



Beleidsomslagen voor het Nederlandse klimaatbeleid

Opdrachtgevers: Natuur & Milieu, Milieudefensie & Greenpeace

Rotterdam, december 2022

Beleidsomslagen voor het Nederlandse klimaatbeleid

Opdrachtgevers: Natuur & Milieu, Milieudefensie & Greenpeace

Rotterdam, december 2022

Project: 1003671

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding onderzoek.....	9
1.2 Onderzoeksvragen.....	10
1.3 Methode.....	10
1.4 Leeswijzer.....	11
2 Scenario's voor toekomstige CO₂-uitstoot	12
2.1 Klimaat- en energieverkenning 2021.....	12
2.2 Een eerlijke bijdrage van Nederland aan CO ₂ -reductie: NCI-scenario's.....	13
2.3 Alternatieve reductiepaden voor Nederland: onderzoeksscenario's.....	14
3 Omslagen in het beleid	17
3.1 Categorisering beleidsmaatregelen.....	17
3.2 Inzet en samenhang maatregelen.....	18
3.3 Doelen en maatregelen per sector.....	19
3.3.1 Elektriciteit.....	19
3.3.2 Industrie.....	20
3.3.3 Mobiliteit.....	21
3.3.4 Gebouwde omgeving.....	22
3.3.5 Landbouw.....	23
3.3.6 Landgebruik.....	23
4 Kwantitatieve doorrekening scenario's	25
4.1 Het model.....	25
4.2 Uitgangspunten bij de scenarioberekening.....	25
4.3 Lineair richting klimaatneutraliteit in 2037: doorrekening scenario 1.....	26
4.3.1 Inputparameters scenario 1.....	26
4.3.2 Resultaten scenario 1.....	27
4.4 Zo snel mogelijk klimaatneutraal: doorrekening scenario 2.....	30
4.4.1 Het toekomstbeeld van scenario 2.....	30
4.4.2 Resultaten scenario 2.....	31
5 Haalbaarheid van de scenario's	34
5.1 Inleiding.....	34
5.2 Haalbaarheid binnen de context van dit onderzoek.....	34
5.3 Overige aspecten van haalbaarheid.....	35
6 Conclusie	37
Referenties	38
Bijlage: werking en resultaten van het model	40
Werking van het model	40
Modelinputs	41
Volledige lijst met inputparameters – scenario 1.....	50
Volledige lijst met inputparameters – scenario 2.....	51

Model outputs	52
Lijst van aannames en modelleerbesluiten	52
Additionele verdiepende modelresultaten, scenario 1	54
Additionele verdiepende modelresultaten, scenario 2	56

Samenvatting

Aanleiding en doel van het onderzoek

Het New Climate Institute heeft onderzocht wat Nederland moet doen om zijn 'fair share' bij te dragen aan de wereldwijde CO₂-reductie¹ die nodig is om het klimaat met maximaal 1,5 graden te laten opwarmen. Het onderzoek laat zien dat een 'full fair share' bijdrage voor Nederland op dit moment al buiten bereik is, omdat het volledige CO₂-budget dat daarbij hoort al is opgebruikt. Het onderzoek beschrijft nog twee andere reductiescenario's. Deze zijn gebaseerd op een CO₂-budget naar rato van het aantal inwoners (per capita) en een CO₂-budget naar rato van de huidige emissies (emission based). Het is voor Nederland nog wel mogelijk om binnen deze budgetten te blijven, op voorwaarde dat er snel additioneel klimaatbeleid wordt gevoerd.

Om aan de reductiedoelen van deze twee scenario's te voldoen zijn fundamentele beleidsomslagen nodig ten opzichte van het huidige systeem in alle economische sectoren die bijdragen aan de Nederlandse CO₂-uitstoot. Natuur & Milieu, Milieudefensie en Greenpeace willen graag meer inzicht in de benodigde beleidsomslagen en het beleid waarmee deze beleidsomslagen gerealiseerd kunnen worden.

Het in dit rapport beschreven onderzoek dient een driedelig doel:

- Het identificeren van de beleidsomslagen die nodig zijn om de Nederlandse CO₂-uitstoot sneller te reduceren en zo een bijdrage te leveren aan de mondiale reductiedoelstellingen (conform de reductiepaden van de twee scenario's) die nodig zijn om binnen het doel van 1,5 graden opwarming te blijven.
- Het samenstellen van een pakket aan beleidsmaatregelen dat voldoende is om deze beleidsomslagen te realiseren.
- Bezien in hoeverre en onder welke voorwaarden deze maatregelen haalbaar zijn.

Daarbij is ook expliciet aandacht voor klimaatrechtvaardigheid. Rechtvaardig klimaatbeleid zorgt ervoor dat de lusten en lasten van het beleid eerlijk verdeeld zijn over verschillende inkomensgroepen en sectoren en vergroot zo het draagvlak voor de transitie.

In de kern is het doel van dit onderzoek echter niet om de resultaten van het beleid exact te voorspellen, maar om de beleidsomslagen te identificeren die nodig zijn om Nederland fundamenteel van koers te doen veranderen.

Beleidsomslagen en beleidsmaatregelen

Voor elk van de sectoren uit het Klimaatakkoord zijn een aantal beleidsomslagen geïdentificeerd en zijn beleidsmaatregelen ontworpen om deze te realiseren. In grote lijnen zijn er drie soorten beleidsomslagen: het **verminderen** van vervuilende activiteiten, het **vervangen** van vervuilende door schone processen en het **verbeteren** van bestaande activiteiten door ze efficiënter te maken. In de meeste sectoren is een combinatie van deze drie soorten beleid nodig om de reductiedoelen te behalen. Per sector is gezocht naar een

¹ Naast CO₂ dragen diverse andere soorten broeikasgassen bij aan de opwarming van de aarde. Hun bijdrage kan worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Deze broeikasgassen maken integraal onderdeel uit van de berekeningen in dit rapport. Omwille van de leesbaarheid wordt in dit rapport echter overal de term "CO₂" gebruikt voor alle broeikasgassen samen. Hier moet dus eigenlijk "CO₂-equivalenten" gelezen worden.

optimale beleidsmix, waarbij de maatschappelijke baten worden gemaximaliseerd met behulp van beleid dat haalbaar en rechtvaardig is.

Bij het ontwerpen van de beleidsmaatregelen is vooral gekozen voor normering en actieve overheidsinterventies, omdat deze meer zekerheid geven dat de doelen behaald worden dan instrumenten als subsidies en belastingen. Daarnaast is flankerend beleid ontworpen om de lusten en lasten van het klimaatbeleid eerlijk te verdelen en kwetsbare groepen te ondersteunen.

Hieronder zijn alle beleidsomslagen en benodigde maatregelen per sector beschreven.

Elektriciteit

- **Beleidsomslagen:**
 - Omslag naar een aanbodgestuurd systeem, waarbij afnemers via energiebesparing, opslag en vraagverschuiving het aanbod volgen.
 - Scherpe verhoging en vervroeging van de doelen voor de uitrol van duurzame opwekking en bijbehorende net- en opslagcapaciteit.
 - Coördinerende en interveniërende rol van de overheid om uitrolbarrières weg te nemen.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Een verbod op het leveren van niet CO₂-vrije elektriciteit en een verbod op het stoken van aardolie en aardgas voor elektriciteit.
 - Overheidsinterventie d.m.v. aanwijzing van kavels voor elektriciteitsproductie², versnellen van vergunningsprocessen en beschikbaar stellen van ruimte, mensen en middelen voor vergroting van de netcapaciteit.
 - Flankerend beleid in de vorm van subsidies voor de ontwikkeling en uitrol van duurzame opwekkingstechnieken, regelbaar vermogen en energieopslag en het stimuleren van lokaal eigendom.

Industrie

- **Beleidsomslagen:**
 - Omschakeling naar industriële processen met een energievoorziening gebaseerd op elektriciteit en waterstof.
 - Omschakeling van lineair naar circulair grondstofgebruik.
 - Sterk verhoogde inzet op verplichte energiebesparing.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Invoering van een dalend CO₂-uitstootplafond en een uittafseerpad voor fossiele bronnen per industriële locatie, verbreding en verhoging van de CO₂-heffing, verhoging van de energiebelasting en afschaffing van de degressieve structuur. Opbrengsten hiervan kunnen worden teruggesluisd naar investeringen in de omschakeling naar duurzame en circulaire businessmodellen.
 - Stijgende minimumnormen voor het percentage gerecyclede grondstoffen en de efficiëntie van productieprocessen.
 - Uitbreiding, verhoging, aanscherping en betere handhaving van de energiebesparingsplicht.
 - Flankerend beleid: invoering van een 'Carbon Border Adjustment Mechanism' en uitrol/verzwaring van transportinfrastructuur voor waterstof en elektriciteit.

² Conform het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening ('Barro').

Mobiliteit

- **Beleidsomslagen:**
 - Een afname van het totaal aantal voertuigkilometers, door niet langer de volledige vervoersvraag te faciliteren maar een adequate basisvoorziening te garanderen.
 - Een sterke modal shift van wegverkeer naar andere modaliteiten zoals trein, tram, metro en fiets.
 - Een grootschalige vervanging van het huidige wagenpark door efficiënte, CO₂-vrije voertuigen.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Geleidelijk verbod op fossiel wegverkeer via groeiende emissievrije zones, verplichte aanschaf emissievrije voertuigen (eerst zakelijk, dan particulier), verlaging van maximumsnelheden, stijgende minimumeis voor de energie-efficiëntie van voertuigen.
 - Overheidsinterventie door middel van investeringen in openbaar vervoer, laadinfrastructuur en deelmobiliteit.
 - Stimuleren/ontmoedigen: OV-gebruik goedkoper maken, autogebruik duurder maken (o.a. d.m.v. rekeningrijden), snelwegcapaciteit niet meer uitbreiden en deels reserveren voor openbaar busvervoer, bevorderen deelmobiliteit en thuiswerken.
 - Flankerend beleid: financiële regeling voor de ombouw of inruil van fossiele voertuigen voor CO₂-vrije voertuigen en vergroten van de nabijheid van essentiële voorzieningen.

Gebouwde omgeving

- **Beleidsomslagen:**
 - Versnelling van het energiezuinig maken van woningen en utiliteitsgebouwen door bindende energieprestatienormen op te leggen.
 - Rijksbreed programma om wijk voor wijk de warmtevoorziening en de gebouwenvoorraad collectief te verduurzamen.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Normering: normen voor de energieprestaties van gebouwen in de vorm van minimale energielabels en een verbod op verhuur en verkoop van gebouwen die niet voldoen aan deze normen.
 - Interventie: uitrol rijksbreed programma voor collectieve verduurzaming warmtevoorziening en gebouwenvoorraad.
 - Flankerend beleid: subsidies en leningen voor huiseigenaren en woningcorporaties om te verduurzamen, in combinatie met maatregelen om huurders te beschermen.

Landbouw

- **Beleidsomslagen:**
 - Omschakeling naar grondgebonden veehouderij, leidend tot een duurzame, ecologische veehouderij, in combinatie met een aanzienlijke krimp van de veestapel.
 - Omschakeling naar ecologische veehouderij en kringlooplandbouw, waardoor het houden van vee met minder uitstoot gepaard gaat.
 - Omschakeling naar een aardgasvrije glastuinbouw.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Dalend CO₂-uitstootplafond in de glastuinbouw, norm voor de minimale hoeveelheid beschikbare grond per dier in de veehouderij, verbod op kunstmest, krachtvoer en bestrijdingsmiddelen.
 - Flankerend beleid: subsidies voor verduurzaming van boerenbedrijven, uitkoopregelingen, invoering van vergoedingen voor diverse vormen van natuurbeheer, stimulering van de consumptie van plantaardige eiwitten in plaats van dierlijke.

Landgebruik

- **Beleidsomslagen:**
 - Omzetting van vrijkomende landbouwgrond in natuurgebieden.
 - Actief management van het waterpeil in veenweidegebieden om CO₂-uitstoot te minimaliseren en CO₂-vastlegging door veen mogelijk te maken.
- **Beleidsmaatregelen:**
 - Vastleggen normen voor waterstanden in veenweidegebieden.
 - Overheidsinterventie d.m.v. opkoop en herbestemming landbouwgrond.

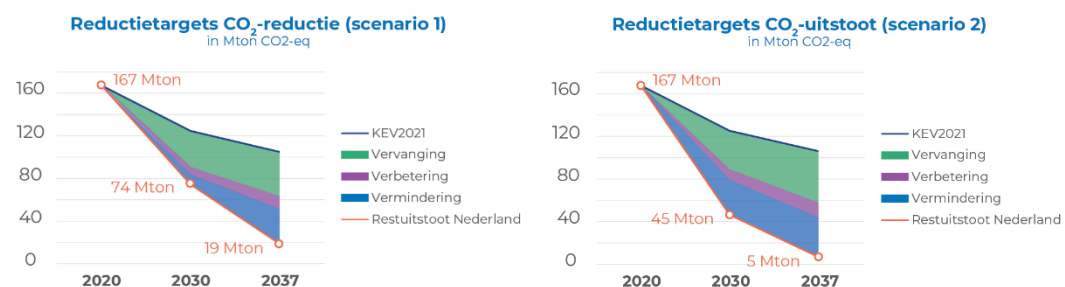
Scenario's en modelanalyse

Om de effecten van de beleidsmaatregelen te kwantificeren, is een model gebouwd dat de effecten doorrekent. Dit model neemt de projecties uit de KEV-2021 als uitgangspunt en voegt daaraan voor elke beleidsmaatregel een inputparameter toe. Door de waarden van de inputparameters te variëren, kunnen de effecten van het gevoerde beleid worden door-gerekend in termen van additionele uitstootreductie ten opzichte van het basispad uit de KEV.

Met dit model zijn twee scenario's doorgerekend:

- **Lineair richting klimaatneutraliteit in 2037:** in dit scenario wordt vijftien jaar de tijd genomen om de CO₂-emissies via een lineair pad te reduceren tot bijna nul. Dit leidt tot een reductie van 64% in 2030 en 91% in 2037. Hiermee wordt binnen een cumulatief uitstootbudget van 1.782 Mton CO₂-eq. gebleven, dat is gebaseerd op het NCI-scenario 'carbon budget distributed by historical greenhouse gas emissions'.
- **Zo snel mogelijk klimaatneutraal:** in dit scenario worden alle beleidsmaatregelen maximaal ingezet om zo snel mogelijk een zo groot mogelijke reductie te behalen. In dit scenario bedraagt de reductie 79% in 2030 en 97% in 2037. Hiermee wordt binnen een cumulatief uitstootbudget van 1.242 Mton CO₂-eq. gebleven, dat is gebaseerd op het NCI-scenario 'carbon budget distributed by population'.

De resulterende reductiepaden zijn visueel weergegeven in onderstaande grafieken. Daarbij is het effect van de verschillende maatregelen gegroepeerd naar de drie hoofdcategoryën van het beleid: verminderen, verbeteren en vervangen.



Haalbaarheid van de maatregelen

De effecten van nieuw beleid zijn nooit met zekerheid te voorspellen, maar op basis van het bronnenonderzoek en de daarop gebaseerde modelanalyse is het aannemelijk dat uitvoering van de gekozen maatregelen volstaat om de reductiedoelen te bereiken. Er zijn daarbij wel de nodige uitvoeringsbarrières die geslecht moeten worden, zoals het vinden van voldoende personeel, het verkorten van vergunningsprocedures en het inpassen van nieuwe infrastructuur in de ruimtelijke planning. Ook zal de financiële impact van de maatregelen moeten worden geanalyseerd. Dat valt echter buiten de scope van het huidige onderzoek.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Het New Climate Institute heeft onderzocht wat Nederland moet doen om zijn 'fair share' bij te dragen aan de wereldwijde CO₂-reductie³ die nodig is om het klimaat met maximaal 1,5 graden te laten opwarmen. De resultaten van het onderzoek laten drie reductiescenario's zien, die elk gebaseerd zijn op een verdeling van het mondiale CO₂-budget. Het eerste reductiescenario representeert wat het NCI 'full fair share' noemt, en laat zien dat het volledige CO₂-budget op basis van full fair share voor Nederland nu al opgebruikt is. Het tweede reductiescenario is gebaseerd op een 'per capita' verdeling van het mondiale CO₂-budget. Binnen dit reductiescenario moet Nederland zijn nationale emissies tot bijna nul reduceren in 2030. Het derde reductiescenario is berekend op basis van het huidige aandeel van Nederland aan de mondiale uitstoot ('emission based'). Dit laatste reductiescenario is dus niet gebaseerd op full fair share of eerlijke principes. Binnen dit scenario moet Nederland in 2037 zijn nationale CO₂-uitstoot bijna op nul krijgen (NCI, 2022).

Met het huidige beleid, dat voornamelijk bestaat uit incrementele wijzigingen die het bestaande economische systeem grotendeels intact laten, zal Nederland er niet in slagen om de bijdrage te leveren die nodig is om zich aan het 'fair share'-budget van het NCI rapport te houden. CO₂-compensatie in het buitenland is hierdoor noodzakelijk, wat buiten de scope van dit onderzoek valt. Om deze reden wordt het 'fair share' scenario niet verder meegenomen in dit onderzoek. Onze opdrachtgevers benadrukken dat dit de Nederlandse regering niet ontziet van haar verantwoordelijkheid om zich te committeren aan een eerlijk CO₂-budget.

Ook voor de 'per capita' en 'emission based' scenario's doet Nederland momenteel niet genoeg. Maar in tegenstelling tot het 'fair share' scenario is echter het emissiebudget voor de 'per capita' en 'emission based' scenario's nog niet opgebruikt. Het is daardoor nog mogelijk om de doelen uit deze twee scenario's te halen door middel van nationale CO₂-reductie.

Om aan de reductiedoelen van deze twee scenario's te voldoen zijn fundamentele beleidsomslagen nodig ten opzichte van het huidige systeem in alle economische sectoren die bijdragen aan de Nederlandse CO₂-uitstoot. Natuur & Milieu, Milieudefensie en Greenpeace willen graag meer inzicht in de benodigde beleidsomslagen en het beleid waarmee deze beleidsomslagen gerealiseerd kunnen worden.

³ Naast CO₂ dragen diverse andere soorten broeikasgassen bij aan de opwarming van de aarde. Hun bijdrage kan worden uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Deze broeikasgassen maken integraal onderdeel uit van de berekeningen in dit rapport. Omwille van de leesbaarheid wordt in dit rapport echter overal de term "CO₂" gebruikt voor alle broeikasgassen samen. Hier moet dus eigenlijk "CO₂-equivalenten" gelezen worden.

1.2 Onderzoeksvragen

Het uitgevoerde onderzoek poogt de volgende drie onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Welke beleidsomslagen zijn er nodig in de Nederlandse samenleving op het niveau van economische sectoren om een bijdrage te leveren aan de mondiale CO₂-reductie zoals berekend door het NCI?
2. Welk beleid is er nodig om deze beleidsomslagen te realiseren?
3. In hoeverre is de uitvoering van dit beleid, en daarmee de realisatie van deze beleidsomslagen, haalbaar?

Daarbij moet opgemerkt worden dat het hier gaat om een verkennende studie, waarbij op hoofdlijnen gekeken is welke beleidsomslagen nodig zijn en met welke typen beleidsmaatregelen deze gerealiseerd kunnen worden. Er is geen effectstudie verricht naar de kwantitatieve impact van individuele maatregelen. Daarom zijn de maatregelen alleen kwalitatief beschreven. In plaats daarvan is er op sectorniveau gekeken hoe groot de verduurzamingspotentie is en op welke termijn verduurzaming kan plaatsvinden.

1.3 Methode

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden, doorlopen wij de volgende stappen:

- **Opstellen scenario's.** Wij beginnen met het in kaart brengen van de huidige en de verwachte Nederlandse CO₂-uitstoot op basis van de Klimaat en Energieverkenning 2021 van het PBL⁴. Dit is het '*business as usual*'-scenario. Vervolgens definiëren wij alternatieve scenario's voor de toekomstige ontwikkeling van de Nederlandse CO₂-uitstoot, die als uitgangspunt hebben dat er omslagen in het beleid plaatsvinden om tot een bijdrage te komen voor Nederland zoals beschreven in het NCI rapport.
- **Identificatie beleidsomslagen en maatregelen.** Wij kijken voor elk van de sectoren uit het Klimaatakkoord (Elektriciteit, Industrie, Mobiliteit, Gebouwde omgeving, Landbouw en Landgebruik) welke omslagen er nodig zijn en met welk beleid deze gerealiseerd kunnen worden. Dit doen wij op basis van literatuuronderzoek. In overleg met de opdrachtgevers van het onderzoek is een keuze gemaakt voor beleidsmaatregelen die in het model zijn opgenomen.
- **Modelbouw.** Wij bouwen een model waarin per sector de toekomstige jaarlijkse CO₂-uitstoot wordt doorgerekend. De basis van het model is het '*business as usual*'-scenario uit de KEV 2021. Daarnaast wordt elke beleidsmaatregel vertaald naar een inputparameter van het model die het effect van de maatregel op de uitstoot simuleert. Zo kan het effect van verschillende beleidspakketten op de CO₂-uitstoot worden doorgerekend.
- **Doorrekenen effecten.** Tot slot wordt elk scenario (met bijbehorend beleidspakket) vertaald naar een set waarden voor de gedefinieerde inputparameters en wordt het model met deze waarden doorgerekend. De uitkomsten van het model laten vervolgens per scenario zien in welke CO₂-uitstoot dit resulteert. Op deze manier kan de impact van het beleidspakket voor de betreffende scenario's kwantitatief worden vastgesteld.

