kwart minder instroom in 2030-, en geen instroom in 2050 van primaire bouwmaterialen (import of domestic)	TA	nee	8
Consumentengoederen			
Huishoudelijk afval	RPCE		1,27
Zwerfvuil	RPCE		0,27
In 2030 niet-noodzakelijke kortcyclische producten uit de markt te halen	TA	ja	0.3
75% van de matrassen zijn volledig circulair (*0.002 vanwege aandeel matrassen in NL meubelsector)	TA	nee	0,01 ⁸
50% van vrijkomend plaatmateriaal van meubels wordt hergebruikt (*0.02 vanwege aandeel hout in NL meubelsector)	TA	nee	0,08 ⁹

A.2.1 Als resultaten in deze studie als statisch worden behandeld

In Tabel 9 staan de belangrijkste statische resultaten van de vier scenario's gepresenteerd. Voor alle resultaten geldt dat, afhankelijk van hun absolute omvang, een bandbreedte moet worden gehanteerd. In 2030 ligt deze bandbreedte op 0.5Mton voor uitkomsten rond de 5Mton en 2Mton voor uitkomsten rond de 12Mton. In 2050 ligt deze bandbreedte op 1Mton voor uitkomsten rond de 5Mton en 4Mton voor uitkomsten rond de 20Mton.

Tabel 5: overzicht statische resultaten (als reductie t.o.v. absoluut weergegeven basispad scenario) per scenario, in Mton BKG per jaar

	BKG reductie op Nederlands grondgebied	BKG reductie in de gehele keten
2030		
<i>Basispad</i>	130.1	Ntb
RPCE	5.3	Ntb
Transitieagenda's	8.4	Ntb
RPCE + Transitieagenda's	12.0	Ntb
Servitization	8.0	Ntb
2050		
<i>Basispad</i>	96.1	Ntb
RPCE	6.8	Ntb
Transitieagenda's	15.2	Ntb
RPCE + Transitieagenda's	21.2	Ntb
Servitization	12.4	Ntb

⁸ <http://modint.nl/2015-09-03/wp-content/uploads/2015/10/Routekaart-textiel.pdf>

⁹ <http://www.probos.nl/rapporten-2012>

A.3 Specifieke aannames van de opgestelde scenario's

De modelleringsoefening in dit onderzoek kan worden gekarakteriseerd als het vertalen van tekst uit beleidsdocumenten naar gegevensinvoer voor het EXIOMOD-model. Deze documenten waren het beleidsdocument van het RPCE en de vijf transitie-agenda's met betrekking tot de circulaire economie-transitie in Nederland. De documenten bevatten opmerkingen en gekwantificeerde doelen die gerelateerd kunnen worden aan overeenkomstige productgroepen, bedrijfstakken / sectoren, internationale handel en consumptiepatronen. Een overzicht van deze uitspraken vertaald in gekwantificeerde doelen wordt gegeven in de voorgaande paragraaf.

Aanvullende aannames zijn nodig om de gekwantificeerde doelen in scariotoevoer te verwerken. Deze worden gepresenteerd in de volgende subparagrafen.

A.3.1 *Opmerkingen voor alle scenarios*

- De jaarlijkse percentages, d.w.z. incrementele wijzigingen in gebruik van de goederenstromen in dit bestand, worden toegepast op de geldwaarden, niet op de materiaalcoëfficiënten.
- Om de samenhang met het RPCE-scenario te behouden, zijn alle andere scenario-schokken die per jaar worden gemodelleerd gebaseerd op binnenlands materiaalverbruik. Dit kan worden afgeleid uit het verbruik van grondstoffen met behulp van de coëfficiënten van grondstofequivalenten.
- Aangezien het MRIO-globale EXIOMOD-model is gebaseerd op de analyse van ketenrelaties, zijn er geen aanvullende coëfficiënten nodig om de impact in de (mondiale) waardeketen te modelleren.
- Exogene effecten op invoer, uitvoer, kapitaalgoederen investeringen en toegevoegde waarde is nog niet voorzien.
- Verschillen in lonen en belastingen worden niet verwacht
- De jaarlijkse toename of afname van een productgroep door de hele economie (dat wil zeggen, alle productgroepen in de economie: ijzererts, machines, logistieke diensten, afvalverwerking, enz.) worden verondersteld homogeen te zijn voor elke sector. Er worden geen verschillende opname-verhoudingen verondersteld voor specifieke sectoren.
- Het gebruik van secundaire materialen moet worden toegevoegd aan secundaire productgroepen in Exiobase v3.3, omdat deze niet voldoende worden beschreven in EXIOBASE.

A.3.2 *Basispad*

- De algemene bbp-groei volgt het WLO "laag" -scenario, met een jaarlijkse economische groei van 1,1%. Houd er rekening mee dat deze basale BBP-groei wordt voorspeld op 111 sectoren (van de 163) die geen grondstoffenextractie vertegenwoordigen, verouderde vormen van afvalverwerking of energievoorziening.
- De BKG-emissie wordt in het WLO "laag" scenario in 2050 op 121 Mton gemodelleerd. Dit scenario is voor het basispad ambitieuzer aangenomen, te weten op 106 Mton. Deze "verscherping" van de ambities komt voort uit de onvoorziene factor genoemd in (CPB/PBL 2015), die samenhangt met de adoptie van het tweegradenscenario enkele weken na het verschijnen van het WLO "laag" scenario. De doelen in de WLO-scenario's zijn gebaseerd op

de toezeggingen (pledges) die landen hebben gedaan in de VN-klimaatonderhandelingen bedraagt. Voor “Laag” is verondersteld dat de onvoorwaardelijke toezeggingen worden gerealiseerd en voor “Hoog” is verondersteld dat zowel de onvoorwaardelijke als de voorwaardelijke toezeggingen worden gerealiseerd. Het klimaatakkoord van Parijs, waarin een ambitie is uitgesproken, die nog veel verder gaat dan de voorwaardelijke en onvoorwaardelijke toezeggingen, was nog niet gesloten bij het verschijnen van de WLO en in de scenario's was dan ook geen rekening gehouden met de invloed van deze vergaande ambitie. Dat akkoord kan gevolgen hebben voor de snelheid waarin de BKG-emissies gereduceerd worden. In deze notitie wordt verondersteld dat dat het geval is. Ook in “Laag” zal het akkoord van Parijs invloed hebben op de emissie van BKG's, maar in “Laag” zal er nog steeds geen alomvattend internationaal akkoord liggen met bijvoorbeeld vastgestelde, afdwingbare doelen per land. Daarom veronderstellen wel een verdere reductie van de BKG-emissie in “Laag” in 2050 dan in de WLO, maar die reductie is niet zodanig dat de emissie die hoort bij het 2 gradendoel wordt gehaald. Voor 2050 gaan we daarom uit van emissie van 106 Mton in plaats van de emissie van 121 Mton die in WLO-“Laag” wordt gehanteerd. De verscherping van het basispad komt simpelweg neer op een overnemen van alle aspecten t.a.v. BKG-emissie uit het WLO “hoog” scenario, afgezien van de ca. 30 Mton die in het WLO “hoog” wordt toegerekend aan de impact van CCS ontwikkelingen. De verscherping van het basispad t.o.v. het WLO maakt de potentiële bijdrage van circulaire economie aan de klimaatdoelstellingen kleiner.

- Exogene aanpassingen van de EUR / kg-coëfficiënt worden alleen in het basispad scenario gemaakt. (Deze coëfficiënt geeft de relatie weer tussen de geaggregeerde materiële behoeften van een sectorbehoefte en de monetaire output). Wijzigingen in artikelinvoer zijn afkomstig uit het RMC rapport¹⁰, toegepast op productgroepen met grondstoffen. Het is mogelijk dat endogene aanpassingen van deze verhouding plaatsvinden, bijvoorbeeld bij het analyseren van de effecten van voedselverspilling. Het model gaat ervan uit dat wanneer het weggooien van voedsel wordt vermeden, de geldwaarde gelijk blijft zodat de verhouding EUR / kg effectief toeneemt.
- Jaarlijkse veranderingen in het elektriciteitsverbruik, evenals jaarlijkse verschuivingen in het gebruik van ijzererts, kunstmest en basischemicaliën, zijn ook overgenomen van WLO background cahier¹¹
- RMC-jaarlijkse groeipercentages worden vertaald naar Domestic Material Consumption (het gewicht aan grondstoffen dat daadwerkelijk door een economie wordt gebruikt (via import + productie -export), zonder medeneming van indirect materiaalgebruik zoals in het RMC. Deze RMC transformatie in DMC wordt gedaan door gebruik te maken van dezelfde Raw Material Equivalent ratio die ook werd toegepast in de bovengenoemde studie.
- Verbranding en storten worden voor rekenkundige doeleinden op 0 gezet. De verbranding van vast afval blijft, hoe marginaal ook, de komende decennia een economische activiteit.