⁴ Gedurende het onderzoek is gebruik gemaakt van de KEV2021. Recent is de nieuwe versie van dit rapport, de KEV2022, beschikbaar gemaakt. De KEV2022 is echter te laat in de loop van dit onderzoek beschikbaar gekomen om hierop de modelberekeningen te baseren.

1.4 Leeswijzer

- In **hoofdstuk 2** beschrijven wij een aantal klimaatscenario's. Wij beginnen met het toekomstscenario uit de Klimaat- en Energieverkenning van het PBL (2021). Dit scenario toont de verwachte CO₂-uitstoot op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid en fungeert zo als een basisscenario om andere scenario's tegen af te zetten. Vervolgens kijken wij naar de scenario's van het NCI die laten zien hoeveel de CO₂-uitstoot zou moeten afnemen als Nederland een 'fair share' bijdrage wil leveren aan de mondiale CO₂-reductie. Op basis hiervan formuleren wij twee scenario's voor aanscherping van het Nederlandse klimaatbeleid. Deze werken wij in de volgende hoofdstukken verder uit.
- In **hoofdstuk 3** benoemen wij eerst enkele algemene uitgangspunten en indelingen voor de verschillende soorten beleid die gevoerd kunnen worden om CO₂-reductie te bewerkstelligen. Vervolgens beschrijven wij per sector in detail welke doelen gesteld worden in de scenario's, welke omslagen daarvoor nodig zijn en met welk beleid deze bewerkstelligd kunnen worden.
- In **hoofdstuk 4** volgt dan de kwantitatieve doorrekening van de scenario's. Eerst zetten wij uiteen hoe het model dat wij gebruiken in elkaar steekt. Vervolgens bespreken wij de inputparameters van het model en welke waarden we kiezen voor deze parameters in de beide scenario's. Daarna tonen wij de resultaten van de doorrekening in termen van gerealiseerde CO₂-reductie.
- In **hoofdstuk 5** bespreken wij de praktische haalbaarheid van de scenario's. Daarbij gaan wij in op verschillende aspecten, zoals technische, organisatorische en politieke haalbaarheid.
- In **hoofdstuk 6** beantwoorden wij de gestelde onderzoeksvragen en plaatsen enkele concluderende opmerkingen.

2 Scenario's voor toekomstige CO₂-uitstoot

2.1 Klimaat- en energieverkenning 2021

Het coalitieakkoord (Rijksoverheid, 2022a) geeft een overzicht van zowel de gestelde doelen op het gebied van klimaat en energie als de algemene beleidsmaatregelen om deze doelen te halen. Tabel 2.1 laat een doorrekening zien van de nationale CO₂-uitstoot op basis van de doelen uit het coalitieakkoord.

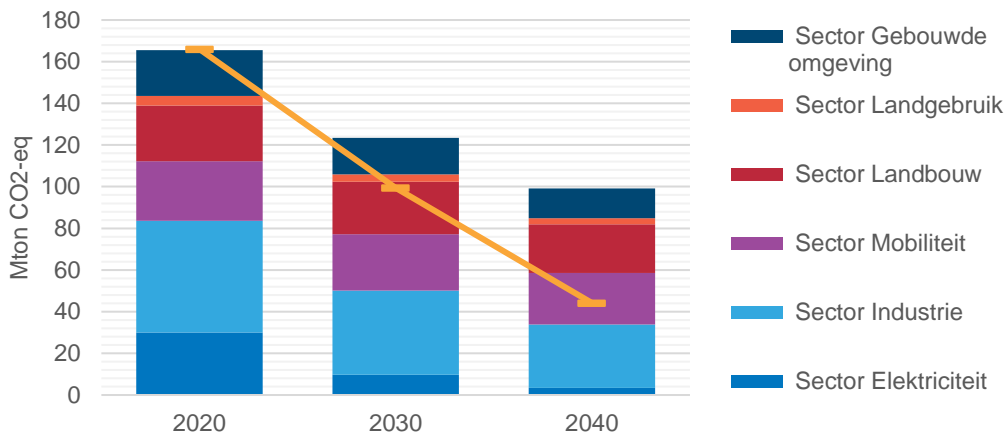
Tabel 2.1: Nederlandse CO₂-uitstoot 2020-2050 o.b.v. het coalitieakkoord 2021

Jaartal	Reductietarget (% t.o.v. 1990)	Restuitstoot (Mton CO ₂ -eq / jaar)	Cumulatieve uitstoot vanaf 2020 (Mton CO ₂ -eq)
2020	-	166,6	0
2030	55%	99,4	1.330
2035	70%	66,3	1.744,3
2040	80%	44,2	2.020,5
2050	100%	0	2.241,5

Op basis van de doelen en het beleid uit het coalitieakkoord heeft het PBL een gedetailleerde doorrekening gemaakt van sectorspecifieke trends in uitstoot tot 2050. De Klimaat- en Energie verkenning 2021⁵ (hierna: 'KEV-2021') (PBL, 2021) bevat een uitgebreide analyse van het energieverbruik en de CO₂-uitstoot per sector. Aanvullend aan de huidige uitstoot (in het jaar 2020) worden er projecties gedaan voor de uitstoot in 2030, 2040 en 2050. Dit doet de KEV-2021 aan de hand van twee doorrekeningen. De eerste kijkt alleen naar het huidige [vastgestelde](#) beleid voor het berekenen van de uitstootprojecties. De tweede doorrekening rekent met zowel het [vastgestelde](#) als het [voorgenomen](#) (V&V) beleid. Het meenemen van het voorgenomen beleid resulteert over het algemeen in een grotere besparing. In dit onderzoek hanteren wij de V&V-doorrekening als basis. De resultaten van doorrekening zijn te zien in figuur 2.1.

⁵ De nieuwe versie van de KEV-2021 (de KEV-2022) is reeds uitgekomen. Echter kwam dit nieuwe rapport te laat in de loop van het onderzoek om de bevindingen van de KEV-2022 te gebruiken.

Figuur 2.1: Uitstoot uit de KEV-2021 (V&V beleid) per sector, met bijbehorende reductietargets 55% en 80%



De doorrekeningen van de KEV-2021 in figuur 2.1 laten zien dat Nederland haar uitstoot in 2030 tussen de 38% (alleen vastgesteld beleid) en 48% (V&V beleid) reduceert. De streefdoelen van 55% reductie in 2030 en 80% reductie in 2040 worden in beide scenario's niet gehaald. Er is dus aanvullend beleid nodig om de verduurzamingstargets van de coalitie te halen. De projecties uit de KEV-2021 kunnen gebruikt worden als basis om de effecten van additioneel verduurzamingsbeleid door te rekenen.⁶

2.2 Een eerlijke bijdrage van Nederland aan CO₂-reductie: NCI-scenario's

In augustus 2022 bracht het New Climate Institute (NCI, 2022) een rapport uit waarin het onderzocht wat een eerlijke bijdrage van Nederland zou zijn aan de mondiale doelstelling om de opwarming van de aarde tot 1,5 °C te beperken. Het rapport trekt de volgende conclusies:

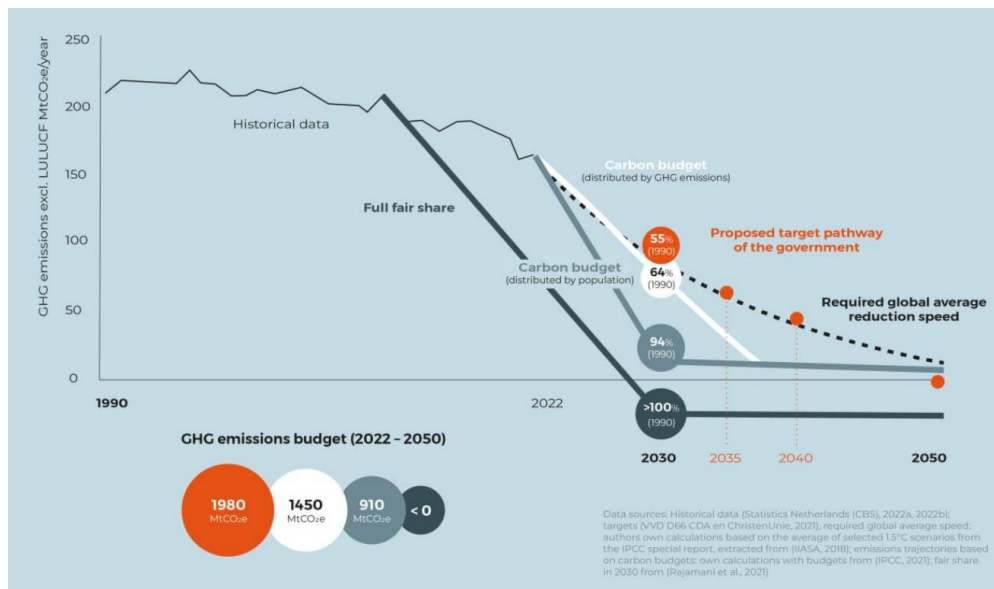
- Door de hoge historische uitstoot per hoofd van de bevolking, en het grote economische vermogen van Nederland in vergelijking met ontwikkelende landen, dient Nederland een voorloper te zijn in reductie in plaats van zich aan het gemiddelde mondiale pad te houden. Het wordt als niet in lijn met de fair share-principes van het NCI gezien als Nederland zich op dezelfde snelheid verduurzaamt als een ontwikkelend land. In plaats daarvan dient Nederland dus al eerder dan 2050 CO₂-neutraal te zijn.
- Het mondiale reductiepad dat is overgenomen door Nederland vereist tevens een grote inzet op negatieve emissies door middel van koolstofsinks na 2050. Koolstofsinks zijn veelal grote natuurgebieden (zoals bossen) met de capaciteit om op significante schaal CO₂ op te nemen uit de atmosfeer. Echter is er in Nederland maar een beperkte hoeveelheid aan deze koolstofsinks voor negatieve emissies beschikbaar. Daardoor is het potentieel van Nederlandse koolstofsinks niet groot genoeg om de mondiale plannen hierop te volgen. In plaats daarvan zal extra reductie nodig zijn.

⁶ Na afronding van de belangrijkste berekeningen voor dit onderzoek is de KEV-2022 gepubliceerd. De cijfers hierin wijken beperkt af van de KEV-2021. Gebruik van de meest recente cijfers zou een verwaarloosbaar effect hebben op de uitkomsten en conclusies van dit onderzoek.

Het rapport bespreekt wat een eerlijk aandeel voor Nederland zou zijn in de mondiale CO₂-reductie. Daarnaast constateert het rapport dat de Nederlandse reductietargets onvoldoende zijn om überhaupt onder het maximum van 1,5 graden te blijven. De vraag wordt dan: wat is wel een eerlijke uitstoot voor Nederland, en waar kan dit op worden gebaseerd?

Op basis van eerlijkheidscriteria en het gestelde maximum van 1,5 °C opwarming heeft het NCI drie nieuwe koolstofbudgetten opgesteld die het kabinet kan overnemen bij het bepalen van additioneel duurzaamheidsbeleid. Figuur 2.2 geeft een overzicht van de voorgestelde reductiepaden en targets. Het 'full fair share' pad in figuur 2.2 voldoet als enige aan alle gestelde criteria in het NCI rapport. Het pad 'carbon budget verdeeld naar bevolking' voldoet in mindere mate aan de criteria. Het pad 'carbon budget verdeeld naar broeikasemissies schendt een aantal cruciale principes van het NCI⁷ en de UNFCC⁸. Desalniettemin zijn alle drie de paden significant ambitieuzer dan de huidige coalitiedoelen en vereisen beleidsomslagen in de CO₂-uitstoot van alle sectoren van de Nederlandse economie. Deze paden veronderstellen bijvoorbeeld dat Nederland richting 2037 al bijna CO₂-neutraal is.

Figuur 2.2: Nieuwe reductiepaden voor Nederland (NCI, 2022)



2.3 Alternatieve reductiepaden voor Nederland: onderzoeksscenario's

Het coalitieakkoord en het NCI rapport geven samen vier mogelijke reductiepaden voor Nederland. Elk pad beschrijft een geleidelijke daling van de CO₂-emissies, waaruit een cumulatief CO₂-budget is af te leiden. Deze vier paden worden beschreven in tabel 2.2.

Het primaire doel van elk reductiepad is een emissiebudget. Dit representeert de totale optelling van alle uitstoot over de periode 2022-2050. Zolang de totale uitstoot onder deze grens blijft, wordt het doel gehaald. Secundair is het tussentijdse procentuele reductiedoel in

⁷ Dit budget houdt zich niet aan de twee gestelde uitgangspunten van het NCI aan het begin van 2.2

⁸ Dit budget schendt het "Common but differentiated responsibilities and capabilities" principe (NCI, 2022)

2030. In essentie is het halen van de tweede target niet nodig voor het behalen van de eerste. Een tussentijds doel heeft echter wel een richtinggevende waarde. Het uitstellen van CO₂-reductie (oftewel het verlagen van de secundaire doelen) betekent dat er in de periode tot 2030 meer CO₂ wordt uitgestoten. Dit verbruikt een groot deel van het nu al krappe CO₂-budget, wat het bereiken van de primaire doelen bemoeilijkt.

Tabel 2.2: Mogelijke reductiepaden voor Nederland

Reductiepad	Reductietarget 2030 (% t.o.v. 1990)	Cumulatief uitstootbudget 2020-2050 (Mton CO ₂ -eq)
Coalitieakkoord doelen	55%	2.241,5
NCI koolstofbudget, verdeeld naar historische broeikasgasemissies	64%	1.782 ⁹
NCI koolstofbudget, verdeeld naar bevolkingsomvang	94%	1.242 ¹⁰
NCI 'full fair share' koolstofbudget	>100%	-350

De reductiepaden uit tabel 2.2 dienen als leidraad voor de scenario's die in dit rapport zijn gekwantificeerd. Er is in overleg met de opdrachtgever voor gekozen om te focussen op twee specifieke reductiepaden: het koolstofbudget verdeeld naar historische emissies (NCI) en het koolstofbudget verdeeld naar bevolkingsomvang (NCI). Het reductiepad uit het coalitieakkoord is niet meegenomen als concreet scenario, omdat uit het NCI rapport blijkt dat dit scenario de doelstelling van maximaal 1,5 °C opwarming niet haalt. Het vierde reductiepad, 'full fair share', is ook niet meegenomen, omdat er geen realistische manier is om dit pad binnen een nationale scope te bewerkstelligen. Dit pad heeft namelijk een carbon budget van ongeveer -350 Mton CO₂. Door de eerdergenoemde afwezigheid van significante koolstofsinks in Nederland is het vrijwel onmogelijk om dit doel op nationale schaal te behalen. Het negatieve budget vereist daarnaast een zware inzet op compensatie door additionele CO₂-uitstootreductie en CO₂-vastlegging in het buitenland, wat buiten de directe scope van dit onderzoek valt.

Hoewel het 'full fair share' reductiepad niet verder is meegenomen in dit onderzoek, blijft dit pad de enige uit tabel 2.2 die voldoet aan alle eerlijkheidscriteria van het NCI.

Scenario 1: Lineair richting klimaatneutraliteit in 2037

Dit scenario neemt vijftien jaar de tijd om Nederland bijna klimaatneutraal te maken. Daarvoor wordt een versneld reductiepad ontworpen dat in een rechte lijn van het huidige uitstootniveau naar een zeer laag uitstootniveau in 2037 gaat. Het hoofddoel van dit scenario is om binnen een totaal emissiebudget van 1.782 Mton CO₂ te blijven in de periode 2020-2050. Daarnaast streeft dit scenario naar een reductie van 64% in 2030 t.o.v. 1990. Dit percentage volgt uit het lineaire reductiepad van 2022 naar 2037. Deze kwantitatieve doelen zijn gebaseerd op het reductiepad "NCI koolstofbudget, verdeeld naar historische broeikasgasemissies" uit tabel 2.2. Door te kiezen voor een lineair reductiepad over vijftien jaar laat dit scenario enige ruimte om te kiezen tussen verschillende beleidsmaatregelen en hoeft de mate waarin en de snelheid waarmee deze worden doorgevoerd niet tot het uiterste te worden opgerekt (in vergelijking met scenario 2). Dit scenario richt zich bij het ontwerpen van het beleidspakket dus op

⁹ Het NCI rekent vanaf 2022, terwijl de KEV-2021 vanaf 2020 rekent. Om de koolstofbudgetten te stroomlijnen is de Nederlandse uitstoot van 2020 en 2021 bij het NCI-cijfer opgeteld.

¹⁰ Idem.

maximale haalbaarheid, in die zin dat beleidsmaatregelen die het moeilijkst uitvoerbaar zijn of op de meeste weerstand zullen stuiten niet meegenomen hoeven te worden.

Scenario 2: Zo snel mogelijk klimaatneutraal

Dit scenario heeft als uitgangspunt dat alles op alles wordt gezet om de CO₂-uitstoot zo snel mogelijk te reduceren. Hieraan worden de kwantitatieve doelen gekoppeld van het reductiepad “NCI koolstofbudget, verdeeld naar bevolkingsomvang” uit tabel 2.2. Het totale emissiebudget krimpt daarmee tot **1.242 Mton CO₂** in de periode 2020-2050. Het tussendoel voor 2030 is **een zo groot mogelijk reductiepercentage** t.o.v. 1990. In vergelijking met scenario 1 wordt hier dus zwaarder ingezet op reductie *eerder* in de tijd om daarmee de totale uitstoot over de gehele periode verder te verlagen. De beleidsmaatregelen die worden doorgevoerd zijn dezelfde als in scenario 1, maar ze worden sneller en in grotere mate ingezet. Er wordt in dit scenario dan ook niet gestuurd op maximale haalbaarheid, maar op het bereiken van een **maximaal reductieresultaat**.

3 Omslagen in het beleid

3.1 Categorisering beleidsmaatregelen

Voor een systematische behandeling van het te voeren beleid, is het nuttig enkele categorieën te introduceren die inzicht geven in de verschillende soorten beleid die mogelijk en wenselijk zijn om beleidsomslagen in het klimaatbeleid te realiseren.

Allereerst is er een driedeling mogelijk gebaseerd op het type effect dat een beleidsmaatregel heeft:

- **Verminderen:** een activiteit die CO₂-uitstoot veroorzaakt, minder verrichten. Dat wil bijvoorbeeld zeggen een bepaald product minder produceren, of minder van dat product verbruiken.
- **Verbeteren:** een activiteit die CO₂-uitstoot veroorzaakt, op een efficiëntere manier verrichten. Dat kan bijvoorbeeld door minder uitstoot te veroorzaken per geproduceerde eenheid, of door minder input per eenheid output te gebruiken.
- **Vervangen:** een activiteit die zorgt voor CO₂-uitstoot vervangen door een activiteit zonder CO₂-uitstoot. Daarbij kan gedacht worden aan het opwekken van warmte door de verbranding van groene waterstof in plaats van aardgas, of het opwekken van elektriciteit met behulp van windmolens in plaats van kolencentrales.

Bij het reduceren van de uitstoot in een bepaalde sector kan dus gekozen worden tussen deze drie soorten maatregelen. In de praktijk gaat het vaak om een combinatie van alle drie de soorten. Bij het verminderen van de CO₂-uitstoot door het wegverkeer is bijvoorbeeld een combinatie mogelijk van **minder** kilometers afleggen, het gebruik van **beter**e voertuigen die minder brandstof verbruiken per afgelegde kilometer en het **vervangen** van benzinevoertuigen door elektrische voertuigen.

Een tweede onderverdeling in typen beleid is gebaseerd op het doel dat met het beleid wordt nagestreefd. In dit onderzoek maken wij onderscheid tussen:

- **Reductiebeleid:** beleid dat direct gericht is op het bereiken van een uitstootreductiedoel. Bovengenoemde maatregelen (verminderen, verbeteren, vervangen) zijn allemaal vormen van reductiebeleid.
- **Flankerend beleid:** beleid dat gericht is op het voorkomen of beperken van maatschappelijk onwenselijke gevolgen van reductiebeleid, of extra baten tot gevolg heeft naast CO₂-reductie. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan extra inkomensondersteuning voor de laagste inkomensgroepen, of aan het financieel compenseren van huishoudens of economische sectoren die door dit beleid onevenredig hard geraakt worden.

Het flankerend beleid heeft primair tot doel om klimaatrechtvaardigheid te borgen. Daarbij gaat het om een eerlijke verdeling van de lusten en lasten over inkomensgroepen op een zodanige manier dat alle inkomensgroepen de transitie kunnen doorlopen en een menswaardig bestaan kunnen leiden in een duurzame samenleving. Dit vergroot daarnaast

het draagvlak voor de energietransitie. In het huidige beleid krijgt klimaatrechtvaardigheid slechts beperkte aandacht.¹¹

Beleidsmaatregelen zijn daarnaast op te delen naar de manier waarop ze werken. In dit onderzoek onderscheiden wij vier manieren waarop een beleidsmaatregel een doel probeert te bereiken:

- **Informereren en faciliteren:** beleid dat geen direct bindende werking heeft, maar partijen ondersteunt door ze van informatie te voorzien of zorgt voor vrijwillige samenwerkingsverbanden en convenanten.
- **Stimuleren en ontmoedigen:** het financieel stimuleren van gewenst gedrag door middel van subsidies en kortingen, of het financieel bestraffen van ongewenst gedrag door middel van belastingen en heffingen.
- **Normeren:** het verplichten van maatregelen en standaarden of het verbieden van activiteiten door middel van wetgeving (inclusief handhaving bij overtreding van de norm).
- **Interveniëren:** Het ondernemen van een activiteit door de overheid, via een zelfstandig bestuursorgaan (zbo), staatsdeelneming of vergelijkbare organisatie.

Wanneer de overheid zich bijvoorbeeld tot doel stelt om huiseigenaren hun woning te laten isoleren, kan zij een loket openen waar huiseigenaren **informatie** kunnen krijgen over de mogelijkheden voor en de voordelen van isolatie, een **subsidie** beschikbaar stellen voor isolatie, een **norm** invoeren voor een minimale isolatiegraad van woningen, of zelf langs de deuren gaan om de isolatie **uit te voeren**.

Hierbij wordt informeren over het algemeen gezien als de minst ingrijpende en interveniëren als de meest ingrijpende vorm van beleid. Gezien de ambitie en de urgentie van de voor dit onderzoek geformuleerde uitstootreductiedoelen, zijn de instrumenten van informeren, faciliteren, stimuleren en ontmoedigen, veelal onvoldoende effectief. Er zal vrijwel in elke sector genormeerd moeten worden, aangevuld met actief handelen door de overheid zelf. Informeren en stimuleren hebben vooral een rol in het flankerende beleid.

3.2 Inzet en samenhang maatregelen

In dit hoofdstuk worden de omslagen, en de beleidsmaatregelen die nodig zijn om deze te realiseren, per sector geïdentificeerd en kwalitatief besproken. In het volgende hoofdstuk worden de beleidsmaatregelen vertaald naar inputparameters van het model waarmee de effecten kwantitatief worden doorgerekend. Het beleid wordt ingedeeld aan de hand van de in de vorige paragraaf besproken categorisering. Het gaat dus om beleid dat vermindert, verbetert of vervangt, beleid dat direct gericht is op reductie of flankerende effecten heeft en beleid dat werkt door te informeren, te stimuleren, te normeren of te interveniëren. Wat voor soorten beleid nuttig, nodig en haalbaar zijn, is afhankelijk van de kenmerken van specifieke sectoren.

In de volgende paragraaf worden de benodigde omslagen en het bijbehorende beleid per sector besproken. De sectoren zijn echter met elkaar verbonden en kunnen daarom niet

¹¹ Het onderzoek "Nederlandse inkomens en CO₂ voetafdruk" (Ecorys, 2022) laat bijvoorbeeld zien dat de hoogste inkomensgroepen de grootste CO₂-voetafdruk hebben en ook het meest profiteren van subsidies en vrijstellingen.

volledig onafhankelijk van elkaar worden beschouwd. De volgende onderlinge relaties zijn in ieder geval van belang:

- De vraag naar elektriciteit wordt bepaald door het verbruik in de andere sectoren. Het elektrificeren van sectoren is dus alleen mogelijk voor zover het aanbod van elektriciteit dat toelaat.
- De effectiviteit van een maatregel in de ene sector kan afhangen van de genomen maatregelen in een andere sector. Elektrificeren van verwarmingsprocessen in de industrie leidt bijvoorbeeld alleen tot uitstootreductie als de elektriciteitssector de hiervoor benodigde stroom op groene wijze produceert.
- Additioneel ruimtegebruik in de ene sector moet gecompenseerd worden door ruimtebesparing in de andere sector. CO₂-opslag in bossen kan bijvoorbeeld mogelijk worden gemaakt door landbouwgrond te herbestemmen.
- Verschillende sectoren kunnen gebruik maken van dezelfde schaarse goederen, zoals waterstof en biomassa. Daarbij geldt als randvoorwaarde dat de totale vraag het aanbod niet mag overstijgen.
- Uitstoot in de ene sector kan gecompenseerd worden door negatieve uitstoot (carbon sinks) in een andere sector (al zijn de mogelijkheden hiervoor in de Nederlandse context beperkt).
- Nederlandse emissies die niet voorkomen kunnen worden, moeten worden gecompenseerd door uitstootreductie in het buitenland. Van deze mogelijkheid wordt in de opgestelde scenario's echter *geen* gebruik gemaakt.¹² Energie die niet in Nederland kan worden opgewekt, moet worden geïmporteerd. De import van energie uit het buitenland is in de scenario's echter beperkt.

3.3 Doelen en maatregelen per sector

3.3.1 Elektriciteit

- De **CO₂-uitstoot** in de elektriciteitssector bedroeg in 2020 32,9 Mton. Het beleidsdoel is om deze uitstoot zo snel mogelijk te reduceren tot nul.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is een 100% duurzame elektriciteitsopwekking op basis van wind op zee, wind op land en zonne-energie, ondersteund door flexibele productie en opslag met behulp van waterstof en batterijen.¹³
- Hiervoor zijn in grote lijnen drie **beleidsomslagen** nodig:
 - De beschikbare hoeveelheid duurzame elektriciteit is beperkt en is steeds minder goed in staat de vraag te volgen. **Er moet dus een omslag komen van een vraaggestuurd systeem naar een aanbodgestuurd systeem**, waarbij niet altijd en overal aan de vraag voldaan kan worden. Dit vraagt om aanpassingen van afnemers, zoals energiebesparing, opslagmogelijkheden, verschuiving van de vraag naar gunstigere momenten en verplaatsing of beëindiging van energie-intensieve activiteiten.
 - **De doelen voor de uitrol van duurzame opwekking (en bijbehorende net- en opslagcapaciteit) moeten scherp verhoogd en vervroegd worden**, tot de grens van wat maximaal haalbaar is. Daarbij moet ook de infrastructuur die nodig is om elektriciteit uit

¹² Compensatie in het buitenland kan de eigen klimaatopgave van deze landen in de weg zitten, daarom verdient het de voorkeur dit zoveel mogelijk te beperken. Zie hierover bijvoorbeeld de "Due Diligence handreiking voor internationaal maatschappelijk verantwoord ondernemen" (OESO, 2019).

¹³ Een toename ten opzichte van de KEV van het gebruik van kernenergie en de toepassing van CCS is door de opdrachtgever als onwenselijk bestempeld en daarom niet meegenomen in het palet van verduurzamingsmogelijkheden.

windenergie op zee aan land te krijgen worden meegenomen. Gelijktijdig moet de opwekking van elektriciteit uit fossiele bronnen worden uitgefaseerd. Dit kan gebeuren door middel van normering: een graduele invoering van een leveranciersverplichting voor het leveren van 100% CO₂-vrije elektriciteit en een verbod op het stoken van aardolie en aardgas.

- **De Rijksoverheid moet een sterke coördinerende en interveniërende rol op zich nemen om actief barrières weg te nemen.** Daarbij gaat het om ruimtelijke planning (aanzwijzing van kavels voor elektriciteitsproductie en beschikbaar stellen van ruimte voor de aanleg van infrastructuur), het verkorten van vergunningsprocedures en het beschikbaar maken van mensen (werven en opleiden van gekwalificeerd personeel, zowel technisch personeel voor de uitvoering als juridisch-beleidsmatig personeel voor de procesbegeleiding) en middelen (zoals kapitaal voor vergroting van de netcapaciteit).
- Hierbij is **flankerend beleid** nodig in de vorm van subsidies voor de ontwikkeling en uitrol van duurzame opwekkingstechnieken, CO₂-vrij regelbaar vermogen en energieopslag en het stimuleren van lokaal eigendom.

3.3.2 Industrie

- De **CO₂-uitstoot** in de industriële sector bedroeg in 2020 53,5 Mton. Het beleidsdoel is om deze uitstoot zo snel mogelijk te reduceren tot nul.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is een industrie die zijn energiebehoefte volledig uit waterstof en elektriciteit haalt en uitsluitend gebruik maakt van hernieuwbare en gerecyclede grondstoffen. Dit zal leiden tot een kleinere, minder energie-intensieve sector.
- Hiervoor zijn in grote lijnen drie **beleidsomslagen** nodig:
 - **Omschakeling van processen gebaseerd op fossiele brandstoffen naar processen op basis van elektriciteit en waterstof.** Dit kan gebeuren door twee vormen van beleid te combineren. Ten eerste moet er (in aanvulling op het ETS¹⁴) een dalend CO₂-uitstootplafond per industriële locatie komen en een uitfaseerpad voor het gebruik van fossiele bronnen. Dit is de 'stok' om de omschakeling op gang te brengen. Ten tweede is er voor sommige industriële sectoren mogelijk subsidie nodig om de omschakeling financieel haalbaar te maken. Dit is de 'wortel' die verduurzamingsopties binnen bereik van de industrie moet brengen. Aan deze subsidies moeten voorwaarden worden gesteld dat deze ingezet worden voor processen en business modellen die toekomstbestendig zijn, maar er zal ook een vorm van zelfselectie plaatsvinden waarbij de industrieën die het best in staat zijn zich aan te passen gebruik maken van de subsidie. Dit zal mogelijk tot gevolg hebben dat Nederland afscheid moet nemen van niet-toekomstbestendige industrie. Daarbij zal het voornamelijk gaan om bedrijfstakken die gebaseerd zijn op het verbruik van grote hoeveelheden goedkope fossiele brandstoffen waarvoor geen duurzaam alternatief beschikbaar is en om bedrijfstakken die grote hoeveelheden energie gebruiken voor de productie van niet-essentiële producten. Eventuele subsidie kan gefinancierd worden door verbreding en verhoging van de CO₂-heffing en verhoging van de energiebelasting. Om de energiebelasting meer toe te spitsen op de industrie, moet de structuur ervan aangepast worden zodat deze niet langer degressief is, maar een vlak tarief kent voor het gehele verbruik.
 - **Omschakeling van lineair grondstofgebruik naar circulair grondstofgebruik.** Hiervoor is in ieder geval een norm nodig die stijgende minimumeisen stelt aan het percentage

¹⁴ Het ETS geeft wel een prijsprikkel voor CO₂-uitstootreductie, maar geeft geen garantie op een voldoende snelle afname van de uitstoot van een specifieke industriële locatie en de uitstoot in Nederland (wel in de EU).

gerecyclede grondstoffen in belangrijke industriële basismaterialen zoals staal, aluminium, plastic en cement. Ook zijn er efficiëntienormen nodig voor de hoeveelheid materiaal die gebruikt mag worden voor een bepaalde hoeveelheid output. Hoewel buiten de scope van dit onderzoek, zou er daarnaast normering ingevoerd kunnen worden voor de inkoop van grondstoffen op basis van de hoeveelheid scope 3 emissies die daarmee gepaard gaan. Tot slot kan er bovenop de normen additioneel stimulerend beleid gevoerd worden om de omschakeling naar circulaire processen en business modellen te stimuleren.

- **Sterk verhoogde inzet op energiebesparing.** Op dit moment is de energiebesparing door de industrie nog te beperkt om de doelen te halen. Om voldoende besparing te realiseren moeten er drie dingen gebeuren. Ten eerste moet de besparingsplicht worden uitgebreid naar ETS-bedrijven. Ten tweede moet de plicht beter worden gehandhaafd, zodat het merendeel van de bedrijven hieraan gaat voldoen. Ten derde moet het criterium voor verplichting (een terugverdiendtijd van maximaal vijf jaar) worden aangescherpt. De bovengenoemde verhoging van de energiebelasting en de CO₂-heffing zal hierbij ook behulpzaam zijn.
- Hierbij is behoefte aan **flankerend beleid**. Invoering van een 'Carbon Border Adjustment Mechanism' is noodzakelijk om verdringing door niet-duurzame producten van buiten de EU tegen te gaan. Ook tijdige uitrol en/of verzwaring van transportinfrastructuur voor waterstof, elektriciteit en CO₂ is een randvoorwaarde voor omschakeling van de industrie naar duurzame business modellen.

3.3.3 Mobiliteit

- De **CO₂-uitstoot** in de sector mobiliteit bedroeg in 2020 30,7 Mton. Het beleidsdoel is om deze uitstoot zo snel mogelijk te reduceren tot nul.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is dat er minder verplaatsingen zijn, dat alle modaliteiten volledig CO₂-vrij zijn (voornamelijk elektrisch) en dat er een verschuiving plaatsvindt (**modal shift**) van privaat wegverkeer naar openbaar vervoer.
- Hiervoor zijn in grote lijnen drie **beleidsomslagen** nodig:
 - **Een afname van het totaal aantal voertuigkilometers.** De kern van het beleid verschuift hiermee van het faciliteren van de volledige vervoersvraag naar het garanderen van een adequate, toegankelijke en betaalbare basisvoorziening voor noodzakelijk vervoer. Dit kan gebeuren door de voorzieningen voor deelmobiliteit te verbeteren (denk aan het toewijzen van een deel van de huidige ruimte voor privaat parkeren aan deelmobiliteit), door een recht op thuiswerken in te voeren en dit financieel te stimuleren,
 - **Een sterke modal shift van wegverkeer naar andere modaliteiten** zoals trein, tram, metro en fiets. Daarvoor moet het openbaar vervoer aantrekkelijker gemaakt worden door hierin te investeren en het goedkoper te maken. Anderzijds moet autorijden minder aantrekkelijk worden door de huidige snelwegcapaciteit niet meer te vergroten en een deel ervan te reserveren voor openbaar vervoer (zoals busbanen). Ook hiervoor is het zinvol autogebruik financieel te ontmoedigen (o.a. d.m.v. rekeningrijden).
 - **Een grootschalige vervanging van het huidige wagenpark** door efficiënte, CO₂-vrije voertuigen. Enerzijds moet fossiel wegverkeer worden uitgefaseerd door middel van groeiende emissievrije zones en een verplichte aanschaf van emissievrije voertuigen (eerst in de zakelijke markt, dan in de particuliere markt). Anderzijds is een verhoging van de efficiëntie van het autogebruik mogelijk door verlaging van maximumsnelheden

en stijgende minimumeisen voor de energie-efficiëntie van voertuigen. Tot slot zijn investeringen in laadinfrastructuur noodzakelijk.

- Daarnaast is **flankerend beleid** nodig in de vorm van een financiële regeling die de ombouw of inruil van fossiele voertuigen voor CO₂-vrije voertuigen haalbaar maakt voor groepen die hiervan afhankelijk zijn voor hun levensonderhoud. Ook moeten eisen gesteld worden aan de nabijheid van essentiële voorzieningen zoals ziekenhuizen en scholen, zodat deze goed bereikbaar zijn met het openbaar vervoer, ook voor mensen met een mobiliteitsachterstand.

Luchtvaart en zeescheepvaart

De sectoren luchtvaart en zeescheepvaart maken op dit moment geen onderdeel uit van de internationale klimaatafspraken en derhalve ook niet van de Nederlandse emissieboekhouding betreffende de nationale reductiedoelstellingen. Zij vallen daarom buiten de scope van dit onderzoek. Dit neemt niet weg dat in de geest van de mondiale reductiedoelstellingen en een eerlijke en doelmatige bijdrage van Nederland daaraan, voor deze sectoren vergelijkbare omslagen en beleidsmaatregelen nodig zijn als voor de binnenlandse mobiliteit.

3.3.4 Gebouwde omgeving

- De **CO₂-uitstoot** in de gebouwde omgeving bedroeg in 2020 21,6 Mton. Het beleidsdoel is om deze uitstoot zo snel mogelijk te reduceren tot nul.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is dat alle woningen en utiliteitsgebouwen (bijna) energieneutraal zijn en duurzaam verwarmd.
- Hiervoor zijn in grote lijnen twee **beleidsomslagen** nodig:
 - **Versnelling van het energiezuinig maken van woningen en utiliteitsgebouwen** door bindende energieprestatienormen op te leggen. Dit kan door aangescherpte normering voor (en handhaving op) energiebesparing door bedrijven, verhuurders en woningcorporaties, in de vorm van minimale energielabels, en in combinatie hiermee een verbod op de verhuur en verkoop van gebouwen die niet aan deze eisen voldoen.
 - **Rijksbreed programma om wijk voor wijk de warmtevoorziening en de bouwvoorraad planmatig, collectief te verduurzamen.** De huidige decentrale, bottom-up benadering is te langzaam en zorgt voor een inefficiënte inzet van middelen. Voor een tijdige omschakeling is een nationaal gecoördineerd programma nodig, vergelijkbaar met de landelijke uitrol van aardgas in de jaren '60. Daarbij zullen wijken deels overgaan op warmtenetten met duurzame bronnen, deels een 'all electric' energievoorziening krijgen en deels gebruik maken van biogas via de huidige aardgasnetten. Het Rijk moet hierbij als opdrachtgever een sturende en coördinerende functie vervullen door wijken aan te wijzen en partijen in te schakelen om deze als geheel te verduurzamen.
- Daarnaast is **flankerend beleid** nodig om te garanderen dat verduurzamingsoperaties woonlastenneutraal kunnen plaatsvinden. Hiervoor kunnen subsidies en leningen worden verstrekt aan huiseigenaren (tegen inkomensafhankelijke voorwaarden¹⁵) en woningcorporaties in combinatie met maatregelen om huurders te beschermen.

¹⁵ Deze subsidie is bedoeld voor huiseigenaren met een krappe beurs, omdat deze zonder subsidie niet of minder kunnen deelnemen aan energiebesparing.

3.3.5 Landbouw

- De **CO₂-uitstoot** in de landbouw bedroeg in 2020 27,0 Mton. Veeveelt brengt onvermijdelijk uitstoot van CO₂-equivalenten met zich mee. Het beleidsdoel is dan ook niet om deze tot nul te reduceren, maar om deze voor zover mogelijk te minimaliseren met behoud van een kleinere veestapel.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is een volledig duurzame en natuurinclusieve kringlooplandbouw, een sterk gekrompen veestapel en volledig duurzaam verwarmde kassen.
- Hiervoor zijn in grote lijnen drie **beleidsomslagen** nodig:
 - **Omschakeling naar ecologische veehouderij en kringlooplandbouw**, waardoor het houden van vee met minder uitstoot gepaard gaat. De belangrijkste maatregelen daarbij zijn een verbod op het gebruik van kunstmest, geïmporteerd krachtvoer en chemische bestrijdingsmiddelen.
 - **Omschakeling naar een aardgasvrije glastuinbouw**. Kassen worden nu nog voor een groot deel verwarmd met behulp van aardgas. Door een dalend CO₂-uitstootplafond in de glastuinbouw in te voeren, wordt de tuinbouw gedwongen op zoek te gaan naar alternatieve vormen van verwarming, zoals geothermie, of over te schakelen op andere gewassen, of in het uiterste geval de kassen te sluiten.
 - **Omschakeling naar grondgebonden veehouderij, leidend tot een krimp van de veestapel**. Daarvoor moeten normen opgesteld worden voor de minimale hoeveelheid beschikbare grond per dier in de veehouderij.¹⁶ Met name in de intensieve veehouderij zal dit betekenen dat er minder dieren gehouden kunnen worden op de huidige landbouwgronden, waardoor het totaal aantal dieren afneemt.
- Daarnaast is **flankerend beleid** nodig in de vorm van subsidies voor boerenbedrijven om de omschakeling naar ecologische veehouderij en kringlooplandbouw te bewerkstelligen, uitkoopregelingen voor boeren die hun bedrijf willen beëindigen of inkrimpen en vergoedingen aan boeren voor diverse vormen van natuurbeheer. Ook is er beleid nodig om de consumptie van duurzame, plantaardige landbouwproducten te stimuleren, om te voorkomen dat de afname van de productie van niet duurzame producten binnen Nederland wordt vervangen door import.¹⁷

3.3.6 Landgebruik

- De **CO₂-uitstoot** in de sector landgebruik bedroeg in 2020 4,4 Mton. De landgebruiksector heeft als enige sector het potentieel om te zorgen voor een netto negatieve uitstoot.
- Het globale **eindbeeld** voor deze sector is een netto negatieve CO₂-uitstoot dankzij een combinatie van CO₂-vastlegging en minimalisering van de CO₂-uitstoot uit andere vormen van landgebruik.
- Hiervoor zijn in grote lijnen twee **beleidsomslagen** nodig:
 - **Omzetting van vrijkomende landbouwgrond in natuurgebieden**. Hiervoor moet de overheid actief interveniëren door middel van het opkopen en herbestemmen van vrijkomende (landbouw)grond.

¹⁶ Een dergelijke eis wordt over het algemeen uitgedrukt in het toegestane aantal grootvee-eenheden (GVE) per hectare.

¹⁷ Omdat de markt voor voedingsmiddelen mondiaal is, is er op nationaal niveau een beperkte koppeling tussen productie en consumptie. Een verandering in de productie leidt niet automatisch tot een verandering in de consumptie en vice versa, maar tot een verandering in de import en export. Voor een volledig duurzaam systeem op nationaal niveau zou de verduurzaming van de productie echter wel gepaard moeten gaan met een verandering in de consumptie: de zogenaamde 'eiwittransitie', waarbij dierlijke eiwitten worden vervangen door plantaardige.

- **Actief management van het waterpeil in veenweidegebieden** om CO₂-uitstoot te minimaliseren en CO₂-vastlegging door veengroei mogelijk te maken.¹⁸ Hiervoor moet de overheid normerend optreden door normen vast te leggen voor waterstanden in veenweidegebieden.

¹⁸ Een deel van de veenweidegrond kan ook worden gebruikt voor 'natte teelt' en zo een landbouwfunctie behouden. Voor deze omschakeling zijn dan waarschijnlijk aanvullende subsidies nodig.