¹⁰http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf

¹¹<http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-klimaat-en-energie-1775.pdf>

A.3.3 Scenario 1: gebaseerd op de doelstellingen in het RPCE

- Primaire materiaalreducties worden uitgedrukt in percentages die elk jaar worden geacht op te treden, verkregen uit een enkel schokpercentage voor 2030 ontleend aan tabel 18 van het Ex-Ante eindrapport van TNO (Bastein et al. 2017). Deze enkele schokken worden vervolgens berekend als jaargemiddelden.
- Veranderingen in primaire materiaalreducties worden uitgedrukt in DMC, niet in RMC.
- Uitbreidingen van secundair materiaalgebruik worden afgewogen tegen primaire materiaalreducties, om hetzelfde volume te bereiken. Vooral belangrijk zijn "alle andere" secundaire materialen in rij 128.
- In tegenstelling tot de transitieagenda's, stelt de RPCE expliciet kwantitatieve doelen voor het verminderen van afval vast.
- Jaarlijkse percentages hebben geen invloed op biomassa, omdat deze werden uitgesloten van de ex-ante studie
- Jaarlijkse percentages hebben geen invloed op energiedragers, omdat deze werden uitgesloten van de ex-ante studie

A.3.4 Scenario 2: Gebaseerd op de doelstellingen uit de transitie-agenda's

- De vijf Transitieagenda's kunnen worden onderscheiden op basis van hun sectorrelaties. De impact van de agenda's zal niet worden onderkend in bepaalde teksten uit de agenda's of in specifieke interventies / acties.
- De totale eiwitreductie wordt berekend met een extra "0,2" factor voor voedselproductgroepen, gezien het aandeel van eiwitten in calorische waarde in het dieet van Nederlandse huishoudens.
- De enige bio-based materialen voor de constructie die in aanmerking komen, zijn hout.
- De werkelijke grootte van Carbon Capture Storage door biotische materialen anders dan hout te gebruiken in toepassingen met een levensduur van meer dan tien jaar (bijvoorbeeld in gebouwen) wordt als onbeduidend beschouwd op basis van de doelen van deze agenda.
- Chemische recycling van kunststoffen alleen van toepassing op het verbruik van vloeibaar gas door de chemische industrie.
- De ambities van de productie-industrie ("maakindustrie") hebben alleen betrekking op het aandeel van secundaire non-ferro en secundaire edelmetalen.
- Een 10% gebruik van primaire bouwmaterialen voor 2050 ingevoerd in de formule in cel C32 van "Mijlpalen" sheet, voor het berekenen van het gemak, gegeven de ambitie van de constructie-overgangsagenda om 100% circulair te zijn.
- Ambities voor houten plaatmateriaal en matrassen uit meubilair worden berekend met respectievelijk 0,02 en 0,002 coëfficiënten om rekening te houden met het gebruik van deze materialen door de meubelsector
- Geen effecten van koolstofafvang en opslag / gebruik (CCS/U) worden in de agenda herkend, vandaar dat er geen impact wordt toegeschreven aan deze kans.

A.3.5 Scenario 3: Gebaseerd op een combinatie van de doelstellingen uit het RPCE en de transitie-agenda's

- De volgende kwantitatieve doelen van het RPCE uit Tabel 8 zijn niet meegenomen in dit scenario, omdat ze overlappen met kwantitatieve doelen van de transitieagenda's: Reductie voedselafval, Kunststoffenrecycling, Plastic zwerfvuil reduceren, Biobased kunststoffen ontwikkelen. Dit betekent dat voor alle doelen geldt dat scenario 1 en scenario 2 optelt tot scenario 3.

A.3.6 Scenario 4: Servitization

In dit scenario wordt de centrale doelstelling van het Rijksbrede Programma geoperationaliseerd op een versimpelde doch ambitieuze wijze. Het is om die reden alleen gepresenteerd in het technisch rapport, niet in het hoofdrapport.

De centrale doelstelling luidt voor 2030 een halvering van het gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) en een volledig circulaire economie in 2050. Omdat een strikte definitie van "100% circulair" niet voorhanden is, interpreteert deze studie deze doelstelling als: 80% reductie van primaire minerale-, fossiele- en metalen grondstoffen in 2050. Dit percentage is gebaseerd op de niet-functionele recycling behandeld in het UN International Resource Panel¹². Dit betekent ook dat biotische grondstoffen, net als in het RPCE scenario (scenario 1), geen rol spelen in dit scenario 4. Er worden in het Servitization scenario geen additionele veranderingen aangenomen in het gebruik van biotische grondstoffen t.o.v. het basispad.

Deze doelen worden in het Servitization scenario geacht bereikt te worden op basis van het substitueren van de waarde van de "inputs" van primaire grondstoffen en intermediaire producten (basismetaal, basischemie etc.) door dienstverlening. In dit scenario nemen ca. twintig voor circulaire economie belangrijke diensten (reparatie, onderhoud, afvalverwerking, transport, groothandel, onderzoek, verhuur) de totale waarde "over" van producten van delfstoffenwinning (niet-energie dragende mineralen) en basismetalen. Belangrijk hierbij is dat de substitutie geldt voor zowel binnenlands gewonnen- als geïmporteerde grondstoffen en intermediaire producten.

Dit scenario betekent een verschuiving in het gebruik door de Nederlandse economie: een verschuiving van de genoemde primaire grondstoffen naar de twintig diensten. Het gebruik van biotische materialen wordt in dit scenario geacht het basispad scenario te volgen; van een significante substitutie van abiotische voor biotische grondstoffen is in dit scenario dus geen sprake.

Een voorbeeld van een kwantitatief doel uit het Servitization scenario is het vergroten van het aanbod van leasediensdiensten aan zowel Nederlandse huishoudens als bedrijven. Dit heeft effect op het jaarlijks gebruik door de economie van productgroep "Renting services of machinery and equipment". Dit gebruik neemt toe.

	2030	2050	2030	2050
--	------	------	------	------

¹² www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he_rldvr

<i>Basispad BKG-emissies (Mton)</i>	135	106	29 688	29 020
	BKG-emissiereductie op Nederlands grondgebied (Mton)		BKG-emissiereductie in de gehele keten (Mton)	
	2030	2050	2030	2050
Servitization	6,8	8,2	7,9	9,7

Het Servitization scenario (scenario 4) scoort onverwacht relatief laag. Dit komt met name door de BKG impacts die aan transport en overige diensten gerelateerde sectoren zitten. De aangenomen groei van deze sectoren in scenario 4 zorgt voor een kleinere BKG-emissiereductie dan de op het RPCE en de transitie-agenda's gebaseerde scenario's 1, 2 en 3 (zie ook hoofdstuk 4).

De volgende modelmatige aannames zitten in dit scenario 4 verweven:

- Other material inputs (intermediary and final material product groups) follow RPCE scenario
- Dit is het enige scenario dat invloed uitoefent via dienstensectoren, vandaar de coëfficiënten van dienstensectoren
- Primaire materiaalreducties zijn vastgesteld op 40% in 2030 en 80% in 2050, gezien de afwezigheid van de definitie van 100% circulariteit, het officiële doel van het RPCE-document.
- Als reactie op de vermindering van materiële sectoren, voorzien we (in monetaire termen even groot) een toename van de dienstensectoren. Zie cellen FT1: FW2 van invoerblad.
- Andere materiaal-inputs (tussenproduct- en eindproductproductgroepen) volgen het RPCE-scenario

A.4 Overzicht input files: jaarlijkse percentages voor 200 product groepen, per scenario

De gekwantificeerde doelen uit A.2 en de aanvullende veronderstellingen weergegeven in A.3 maken samen de creatie van scenario's in de vorm van modelinvoer mogelijk. Ter illustratie van de scenario's is een grote Tabel 10 hieronder opgenomen. Het laat in detail zien welke productgroepen zijn ingesteld om te groeien of af te nemen in een circulaire overgang. Het is daarom het resultaat uitgedrukt in percentages van de gekwantificeerde doelen zoals weergegeven in Tabel 8. Zie hoofdstuk 3 en 5.2 voor een tekstuele beschrijving van de scenario's.