4 Kwantitatieve doorrekening scenario's

4.1 Het model

Voor de kwantitatieve doorrekening van de scenario's is een Excel model ontwikkeld. De data uit de KEV-2021 vormen de basis van het model. Met behulp van deze data is voor elk van de sectoren bepaald welke soorten energiegebruik er plaatsvinden en welke uitstoot daarmee gepaard gaat. Deze uitstoot is bepaald voor drie peiljaren: 2020, 2030 en 2037. Data die niet direct voorhanden waren in de KEV zijn geschat op basis van kengetallen van onder andere het CBS en RVO.

Daarnaast zijn de in hoofdstuk 3 geïdentificeerde maatregelen voor CO₂-reductie opgenomen in het model als basis voor individueel instelbare inputparameters (27 in totaal). Elke parameter beïnvloedt de uitstoot van één of meerdere sectoren. Door verschillende waarden te kiezen voor deze inputparameters, kunnen verschillende beleidsscenario's worden doorgerekend. Als alle inputparameters op nul worden gezet, ontstaat er een 'beleidsvrij' scenario waarvan de uitkomsten gelijk zijn aan de KEV-2021.

Reducties in het model worden veelal weergegeven in percentages, bijvoorbeeld 10% krimp in X in 2030 en 20% in 2037. Deze percentages verwijzen altijd naar een reductie ten opzichte van de data in de KEV voor het aangegeven jaar. De percentages "10% in 2030, 20% in 2037" kunnen dus worden gelezen als: "10% krimp in 2030 ten opzichte van de KEV projectie voor 2030, 20% krimp in 2037 ten opzichte van de KEV projectie voor 2037"¹⁹.

De volledige werking van het model is beschreven in de bijlage.

4.2 Uitgangspunten bij de scenarioberekening

Elk scenario wordt gekarakteriseerd door de gekozen waarden voor de inputparameters in peiljaar 2030 en 2037. Om elk van de waarden te bepalen is een aantal uitgangspunten gehanteerd.

1. De reductie die nodig is om het in een scenario gestelde reductiedoel te behalen, wordt naar rato verdeeld over de sectoren: sectoren met de grootste uitstoot zullen hun uitstoot het meest moeten reduceren.
2. Voor elk van de inputparameters is een maximaal haalbare waarde bepaald op basis van literatuurstudie. Daarbovenop is waar mogelijk nog een veiligheidsmarge aangehouden van 20%. De waarde van elke inputparameter is dus niet hoger dan 80% van zijn maximale waarde, tenzij hieronder expliciet aangegeven.

¹⁹ De KEV2021 bevat geen specifieke data voor het jaar 2037. Hiervoor is KEV-data uit 2030 en 2040 geïnterpoleerd. Zie de bijlage voor een volledige beschrijving van de werking van het model.

3. Reductie per sector wordt waar mogelijk gebaseerd op beleid gericht op vervanging van energiedrager en efficiëntieverbetering. Waar deze maatregelen onvoldoende zijn om het sectordoel te behalen, wordt er daarnaast ingezet op een algehele krimp van de gehele energievraag van de sector.

4.3 Lineair richting klimaatneutraliteit in 2037: doorrekening scenario 1

4.3.1 Inputparameters scenario 1

In hoofdstuk 2 zijn de volgende doelen gesteld voor scenario 1:

- een maximaal emissiebudget van 1.782 Mton CO₂ in de periode 2020-2050;
- een reductie van minimaal 64% in 2030 t.o.v. 1990.

Op basis van de scenario doelen (hoofdstuk 2), de geïdentificeerde beleidsmaatregelen (hoofdstuk 3) en de algemene uitgangspunten (paragraaf 4.2) zijn de parameters in het model ingesteld. Voor elke sector worden de belangrijkste inputs hieronder op hoofdlijnen besproken. Dit schetst op hoofdlijnen hoe in scenario 1 de reducties in de jaren 2030 en 2037 tot stand komen. De volledige lijst van inputwaarden is te vinden in de bijlage.

- De sector **Elektriciteit** breidt uit in de duurzame energieproductie. De productie van groene elektriciteit stijgt met 190 PJ in 2030 en 300 PJ in 2037. In totaal produceert Nederland in deze scenario's 610 PJ elektriciteit in 2030 en 585 PJ in 2037.
- De sector **Industrie** zet in op de vervanging van de op aardgas gebaseerde verwarmingsprocessen. De inputs hierbij zijn 30% vervanging in 2030 en 65% in 2037 (dit is 80% van de maximaal haalbare vervanging, zie paragraaf 4.2.). Deze verduurzaming is grotendeels gebaseerd op elektrificatie van verwarmingsprocessen, met een deel waterstof. Echter is alleen verduurzaming niet genoeg om de uitstoot van de sector genoeg te reduceren. Daarom is de gehele energievraag van 2030 naar 2037 genoodzaakt te krimpen met 40% door middel van ofwel efficiëntieverbeteringen ofwel sectorkrimping in energie-intensieve delen van de industrie.
- De sector **Mobiliteit** elektrificeert in hoog tempo. De inputs voor benzinevoertuigen zijn 60% elektrificatie in 2030 en 80% in 2037. Dieselveertuigen verduurzamen iets langzamer. De inputs voor de elektrificatie van vrachtwagens zijn 14% in 2030 en 80% in 2037. De gehele energievraag van de sector mobiliteit blijft tot 2030 constant aan de KEV, maar krimpt in 2037 met 33%.
- De sector **Landbouw** maakt twee grote verduurzamingslagen: een warmtetransitie in de glastuinbouw en een transitie in de veeteelt. De op aardgas gebaseerde verwarming verduurzaamt met 45% in 2030 en met 80% in 2037. Deze verduurzaming gaat gepaard met een krimp van 33% in de vraag in 2037 en is in grote mate gebaseerd op verduurzaming van de warmtelevering (geothermie/restwarmte). De veeteelt verandert in een duurzame en ecologische sector, waarin de dichtheid van vee vermindert tot 1,5 grootvee-eenheden (GVE) per hectare. Er is echter ook krimp van de veestapel nodig om de totale uitstoot te reduceren. De veestapel krimpt in 2030 met 50% en in 2037 met 70%. Door deze maatregel neemt de grootte van de veestapel af van 5,5 miljoen GVE in 2020 tot 2,7 miljoen GVE in 2030 en 1,6 miljoen GVE in 2037. Daarbij moet opgemerkt worden dat deze mate van krimp uitsluitend gebaseerd is op een CO₂-reductie die evenredig verdeeld is over de sectoren. Op basis van additionele overwegingen (o.a. stikstof,

natuurherstel, uitbreiding natuurareaal, gezondheid, maatschappelijke kosten en baten, of meer/aangescherpte parameters van ecologische veehouderij) zou de mate van krimp en verduurzaming hoger uit kunnen komen.²⁰

- De sector **Gebouwde omgeving** verduurzaamt de warmtevoorziening, terwijl tegelijk het gemiddelde energielabel in 2030 **C** en in 2037 **B** wordt. Om deze verandering in energielabel te realiseren zijn er tussen de 600-700 verbouwingen per dag nodig.²¹ In 2030 is **17%** van de aardgasverwarming verduurzaamd en dit groeit in 2037 naar **80%**. Deze verduurzaming is grotendeels gebaseerd op (elektrische) warmtepompen. Een deel van de warmtevoorziening wordt ingevuld door duurzame warmtelevering (geothermie/restwarmte).
- De sector **Landgebruik** verduurzaamt op twee manieren. Ten eerste worden veenweidegebieden vernat, wat resulteert in negatieve emissies. Ten tweede wordt **50%** van de vrijkomende landbouwgrond (als gevolg van veestapelkrimp) herbestemd tot natuurgebied.²²

4.3.2 Resultaten scenario 1

De inputs van scenario 1 resulteren in het model tot een reductiepad zoals weergegeven in figuur 4.1. In tabel 4.1 zijn de hoofduitkomsten weergegeven.

Tabel 4.1: Resultaten doorrekening scenario 1

Output	Waarde
Uitstootreductie	66% in 2030, 91% reductie in 2037
Cumulatieve uitstoot	1.523 Mton CO ₂ -eq t/m 2037
Resterende uitstoot	74 Mton CO ₂ -eq / jaar in 2030, 19 Mton/jaar in 2037
Sectorverdeling	Landbouw is de grootste restuitstoter (±30% van de nationale uitstoot in 2037)

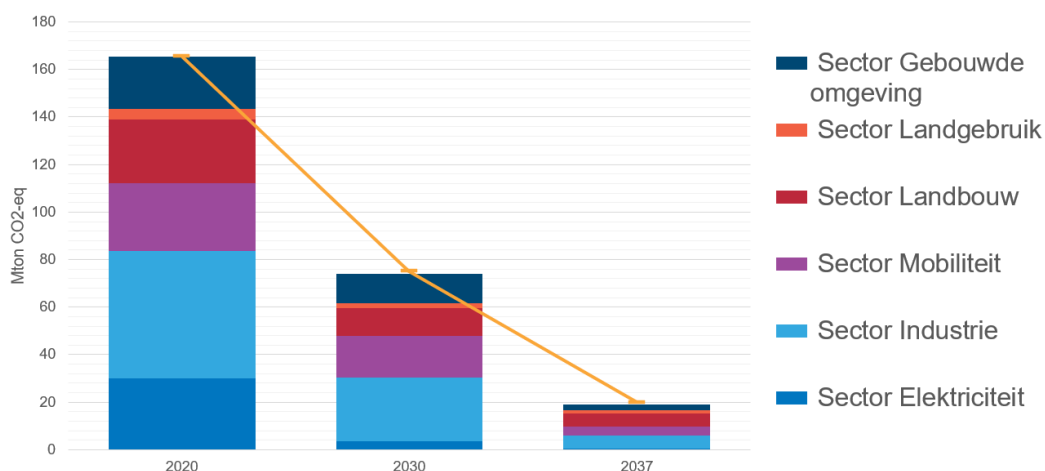
Uit de resultaten is te zien dat het doel van 64% reductie in 2030 wordt oversteegen. Tevens blijft de cumulatieve uitstoot met 1.523 Mton onder het maximum van 1.782 Mton. Het resterende budget voor uitstoot voor de periode 2037-2050 bedraagt hierdoor 259 Mton. Om dit getal in perspectief te stellen: de uitstoot van Nederland in 2020 bedroeg 166 Mton CO₂ per jaar. De restuitstoot van 19 Mton per jaar zorgt dat er in de totale periode 2020-2050 1.770 Mton CO₂ wordt uitgestoten. Het doel van scenario 1 is daarmee gehaald. Het overstijgen van het percentuele doel in 2030 is nodig gebleken om het cumulatieve doel te halen.

²⁰ In de eerder uitgevoerde maatschappelijke kosten-batenanalyse "Transitie naar een duurzame veehouderij in 2030" (Ecorys, 2020) wordt bijvoorbeeld geconcludeerd dat een volledige omschakeling naar ecologische veehouderij in 2030 in combinatie met een krimp van (ordegrootte) 73% maatschappelijk optimaal is.

²¹ Deze inschatting is op basis van een verbouwing die een gemiddeld huis van een label D naar een label A+ brengt. Dit is een soortgelijke verduurzaming als de in het rapport van TNO (2022) gebruikte omzetting van label G naar B.

²² De berekening gaat uit van bebossing. De keuze voor andere soorten natuur heeft een beperkt effect op de uitkomsten.

Figuur 4.1: Verloop nationale uitstoot, scenario 1



In 2030 is de industriese sector, net als in 2020, de grootste bron van uitstoot. Voldoende krimp in de uitstoot van industrie kan maar deels worden gerealiseerd met vervangings- en verbeteringsmaatregelen, waardoor er in 2037 een krimp van 40% in de energievraag noodzakelijk is (mocht er in werkelijkheid meer mogelijk blijken op het gebied van verduurzaming, dan hoeft de sector minder te krimpen.)

De landbouwsector is door de restuitstoot van de veeteelt de grootste uitstoter in 2037. De ruimte voor vervangings- en verbeteringsmaatregelen in de veeteelt is echter beperkt. Om deze reden moet er fors worden ingezet op veestapelkrimp (respectievelijk 50% en 70% in 2030 en 2037) om de reductiedoelen te halen. Vanwege de grote verduurzaming die tegelijkertijd plaatsvindt in alle andere sectoren zorgt de gelimiteerde set aan opties in de veeteelt ervoor dat het aandeel van de landbouw in de nationale uitstoot groeit naar ongeveer 30% in 2037.

Veestapelkrimp heeft in de sector Landgebruik effect op de hoeveelheid land die ingezet wordt voor veeteelt en daarmee ook op de mogelijkheid voor herbebossing. De verandering in de grootte van de veestapel verloopt echter parallel aan een transitie naar een lagere veedichtheid, gemeten in grootvee-eenheden (GVE). GVE is een gestandaardiseerde maat voor dieren in de veehouderij. Ter referentie, één koe representeert 0,9 - 1 GVE en één kip ongeveer 0,0015 GVE. De GVE-dichtheid gaat van gemiddeld 5,7 GVE/ha in 2020 lineair naar 1,5 GVE/ha in 2037. Dieren nemen in 2037 hierdoor meer ruimte in per dier. Aan de ene kant krimpt de totale hoeveelheid dieren, terwijl aan de andere kant de ruimte per dier toeneemt. In scenario 1 heffen deze twee krachten elkaar op, waardoor er geen extra mogelijkheid is voor herbebossing in de sector landgebruik.

De elektriciteitssector laat in figuur 4.1 de snelste uitstootreductie zien. In scenario 1 is de Nederlandse elektriciteitssector al in 2030 bijna volledig CO₂-neutraal. Deze reductie wordt gerealiseerd ondanks de grote extra vraag voor elektriciteit door verduurzaming van andere sectoren. Het opgesteld vermogen aan duurzame energie groeit dan ook aanzienlijk. De 190 PJ extra duurzame energie is gebaseerd op een extra energieopwekking van 135 PJ uit wind op zee en 55 PJ uit zonnepanelen.²³ In 2037 groeit dit naar 240 PJ extra uit wind op zee en 60 PJ extra uit zonnepanelen.

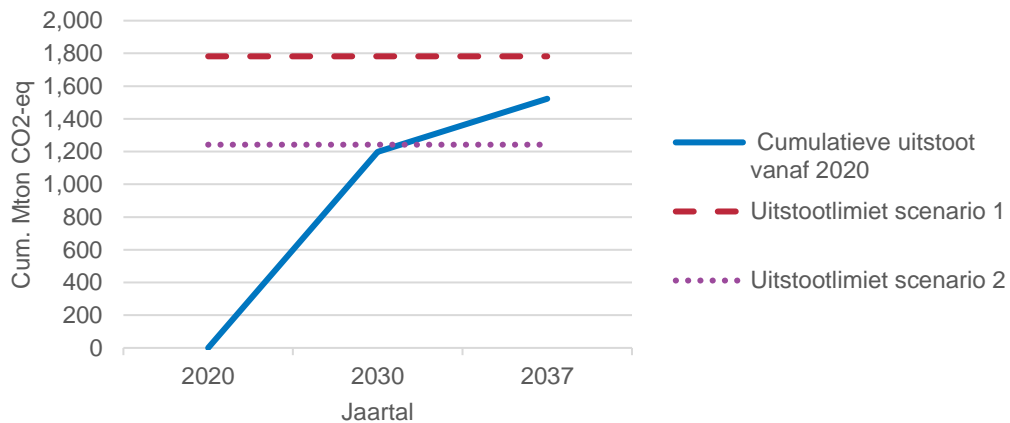
²³ Gegeven een verdeling tussen wind en zon op basis van de geschatte extra productie uit het hoogst haalbare maximum.

De sectoren mobiliteit en gebouwde omgeving laten beide een gestage daling van de uitstoot zien. Voor beide sectoren zijn er genoeg maatregelen beschikbaar om de benodigde verduurzaming van de sector te realiseren.

Beide scenario's gaan uit van grootschalige elektrificatie in bijna alle sectoren. Door deze elektrificatieslag neemt de benodigde productie van elektriciteit sterk toe, maar de netto vraag naar energie neemt juist af. De Nederlandse (voornamelijk fossiele) energievraag lag in 2020 rond de 2.000 PJ. De toename van elektriciteit in beide scenario's bedraagt echter slechts zo'n 200 PJ in 2030 en 300 PJ in 2037. Er zijn vier hoofdredenen voor deze beperkte toename in de elektriciteitsbehoefte.

- **Krimp in de totale energievraag.** Een van de belangrijkste ontwikkelingen in beide scenario's is de krimp in energievraag binnen de sectoren. Bijvoorbeeld, de 50% krimp van de energievraag binnen de industriesector zorgt voor een enorme hoeveelheid energie die niet geëlektrificeerd hoeft te worden. De krimp van alle sectoren bij elkaar reduceert de druk op de energiesector aanzienlijk.
- **Toegenomen efficiëntie.** De vraag naar energie binnen de sectoren krimpt verder door aanzienlijke efficiëntieverbeteringen. De gebouwde omgeving maakt in het model bijvoorbeeld grote stappen in het verhogen van het gemiddelde energielabel. In combinatie met de overstap naar zeer efficiënte warmtepompen is de restvraag naar energie significant gereduceerd. Wederom tellen deze efficiëntieverbeteringen op tot een kleinere vraag naar (elektrische) energie.
- **Inzet van warmtelevering.** Verwarmingsprocessen die worden vervangen door warmtelevering uit restwarmte of geothermie vangen ook een deel van de energievraag op. Dit heeft vooral effect in de glastuinbouw en de gebouwde omgeving. Hoewel dit geen energievraag reduceert, ontlast het wel de elektriciteitsproductie.
- **Overstap naar een aanbodgestuurde samenleving.** Een van de overkoepelende beleidsomslagen waar het model mee rekent is dat de capaciteit voor netwerkbalancing niet verder wordt uitgebreid dan in de KEV2021 is meegenomen. Over een geheel jaar wordt er evenveel geproduceerd als er wordt gevraagd, al kan dit hierdoor niet op alle momenten in de tijd aansluiten. Een belangrijke toevoeging is dat de elektriciteitssector, vooral in 2037, niet tegen de hoogst haalbare waarde aan zit. Als meer regelcapaciteit gewenst is, is er ruimte voor verdere potentiële uitbreiding.

Figuur 4.2: Verloop cumulatieve uitstoot, scenario 1



4.4 Zo snel mogelijk klimaatneutraal: doorrekening scenario 2

4.4.1 Het toekomstbeeld van scenario 2

In hoofdstuk 2 zijn de volgende doelen gesteld voor scenario 2:

- een maximaal emissiebudget van **1.242 Mton CO₂** in de periode 2020-2050;
- een **zo hoog mogelijke procentuele reductie** in 2030 t.o.v. 1990.

Op basis van het gestelde beleid uit hoofdstuk 3 voor scenario 2 en de uitgangspunten voor scenarioberekening uit 4.2 zijn de parameters in het model ingesteld. Voor elke sector worden de belangrijkste inputs op hoofdlijnen besproken. Hiermee wordt het algemene beeld geschetst hoe de reducties van 2030 en 2037 tot stand komen in scenario 2. De volledige lijst van inputwaarden is te vinden in de bijlage.

- De sector **Elektriciteit** breidt fors uit in de energieproductie. De productie van groene elektriciteit met **190 PJ** in 2030 en **400 PJ** in 2037. In totaal produceert Nederland in deze scenario's 565PJ elektriciteit in 2030 en 680 PJ in 2037.
- De sector **Industrie** zet in op de grootschalige vervanging van de aardgas gebaseerde verwarmingsprocessen. De inputs hierbij zijn **46%** verduurzaming in 2030 en **98%** in 2037. Deze verduurzaming is wederom grotendeels gebaseerd op elektrificatie, met een deel waterstof. Om voldoende uitstootreductie te realiseren krimpt de industriële energievraag daarnaast met **35%** in 2030 en met **50%** in 2037.
- De sector **Mobiliteit** elektrificeert zo snel mogelijk volledig. De fossiel gebaseerde energievraag krimpt met **35%** in 2030 en 2037. De resterende energievraag wordt verduurzaamd. De inputs voor benzinevoertuigen zijn **80%** elektrificatie in 2030 en **100%** in 2037. Dieselveertuigen verduurzamen wederom iets langzamer. De inputs voor de elektrificatie van vrachtwagens zijn **21%** in 2030 en **100%** in 2037.
- De sector **Landbouw** begaat dezelfde twee grote verduurzamingslagen: een transitie in warmte en een transitie in de veeteelt. Deze slagen worden in scenario 2 versneld. De aardgas gebaseerde verwarming verduurzaamt **71%** in 2030 en **100%** in 2037. Deze verduurzaming gaat gepaard met een **35%** krimp in vraag in 2030 en 2037 en is wederom

in grote mate gebaseerd op warmtelevering (geothermie/restwarmte). De veeteelt verandert naar een duurzame en ecologische sector, waarin de dichtheid van vee daalt naar 1,5 GVE per hectare. De veestapel krimpt fors in scenario 2, met 50% in 2030 en 75% in 2037. Door deze maatregel reduceert de grootte van de veestapel in 2030 naar ruwweg 2,7 miljoen GVE en in 2037 naar 1,3 miljoen GVE. Ter referentie, de veestapel in de KEV 2021 bedroeg in 2020 ongeveer 5,5 miljoen GVE.

- De sector **Gebouwde omgeving** verduurzaamt de warmtevoorziening, terwijl tegelijk het gemiddelde energielabel in 2030 **B** en in 2037 **A** wordt. Om deze verandering in energielabel te realiseren zijn er tussen de 700-1100²⁴ verbouwingen per dag nodig. Deze snelheid is van dezelfde ordegrrootte als in onderzoek van TNO (2022), waarin een snelheid van 300.000 huizen per jaar (820 per dag) als realistisch wordt gezien. In 2030 is 17% van de aardgasverwarming verduurzaamt en dit groeit in 2037 naar 100%. Deze verduurzaming is grotendeels gebaseerd op (elektrische) warmtepompen. Een deel van de warmtevoorziening wordt vervuld door warmtelevering (geothermie/restwarmte).
- De sector **Landgebruik** verduurzaamt op twee manieren. Ten eerste worden veenweidegebieden vernat, wat resulteert in reductie. Ten tweede wordt 50% van de landbouwgrond die mogelijk vrijkomt door de krimp van de veestapel herbebost²⁵.

4.4.2 Resultaten scenario 2

De inputs van scenario 2 resulteren in het model in het reductiepad dat is weergegeven in figuur 4.3. In tabel 4.2 zijn de hoofduitkomsten weergegeven.

Tabel 4.2: Resultaten doorrekening scenario 2

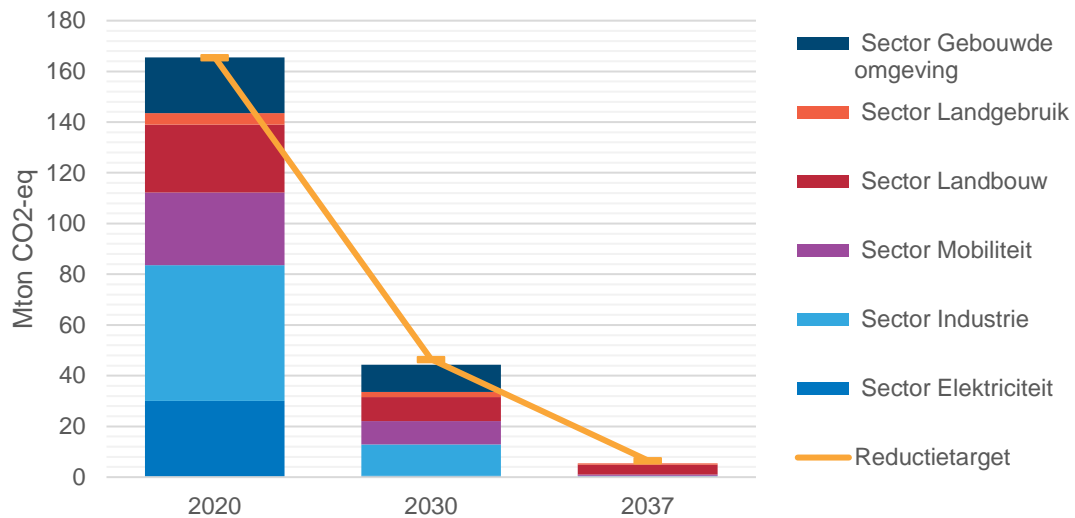
Output	Waarde
Uitstootreductie	79% in 2030, 97% reductie in 2037
Cumulatieve uitstoot	1.224 Mton CO ₂ -eq t/m 2037
Resterende uitstoot	44 Mton CO ₂ -eq /jaar in 2030, 5 Mton/jaar in 2037
Sectorverdeling	Landbouw is de grootste restuitstoter (±80% van de nationale uitstoot in 2037)

Uit de resultaten is te zien dat de cumulatieve uitstoot met 1.224 Mton het doel van maximaal 1.242 Mton CO₂ net weet te halen. Echter is de resthoeveelheid voor 2037-2050 maar 18 Mton CO₂, wat met een overgebleven uitstoot van 5 Mton CO₂ per jaar na minder dan vier jaar opgebruikt zal zijn. **Additionele reductie na 2037** is in dit scenario noodzakelijk om onder het gestelde maximum te blijven.

²⁴ Deze inschatting is op basis van een verbouwing die een gemiddeld huis van een label D naar een label A+ brengt. Dit is een soortgelijke verduurzaming als de in het rapport van TNO (2022) gebruikte omzetting van label G naar B.

²⁵ Het is mogelijk om i.p.v. bossen andere soorten natuur te laten aangroeien. Door de kleine absolute impact van deze maatregel als geheel, heeft een andere keuze van flora waarschijnlijk een gelimiteerd effect.

Figuur 4.3: Verloop nationale uitstoot, scenario 2



Vanwege de scherpe targets in scenario 2 blijken geen van de sectoren voldoende reductie te kunnen realiseren in 2030 met alleen verandering en verbetering. Het algehele energiegebruik in alle sectoren moet daardoor in 2030 krimpen met 35%. De industrie krimpt in 2037 nog verder naar 50% van de originele omvang.

In figuur 4.4 is te zien dat de industriesector in 2030 niet meer bij uitstek de grootste uitstoter is, zoals in scenario 1 wel het geval is. De emissies van de sectoren industrie, landbouw en gebouwde omgeving zijn in scenario 2 even groot; rond de 10 Mton CO₂. De sector mobiliteit reduceert iets sneller naar 8,2 Mton CO₂.

In 2037 is ook in scenario 2 de landbouw, en daarbij in het bijzonder de veeteelt, de grootste restuitstoter. Echter worden er in scenario 2 grotere reducties geboekt in de andere sectoren, waardoor de landbouw ditmaal zo'n 80% van de resterende uitstoot veroorzaakt (4,8 Mton CO₂/jaar van de nationale restuitstoot van 6,4 Mton CO₂/jaar). De veeteelt op zichzelf is in 2037 verantwoordelijk voor 3 van de 4,8 Mton CO₂ uit de landbouw. Wederom zijn de gelimiteerde mogelijkheden voor verduurzaming in de veeteelt een bottleneck waardoor significant moet worden ingezet op veestapelkrimp. De restuitstoot van Nederland lijkt onvermijdelijk verbonden aan een onreducerbare minimumuitstoot van de veeteeltsector.

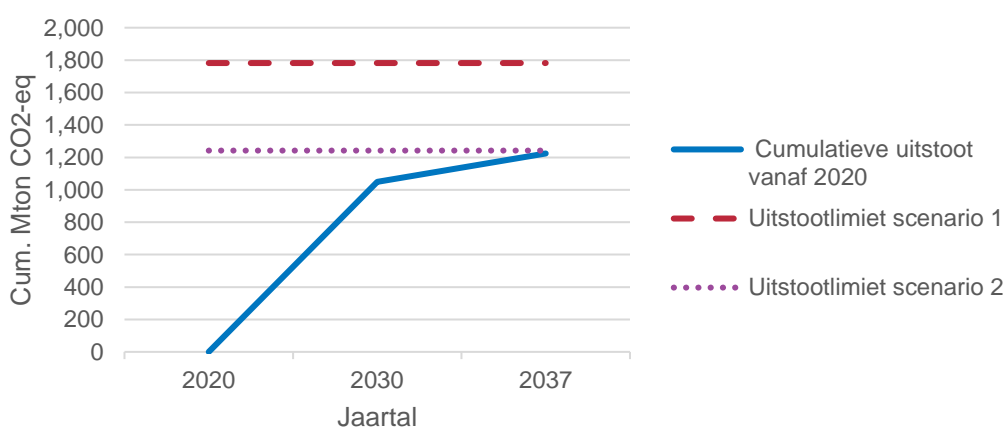
Veestapelkrimp heeft in de sector Landgebruik effect op de hoeveelheid land die ingezet wordt voor veeteelt en daarmee ook op de mogelijkheid voor herbebossing. De verandering in de grootte van de veestapel verloopt opnieuw parallel aan een transitie naar een lagere GVE dichtheid. De GVE dichtheid gaat van gemiddeld 5,7 GVE/ha in 2020 lineair naar 1,5 GVE/ha in 2037. Dieren nemen in 2037 hierdoor meer ruimte in per dier. Aan de ene kant krimpt de totale hoeveelheid dieren, terwijl aan de andere kant de ruimte per dier toeneemt. In scenario 2 heeft de veestapelkrimp een groter effect dan de verlaging van de veedichtheid. In 2030 is het areaal van de veeteelt met 0,2 miljoen hectare gekrompen. Deze krimp zet door naar een totaal van 0,25M hectare krimp in 2037. De sector landgebruik kan hierdoor met herbebossing in 2030 1,1 Mton extra CO₂ opslaan en in 2037 1,3 Mton. Net als in scenario 1 geldt hier dat deze mate van krimp gebaseerd is op een CO₂-reductie die evenredig verdeeld is over de sectoren. Op basis van additionele overwegingen (o.a. stikstof, natuurherstel,

uitbreiding natuurareaal, gezondheid, maatschappelijke kosten en baten, of meer/aangescherpte parameters van ecologische veehouderij) zou de mate van krimp en verduurzaming dus ook hier hoger uit kunnen komen.

De elektriciteitssector reduceert wederom het snelst naar volledige CO₂-neutraliteit. De additionele reductie in scenario 2 ten opzichte van scenario 1 wordt vooral veroorzaakt door krimp in resterend fossiel energieverbruik in alle sectoren. Om deze reden is het additioneel elektriciteitsverbruik in 2030 in scenario 2 niet significant hoger dan in scenario 1. In 2037 is er wel een verschil te zien. Omwille van het inzetten van elk mogelijk beleidsmiddel om meer reductie te realiseren is de 80/20 regel losgelaten in 2037. Alle verduurzamingsmethodes worden in 2037 in scenario 2 tot hun maximum ingezet, in tegenstelling tot scenario 1 waar de 80/20 regel wel gehandhaafd wordt in 2037. Hierdoor is er meer vraag naar waterstof en elektriciteit om fossiele processen te vervangen, wat leidt tot een hogere nodige elektriciteitsproductie.

De sectoren mobiliteit en gebouwde omgeving laten ook een steiler pad naar CO₂-neutraliteit zien in scenario 2. In de mobiliteitssector komt dit vooral door een grotere inzet op krimp. De gebouwde omgeving onderneemt een extra efficiëntieverbetering door al in 2030 een gemiddeld label B te hebben. In scenario 1 wordt dit pas in 2037 bereikt. In 2037 zijn beide sectoren bijna volledig CO₂-neutraal. De transitie naar elektriciteit en warmte als energiebronnen is in 2037 in de gebouwde omgeving compleet. Er wordt dan geen gas meer gebruikt, waardoor de sectoruitstoot op 0 Mton CO₂/jaar komt. De sector mobiliteit is met een restuitstoot van 0,54 Mton CO₂/jaar bijna neutraal. Het wegverkeer draait in scenario 2 in 2037 volledig op elektriciteit en waterstof. Alleen de binnenvaart maakt nog voor een deel gebruik van fossiele brandstoffen.

Figuur 4.4: Verloop cumulatieve uitstoot, scenario 2



5 Haalbaarheid van de scenario's

5.1 Inleiding

De in het vorige hoofdstuk gepresenteerde scenario-uitkomsten zijn gebaseerd op ambitieuze beleidsdoelen en op de inzet van maatregelen waar nog geen of slechts beperkte ervaring mee is opgedaan in de praktijk. In dit hoofdstuk bekijken we hoeverre deze uitkomsten in de praktijk zijn te realiseren.

Haalbaarheid kent verschillende aspecten. Sommige daarvan zijn meegenomen in dit onderzoek, andere niet. De wijze waarop mensen en organisaties kunnen participeren in het bewerkstelligen van de beleidsomslagen valt bijvoorbeeld buiten de scope van dit onderzoek. Hieronder wordt eerst toegelicht op welke manier haalbaarheid in dit onderzoek is meegenomen. Vervolgens wordt toegelicht welke overige aspecten van haalbaarheid relevant zijn voor de scenario's en wat hierover gezegd kan worden.

5.2 Haalbaarheid binnen de context van dit onderzoek

De scenario's laten zien welk beleid gevoerd zou moeten worden om onder een aantal realistische aannames de gestelde reductiedoelen te bereiken. Ze geven daarmee richting aan het beleid en de discussie daarover.

In de kern is het doel van dit onderzoek echter niet om de resultaten van het beleid exact te voorspellen, maar om de beleidsomslagen te identificeren die nodig zijn om Nederland fundamenteel van koers te doen veranderen en zo het doel van een eerlijke bijdrage aan de mondiale uitstootreductie binnen bereik te brengen. Daarvoor is het wel nodig dat de voorgestelde beleidsmaatregelen inderdaad tot de ingeboekte uitstootreductie leiden.

Om het effect van beleid niet te overschatten, zijn er maximale waarden bepaald voor wat haalbaar is op basis van onafhankelijke, openbare bronnen (zie de referenties en de bijlage). Ten tweede is er waar mogelijk een veiligheidsmarge aangehouden van 80% van de gevonden maxima. Dit betekent dat er voldoende potentieel is binnen de sectoren om de gewenste effecten te realiseren, mits het beleid op de juiste manier is vormgegeven.

Het huidige Nederlandse beleid neemt vaak de vorm aan van informeren, faciliteren, stimuleren en ontmoedigen. De gedachte hierachter is dat dergelijk beleid minder ingrijpend is voor de samenleving en minder weerstand oproept. Het nadeel van dit beleid is echter dat het geen garantie geeft op het bereiken van de gestelde doelen.

Bij de vormgeving van de beleidsscenario's is daarom juist hoofdzakelijk gekozen voor normeren en interveniëren. Omdat het hier gaat om zwaardere instrumenten is de kans op het bereiken van de gestelde beleidsdoelen groter en met minder onzekerheid omgeven.

Verder is er bij nieuw beleid altijd sprake van onverwachte effecten. Deze kunnen positief of negatief uitpakken. Omdat er in de scenario's sprake is van een groot aantal maatregelen, verdeeld over de hele economie en samenleving, is er niet één specifieke maatregel die essentieel is voor het slagen of mislukken van de operatie als geheel. Als bijvoorbeeld de toename van duurzame elektriciteitsproductie tegenvalt, kan deze tijdelijk aangevuld worden met import en/of fossiele productie. Sommige maatregelen zullen succesvoller blijken dan verwacht, andere minder succesvol. Succesvolle maatregelen kunnen waar nodig verder worden opgeschaald en voor maatregelen die minder succesvol zijn kan aanvullend beleid worden ontworpen. Dit heeft een dempend effect op de impact van de onzekerheid die nieuw beleid met zich meebrengt.

Op grond van deze overwegingen is het aannemelijk is dat het gekozen beleid *grosso modo* afdoende is om, wanneer succesvol uitgevoerd, de doelen te bereiken.

5.3 Overige aspecten van haalbaarheid

In deze paragraaf bespreken wij kort andere aspecten van haalbaarheid die buiten de scope van het onderzoek vallen.

Technische haalbaarheid

Een relatief eenvoudige kwestie is de technische haalbaarheid van de scenario's. Bij het selecteren van beleidsmaatregelen en het schatten van hun effecten is er namelijk alleen gekeken naar opties die uitvoerbaar zijn met behulp van op dit moment beschikbare technologieën. De haalbaarheid van de scenario's is dus niet afhankelijk van technologische ontwikkelingen die nog in de toekomst plaats moeten vinden en daarmee voor onzekerheid zorgen. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat de scenario's in ieder geval technisch haalbaar zijn.

Publieke organisatiekracht en uitvoeringscapaciteit

Moeilijker is de vraag of de overheid in staat is om het geformuleerde beleid succesvol uit te voeren. De overheid heeft een cruciale rol te vervullen bij de uitvoering van dit beleid en dit vraagt op een aantal punten om significante wijzigingen ten opzichte van de huidige taakinvulling. Bij de implementatie van het bestaande beleid doen zich al problemen voor en deze zullen bij additioneel beleid des te prangender worden.

Een voorbeeld hiervan is de doorlooptijd van vergunningsprocedures. Deze zal sterk verkort moeten worden om het voorgestelde beleid tijdig te laten slagen. Een ander voorbeeld is het voeren van slagvaardig, centraal gestuurd ruimtelijk beleid, dat snel duidelijkheid geeft over de locaties waar duurzame energie-installaties en de bijbehorende infrastructuur gebouwd kunnen worden. Ook de stikstofproblematiek en de krapte op de arbeidsmarkt zijn serieuze obstakels die aangepakt zullen moeten worden.

Daarnaast zal er door de overheid uitvoeringscapaciteit opgebouwd moeten worden om nationale programma's op te zetten en uit te voeren. Daarvoor zal bestaand personeel anders moeten worden ingezet, maar ook nieuw personeel moeten worden geworven en opgeleid. Dit geldt bijvoorbeeld voor het planmatig verduurzamen van de gebouwde omgeving, maar ook voor de aanleg en opschaling van energie-infrastructuur. Tot op heden heeft de overheid

gekozen voor een decentrale aanpak op basis van vrijwilligheid. Dat zal echter niet voldoende zijn om de gestelde doelen te realiseren. Hier zijn overigens wel de eerste tekenen zichtbaar van een omslag in het denken, zoals het plan om CV-ketels te gaan verbieden.

In het verleden heeft de overheid laten zien in staat te zijn dergelijke grootschalige programma's succesvol uit te kunnen voeren. Denk hierbij aan de uitrol van de aardgasvoorziening door heel Nederland in de jaren '60. Om de reductiedoelen te realiseren is hier een vergelijkbare inspanning van de overheid nodig.

Financiële en economische haalbaarheid

Een ander belangrijk haalbaarheidsaspect is wat de financiële en economische gevolgen zullen zijn van dergelijk klimaatbeleid en in hoeverre de Nederlandse economie deze kan dragen.

Het schatten van de financiële impact van de maatregelen is complex en valt buiten de scope van het onderzoek. In algemene zin kunnen hierover wel enkele opmerkingen geplaatst worden.

Ten eerste zal er een grote financieringsbehoefte ontstaan als gevolg van de benodigde investeringen in verschillende sectoren. Voor een deel van de investeringen hoeft dit geen probleem te zijn, omdat deze zichzelf terugverdienen. Voor een aanzienlijk deel zal de overheid echter bij moeten springen om deze investeringen van de grond te krijgen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de inkomsten van de in hoofdstuk drie beschreven heffingen.

Ook zal er een verschuiving optreden tussen economische sectoren. Sommige industrietakken zullen bijvoorbeeld verdwijnen, maar hier komt andere bedrijvigheid voor in de plaats die gericht is op het verduurzamen van bestaande activiteiten en het creëren van nieuwe, duurzame activiteiten. Zo zullen de bouw en de installatietechniek gestimuleerd worden en zullen bedrijven met circulaire business modellen steeds kansrijker worden.

Verder zal er sprake zijn van een afname van directe, monetaire baten in de vorm van de consumptie van niet-duurzame goederen. Hier staan echter maatschappelijke, non-monetaire baten tegenover in de vorm van schone lucht, gezonde natuur en minder schade als gevolg van klimaatverandering.

Politieke en maatschappelijke haalbaarheid

Ten slotte is het de vraag in hoeverre er politiek en maatschappelijk draagvlak te vinden zal zijn voor realisatie van de beschreven scenario's. Ook dit valt echter buiten de scope van het huidige onderzoek.

6 Conclusie

Als Nederland een bijdrage wil leveren aan de mondiale CO₂-reductie conform de 'per capita' en 'emission based' reductiedoelen van het NCI, vraagt dit om een aanzienlijke aanscherping van het klimaatbeleid. Dit onderzoek heeft per sector in kaart gebracht welke **omslagen** in het beleid hiervoor nodig zijn, met welke concrete **beleidsmaatregelen** deze gerealiseerd kunnen worden en tot welke **kwantitatieve scenario's** voor de CO₂-uitstoot dit leidt.

De beleidsomslagen komen ruwweg in drie vormen: het **verminderen** van vervuilende activiteiten, het **verbeteren** van processen om ze energiezuiniger te maken en het **vervangen** van vervuilende technieken door duurzame, uitstootvrije technieken.

Om deze beleidsomslagen met een voldoende mate van zekerheid te realiseren, is vooral gekozen voor een combinatie van **normerend beleid** en **actieve overheidsinterventies**. De effecten van dit type beleid zijn beter in te schatten dan beleid dat werkt via financiële prikkels.

Op basis van deze beleidsmaatregelen zijn twee kwantitatieve scenario's doorgerekend met CO₂-reductiepaden die voldoen aan de door het NCI berekende maximale cumulatieve uitstoot. In het eerste scenario leidt dit tot een reductie van 64% in 2030 en 91% in 2037. In het tweede scenario bedraagt de reductie 79% in 2030 en 97% in 2037.

De effectiviteit van nieuw beleid is op voorhand nooit met zekerheid te voorspellen. Op basis van de modelresultaten is het wel aannemelijk dat de 'per capita' en 'emission based' reductiedoelen van het NCI met behulp van de geïdentificeerde omslagen en beleidsmaatregelen gerealiseerd kunnen worden. Om dit beleid succesvol te implementeren wordt echter veel gevraagd van de uitvoeringscapaciteiten van de overheid. Het verkrijgen van de politieke wil en vaardigheid om een dergelijke capaciteit op te bouwen en in te zetten, vraagt ook om een trendbreuk die nodig is voor het realiseren van de in dit onderzoek beschreven reductiepaden. Daarnaast wordt veel gevraagd van bedrijven en burgers om deze transitie voor elkaar te krijgen.