Tabel 6: input files, jaarlijkse procentuele verschillen voor 200 product groepen in EXIOMOD in vier scenario's

Jaarlijkse percentages (geen decimalen)	RPCE	TA	Servitization
	until 2030	until 2030	until 2030
Paddy rice	0.0	0.6	0.0
Wheat	0.0	0.6	0.0
Cereal grains nec	0.0	0.6	0.0

Vegetables, fruit, nuts	0.0	0.6	0.0
Oil seeds	0.0	0.6	0.0
Sugar cane, sugar beet	0.0	0.6	0.0
Plant-based fibers	0.0	0.6	0.0
Crops nec	0.0	0.6	0.0
Cattle	0.0	-0.6	0.0
Pigs	0.0	-0.6	0.0
Poultry	0.0	-0.6	0.0
Meat animals nec	0.0	-0.6	0.0
Animal products nec	0.0	-0.6	0.0
Raw milk	0.0	-0.6	0.0
Wool, silk-worm cocoons	0.0	0.0	0.0
Manure (conventional treatment)	0.0	0.5	0.0
Manure (biogas treatment)	0.0	2.4	0.0
Products of forestry, logging and related services	0.0	0.0	-3.0
Fish and other fishing products; services incidental of fishing	0.0	0.0	0.0
Anthracite	0.0	0.0	0.0
Coking Coal	0.0	0.0	0.0
Other Bituminous Coal	0.0	0.0	0.0
Sub-Bituminous Coal	0.0	0.0	0.0
Patent Fuel	0.0	0.0	0.0
Lignite/Brown Coal	0.0	0.0	0.0
BKB/Peat Briquettes	0.0	0.0	0.0
Peat	0.0	0.0	0.0
Crude petroleum and services related to crude oil extraction, excluding surveying	0.0	0.0	0.0
Natural gas and services related to natural gas extraction, excluding surveying	0.0	0.0	0.0
Natural Gas Liquids	0.0	0.0	0.0
Other Hydrocarbons	0.0	0.0	0.0
Uranium and thorium ores	0.0	0.0	0.0
Iron ores	-0.7	0.0	-3.0
Copper ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Nickel ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Aluminium ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Precious metal ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Lead, zinc and tin ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Other non-ferrous metal ores and concentrates	-0.7	0.0	-3.0
Stone	-0.7	-1.7	-3.0

Sand and clay	-0.7	-1.7	-3.0
Chemical and fertilizer minerals, salt and other mining and quarrying products n.e.c.	-0.7	-0.5	-3.0
Products of meat cattle	-0.2	-0.4	-0.2
Products of meat pigs	-0.2	-0.4	-0.2
Products of meat poultry	-0.2	-0.4	-0.2
Meat products nec	-0.2	-0.4	-0.2
products of Vegetable oils and fats	-0.2	-0.4	-0.2
Dairy products	-0.2	-0.4	-0.2
Processed rice	-0.2	-0.4	-0.2
Sugar	-0.2	-0.4	-0.2
Food products nec	-0.2	-0.4	-0.2
Beverages	-0.2	-0.4	-0.2
Fish products	-0.2	-0.4	-0.2
Tobacco products	-0.1	0.0	-0.1
Textiles	0.0	0.0	0.0
Wearing apparel; furs	0.0	0.0	0.0
Leather and leather products	0.0	0.0	0.0
Wood and products of wood and cork (except furniture); articles of straw and plaiting materials	0.0	4.2	0.0
Wood material for treatment, Re-processing of secondary wood material into new wood material	0.0	0.0	0.0
Pulp	0.0	0.0	0.0
Secondary paper for treatment, Re-processing of secondary paper into new pulp	0.0	0.0	0.0
Paper and paper products	0.0	0.0	0.0
Printed matter and recorded media	0.0	0.0	0.0
Coke Oven Coke	0.0	0.0	0.0
Gas Coke	0.0	0.0	0.0
Coal Tar	0.0	0.0	0.0
Motor Gasoline	0.0	0.0	0.0
Aviation Gasoline	0.0	0.0	0.0
Gasoline Type Jet Fuel	0.0	0.0	0.0
Kerosene Type Jet Fuel	0.0	0.0	0.0
Kerosene	0.0	0.0	0.0
Gas/Diesel Oil	0.0	0.0	0.0
Heavy Fuel Oil	0.0	0.0	0.0
Refinery Gas	0.0	0.0	0.0
Liquefied Petroleum Gases (LPG)	0.0	0.0	0.0
Refinery Feedstocks	0.0	0.0	0.0
Ethane	0.0	0.0	0.0

Naphtha	0.0	0.0	0.0
White Spirit & SBP	0.0	0.0	0.0
Lubricants	0.0	0.0	0.0
Bitumen	0.0	0.0	0.0
Paraffin Waxes	0.0	0.0	0.0
Petroleum Coke	0.0	0.0	0.0
Non-specified Petroleum Products	0.0	0.0	0.0
Nuclear fuel	0.0	0.0	0.0
Plastics, basic	-0.5	0.0	-0.5
Secondary plastic for treatment, Re-processing of secondary plastic into new plastic	4.8	0.0	4.8
N-fertiliser	-0.5	0.5	-0.5
P- and other fertiliser	-0.5	-0.5	-0.5
Chemicals nec	-0.5	0.0	-0.5
Charcoal	-0.5	0.0	-0.5
Additives/Blending Components	-0.5	0.0	-0.5
Biogasoline	-0.5	2.4	-0.5
Biodiesels	-0.5	2.4	-0.5
Other Liquid Biofuels	-0.5	0.0	-0.5
Rubber and plastic products	0.0	-1.6	0.0
Glass and glass products	-0.2	0.0	-0.2
Secondary glass for treatment, Re-processing of secondary glass into new glass	2.0	0.0	2.0
Ceramic goods	-5.8	-1.7	-5.8
Bricks, tiles and construction products, in baked clay	-5.8	-1.7	-5.8
Cement, lime and plaster	-5.8	-1.7	-5.8
Ash for treatment, Re-processing of ash into clinker	5.8	0.0	5.8
Other non-metallic mineral products	-5.8	-1.7	-5.8
Basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof	-0.4	0.0	-0.4
Secondary steel for treatment, Re-processing of secondary steel into new steel	3.8	0.0	3.8
Precious metals	-0.4	0.0	-0.4
Secondary precious metals for treatment, Re-processing of secondary precious metals into new precious metals	3.8	6.7	3.8
Aluminium and aluminium products	-0.4	0.0	-0.4
Secondary aluminium for treatment, Re-processing of secondary aluminium into new aluminium	3.8	0.0	3.8

Lead, zinc and tin and products thereof	-0.4	0.0	-0.4
Secondary lead for treatment, Re-processing of secondary lead into new lead	3.8	0.0	3.8
Copper products	-0.4	0.0	-0.4
Secondary copper for treatment, Re-processing of secondary copper into new copper	3.8	0.0	3.8
Other non-ferrous metal products	-0.4	0.0	-0.4
Secondary other non-ferrous metals for treatment, Re-processing of secondary other non-ferrous metals into new other non-ferrous metals	3.8	6.7	3.8
Foundry work services	-3.0	0.0	-3.0
Fabricated metal products, except machinery and equipment	-3.0	0.0	-3.0
Machinery and equipment n.e.c.	0.0	0.0	0.0
Office machinery and computers	0.0	0.0	0.0
Electrical machinery and apparatus n.e.c.	0.0	0.0	0.0
Radio, television and communication equipment and apparatus	0.0	0.0	0.0
Medical, precision and optical instruments, watches and clocks	0.0	0.0	0.0
Motor vehicles, trailers and semi-trailers	-0.1	0.0	-0.1
Other transport equipment	-0.1	0.0	-0.1
Furniture; other manufactured goods n.e.c.	-0.1	0.0	-0.1
Secondary raw materials	2.0	4.4	2.0
Bottles for treatment, Recycling of bottles by direct reuse	0.0	2.7	0.0
Electricity by coal	0.0	0.0	0.0
Electricity by gas	0.0	0.0	0.0
Electricity by nuclear	0.0	0.0	0.0
Electricity by hydro	0.0	0.0	0.0
Electricity by wind	0.0	0.0	0.0
Electricity by petroleum and other oil derivatives	0.0	0.0	0.0
Electricity by biomass and waste	0.0	2.4	0.0
Electricity by solar photovoltaic	0.0	0.0	0.0
Electricity by solar thermal	0.0	0.0	0.0
Electricity by tide, wave, ocean	0.0	0.0	0.0
Electricity by Geothermal	0.0	0.0	0.0
Electricity nec	0.0	0.0	0.0
Transmission services of electricity	0.0	0.0	0.0

Distribution and trade services of electricity	0.0	0.0	0.0
Coke oven gas	0.0	0.0	0.0
Blast Furnace Gas	0.0	0.0	0.0
Oxygen Steel Furnace Gas	0.0	0.0	0.0
Gas Works Gas	0.0	0.0	0.0
Biogas	0.0	2.4	0.0
Distribution services of gaseous fuels through mains	0.0	0.0	0.0
Steam and hot water supply services	0.0	0.0	0.0
Collected and purified water, distribution services of water	0.0	0.0	0.0
Construction work	0.0	0.0	0.0
Secondary construction material for treatment, Re-processing of secondary construction material into aggregates	0.0	0.0	0.0
Sale, maintenance, repair of motor vehicles, motor vehicles parts, motorcycles, motor cycles parts and accessories	0.0	0.0	0.4
Retail trade services of motor fuel	0.0	0.0	0.0
Wholesale trade and commission trade services, except of motor vehicles and motorcycles	0.0	0.0	0.4
Retail trade services, except of motor vehicles and motorcycles; repair services of personal and household goods	0.0	0.0	0.4
Hotel and restaurant services	0.0	0.0	0.0
Railway transportation services	0.0	0.0	0.4
Other land transportation services	0.0	0.0	0.4
Transportation services via pipelines	0.0	0.0	0.4
Sea and coastal water transportation services	0.0	0.0	0.4
Inland water transportation services	0.0	0.0	0.4
Air transport services	0.0	0.0	0.4
Supporting and auxiliary transport services; travel agency services	0.0	0.0	0.4
Post and telecommunication services	0.0	0.0	0.4
Financial intermediation services, except insurance and pension funding services	0.0	0.0	0.4
Insurance and pension funding services, except compulsory social security services	0.0	0.0	0.0
Services auxiliary to financial intermediation	0.0	0.0	0.0

Real estate services	0.0	0.0	0.4
Renting services of machinery and equipment without operator and of personal and household goods	0.0	0.0	0.4
Computer and related services	0.0	0.0	0.4
Research and development services	0.0	0.0	0.4
Other business services	0.0	0.0	0.4
Public administration and defence services; compulsory social security services	0.0	0.0	0.0
Education services	0.0	0.0	0.0
Health and social work services	0.0	0.0	0.0
Food waste for treatment: incineration	0.0	-0.3	0.0
Paper waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Plastic waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Inert/metal waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Textiles waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Wood waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Oil/hazardous waste for treatment: incineration	0.0	0.0	0.0
Food waste for treatment: biogasification and land application	0.0	-0.3	0.0
Paper waste for treatment: biogasification and land application	0.0	0.0	0.0
Sewage sludge for treatment: biogasification and land application	0.0	0.0	0.0
Food waste for treatment: composting and land application	0.0	-0.3	0.0
Paper and wood waste for treatment: composting and land application	0.0	0.0	0.4
Food waste for treatment: waste water treatment	0.0	-0.3	0.0
Other waste for treatment: waste water treatment	0.0	0.0	0.0
Food waste for treatment: landfill	0.0	0.0	0.0
Paper for treatment: landfill	0.0	0.0	0.0
Plastic waste for treatment: landfill	0.0	-1.0	0.0
Inert/metal/hazardous waste for treatment: landfill	0.0	0.0	0.0
Textiles waste for treatment: landfill	0.0	0.0	0.0
Wood waste for treatment: landfill	0.0	0.0	0.0
Membership organisation services n.e.c.	0.0	0.0	0.0

Recreational, cultural and sporting services	0.0	0.0	0.4
Other services	0.0	0.0	0.4
Private households with employed persons	0.0	0.0	0.0
Extra-territorial organizations and bodies	0.0	0.0	0.0

A.5 Implementatie EXIOMOD: aggregatie van productgroepen

Voor dit project zijn vijf type scenario's gedefinieerd. Vier van deze scenario's worden vergeleken met een referentie scenario. De referentiescenario is afgeleid van de RMC studie 'Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption' (Cambridge Econometrics et al. 2014).

We gebruiken hierbij niet de resultaten uit het rapport, omdat EXIOMOD weer een ander model is als E3ME, het model van Cambridge Econometrics. Interessanter is het om te zien hoe soortgelijke aannames gemaakt voor het bovenstaande rapport reageren in het model van TNO, EXIOMOD. Voor de referentiescenario laten we het gebruik van verschillende ruwe materiaalstromen jaarlijks met 2% afnemen. Recycling en het gebruik van groene energie nemen toe met 2%. Voor de andere vier scenario's laten we gebruik van producten toe of afnemen gebaseerd op resultaten van 2 rapporten, namelijk Rijksbreed Programma Circulaire Economie (RPCE), en de Transitie Agenda (TA). Het servitization scenario is ontwikkeld door TNO zelf. Daarnaast is er ook een combinatie gemaakt van scenario RPCE en TA. Onderstaande tabel geeft de jaarlijkse toe of afname van een product groep, zoals gemodelleerd in EXIOMOD. Voor het gecombineerde scenario wordt steeds gekozen tussen de sterkste procentuele verandering ten opzichte van het jaar ervoor. Zie Tabel 11.

Tabel 7: geaggregeerde inputfiles op basis van Tabel 10

	Referentie	RPCE	TA	Servitization	RPCE en TA
pMETP	-2.00%	-2.39%	-2.00%	-2.39%	-2.39%
pREFN	-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%
pRECY	+2.00%	+2.00%	+3.55%	+2.00%	+3.55%
pELCG	+2.00%	+2.00%	+4.48%	+2.00%	+4.48%
pNMMP	-2.00%	-7.68%	-3.66%	-7.68%	-3.66%
pOTHM		-0.70%	-1.70%	-3.00%	-1.70%
pFBTO		-0.20%	-0.40%	-0.20%	-0.40%
pCHEM		-0.50%	+2.40%	-0.50%	+2.40%
pWAST			-0.30%		-0.30%
pTRDI			+2.40%		+2.40%
pELCG			+2.40%		+2.40%
pNMMP			-1.70%		-1.70%
pRUBP			-1.60%		-1.60%
pTXWO			+4.20%		+4.20%
pPLNT			+0.60%		+0.60%
pANIM			-0.60%		-0.60%

pPUBO				+0.40%	
pREBA				+0.40%	
pTRAN				+0.40%	
pHORE				+0.40%	
pTRAD				+0.40%	
pMACH				-0.10%	

Er wordt gekeken naar de toe of afname van producten in iedere sector waarin dit product gebruikt wordt. Het is belangrijk dat we niet alleen de afname van gebruik van ruwe materialen bekijken. Namelijk, een sector waarin verschillende ruwe materialen gebruikt worden, zal door afname in gebruik van deze producten ook een afname in totale productie kosten observeren. Dat is niet het doel voor deze analyse. Om de sector evenveel geld uit te laten geven aan het productieproces als voorheen, zullen andere producten in het productieproces proportioneel meer gebruikt worden door deze sector. Hierbij wordt gekeken naar de historische vraag naar producten van deze sector, waarbij dezelfde vraagstructuur wordt aangehouden. Zie Tabel 12.

Tabel 8: omschrijvingen en afkortingen in EXIOMOD

Industrie code EXIOMOD	Beschrijving
iPLNT	'Crops and vegetable in agri sector'
iANIM	Animal production
iFORE	Forestry and logging
iFISH	Fishing and aquaculture
iFOSM	Mining fossil fuels
iOTHM	Mining of metal ores and non-metallic minerals
iFBTO	Manufacturing of food, beverage and tobacco products
iTXWO	Manufacturing of textile, wood and printed products
iCOKE	Manufacturing of coke products
iREFN	Manufacturing of refined petroleum products
iCHEM	Manufacturing of chemicals and chemical products
iRUBP	Manufacturing of rubber and plastic products
iNMMP	Manufacturing of non-metallic mineral products
iMETP	Manufacturing of basic metals and metal products
iELEC	Manufacturing of electronic computer, optical and electrical equipment
iMACH	Manufacturing of machinery and equipment nec and other manufacturing
iELCF	Electricity fossil and nuclear
iELCG	Electricity green
iTRDI	Transmission and distribution services

iHWAT	Steam and hot water supply services
iWATR	Collected and purified water, distribution services of water
iCONS	Construction
iTRAD	Wholesale and retail trade
iHORE	Accommodation and food service activities
iTRAN	Transportation services
iREBA	Real estate, renting and business activities
iPUBO	Public administration, education, health and other activities
iWAST	Waste for treatment
iRECY	'Recycling of waste and scrap'
iREPR	'Re-processing of secondary materials'

A.6 Output per geaggregeerde sector

De resultaten, zoals getoond in hoofdstuk 3 van de memo, volgen uit de nieuwe evenwichten die zijn gevonden in de vier scenario's. Tabel 13 hieronder toont het resultaat voor geaggregeerde (34 in plaats van 200) sectoren; voor elk scenario. De sectoren zijn geaggregeerd voor computergemak en presentatiedoeleinden.