Referenties

Berenschot (2018), *Het 'warmtescenario': Beelden van een op warmte gerichte energievoorziening in 2030 en 2050*

https://www.berenschot.nl/media/352kcpid/cases-het_warmtescenario.pdf

CBS (2021a), *Hernieuwbare energie in Nederland - windenergie*

<https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/4-windenergie>

CBS (2021b), *Groei aantal stekkerauto's zet door*

<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/41/groei-aantal-stekkerauto-s-zet-door#:~:text=Het%20aantal%20stekkerauto's%20steeg%20in.wordt%20opgeladen%20met%20een%20stekker.>

CBS (2021c), *Hoeveel brandstof verbruikt het Nederlandse wegvervoer?*

<https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/uitstoot-en-brandstofverbruik/brandstofverbruik-wegvervoer>

CE Delft (2021), *Waterstofroutes Nederland*

https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_3K37_Waterstofroutes_Nederland_def.pdf

C. Oliveira, K.M. Schure (24 dec 2020), *Decarbonisation options for the Dutch refinery sector*

https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-decarbonisation-options-for-the-dutch-refinery-sector-3659_0.pdf

Ecorys (2021), *Inzicht in aanvullende beleidspakketten voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving*

<https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2021/07/06/ecorys-inzicht-in-aanvullende-beleids pakketten-voor-de-verduurzaming-van-de-gebouwde-omgeving>

EICB (2020), *Waterstof in binnenvaart en short sea*

<https://www.eicb.nl/wp-content/uploads/2020/07/2020-07-EICB-Rapport-Waterstof-in-de-binnenvaart-en-short-sea.pdf>

Euractiv (2021), *17% of new trucks in 2030 will run on hydrogen, EU believes*

<https://www.euractiv.com/section/energy/news/17-of-new-trucks-in-2030-will-run-on-hydrogen-eu-believes/>

European Commission (z.d.), *Biofuels criteria*

https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biofuels_en

European Commission (2008), *Biofuels*

https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/1si_en.pdf

Essent (z.d.), *Gemiddelde gasverbruik*

<https://www.essent.nl/kennisbank/energie-besparen/inzicht-in-verbruik/gemiddelde-gasverbruik>

EZK (2019), *Klimaataakkoord*

<https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaataakkoord>

Geothermie.nl (z.d.), *Factsheet – wat is geothermie?*

<https://geothermie.nl/wp-content/uploads/GNL-Factsheet-wat-is-geothermie.pdf>

Glastuinbouw Nederland (2018), *Visiedocument energie*

https://www.glastuinbouwnederland.nl/content/glastuinbouwnederland/docs/Verantwoorde_Glastuinbouw/Visiedocumenten_2018/Visiedocument_Energie.pdf

Kumar, S. S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis—A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442-454.

<https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>

Natuur en Milieu (2022), *Normeren voor het klimaat*

<https://natuurenmilieu.nl/app/uploads/NatuurenMilieu-Normeren-voor-het-klimaat-klimaatgat-september-2022.pdf>

New Climate Institute (2022), *What is a fair emissions budget for the Netherlands?*

https://newclimate.org/sites/default/files/2022-08/afairshareforthenetherlands_newclimate_20220829.pdf

PBL (2014), *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050*

https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2014-op-weg-naar-een-klimaatneutrale-woningvoorraad-in-2050-achtergrond_1333_1.pdf

PBL (2021), *Klimaat- en energieverkenning 2021*

<https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2021>

PBL (2022), *Voorlopige raming van broeikasgasemissies in 2030*

<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2022-voorlopige-raming-van-broeikasgasemissies-in-2030-4989.pdf>

Rijksoverheid (2022a), *coalitieakkoord*

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/01/10/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>

Rijksoverheid (2022b), *miljoenennota 2023*

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/prinsjesdag/miljoenennota-en-andere-officiële-stukken>

RVO (2020), *List of fuels and emission factors*

<https://english.rvo.nl/sites/default/files/2020/03/The-Netherlands-list-of-fuels-version-January-2020.pdf>

RVO (2016), *De Nederlandse landbouw en het klimaat*

https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/RVO_De%20Nederlandse%20landbouw%20en%20het%20klimaat_Broch_def.pdf

Staatsbosbeheer n.d., *Bos en CO₂-opslag*

<https://www.staatsbosbeheer.nl/wat-we-doen/co2-opslaan-en-vasthouden/bos-en-co2#:~:text=Omdat%20bos%20ongeveer%20tien%20ton,opslag%20van%2050.000%20ton%20CO2.>

TKI Urban Energy (2021), *Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland*

<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Ruimtelijk%20potentieel%20van%20zonnestroom%20in%20Nederland.pdf>

TNO (2013), *De truck van de toekomst*

https://www.tno.nl/media/1226/brandstof_co2_besparing_anno_2013.pdf

TNO (2022), *Koopkrachtcrisis vraagt om bouwvakkers i.p.v. deurwaarders*

<https://www.tno.nl/nl/newsroom/2022/10/bouwvakkers-plaats-deurwaarders-strijd/>

Topsector Energie (2021), *Routekaart Elektrificatie in de Industrie*

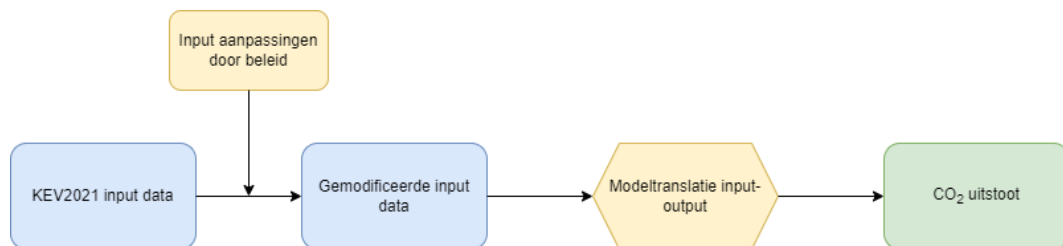
<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/TKI%20Energie%20%26%20Industrie/Documenten/Routekaart%20Elektrificatie%20in%20de%20Industrie.pdf>

Bijlage: werking en resultaten van het model

Werking van het model

Voor de kwantitatieve doorrekening is een Excel model ontwikkeld op basis van de KEV-2021. De werking van dit 'Omslagenmodel' is te zien in figuur B.1. Met de data van de KEV-2021 als basis is er eerst een connectie gemaakt tussen de verschillende soorten energiegebruik per sector en de uitstoot die daarmee gepaard gaat. Deze connectie is vitaal voor het functioneren van het model, aangezien maatregelen voor verdere CO₂-reductie daardoor direct getransleerd kunnen worden naar een specifieke hoeveelheid energie. Het model maakt naast de KEV-2021 gebruik van kengetallen van onder andere het CBS en RVO.

Figuur B.1: Werking van het Omslagenmodel



De KEV-2021 bevat voor een aantal jaartallen data op sectorniveau naar energiedrager, bijvoorbeeld 'gebruik aardgas (PJ)' of 'gebruik elektriciteit (PJ)'. De scope van het model is daarom vastgesteld op sectorniveau voor drie discrete tijdstappen (2020, 2030, 2037). De KEV-2021 bevat geen specifieke data voor 2037. Het model gebruikt lineair geïnterpoleerde KEV-data tussen 2030 en 2040 als startwaardes voor 2037.

Uitstoot van individuele fabrieken, bedrijven of voertuigen vallen buiten het detailbereik van het model. De beleidsomslagen die het model kan doorrekenen zijn gebaseerd op de principes van Verminderen, Verbeteren en Vervangen, zoals beschreven in paragraaf 3.1. Een voorbeeld hiervan is 'Verbetering gemiddeld energielabel gebouwde omgeving'.

Een belangrijk uitgangspunt van het model is dat alle maatregelen additioneel zijn aan het beleid dat reeds in de KEV-2021 is opgenomen. Een input zoals 'krimp veestapel' betekent dus een additionele krimp bovenop de krimp die al in de KEV-2021 is meegenomen.

Om de werking van het model te verduidelijken volgen nu een tweetal voorbeelden. Het eerste voorbeeld zorgt voor een directe reductie in de sector, zonder invloed op andere sectoren. Het tweede voorbeeld laat een complexere situatie zien, waar het verduurzamen van de ene sector ook invloed heeft op de uitstoot van een andere sector.

Modelwerking voorbeeld 1: krimp veestapel

De maatregel 'krimp van de veestapel' wordt ingezet voor het jaartal 2030. Deze maatregel reduceert de totale veestapel (runderen, varkens, pluimvee, etc.) in 2030 met een bepaald percentage. Het omslagenmodel berekent normaliter de uitstoot per dier voor de gehele veestapel in 2030 uit de KEV-2021 om daarmee op de uitstoot te komen die ook in de KEV-2021 vermeld staat. Door de veestapel te krimpen wordt het aantal dieren kleiner dan origineel in de KEV-2021. Gegeven dat de uitstoot per diersoort gelijk blijft resulteert deze krimp in een kleinere uitstoot voor de veeteelt. Dit vertaalt zich in een lagere CO₂-uitstoot voor de gehele landbouwsector in het jaar 2030. Een veestapelkrimp in 2030 heeft overigens geen automatische invloed op de grootte van de veestapel in 2037. Als veestapelkrimp ook in 2037 gewenst is, moet deze voor dat jaar apart als inputparameter ingesteld worden.

Modelwerking voorbeeld 2: verduurzaming van verwarming in de industrie.

De maatregel 'verduurzaming aardgasverwarming in de industrie' wordt ingezet. Deze maatregel zorgt voor een verandering van de energievraag in de industrie. De vraag naar aardgas vermindert, waardoor de totale sectoruitstoot daalt. Deze verminderde vraag naar aardgas wordt in dit geval opgevangen door een vergroting van de sectorvraag naar elektriciteit en waterstof. Extra vraag naar elektriciteit en waterstof worden centraal doorerekend onder de sector Elektriciteit. De extra vraag naar elektriciteit en waterstof van alle sectoren wordt opgeteld tot een overkoepelende 'additionele vraag'. De elektriciteitssector kan aan deze vraag voldoen door de inzet van een extra opgesteld vermogen aan duurzame energie. Mocht dit vermogen niet in voldoende mate beschikbaar zijn, dan kan waterstof of elektriciteit geïmporteerd worden. Als laatste redmiddel wordt er extra gasverbranding ingezet. Dit betekent dat als andere sectoren sneller verduurzamen dan de elektriciteitssector kan opschalen, de uitstoot van de elektriciteitssector toeneemt.

Modelinputs

Inputparameters

Het model bevat in totaal 27 inputparameters. Tabellen B.1 t/m B.7 geven een overzicht van deze inputparameters, onderverdeeld naar sector. Elke input is instelbaar met aparte waardes voor de jaren 2030 en 2037. Omslagen in het beleid kunnen dus vertaald worden naar het model door het kiezen van corresponderende waardes van de inputparameters.

Tabel B.1: Inputparameters van het model, sector Elektriciteit

Input & eenheid	Beschrijving
Energieproductie wind en zon (PJ)	De hoeveelheid additionele elektrische energie die door het opstellen van extra vermogen aan wind en zon beschikbaar komt.

Tabel B.2: Inputparameters van het model, sector Industrie

Input & eenheid	Beschrijving
Krimp energiebehoefte verwarmingsprocessen in industrie (%)	De mate van algehele krimp van energiebehoefte in de industriesector. Deze krimp kan worden bewerkstelligd door efficiëntieverbetering of sectorkrimp.

Input & eenheid	Beschrijving
Verduurzaming aardgasverwarming in industrie (%)	De mate van vervanging van traditionele aardgasverwarming door CO ₂ -neutrale verwarmingsmethodes. In de industrie zijn deze methodes elektrische en op waterstof gebaseerde verwarming.
Split elektriciteit/waterstof in vervanging aardgasverwarming industrie (% elektriciteit. Resthoeveelheid opgevangen met waterstof)	De verhouding waarin elektriciteit en waterstof worden toegepast in de bovengenoemde verduurzaming.
CCS in industrie (Mton CO ₂ -eq)	De hoeveelheid CCS die toegepast wordt in de industrie.

Tabel B.3: Inputparameters van het model, sector Mobiliteit

Input & eenheid	Beschrijving
Krimp energiebehoefte benzinevoertuigen (%)	De mate van algehele krimp van energiebehoefte bij benzinevoertuigen. Deze krimp kan worden bewerkstelligd door efficiëntieverbetering of krimp.
Elektrificatie benzinevoertuigen (%)	De mate waarin transportvraag op basis van benzine wordt vervangen door elektriciteit.
Krimp energiebehoefte diesellovoertuigen (%)	De mate van algehele krimp van energiebehoefte bij diesellovoertuigen (wegen en binnenvaart). Deze krimp kan worden bewerkstelligd door efficiëntieverbetering of krimp.
Elektrificatie diesellovoertuigen wegen (%) ²⁶	De mate waarin transportvraag over wegen op basis van diesel wordt geëlektrificeerd.
Waterstoftransitie diesellovoertuigen binnenvaart (%)	De mate waarin transportvraag over water op basis van diesel wordt vervangen door waterstof. Elektrificatie wordt niet meegenomen als optie, vanwege de inzet op waterstof uit de industrie. Als een dergelijke elektrificatieslag wel plaatsvindt zal er minder elektriciteit nodig zijn, vanwege het conversieverlies van elektriciteit naar waterstof dat dan komt te vervallen. De keuze voor alleen waterstof kan hierdoor ook vernomen worden als de conservatievere aanname voor de toekomstige energievraag.

Tabel B.4: Inputparameters van het model, sector Landbouw

Input & eenheid	Beschrijving
Krimp verwarmingsprocessen in landbouw (%)	De mate van algehele krimp van energiebehoefte voor aardgasverwarming in de landbouwsector (glastuinbouw). Deze krimp kan worden bewerkstelligd door efficiëntieverbetering of krimp.
Verduurzaming aardgasverwarming in landbouw (%)	De mate van vervanging van traditionele aardgasverwarming door CO ₂ -neutrale verwarmingsmethodes. In de landbouw zijn deze methodes waterstof- en op warmtelevering gebaseerde verwarming.
Split waterstof/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming landbouw (% waterstof. Resthoeveelheid opgevangen met warmte)	De verhouding waarin waterstof en warmtelevering worden toegepast in de bovengenoemde verduurzaming.

²⁶ Waterstof is een aantrekkelijkere brandstof voor de binnenvaart, vanwege de hogere energiedichtheid en snelle herbevoorradingstijd ten opzichte van batterijen.

Input & eenheid	Beschrijving
Krimp veestapel (%)	De mate van algehele krimp van de veestapel. Deze krimp kan alleen worden ingevuld met een percentuele reductie van het aantal dieren. Efficiëntieverbetering heeft voor de veeteelt een aparte parameter
Overgang naar duurzame veeteelt: 1.5 GVE/ha (Aan/Uit)	Een switch om te bepalen of de gemiddelde ruimtedichtheid in de veeteeltsector zal reduceren naar een duurzaam vastgesteld niveau. Deze switch moet voor zowel 2030 als 2037 op hetzelfde zijn ingesteld. De overgang kan in het model, wanneer ingezet, niet afgebroken worden. Wanneer de switch wordt aangezet zal de veedichtheid (GVE/ha) een daling inzetten vanaf het KEV startpunt in 2020. Per diersoort neemt de veedichtheid lineair af vanaf het startpunt in 2020 naar het eindpunt van 1.5 GVE/ha in 2037.
Afname uitstoot per dier (%)	De mate van uitstootafname door verduurzaming van de veeteeltprocessen.

Tabel B.5: Inputparameters van het model, sector Gebouwde omgeving

Input & eenheid	Beschrijving
Verbetering gemiddeld energielabel gebouwde omgeving (A+, A, B, C, D)	Het gemiddelde label waaraan de gehele gebouwde omgeving voldoet in het ingestelde jaar. Een beter energielabel resulteert in een lagere energievraag per gebouw.
Vervanging aardgasverwarming in woningen (elektriciteit/warmtelevering) (%)	De mate van vervanging van traditionele aardgasverwarming door CO ₂ -neutrale verwarmingsmethodes. Voor woningen zijn de beschikbare methodes warmtepompen (elektriciteit) en duurzame warmtelevering.
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming woningen (% elektriciteit. Resthoeveelheid opgevangen met warmte)	De verhouding waarin elektriciteit en warmtelevering worden toegepast in de bovengenoemde verduurzaming.
Vervanging aardgasverwarming in dienstgebouwen (elektriciteit/warmtelevering) (%)	De mate van vervanging van traditionele aardgasverwarming door CO ₂ -neutrale verwarmingsmethodes. Voor dienstgebouwen zijn de beschikbare methodes ook warmtepompen (elektriciteit) en duurzame warmtelevering.
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming dienstgebouwen (% elektriciteit. Resthoeveelheid opgevangen met warmte)	De verhouding waarin elektriciteit en warmtelevering worden toegepast in de bovengenoemde verduurzaming.
Elektrificatie overige processen gebouwde omgeving (%)	De mate waarin overige op gas gebaseerde processen in de gebouwde omgeving (zoals koken op gas) worden geëlektrificeerd.

Tabel B.6: Inputparameters van het model, sector Landgebruik

Input & eenheid	Beschrijving
Fractie herbebossing vrijgekomen landbouwgrond (%)	Eventuele veestapelkrimp zorgt ervoor dat er ruimte vrijkomt in Nederland. Deze input bepaalt de mate waarin deze vrijgekomen landbouwgrond wordt ingezet voor herbebossing.
Vernatting veenweidegebieden (%)	Het vernatting van veenweides naar een waterniveau van 20cm onder het grondniveau resulteert in extra CO ₂ -opname van het gebied. Deze input bepaalt de mate waarin deze vernatting wordt doorgevoerd.

Tabel B.7: Inputparameters van het model, sector buitenland

Input & eenheid	Beschrijving
Compensatie CO ₂ -uitstoot in het buitenland (Mton CO ₂ -eq)	De hoeveelheid van de Nederlandse CO ₂ -uitstoot die in het buitenland wordt gecompenseerd. N.B. deze CO ₂ -compensatie behoort additioneel te zijn aan de verduurzamingsplannen in het land waar de compensatie plaatsvindt.
Import groene waterstof uit buitenland (PJ)	De hoeveelheid energie die in de vorm van waterstof uit het buitenland wordt geïmporteerd.
Import groene stroom uit buitenland (PJ)	De hoeveelheid energie die in de vorm van groene stroom die uit het buitenland wordt geïmporteerd.

Maximale inputwaarden

Aan de hand van literatuuronderzoek en het gestelde beleid zijn een set aan maximaal haalbare waarden geschat voor de inputparameters. Deze maximaal haalbare waarden geven de ruimte weer die de input mogelijk kan benutten voor de reductie van CO₂ in een sector. De onderstaande paragrafen gaan per input in op de berekeningen die aan de waarden ten grondslag liggen.

Bij het vaststellen van de maximaal haalbare waarden zijn een aantal modelleerbesluiten gemaakt. Allereerst wordt er geen maximaal haalbare waarde ingesteld op de krimp van energiegebruik van een sector. De harde krimp van de energiebehoefte van een sector betreft krimp die naast alle overige verduurzamingsmaatregelen doorgevoerd wordt. Dit kan in beleid de vorm aannemen van een normering en/of reductie van de algehele grootte van een sector. Zulke beslissingen hebben een sociaal-politieke limiet, maar geen technische limiet. Ten tweede wordt er bij het gebruik van waterstof en (aard)warmte geen individuele, maar een model-brede limiet gehanteerd. Het model bevat limieten voor de maximaal produceerbare hoeveelheid waterstof en warmte. Hoe deze energiedragers worden onderverdeeld tussen de sectoren is wederom een sociaal-politieke keuze in plaats van een technische limiet.

Haalbare waarden, sector elektriciteit

Tabel B.8: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Elektriciteit

Parameter	2030	2037
Additionele capaciteit wind en zon (PJ)	235	1.080

Windenergie laat vanaf 2015 een year-over-year groei zien van 16% (CBS, 2021b). Ondersteund door adequaat beleid wordt er aangenomen dat deze groei zich kan doorzetten.

Extrapolatie van de groei in windenergie geeft 29,2 GW aan opgesteld vermogen in 2030. In vergelijking met de KEV-2021 kan hiermee 166,5 PJ extra geproduceerd worden. Het klimaatakkoord raamt voor zonne-energie in 2030 al meer dan in de KEV-2021 is meegenomen. De totale opgestelde hoeveelheid zonnestroom van het klimaatakkoord produceert 69,5 PJ meer dan de KEV-2021. Opgesteld resulteert dit in maximaal **235 PJ** extra groene energieproductie in 2030.

Voortbouwend hierop kan het gehele beschikbare Noordzeeoppervlak voor wind zijn gevuld in 2037 (72 GW). Dit opgesteld vermogen produceert 862 PJ boven de KEV-berekening. Streefdoelen zetten de capaciteit voor zon op 720 PJ (200 TWh) in 2050 (TKI Urban Energy, 2021). Interpolatie geeft 218 PJ aan extra energieproductie uit zon boven de KEV-2021 raming in 2037. Voor 2037 is er aan wind en zon dus in totaal **1.080 PJ** extra energieproductie mogelijk.