De getallen in de tabel laten zien dat de evenwichts algoritmen ervoor zorgen dat verschuivingen van het oude evenwicht in 2012 ("1,00") relatief klein zijn in vergelijking met de jaarlijkse verschuivingen zoals weergegeven in Tabel 13.

Tabel 9: model outputs voor X in 2050, vergelijking van nieuwe evenwichten gevonden voor geaggregeerde sectoren. Uitgedrukt als vermenigvuldigingsfactor voor de periode 2012-2050 (bijvoorbeeld een numerieke waarde van 1,14 komt overeen met een totale stijging van 14% in de periode 2012-2050)

	Basispad	RPCE	TA	Servitization
Wheat	1.14	1.08	1.12	1.04
Animals	1.25	1.22	0.91	1.14
Forestry Products	1.57	1.55	1.51	1.55
Fishery	1.18	1.23	1.21	1.21
Fossile Minerals	1.57	1.51	1.45	1.46
Other Minerals	1.65	1.36	1.05	0.86
Food, Beverage & Tobacco	1.23	1.17	1.14	1.14
Textiles	1.60	1.57	3.64	1.53
Cokes	1.57	1.45	1.48	1.37
Refinery Products	1.65	1.42	1.42	1.39
Chemical Products	1.63	1.51	1.68	1.46
Rubber and Plastics	1.68	1.65	1.48	1.79

Non Metal Mineral Products	1.84	1.00	1.27	2.84
Metal Products	1.71	1.59	1.19	1.61
E & E	1.63	1.57	1.55	1.52
Machinery	1.64	1.57	1.57	1.53
Electricity Coal	1.65	1.64	1.50	1.53
Electricity Gas	1.64	6.74	6.72	6.53
Transport Equipment	1.70	1.68	2.46	1.62
Sewage	1.72	1.67	1.69	1.60
Water	1.70	1.70	1.60	1.65
Construction	1.93	2.00	1.87	2.08
Trade & Retail	1.69	1.68	1.68	1.67
Hospitality	1.80	1.76	1.72	1.75
Transport Services	1.69	1.76	1.70	1.77
Real Estate & Banking	1.80	1.79	1.71	1.80
Public Offices	1.60	1.58	1.53	1.59
Waste Treatment	1.64	1.69	1.46	1.56
Recycling	1.64	1.60	1.43	1.46
Reprocessed Materials	1.68	1.52	2.05	1.61

A.7 Impacts van Icoonprojecten

In december 2017 is een lijst samengesteld van projecten die vanaf 2018 zouden kunnen starten: de icoonprojecten. Deze icoonprojecten hebben in het algemeen het karakter van een cluster samenhangende projecten. Voor de volgende zes clusters van icoonprojecten zijn op dezelfde wijze als voor de 4 eerder besproken scenario's analyses gemaakt van de potentiële impact op de BKG-emissiereductie.

- *Duurzaam inkopen*
 - o Hierbij draait het om het aanpakken van de finale consumptie van overheden in Nederland. Te denken valt aan een andere manier van aanbesteden van infrastructuur, gebouwenbeheer, voertuigen, elektronica en voeding. Eventuele hogere aanschafkosten voor Duurzaam Inkopen worden niet meegenomen, omdat aangenomen wordt dat de kosten “over de levensduur berekend” (de ‘total cost of ownership’ TCO) van de inkoop gelijk blijven.
- *Maximale verwaarding van biomassa*
 - o Uitbreiding van bossen en beter benutten van biomassa uit natuur en groenbeheer.
 - o Verduurzamen productie eiwitten (lange termijn onderzoek, innovatie, landbouwbeleid). Ook relatie met traject Natuurlijk Kapitaal.
 - o Tegengaan voedselverspilling.
- *CO₂ reductie in de bouw*
 - o Bouw van 10.000 houtskeletbouw-woningen per jaar (bron: TA Biomassa en Voedsel).
 - o Opschaling hoogwaardig hergebruik in de bouw.
- *Verlengen levensduur consumptiegoederen*

- Stimuleren product-als-dienst in de elektronica (icoonproject met ICT Nederland).
- Regionale circulaire ambachtscentra: Voorbeelden van dergelijke centra zijn de Tilburgse kringloopwinkel La Poubelle en het 3D lab in Amsterdam.
- Masterplan Meubels: hoogwaardig hergebruik van bestaande meubels en stimuleren hergebruik van matrassen in de meubelindustrie.
- *Versterking kunststofrecycling en biochemie (gebaseerd op bepaald percentage recycklaat; milieustraten, mechanische en chemische recycling, bioplastics)*
 - PPS-programma Chemische Recycling: nieuwe, veelbelovende, innovatieve technologieën voor chemische recycling maken de stap naar opschaling en marktintroductie.
 - Actieplan biobased plastics: overheden en bedrijfsleven maken gezamenlijk ketenafspraken, zodat de huidige productie van biobased plastics in 2030 met 15 procent gegroeid is.
- *Terugwinconcepten voor kritische stoffen en metalen*
 - Doorontwikkelen en organiseren van terugwinconcepten voor kritische stoffen (middellange termijn) en substitutie van kritische grondstoffen (lange termijn) voor de energietransitie.
 - Meer remanufacturing van high-tech producten.
 - Uitbreiding circulaire economie in de automotive.

Deze set icoonprojecten zijn sterk gerelateerd aan het scenario 3 dat is gebaseerd op de doelstellingen geformuleerd in de transitie-agenda's.

In Tabel 10 staan de resultaten gegeven van de model-analyses voor deze 6 icoonprojecten.

De verhoudingen per cluster van icoonprojecten zijn gebaseerd op de relaties tussen icoon projecten en de sectoren. Per sector wordt een grove inschatting gemaakt of, en zo ja in welke mate, de clusters van icoonprojecten betrekking hebben op een BKG-emissiereducties. De impacts van de levensduur van consumptie goederen staat op 0 vanwege het ontbreken van kwantitatieve doelen in de betreffende agenda. De Duurzaam Inkopen reducties zijn overigens gevalideerd met LCA kengetallen.

Tabel 10: impacts jaarlijkse BKG-emissie clusters van icoon clusterprojecten

	2030	2050	2030	2050
<i>Basispad BKG-emissies (Mton)</i>	135	106	29 688	29 020
	BKG-emissiereductie op Nederlands grondgebied (Mton)		BKG-emissiereductie in de gehele keten (Mton)	
	2030	2050	2030	2050
<i>Duurzaam inkopen</i>	2,0	2,4	2,4	2,7
<i>Maximale verwaarding van biomassa</i>	1,0	3,1	1,5	3,1
<i>CO₂ reductie in de bouw</i>	0,5	1,1	0,5	1,1
<i>Verlengen levensduur consumptiegoederen</i>	0,0	0,0	0,0	0,0

<i>Versterking kunststofrecycling en biochemie</i>	0,5	1,1	0,5	1,1
<i>Terugwinconcepten voor kritische stoffen en metalen</i>	0,4	1,3	0,9	1,9

A.8 Andere impacts in 2050

De volgende effecten zijn weliswaar per scenario door EXIOMOD berekend, maar worden niet gerapporteerd. Dit is inherent aan het karakter van macro-economische modellen, die monetaire, sociale en milieukundige extensies per combineren.