Haalbare waarden, sector industrie

Tabel B.9: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Industrie

Parameter	2030	2037
Krimp energiebehoefte verwarmingsprocessen industrie (%)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Verduurzaming aardgasverwarming in industrie (%)	37%	49%
Split elektriciteit/waterstof in vervanging aardgasverwarming industrie (% elektriciteit)	Geen technisch limiet	Geen technisch limiet
CCS in industrie (Mton CO ₂ -eq)	1,7	1,7

Topsector Energie publiceerde in 2021 een routekaart voor het verduurzamen van de Nederlandse industriesector. Hierin werd zwaar ingezet op elektrificatie (incl. elektrolyse) om de warmtevraag van de industrie op te vangen. De routekaart voor elektrificatie van de industrie stelt het maximaal potentieel voor additionele verduurzaming van de warmtevraag op 288 PJ (2030) en 351 PJ (2037). Dit is respectievelijk **37%** en **49%** van de totale vraag. In de KEV-2021 is 7 Mton CO₂/jaar aan CCS opgenomen. De nieuwe plannen van het kabinet gepresenteerd op Prinsjesdag (Rijksoverheid, 2022b) breiden de ruimte voor CCS uit met 1,7 Mton CO₂/jaar boven de in de KEV-2021 geraamde capaciteit. De limiet voor additionele CCS in de industrie wordt daarmee vastgezet op **1,7 Mton CO₂**. Er is door de opdrachtgever gekozen om extra CCS capaciteit **niet** mee te nemen in het model vanuit het uitgangspunt dat extra CCS niet wenselijk is, omdat dat mogelijkheid biedt voor het aanhouden van fossiel-gebaseerde processen i.p.v. inzetten op duurzame alternatieven.

Haalbare waarden, sector mobiliteit

Tabel B.10: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Mobiliteit

Parameter	2030	2037
Krimp energiebehoefte benzinevoertuigen (%)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Elektrificatie benzinevoertuigen (%)	75%	100%
Krimp energiebehoefte dieselveertuigen (%)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Elektrificatie dieselveertuigen (wegen) (%)	17%	70%
Waterstoftransitie dieselveertuigen (binnenvaart) (%)	35%	60%

Vanaf 2015 laat het aantal stekkerauto's (vol elektrische auto's en plug-in hybrides) een groei zien van gemiddeld 38,0%. Ondersteund door adequaat beleid wordt er aangenomen dat deze groei zich kan doorzetten. Extrapolatie van deze year-over-year groei van stekkerauto's uit CBS data geeft in 2030 totaal een marktaandeel van 77,6%. Gecompenseerd voor de groei al meegenomen in de KEV-2021 zou dit nog 75% extra reductie in benzinevoertuigen betekenen. Dezelfde berekening geeft in 2037 een marktaandeel van 100%.

Het op diesel gebaseerde vrachtverkeer in Nederland heeft nog geen transitie meegemaakt op de schaal van elektrische auto's. Deze staat echter wel op het punt van beginnen. Er zijn verschillende manieren om vrachtverkeer duurzaam van energie te voorzien, waarvan elektrificatie en waterstof als hoofdopties naar voren komen.

Dit onderzoek gaat uit van een transitie naar elektrisch vrachtvervoer vanwege de kleinere benodigde energieproductie t.o.v. waterstof. Het voordeel van elektrische trucks is dat er geen omzetting van elektriciteit naar waterstof plaats hoeft te vinden, waarmee energie bespaard wordt. Daar staat tegenover dat waterstof minder ruimte en gewicht inneemt dan batterijen voor eenzelfde hoeveelheid energie, waardoor een waterstoftruck mogelijk relatief meer kilo's vracht kan transporteren. In dit onderzoek rekenen wij uit wat het effect is van een omschakeling naar elektrische trucks. Als in plaats daarvan gekozen zou worden voor trucks op waterstof, zou dit de energievraag van trucks met ruwweg een derde vergroten (op basis van het effect van 75% elektrolyse-efficiëntie (Kumar & Himabindu, 2019)). Echter zal naar verwachting het effect van het gebruik van ofwel waterstoftrucks of elektrische trucks gering blijven in vergelijking met de totale Nederlandse energievraag in de scenario's.

Naar schatting van de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), onder leiding van de Europese commissie, rijdt in 2030 17% van de nieuw gebouwde trucks CO₂-neutraal (op waterstof). Er wordt aangenomen dat een elektrificatieslag met dezelfde snelheid kan verlopen. Met extra inzet op ondersteunend beleid wordt hierom een transitie van diesel naar elektriciteit van 17% als haalbaar geschat. Truckverkopers willen tevens in 2040 geheel stoppen met de verkoop van fossiel-aangedreven vrachtwagens. Ze verwachten dat na 10 jaar de volledige vloot dan vervangen is. Er wordt aangenomen dat in samenwerking met EU beleid de stop van fossiele verkoop naar voren gehaald kan worden naar 2030. Geïnterpoleerd voor 2037 levert dit een marktaandeel van 70% duurzaam wegtransport op in 2037.

Het Expertise- en Innovatiecentrum binnenvaart (EICB, 2020) projecteert in hun routekaart voor een duurzame binnenvaart dat 35% van de binnenvaart in 2035 naar waterstof is overgegaan. Echter laat het initiatief uit de sector zien dat doelen tot 5 jaar eerder kunnen worden bereikt. Dit wordt aangenomen, waardoor het maximaal potentieel in 2030 op 35% komt. Verdere lineaire extrapolatie van deze trend geeft een maximaal haalbaar potentieel van 60% in 2037.

*Haalbare waarden, sector landbouw***Tabel B.11: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Landbouw**

Parameter	2030	2037
Krimp energiebehoefte verwarmingsprocessen in landbouw (%)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Verduurzaming aardgasverwarming in landbouw (%)	58%	100%
Split waterstof/warmtelevering in verduurzaming aardgasverwarming landbouw (% waterstof)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Krimp veestapel (%)	75%	75%
Overgang naar duurzame veeteelt (Y/N)	Aan	Aan
Afname uitstoot per dier (%)	20%	20%

De koepelorganisatie glastuinbouw Nederland stelde in hun visiedocument (2018) voor een duurzame glastuinbouw dat een 100% CO₂-neutrale glastuinbouw in 2040 haalbaar is. Deze duurzame transitie vergt een verandering van aardgas-gebaseerde verwarming naar warmtebronnen en waterstof. De glastuinbouw is de grootste verbruiker van (aardgas)verwarming in de landbouwsector. Om deze reden wordt de algehele verduurzamingssnelheid van de landbouwsector gelijkgesteld aan die van de glastuinbouw. Ondersteund door aanvullend beleid wordt er aangenomen dat dit doel in 2037 gehaald kan worden. Additioneel wordt er aangenomen dat dit proces lineair verloopt. In 2030 zal daardoor, o.b.v. interpolatie, 58% van de aardgasverwarming in de landbouw CO₂-neutraal zijn.

Er is geen technische limiet aan de krimp van de veestapel. Een bepaalde hoeveelheid vee blijft echter nuttig voor het begrazen van land waar geen andere begroeiing mogelijk is, voor het consumeren van reststromen en om een zekere mate van zelfvoorzienendheid te waarborgen met betrekking tot de consumptie van dierlijke producten. Wij maximeren de krimp daarom op 75% van de huidige veestapel. De overgang naar duurzame, grondgebonden veeteelt betekent dat er meer ruimte per dier nodig is. Wij gaan bij de berekening van de benodigde ruimte voor vee uit van een (maximale) veedichtheid van 1,5 grootvee-eenheid (GVE) per hectare.

Het is aannemelijk dat de uitstoot per dier afneemt bij duurzamere landbouwwormen, maar het bronnenmateriaal is beperkt. Wij houden daarom een conservatieve schatting aan van 20% uitstootreductie per dier.

*Haalbare waarden, sector gebouwde omgeving***Tabel B.12: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Gebouwde omgeving**

Parameter	2030	2037
Verbetering gemiddeld energielabel gebouwde omgeving (A+, A, B, C, D)	B	A
Verduurzaming aardgasverwarming in woningen (%)	21%	100%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming woningen (% elektriciteit)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Verduurzaming aardgasverwarming in dienstgebouwen (%)	21%	100%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming woningen (% elektriciteit)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Elektrificatie overige processen gebouwde omgeving (%)	21%	100%

Onderzoek van Ecorys (2021) en het Ministerie van BZK (2022) onderzoeken paden om het gemiddelde energielabel naar C te brengen in 2030. Drivers zoals additioneel beleid voor de ondersteuning van verduurzaming en een verder stijgende gasprijs kunnen deze transitie mogelijk versnellen. Om deze redenen wordt het maximaal haalbare label in 2030 op **B** geschat. Extrapolerend naar 2037 komt het maximaal haalbare gemiddelde label op **A** voor de gehele gebouwde omgeving. Deze verduurzamingsslag vereist een grote hoeveelheid verbouwingen. Uit onderzoek van TNO (2022) wordt een snelheid van 300.000 huizen per jaar (820 per dag) als realistisch gezien.

Het klimaatakkoord (2019) stelt het doel om in 2030 1,5 miljoen woningen van het gas af te halen. Dit zou een additionele afname in aardgasverwarming van 21% zijn in 2030. Dit doel wordt als het maximaal haalbare ingesteld. Tevens wordt er aangenomen dat deze snelheid van aardgasafsluiting ook realistisch is voor dienstgebouwen. In 2040 is de ambitie van meerdere grote gemeenten zoals Amsterdam en Haarlem om vóór 2040 volledig van aardgasverwarming af te stappen. Het haalbare maximum voor reductie van aardgasverwarming wordt daardoor op 100% gezet in 2037. Dit geldt voor zowel woningen als dienstgebouwen. Voor overige gas-gebaseerde processen in de gebouwde omgeving (zoals koken) wordt dezelfde snelheid van verduurzaming aangenomen: **21%** in 2030 en **100%** in 2037.

Haalbare waarden, sector landgebruik

Tabel B.13: Overzicht maximaal haalbare waarden, sector Landgebruik

Parameter	2030	2037
Fractie herbebossing vrijgekomen landbouwgrond (%)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Vernatting veenweidegebieden (%)	50	100

Op basis van onderzoek van Natuur & Milieu (2022) wordt het hoogst haalbaar maximum voor vernatting van veenweidegebieden geschat op **50%** in 2030 en **100%** in 2037.

Haalbare waarden, sector buitenland

Tabel B.14: Overzicht maximaal haalbare waarden, connectie met het buitenland

Parameter	2030	2037
Compensatie CO ₂ -uitstoot in het buitenland (Mton CO ₂ -eq)	Geen technische limiet	Geen technische limiet
Import groene waterstof uit buitenland (PJ)	145	210
Import groene stroom uit buitenland (PJ)	Geen technische limiet	Geen technische limiet

De NVDE (2022) schat dat de import van waterstof in 2030 tussen de 83 PJ en 209 PJ bedraagt. Voor 2030 is het hoogst haalbaar maximum het gemiddelde hiervan: **145 PJ**. Voor 2037 wordt de afgeronde upper limit van de NVDE verwachting gezet als maximum: **210 PJ**.

Capaciteit waterstof en warmte

Waterstof en warmte spelen een belangrijke rol in de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening. Veel sectoren doen in het model een beroep op waterstof en warmte om huidige fossiele energievoorziening te vervangen. Echter is de productiecapaciteit hiervan gelimiteerd. Schattingen van de totale beschikbaarheid van warmte (Berenschot, Geothermie.nl) geven als maximum 50 PJ aan geothermie en 50 PJ restwarmte in 2030, respectievelijk 200 PJ en 100 PJ in 2037. Na aftrek van het warmtegebruik in de KEV-2021 resteert er 57 PJ (2030) en 252 PJ (2037). Deze maxima worden gebruikt in het model als het maximaal gezamenlijk gebruik van warmte tussen alle sectoren in Nederland. Voor warmte wordt er aangenomen dat er geen import kan plaatsvinden.

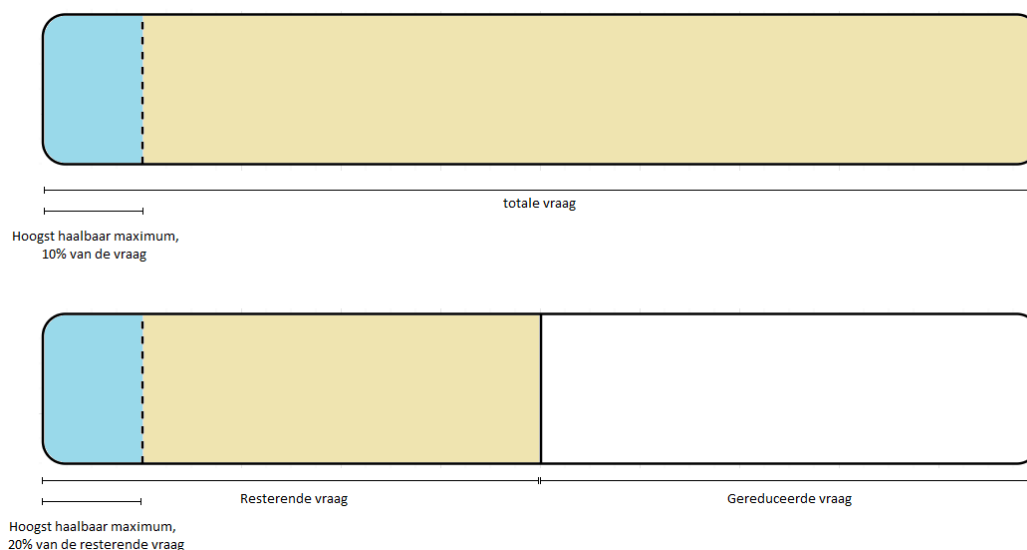
Aanvullend stelt onderzoek van CE Delft de totale beschikbaarheid van waterstof op 0,6 Mton (72 PJ) waterstof in 2030 en 2 Mton (240 PJ) in 2037. Deze maxima worden op eenzelfde manier als het warmteaanbod gebruikt in het model. Echter is het wel mogelijk om waterstof te importeren.

Dynamiek van de haalbare waardes

De beschreven maximaal haalbare waardes zijn veelal gebaseerd op een fractie van een totale sector. Er kan bijvoorbeeld 17% van het op diesel gebaseerde wegvervoer worden verduurzaamd met waterstof in 2030. Echter is het in het model ook mogelijk om bijvoorbeeld de gehele energievraag van de sector mobiliteit te verminderen. Dit heeft invloed op de 17%, aangezien dit na de krimp een andere absolute besparing voorstelt. Met andere woorden, als de hele sector halveert zou dezelfde 17% nu maar de helft van de dieselwagens voorstellen. Het krimpen van een deel van een sector dat zich net heeft verduurzaamd is onwenselijk. Daarom is ervoor gekozen dat een krimp in een sector geen invloed heeft op de absolute reductie die een maximaal haalbaar limiet kan veroorzaken. Als een sector krimpt past het hoogst haalbare maximum zich automatisch aan.

Dit concept is gevisualiseerd in figuur B.2. Stel dat een bepaalde sector een originele aardgasvraag heeft van 100 PJ. Met het juiste beleid kan 10 PJ hiervan (10%) als hoogst haalbaar maximum vervangen worden door waterstof. Deze situatie is weergegeven in de bovenste staaf. De onderste staaf laat de situatie zien nadat met een ander pakket aan maatregelen de gehele aardgasvraag is gehalveerd naar 50 PJ, bijvoorbeeld door sectorkrimp. Het hoogst haalbare maximum voor waterstof is nog steeds 10 PJ, maar deze 10 PJ representeert nu 20% van de gehele vraag. De waarde van het hoogst haalbare maximum (het percentage) is in deze situatie veranderd van 10% naar 20%. Dit komt door de relatieve grootte van de maatregel ten opzichte van de gehele vraag, niet door een hoger absoluut besparingspotentieel van de maatregel.

Figuur B.2: visualisatie relatieve verandering van hoogst haalbaar maximum



Volledige lijst met inputparameters – scenario 1

Input	2030	2037
Additionele energieproductie uit wind en zon	190 PJ	300 PJ
Krimp energiebehoefte verwarmingsprocessen in industrie	0%	40%
Verduurzaming aardgasverwarming in industrie	30%	65%
Split elektriciteit/waterstof in aardgasverwarming industrie	60%	65%
CCS in industrie	1,7 Mton CO ₂ -eq	1,7 Mton CO ₂ -eq
Krimp energiebehoefte benzinevoertuigen	0%	33%
Elektrificatie benzinevoertuigen	59%	80%
Krimp energiebehoefte diesellootvoertuigen	0%	33%
Elektrificatie diesellootvoertuigen (wegen)	13,6%	80%
Waterstoftransitie diesellootvoertuigen (binnenvaart)	28%	72%
Krimp verwarmingsprocessen in landbouw	0%	33%
Verduurzaming aardgasverwarming in landbouw	45%	80%
Split waterstof/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming landbouw	20%	10%
Krimp veestapel	50%	70%
Overgang naar duurzame veeteelt (1.5 GVE/ha)	Aan	Aan
Afname uitstoot per dier	16%	16%
Verbetering gemiddeld energielabel gebouwde omgeving	C	B
Vervanging aardgasverwarming in woningen (elektriciteit/warmtelevering)	16%	80%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming woningen	50%	20%
Vervanging aardgasverwarming in dienstgebouwen (elektriciteit/warmtelevering)	16%	80%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming dienstgebouwen	50%	20%
Elektrificatie overige processen gebouwde omgeving	16%	80%
Fractie herbebossing vrijgekomen landbouwgrond	50%	50%
Vernatting veenweidegebieden	25%	80%

Input	2030	2037
Compensatie CO ₂ -uitstoot in het buitenland	0 Mton CO ₂ -eq	0 Mton CO ₂ -eq
Import groene waterstof uit buitenland	40 PJ	0 PJ
Import groene stroom uit buitenland	40 PJ	0 PJ

Volledige lijst met inputparameters – scenario 2

Input	2030	2037
Additionele energieproductie uit wind en zon	190 PJ	370 PJ
Krimp energiebehoefte verwarmingsprocessen in industrie	35%	50%
Verduurzaming aardgasverwarming in industrie	46%	98%
Split elektriciteit/waterstof in aardgasverwarming industrie	78%	65%
CCS in industrie	1,7 Mton CO ₂ -eq	1,7 Mton CO ₂ -eq
Krimp energiebehoefte benzinevoertuigen	35%	35%
Elektrificatie benzinevoertuigen	80%	100%
Krimp energiebehoefte dieselveertuigen	35%	35%
Elektrificatie dieselveertuigen (wegen)	21%	100%
Waterstoftransitie dieselveertuigen (binnenvaart)	43%	92,3%
Krimp verwarmingsprocessen in landbouw	35%	35%
Verduurzaming aardgasverwarming in landbouw	71%	100%
Split waterstof/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming landbouw	20%	50%
Krimp veestapel	50%	75%
Overgang naar duurzame veeteelt (1.5 GVE/ha)	Aan	Aan
Afname uitstoot per dier	16%	20%
Verbetering gemiddeld energielabel gebouwde omgeving	B	A
Vervanging aardgasverwarming in woningen (elektriciteit/warmtelevering)	17%	100%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming woningen	80%	20%
Vervanging aardgasverwarming in dienstgebouwen (elektriciteit/warmtelevering)	17%	100%
Split elektriciteit/warmtelevering in vervanging aardgasverwarming dienstgebouwen	80%	20%
Elektrificatie overige processen gebouwde omgeving	17%	100%
Fractie herbebossing vrijgekomen landbouwgrond	50%	50%
Vernatting veenweidegebieden	40%	100%
Compensatie CO ₂ -uitstoot in het buitenland	0 Mton CO ₂ -eq	0 Mton CO ₂ -eq
Import groene waterstof uit buitenland	30 PJ	0 PJ
Import groene stroom uit buitenland	50 PJ	0 PJ

Model outputs

Het model vertaalt de inputs naar meerdere outputwaarden. Deze outputs geven informatie zowel op sectorniveau als op nationaal niveau. De gegenereerde outputs zijn:

- *Uitstootreductie (% t.o.v. 1990)*
Het percentage waarmee de uitstoot is afgenomen in het scenario ten opzichte van 1990.
- *Cumulatieve uitstoot (Mton CO₂-eq)*
De totale hoeveelheid CO₂ die is uitgestoten in de doorgerekende periode (2020-2037).
- *Resterende Nationale uitstoot (Mton CO₂-eq / jaar)*
De hoeveelheid CO₂ die per jaar wordt uitgestoten in de eindsituatie, d.w.z. de situatie waarin alle maatregelen hun maximale effect hebben.
- *Resterende uitstoot per sector (Mton CO₂-eq / jaar)*
De hoeveelheid CO₂ die per jaar per sector wordt uitgestoten in de eindsituatie, d.w.z. de situatie waarin alle maatregelen hun maximale effect hebben.

Verder produceert het model een aantal grafieken die meer inzicht bieden in het toekomstige energiesysteem. Deze grafieken bevatten additionele data over de volgende onderwerpen en zijn vermeld in de bijlage:

- *Uitstootverdeling over de sectoren (genormeerd)*
Een genormeerd overzicht van de uitstoot per sector in 2030 en 2037. Door de normering is de ontwikkeling van het relatieve aandeel van een sector in de nationale uitstoot te zien
- *Nationale elektriciteitsvraag (PJ)*
De toename van elektriciteitsgebruik per sector. Deze toename is inclusief de stroomvraag uit de KEV-2021 en bevat ook de nodige elektriciteit voor waterstofelektrolyse
- *Nationale waterstofvraag (PJ)*
De toename van waterstofgebruik per sector.
- *Nationale warmtevraag (PJ)*
De toename van warmtegebruik per sector.