- Het aantal banen, uitgedrukt in Full Time Equivalent (FTE) is berekend. Belangrijk hierbij is dat EXIOMOD veranderingen in prijzen (voor bijvoorbeeld producten, kapitaalgoederen en arbeid) endogeen meeneemt. Veranderingen in productiviteit, technische processen of het verkrijgen van kennis en vaardigheden door werknemers zijn hierin niet meegenomen. Indien wordt aangenomen dat werkgelegenheid wordt bepaald door het aanbod aan arbeidskrachten, en niet de vraag, zijn werkgelegenheidseffecten gelijk aan 0. Een circulaire transitie kan met dat uitgangspunt niet leiden tot extra werkgelegenheid, want die heeft alleen invloed op de samenstelling van de vraag. Het CPB verwacht overigens zelfs in het WLO scenario laag een tekort aan arbeidskrachten in Nederland.
- Het direct landgebruik, het areaal aan land in km² binnen Nederland dat moet worden ingezet (toename) of vrijkomt (afname) voor andere toepassingen.
- Het indirect landgebruik, het areaal aan land in km² wereldwijd dat moet worden ingezet (toename) of vrijkomt (afname) voor andere toepassingen.
- Emissie van fijnstof en toxische stoffen
- Het gebruik van “blauw” water. Hiermee wordt het oppervlakte water en grondwater onttrekking bedoeld. Het gebruik van regenwater (“groen”) of het water dat vervuild water moet verdunnen c.q. reinigen (“grijs”) wordt hier niet mee bedoeld.

Voor het basispad bedraagt de toename van SO₂ 32.4 Kton en de toename van NO₂ bedraagt 80Kton. Voor het RPCE scenario 1 bedraagt de afname van SO₂ 3.1 Kton en de afname van NO₂ bedraagt 7.0Kton. Voor het TA scenario 2 bedraagt de afname van SO₂ 1.4 Kton en de afname van NO₂ bedraagt 16.1Kton. Voor het combinatie scenario 3 bedraagt de afname van SO₂ 4.1 Kton en de afname van NO₂ bedraagt 22.0Kton. Voor het Servitization scenario 4 bedraagt de toename van SO₂ 12.2 Kton en de toename van NO₂ bedraagt 3.2Kton.

Bijlage B

Beschrijving EXIOBASE en EXIOMOD

B Bijlage 2: Beschrijving EXIOBASE en EXIOMOD

Deze bijlage is een kopie van de beschrijving van EXIOBASE en EXIOMOD zoals ook vrij beschikbaar op het internet. Het geeft technische details over de uitgangspunten van de database en het model.

B.1.1 Introduction

EXIOMOD is an economic model able to measure the environmental and economic impacts of policies (Tukker et al. 2009). As a multisector model, it accounts for the economic dependency between sectors. It is also a global and multi-country model with consistent bilateral trade flows between countries at the detailed commodity level. Based on national account data, it can provide compressive scenarios regarding the evolution of key economic variables such as GDP, value-added, turnover, (intermediary and final) consumption, investment, employment, trade (exports and imports), public spending or taxes. Thanks to its environmental extensions, it makes the link between the economic activities of various agents (sectors, consumers) and the use of a large number of resources (energy, mineral, biomass, land, water) and negative externalities (greenhouse gases, wastes).

Compared to other existing multi-country economic models such as GTAP, ENV-Linkages, GEM-E3, E3ME, GINFORS or NEMESIS, EXIOMOD 2.0 has several important features that allow customization of the model setup for each study:

- Based on a **flexible modular structure**, EXIOMOD can run (and compare) several standard economic modelling approaches. Where Input-Output (IO) analysis concentrates on the interdependence between economic sectors, general equilibrium analysis takes also into accounts price effects. **Separating IO from general equilibrium effects simplifies the analysis** of the results which overcome certain criticisms formulated to Computational General Equilibrium Models (CGEM) (see below).
- EXIOMOD can have the properties of the two main types of CGEM. **Walrasian CGEMs** (such GTAP, ENV-Linkages or GEM-E3) assume perfect prices flexibility whereas **neo-Keynesian CGEMs** (such E3ME, GINFORS or NEMESIS) assume **market imperfections** (e.g. involuntary unemployment) due to slow adjustment of prices and capital, labour and consumption. This difference may lead to major differences in the results.
- EXIOMOD uses the EXIOBASE database that covers a **high level of detail** on economic sectors (up to 200 products) as well as environmental extensions on emissions, resources, water and land use.

With these features, EXIOMOD is particularly well suited to evaluate the impact of policies related to climate change, energy and resource efficiency at the macroeconomic, sector and household levels:

- Environmental extensions allows for measuring the impact of economic activities on the use of a large variety of resources and other environmental indicators.
- The international trade flows allows for analysing the impact of national consumption pattern on the economy and on the resource use in other

- countries. This feature is particularly convenient to confront production based and consumption based indicators of resource footprint per country.
- The modular approach allows for separating direct and indirect effects, and in particular rebound effects.

B.1.2 A modular approach

EXIOMOD's name stands for EXtended Input-Output MODel. "Extended" refers to the fact that EXIOMOD can extend the standard Input-Output (IO) analysis in two main directions: (1) to Computational General Equilibrium Model (CGEM) analysis, and (2) to specific topics such as environmental impacts, energy, resources or transport. EXIOMOD is based on a modular approach specifically designed to conduct both IO analysis and CGEM simulation. With this modular approach and depending on the subject under investigation, the modeller can easily change the regional and sectorial segmentation as well as the level of complexity regarding the specification of the model by switching on or off specific blocks. This allows for customization, resulting in an appropriate model setup for each research question.

The main objective of this modular approach is to overcome several criticisms formulated to standard CGEMs. In particular, an important issue for the analyses of results obtained with a multi-sector and/or multi-region CGEM is the abundance of linkages and effects which are difficult to separate from one to another. This is all the more true that the results heavily depend on many assumptions such as the level of elasticity, closing rule, underlying data for the sector disaggregation. To some extent, CGEMs have become too complex to answer specific questions which are paradoxically embedded in them. Typically, whereas CGEMs use IO database, the complexity of their production and consumption structure makes it difficult to isolate IO from CGE effects.

On the contrary, EXIOMOD can distinguish different key effects embodied in CGEM which can greatly help the interpretation of the results. In particular, it can separate volume and price effects. The volume effects are directly derived from the IO analysis whereas price effects come from the general equilibrium framework. Within volume effects, EXIOMOD can isolate direct and indirect effects through the calculation of different type of multipliers (multipliers of intermediaries, of investments and of consumption).

B.1.3 Economic and environmental data

The current version of EXIOMOD uses the detailed Multi-regional Environmentally Extended Supply and Use (SU) / Input Output (IO) database EXIOBASE (www.exiobase.eu). This database has been developed by harmonizing and increasing the sectorial disaggregation of national SU and IO tables for a large number of countries, estimating emissions and resource extractions by industry, harmonizing trade flows between countries per type of commodities. Moreover, it includes a physical (in addition to the monetary) representation for each material and resource use per sector and country.

The EXIOBASE database has one of the most detailed products and environmental extensions that are currently available from input-output tables. The database covers

48 regions (43 countries representing around 90% of the world GDP and five rest of the world regions), 200 products and various environmental indicators. The environmental indicators are available as an extension to the input-output tables and are listed in the Table 15 below. Note that the 165 types of crops follow the FAO classification and are much more disaggregated than the crops in the input-output tables.

Table 11: Environmental indicators covered in the EXIOBASE v3 database

Indicator	Level of detail	Examples
Emissions in kg	31 GHG and non GHG emissions	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ • CH₄ • NH₃
Land use in ha	12 types of agricultural land use	<ul style="list-style-type: none"> • Arable land used for rice • Arable land used for wheat • Arable land used for sugar crops
Resource use in kg	165 types of crops	<ul style="list-style-type: none"> • Soybeans • Almonds • Cocoa beans
	8 types of non-metallic minerals	<ul style="list-style-type: none"> • Slate • Gravel and sand • Salt
	9 types of fossil fuels	<ul style="list-style-type: none"> • Anthracite • Peat • Crude oil
	10 types of metals	<ul style="list-style-type: none"> • Iron • Copper • Lead
Water use in Mm3	<ul style="list-style-type: none"> • Consumption green • Consumption blue • Withdrawal blue 	

B.1.4 Conducting IO and CGEM analysis

EXIOMOD can perform a standard IO analysis which is typically useful to answer to the following type of questions. What is the economic impact of developing a particular sector (in terms of employment, value-added, investment, etc.)? Will domestic or foreign producers benefit the most? Which other economic sectors will benefit from it? With the inclusion of environmental extensions, IO tables can also be used to derive and compare various indicators of resource use: e.g. consumption-based versus production-based indicators. An example is the world map in terms of resource footprints shown in Figure 5 as published in the CREEA booklet¹³.