Lijst van aannames en modelleerbesluiten

Algemeen

- Input datapunten voor 2037 worden lineair geïnterpoleerd uit de KEV-2021-data van 2030 en 2040.
- Omwille van complexiteitslimieten worden alleen scope 1 (directe) emissies meegenomen in het model. Enige uitstoot die gepaard gaat met het wisselen van energiedragers en modaliteiten wordt niet meegenomen in berekeningen. Dit betreft bijvoorbeeld CO₂-uitstoot door de constructie of ontmanteling van windmolens of de CO₂-uitstoot die gepaard gaat bij de productie of ontmanteling van nieuwe elektrische auto's.
- Verbruik van elektriciteit creëert geen additionele CO₂-uitstoot binnen een sector. Deze uitstoot wordt alleen meegerekend bij de productie van elektriciteit in de sector 'Elektriciteit'. Deze aanname is ook van toepassing in de KEV-2021.
- Bij de berekening van de cumulatieve CO₂-uitstoot wordt uitgegaan van een lineaire uitstootdaling tussen de berekende jaartallen.
- De emissiefactor van aardgas (0.0564 Mton CO₂-eq/PJ, (RVO, 2020)) is constant bij alle toepassingen van aardgasverbranding. Het maakt voor de CO₂-uitstoot/PJ dus niet uit of

aardgas in woningen, energiecentrales of industrie wordt verbruikt. Het eventueel afvangen van CO₂ wordt apart meegerekend.

Sector Elektriciteit

- De KEV-2021 specificeert de energiedragers die onder 'overige fossiele verbranding' vallen niet. De uitstoot van overige fossiele verbranding (elektriciteit) wordt gelijkgesteld aan de uitstoot van kolen (RVO, 2020)
- Hernieuwbare brandstoffen zoals biogas, biomassa, biodiesel en biobenzine hebben een uitstoot van 0 Mton CO₂-eq/PJ. Deze soorten brandstoffen worden namelijk als hernieuwbaar (European commission, n.d; European commission, 2008) gezien.
- Extra groene elektriciteitsopwekking (PJ) wordt intern in het model doorberekend als 'duurzame elektriciteit'. Er wordt hierin geen distinctie gemaakt tussen een PJ uit wind of een PJ uit zon.
- Alle additionele waterstofvraag in het model wordt geproduceerd met waterstofelektrolyse. Hiervoor wordt een conversie-efficiëntie van 75% gehanteerd (Kumar & Himabindu, 2019).

Sector Industrie

- De specifieke mix van brandstoffen die gebruikt wordt voor verwarming in de industriesector is niet vermeld in de KEV-2021. De emissiefactor van de (onbekende) brandstofmix (Mton CO₂-eq/PJ) die wordt gebruikt voor energetische processen in de industriesector wordt berekend op basis van het totaal verbruik en de totale uitstoot in de KEV-2021.
- Aan de hand van de berekende emissiefactor van de brandstofmix wordt berekend welke combinatie van brandstofsoorten er gebruikt wordt. Er wordt aangenomen dat energetische processen in de industriesector primair uit gasverbranding bestaan en secundair uit kolenverbranding (Oliveira & Schure, 2020).
- De efficiëntie van directe verwarmingsprocessen (verwarmingsovens) (PJ warmte per PJ energiedrager) is hetzelfde ongeacht de energiedrager (Oliveira & Schure, 2020).
- De efficiëntie van elektriciteitsverwarmingsprocessen (PJ warmte per PJ energiedrager) is aangenomen op 200% (50% warmtepomp, 50% resistance heating)

Sector Mobiliteit

- Uitstoot van overig fossiele brandstof (sector mobiliteit) wordt gesteld op de gemiddelde uitstoot van LPG, autogas en overige oliën. Deze aanname is gemaakt omdat deze energiedragers de enige veelgebruikte brandstoffen zijn die niet zijn meegenomen in de KEV-2021. N.B. de emissiefactoren van de genoemde brandstoffen wijken zeer weinig af van elkaar (RVO, 2020).
- Van het algeheel gebruik van diesel wordt op basis van CBS data (CBS, 2021c) 91% gesteld als afkomstig van wegvervoer. De overige 9% wordt aangenomen als afkomstig uit binnenvaart.

Sector Landbouw

- Het ruimtelijk gebruik van dieren in #dieren/hectare (Ecorys, 2021) blijft in het basisscenario constant in de toekomst
- CO₂-uitstoot (exclusief de uitstoot van CO₂-equivalenten) in de landbouwsector wordt volledig toegewezen aan uitstoot afkomstig uit energetische processen (zoals gasverbranding).

- De totale uitstoot van veeteelt wordt over de verschillende diersoorten verdeeld a.d.h.v. een verdeelsleutel (RVO, 2016).

Sector Gebouwde omgeving

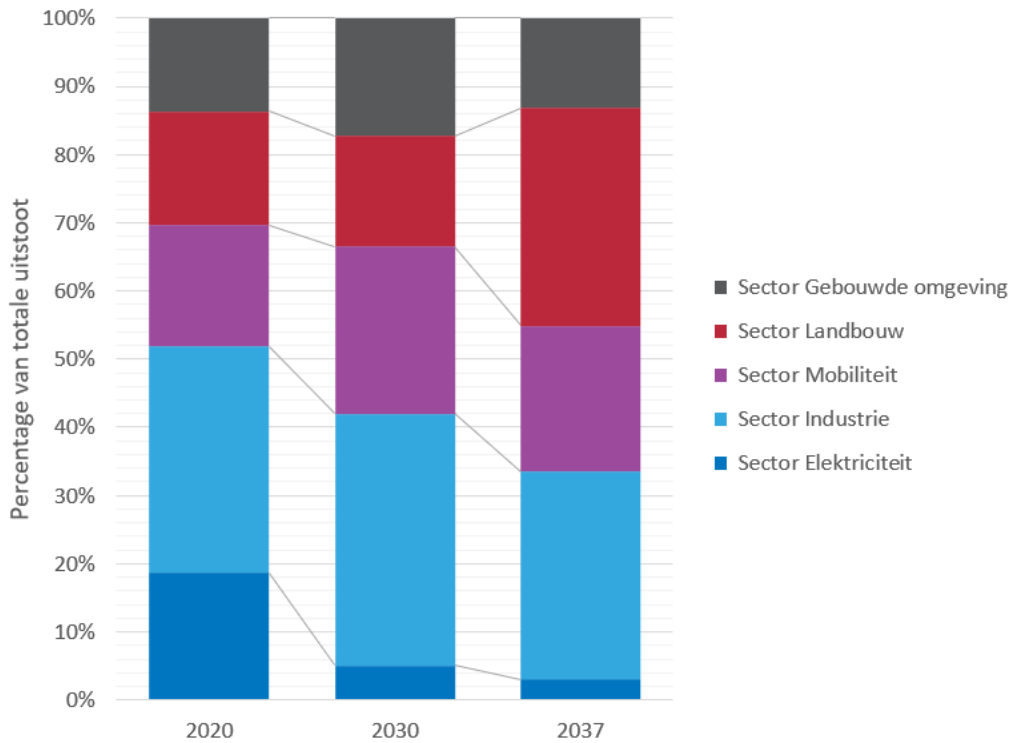
- De fractie van aardgasverbruik dat wordt ingezet voor verwarming van woningen is 75% (Essent, n.d.). Deze fractie blijft constant in de periode 2020-2037.
- De fractie aardgasgebruik voor de verwarming van dienstgebouwen is gelijk aan de fractie voor woningen.
- Gereduceerde energievraag voor verwarming die voorheen bestond uit gas wordt vervangen door energievraag uit elektriciteit en warmtelevering (netwerk).
- Een reductie in energiebehoefte voor verwarming door een beter energielabel vermindert alleen het verwarming gebonden verbruik van aardgas
- De efficiëntie van aardgasverwarming en elektriciteitsverwarming in de gebouwde omgeving (PJ warmte / PJ energiedrager) is gezet op 400% (100% gebruik warmtepomp).
- De totale vraag van huishoudens (voor o.a. verwarming) blijft onveranderd ten opzichte van de KEV-projecties.

Sector Landgebruik

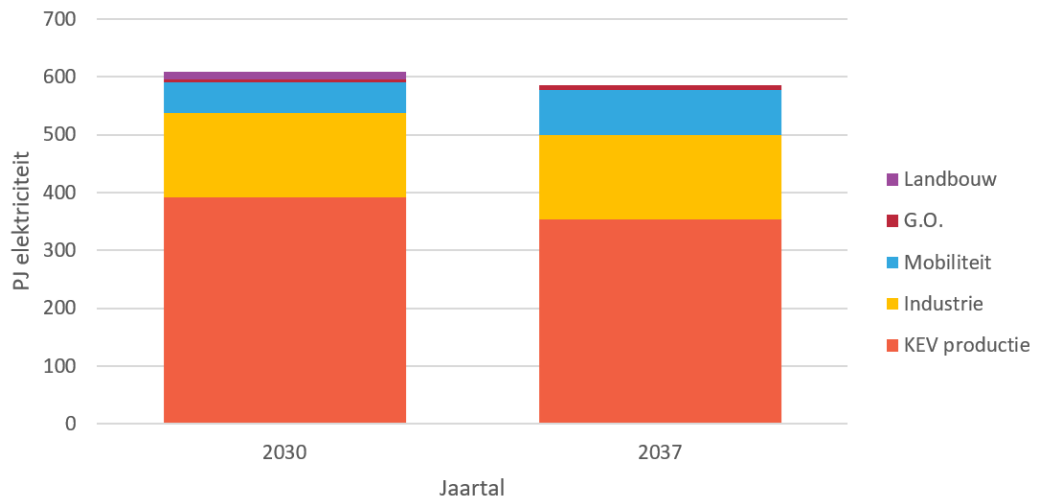
- Één hectare additioneel bos kan per jaar 10 ton CO₂ opslaan (Staatsbosbeheer, n.d.). Deze opnamecapaciteit wordt als constant aangenomen (ongeacht de leeftijd van het bos).

Additionele verdiepende modelresultaten, scenario 1

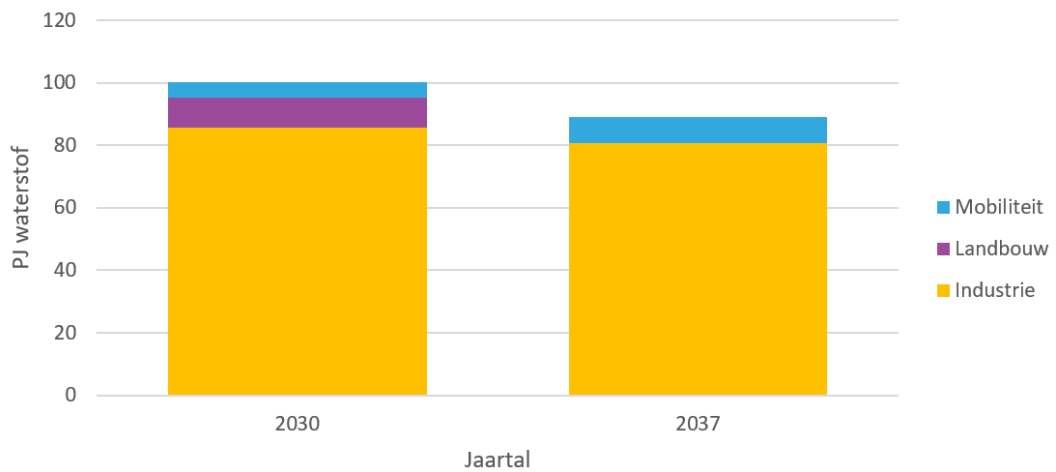
Figuur B.3: Genormeerde sectoruitstoot, scenario 1



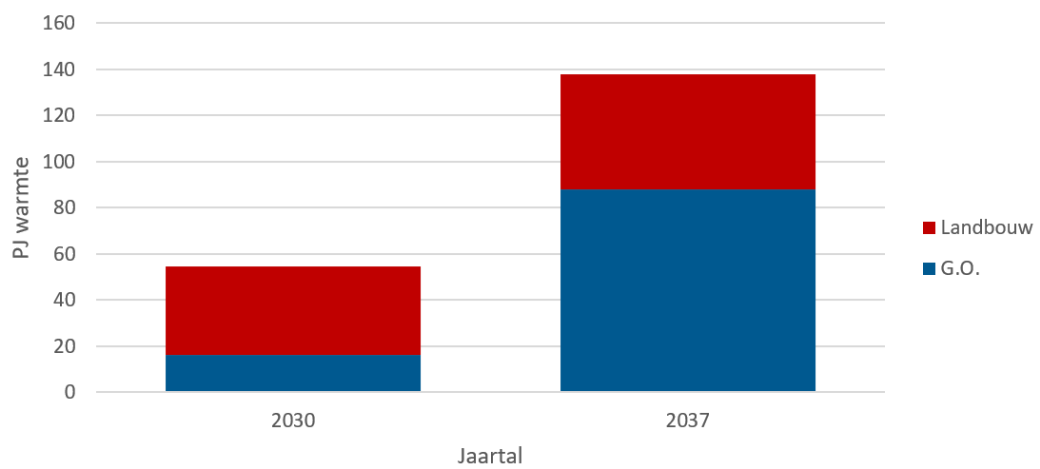
Figuur B.4: Additionele elektriciteitsvraag (incl. KEV elektriciteitsproductie), scenario 1



Figuur B.5: Cumulatieve groei waterstofvraag, scenario 1

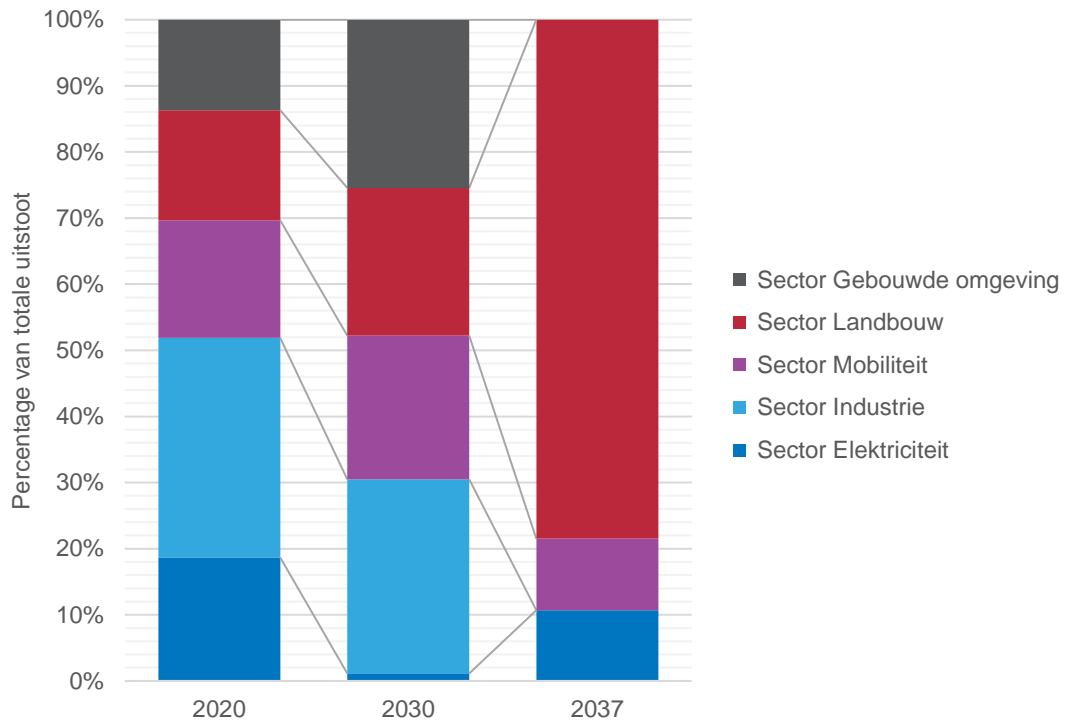


Figuur B.6: Cumulatieve groei duurzame warmtelevering, scenario 1

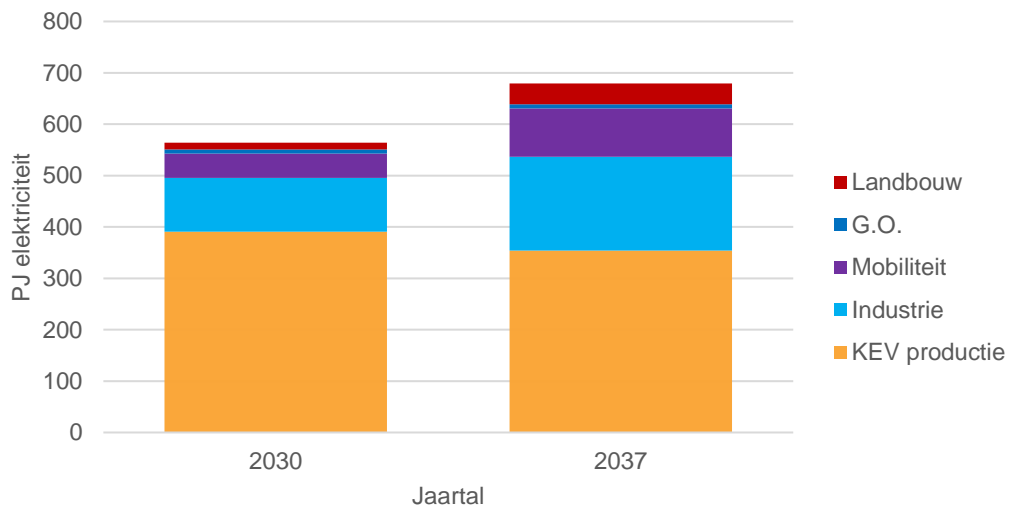


Additionele verdiepende modelresultaten, scenario 2

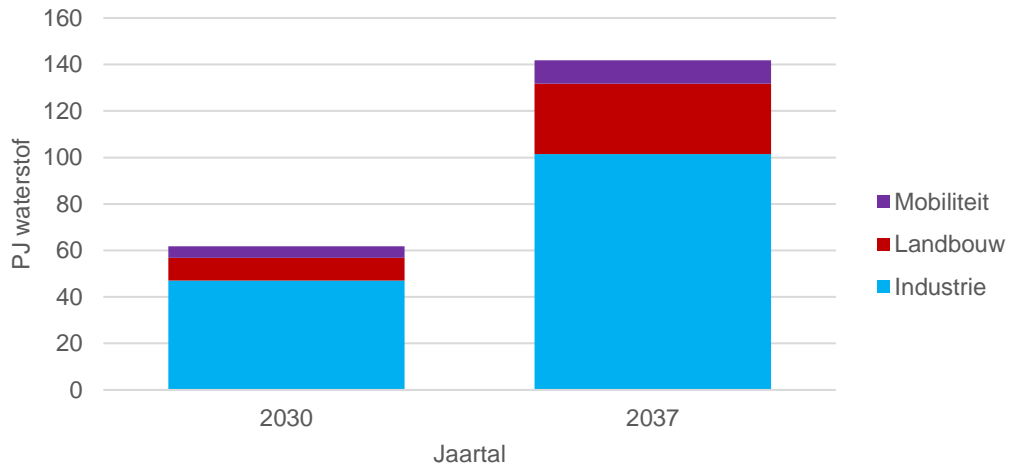
Figuur B.7: Genormeerde sectoruitstoot, scenario 2



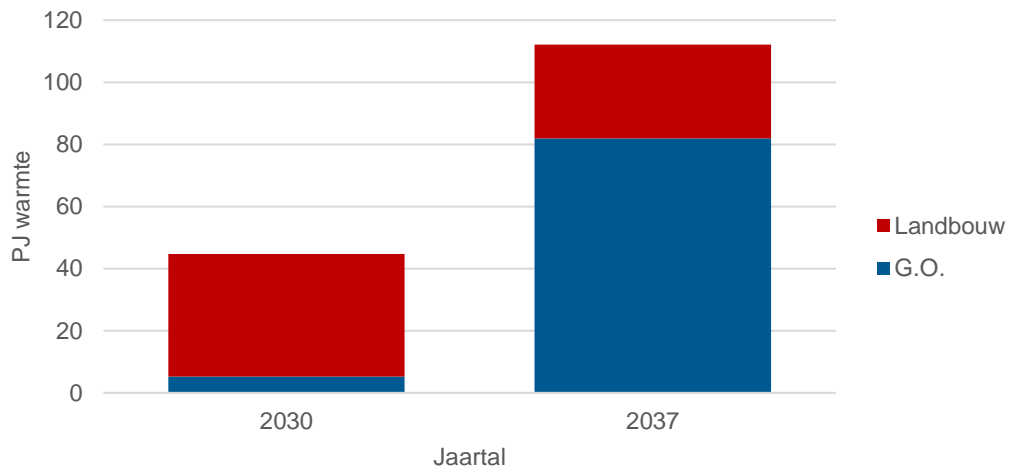
Figuur B.8: Additionele elektriciteitsvraag (incl. KEV elektriciteitsproductie), scenario 2



Figuur B.9: Cumulatieve groei waterstofvraag, scenario 2



Figuur B.10: Cumulatieve groei warmtevraag, scenario 2





Postbus 4175
3006 AD Rotterdam
Nederland

Watermanweg 44
3067 GG Rotterdam
Nederland

T 010 453 88 00
F 010 453 07 68
E netherlands@ecorys.com

K.v.K. nr. 24316726

W www.ecorys.nl