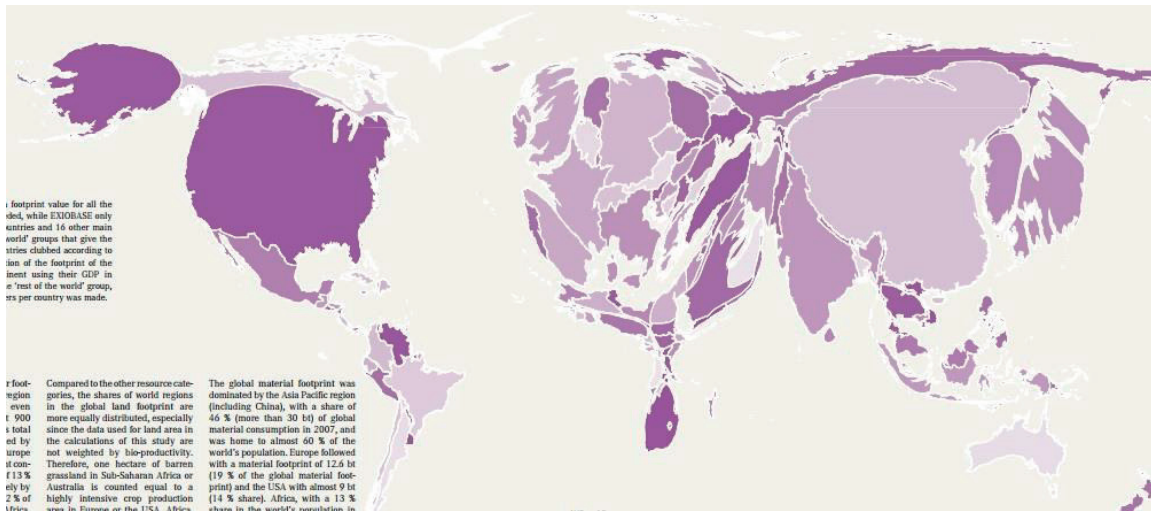


Figure 2: World map of resource footprints by country (Tukker et al. 2014)

But IO analysis has the disadvantage to leave price effects aside. The CGE module can be activated to overcome this limit. EXIOMOD is then used as a CGEM. A CGEM takes into account the interaction and feedbacks between supply and demand as schematized in Figure 6. Demand (consumption, investment, exports) defines supply (domestic production and imports). Supply defines in return demand through the incomes generated by the production factors (labor, capital, energy, material, land, etc.). To ensure the equilibrium between supply and demand, an assumption regarding the “closure” of the system has to be done. Existing CGEMs generally choose between two main closures. The Walrasian closure assumes that perfect price flexibility insure the instantaneous equilibrium between supply and demand. On the contrary, the Keynesian closure assumes that demand defines supply whereas price and quantities are rigid and adjust slowly to the optimum. Depending on the application, EXIOMOD can be run with different closures.

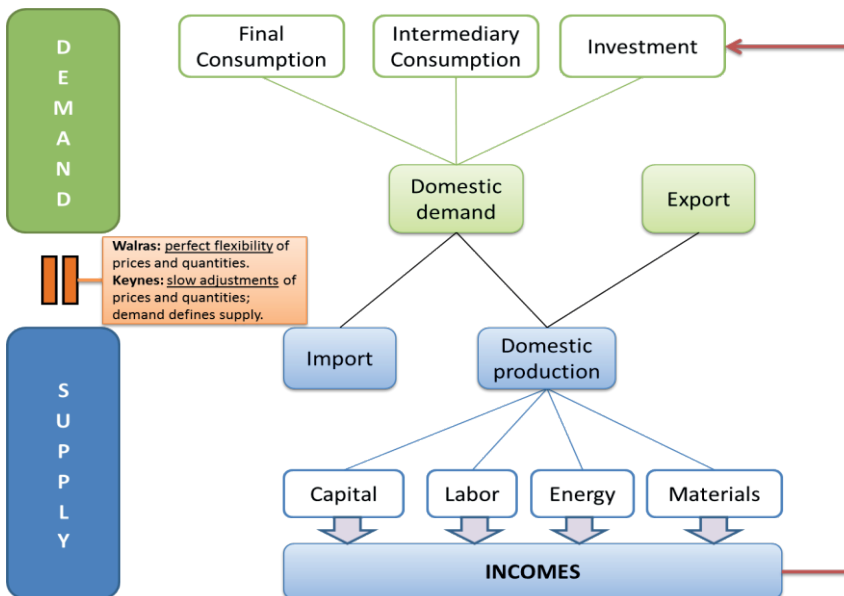


Figure 3: architecture of a CGEM

Producers

The nesting structure used in the current version of the model is shown in Figure 7 but can be easily adjusted using the modular approach of EXIOMOD. The production technology is modelled as a nested Constant Elasticity of Substitution (CES) functions. The nesting structure allows for introducing different substitution possibilities between different groups of inputs. At the first level, we assume that material inputs for production are perfectly complementary to the aggregate input of capital, labor, energy, that is no substitution is possible. At the second level, energy can be substituted to the aggregate input capital-labor. At the third level, the elasticity of substitution between labor and capital is equal to one and equals the Cobb-Douglas function.

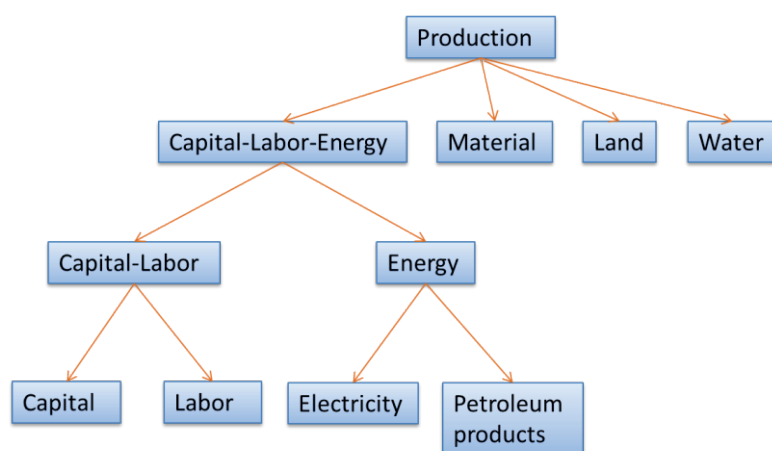


Figure 4: production structure of EXIOMOD

Households

The household's utility is specified as a LES-CES function (Linear Expenditure System - Constant Elasticity of Substitution) allowing to differentiate between necessity and luxury products. This function defines a subsistence level for each good consumed which lead to an elasticity between consumption and revenue lower than one. For instance for food we have a high subsistence level, whereas for other products consumption is more sensitive to the level of income. For instance, the overall subsistence level of consumption corresponds to 33 percent of total consumption, but this level jumps to 80 percent for food products. Above this minimum level of consumption, substitution between good is possible depending on the price. In the modular approach of EXIOMOD the household's utility function could be switched to the standard CES function in order to simplify the model.

Trade

The trade structure is schematized in Figure 8. At the first level, the user (e.g. final consumer or sectors) can either import a good buy the good from the domestic market. In a second step, all imported products from the different users are aggregated to calculate the total level of imports. In a third level, imports can be supplied by different countries. We assume a CES function characterized by possibilities of substitutions between regions of origin. We assume that trade in energy, water and construction is much less flexible in terms of changing trade partners compared to trade of other products.

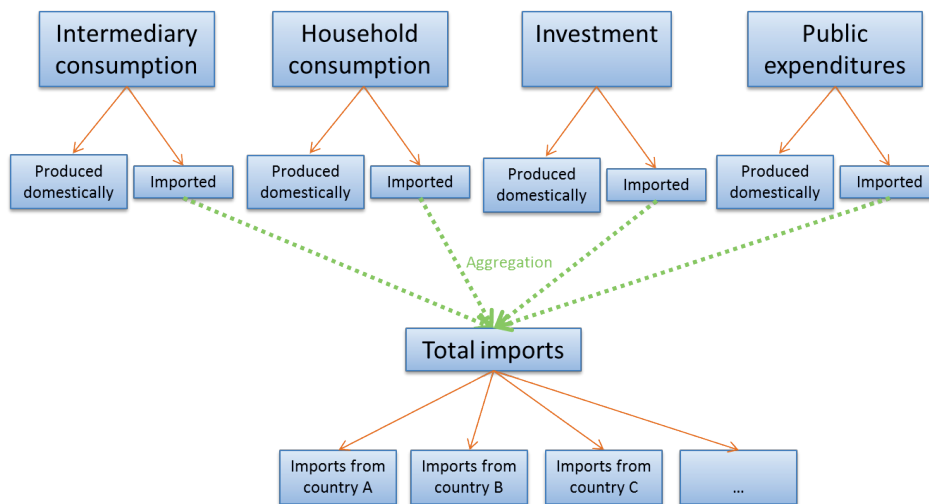


Figure 5: trade structure in EXIOMOD

Environment

EXIOMOD related the resource use to the economic activity in several ways. CO₂ emissions are directly related to the level of consumption of the energy commodities responsible of the emission. Water consumption of economic activities is related to the level of production. For households, it is related to the water consumption (purchased from the water supply sector). Materials (such as metal, non-metallic minerals, etc.) are related to the production of the mining sector responsible of the extraction.

An example application is a baseline scenario on CO₂ emissions until 2050. This baseline scenario was applied in the FP7 POLFREE project (see D3.7b on www.ucl.ac.uk/polfree). One of the outcomes was a trajectory of CO₂ emissions as shown in Figure 9. The figure shows how far we are off from the climate targets in 2050 if we follow the economic projections and no additional climate policy is assumed.

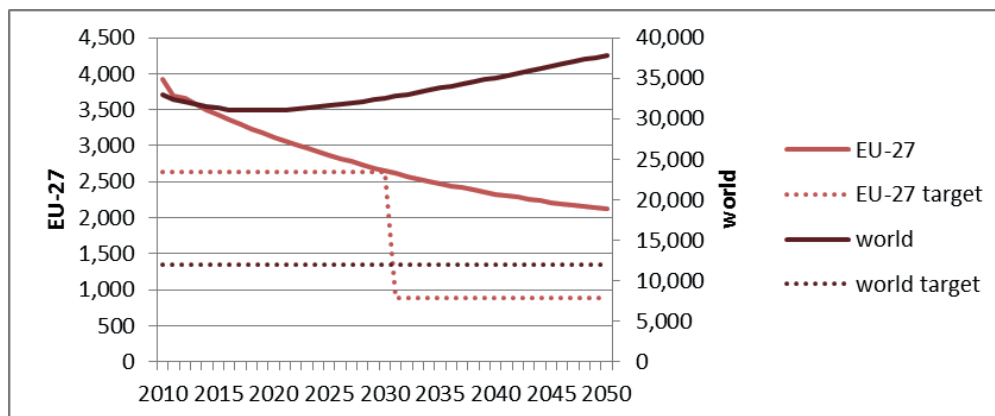


Figure 6: CO₂ baseline in EXIOMOD

Static calculation source code

The following code describes how the annual changes for a particular emission, year, region, sector (“ind”), are calculated. It shows how initial shocks for a year on the use of product are calculated. This results in a static shock. After this, the model will use mathematical equations to adjust the quantities and process of products based on equilibrium conditions for the entire economy. The result of that are the dynamic results. The equations used here can be taken from (Tukker et al. 2009) and (Wood et al. 2015).

```
EMIS_time(reg,ind,emis,year)
=      (coef_emis_c_year(reg,ind,emis,year)      *      sum(ener_CO2,
INTER_USE_T_time(ener_CO2,reg,ind,year) )
+ coef_emis_nc_year(reg,ind,emis,year) * Y_time(reg,ind,year) )
/ 1000000 ;
```

```
EMIS_time(reg,"FCH",emis,year)
=      coef_emis_c_year(reg,"FCH",emis,year)      *      sum(ener_CO2,
CONS_H_T_time(ener_CO2,reg,year) )
/ 1000000 ;
```

```
EMIS_time(reg,"FCG",emis,year)
=      coef_emis_c_year(reg,"FCG",emis,year)      *      sum(ener_CO2,
CONS_G_T_time(ener_CO2,reg,year) )
/ 1000000 ;
```

Literatuur

Literatuur

Cambridge Econometrics et al. (2014). *Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption*.

Available at:

http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf

CPB/PBL (2015), Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Bijsluiter bij de WLO-scenario's, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Available at: http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/PBL_2015_WLO_Bijsluiter_1771.pdf

CPB, PBL (2016) *Klimaat en Energie Achtergronddocument WLO - Welvaart en Leefomgeving Toekomstverkenning 2030 en 2050*.

Available at: <http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-klimaat-en-energie-1775.pdf>

Bastein, T, Rietveld, E, Keijzer, E. (2017) *Ex-Ante evaluatie van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie*.

Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2017/07/06/tno-rapport-ex-ante-evaluatie-van-het-rijksbrede-programma-circulaire-economie>

FAO. 2014. *The State of Food and Agriculture 2014. Innovation in family farming*. Rome

Available at: <http://www.fao.org/publications/sofa/2014/en/>

NEA (2015) *Feiten en cijfers over emissiehandel in Nederland*.

Available at:

<https://www.emissieautoriteit.nl/documenten/publicatie/2015/08/31/rapport-voortgang-emissiehandel-2015>

RVO (2016) *Routekaarten Meerjarenafspraken energie-efficiency (MJA). Routekaarten en Voorstudies MJA3/MEE*.

Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/meerjarenafspraken-energie-effici%C3%ABntie/publicaties/routekaarten-en-voorstudies>

Kram, T., Gielen, D.J., Bos, A.J.M., Feber, M.A.P.C. de, Gerlagh, T., Groenendaal, B.J., Moll, H.C., Bouwman, M.E., Daniëls, B.W., Worrell, E., Hekkert, M.P., Joosten, L.A.J., Groenewegen, P., Govers, T. (2001) *The Matter Project, Integrated energy and materials systems engineering for GHG emission mitigation*

Available at:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.2155&rep=rep1&type=pdf>

PBL en ECN (2017) *Analyse regeerakkoord Rutte III: effecten op klimaat en energie*. Robert Koelemeijer (PBL), Bert Daniëls (ECN), Pieter Boot (PBL), Paul Koutstaal (ECN), Sonja Kruitwagen (PBL), Gerben Geilenkirchen (PBL), Marijke

Menkveld (ECN), Jan Ros (PBL), Gert Jan van den Born (PBL), Sander Lensink (ECN), Marit van Hout (ECN).

Rackley, S.A (2017) Carbon Capture and Storage. (Second Edition), Pages 23–36.

Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812041-5.00002-7>

Schoots, K., Hekkenberg, M., Hammingh, P. (2015) *Nationale Energieverkenning 2015*

Schoots, K., Hekkenberg, M., Hammingh, P. (2017) *Nationale Energieverkenning 2017*. ECN-O--17-018

Available at: <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>

Spakman, J., M.M.J. Van Loon, R.J.K. van der Auweraert, D.J. Gielen, J.G.J.

Olivier en E.A. Zonneveld (1997). *Methode voor de berekening van*

broeikasgasemissies. Publicatiereeks Emissieregistratie nr.37, Den Haag

Available at: [https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/ER-](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/ER-37%20Methoden%20voor%20berekening%20broeikasgassen.pdf)

[37%20Methoden%20voor%20berekening%20broeikasgassen.pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/10/ER-37%20Methoden%20voor%20berekening%20broeikasgassen.pdf)

Schütz, H. Jannick Schmid, J. (2013) *WP 6: Climate Change issues and Kyoto*

Accounting Task 2: Land use cover change account deliverable 6.2 of FP 7 project

CREEA: Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts

Available at: <http://www.exiobase.eu/index.php/publications/documentation>

Tukker, A., Poliakov, E., Heijungs, R., Hawkins, T., Neuwahl, F., Rueda-Cantuche,

J. M., Bouwmeester, M. (2009). Towards a global multi-regional environmentally

extended input-output database. *Ecological Economics*, 68(7), 1928–1937.

<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.11.010>

Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Wood,

R. (2014). The Global Resource Footprint of Nations - Carbon, water, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2.1.

(J. Mohan, Ed.). Leiden/Delft/Vienna/Trondheim: The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Leiden University, Vienna University of Economics and

Business and Norwegian University of Science and Technology. Retrieved from

[http://exiobase.eu/index.php/publications/creea-booklet/72-creea-booklet-high-](http://exiobase.eu/index.php/publications/creea-booklet/72-creea-booklet-high-resolution/file)

[resolution/file](http://exiobase.eu/index.php/publications/creea-booklet/72-creea-booklet-high-resolution/file)

UNEP (2011) Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the

Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel.

Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonnemann, G.;

Buchert, M.; Hagelüken, C.

Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., Kuenen,

J., Schütz, H., Acosta-Fernández, J., Usubiaga, A., Simas, M., Ivanova, O.,

Weinzettel, J., Schmidt, J.H., Merciai, S., Tukker, A. (2015) *Global sustainability*

accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis.

Sustainability (Switzerland), 7 (1), pp. 138-163.

Available at: www.mdpi.com/2071-1050/7/1/138/pdf