

Referentiescenario broeikasgasemissies 2045-2055 ten behoeve van de INEK-rapportage 2025

TNO 2025 R10246 – Maart 2025

Referentiescenario broeikasgasemissies 2045-2055 ten behoefte van de INEK-rapportage 2025

Auteurs	Martin Scheepers, Koen Smekens, Joost van Stralen, Juan Giraldo Chavarriaga
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	30 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
Projectnaam	PBL Referentiescenario INEK 2025
Projectnummer	060.62769

Alle rechten voorbehouden

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

© 2025 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Aanpak	5
2.1	Methodiek	5
2.2	Invoerdata (stap 1 t/m 3)	7
2.3	Aanpassing invoerdata (stap 4)	8
2.4	Extrapolatie energetische BKG-emissies naar 2055	11
2.5	Bepaling van niet-energetisch emissies	12
3	Resultaten	14
3.1	Referentiescenario en BKG-emissies 2045-2050	14
3.2	Onzekerheden	18
4	Bevindingen en aanbevelingen	20
	Referenties	21
Bijlagen		
Bijlage A:	Onderliggende drivers voor de energievraag	22
Bijlage B:	Minimum en maximum waarden voor technologie opties	25

1 Inleiding

Aanleiding en onderzoeksvraag

Het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) rapporteert in het voorjaar van 2025 aan de Europese Commissie over de voortgang van het Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan (INEK). In deze tweejaarlijkse rapportage wordt onder meer een projectie van de broeikasgasemissies (BKG-emissies) gepresenteerd tot en met 2055 (EC, 2020) (EC, 2024). De INEK-rapportage wordt opgesteld door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Tot 2040 zal daarbij gebruik worden gemaakt van emissieprojecties voor het vastgesteld beleid uit de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van 2024 (PBL, TNO, CBS en RIVM, 2024). PBL heeft TNO gevraagd om, als aanvulling op de KEV 2024, een referentiescenario te maken van BKG-emissies na 2040 dat aansluit op de projecties van de KEV 2024.

Methode

In het referentiescenario wordt alleen beleid meegenomen dat in het voorjaar 2024 was vastgesteld. In de INEK wordt dit “with existing measures” (WEM) genoemd en komt overeen met “vastgesteld beleid” in de KEV 2024. Voor de jaren 2045 en 2050 is dit referentiescenario berekend met het energiesysteemmodel OPERA. Het model gebruikt als invoerparameters: energievraag (op basis van activiteiten), prijzen voor fossiele brandstoffen en CO₂, techno-economische parameters van technologie-opties en energiegebruik. Het referentiescenario is voor de jaren tot en met 2040 gekalibreerd op de projectie van de KEV 2024. Voor de jaren 2045 en 2050 zijn de aannames uit KEV verder doorgetrokken. De BKG-emissies voor 2055 zijn gebaseerd op een trendmatige extrapolatie van het referentiescenario tot 2050 of op basis van expert judgement.

Leeswijzer

Dit rapport presenteert de resultaten van het referentiescenario voor broeikasgasemissies voor 2045, 2050 en 2055. Daarnaast wordt de methode beschreven die voor het opstellen van dit referentiescenario is toegepast.

De gebruikte methode wordt in hoofdstuk 2 toegelicht. Het referentiescenario en de BKG-emissies worden gepresenteerd in hoofdstuk 3. Dit rapport sluit af met enkele bevindingen en aanbevelingen in hoofdstuk 4.

2 Aanpak

2.1 Methodiek

KEV-modelinstrumentarium kent beperkingen voor lange termijn projecties

De projecties van de broeikasgasemissies worden voor de KEV berekend met een modelinstrumentarium dat is gebaseerd op simulatie en optimalisatie. De resultaten worden, naast kosten van energie en technologie, in belangrijke mate bepaald door de beleidsmaatregelen die aangrijpen op het keuzegedrag van actoren, bijvoorbeeld keuzes die het gevolg zijn van een economische incentive (subsidie) of verplichting. Op de langere termijn nemen de onzekerheden over het beleid en de effecten daarvan toe. Enerzijds is het niet zeker of bepaalde beleidsmaatregelen op langere termijn ingezet blijven worden en anderzijds is het effect van een beleidsmaatregel op bijvoorbeeld keuzegedrag van energiegebruikers op langere termijn onzeker. Voor lange termijn projecties legt dit beperkingen op voor het KEV-modelinstrumentarium. Er zijn ook niet-beleidsgerelateerde onzekerheden die ervoor kunnen zorgen dat de resultaten voor 2035 en 2040 met grote onzekerheden zijn omgeven. Paragraaf 3.2 gaat nader in op de onzekerheden.

Methodiek TNO voor projecties na 2040 met systeemmodel OPERA

Voor het maken van projecties van BKG-emissies na 2040 is in 2023 door TNO een methodiek ontwikkeld waarbij met het energiesysteemmodel OPERA (zie kader) een referentiescenario wordt berekend (Scheepers M., Van Stralen, Giraldo Chavarriaga, & Smekens, 2023). OPERA berekent een energiesysteem met de bijbehorende BKG-emissies op basis van een optimalisatie van laagste maatschappelijke kosten voor Nederland¹. Hierbij zijn technologie-opties voor productie, conversie en gebruik (ook energiebesparingsopties) van energie met elkaar in concurrentie. Er wordt rekening gehouden met technology learning, d.w.z. dat de kosten van innovatieve technieken dalen en de prestaties (waaronder efficiency) verbeteren naarmate een technologie meer wordt toegepast (de kostendaling en technologieverbetering zijn exogene parameters en zijn voor innovatieve technologieën per optie bepaald). Beleidsmaatregelen worden niet expliciet meegenomen (behalve de CO₂-prijs voor ETS1 en ETS2²), maar veronderstelde effecten ten aanzien van inzet van technologie-opties kunnen worden meegegeven als randvoorwaarden (d.w.z. een gefixeerde, minimum of maximum inzet). De randvoorwaarden kunnen worden opgelegd aan individuele opties, aan een groep van opties of aan een sector als geheel. Door informatie over inzet van technologieopties over te nemen uit de KEV 2024 kan voor de projecties van BKG-emissies in 2045 en 2050 een aansluiting worden gemaakt op de KEV 2024 projecties (2030-2040).

¹ BKG-emissies van brandstoffen voor internationale lucht- en scheepvaart vallen buiten het Nederlandse BKG-systeem en de kostenoptimalisatie van het OPERA-model. Deze BKG-emissies worden bepaald door de vraag naar bunkerbrandstoffen. De productie van bunkerbrandstoffen vallen wel binnen het Nederlandse energie- en BKG-systeem en de kostenoptimalisatie van het OPERA-model.

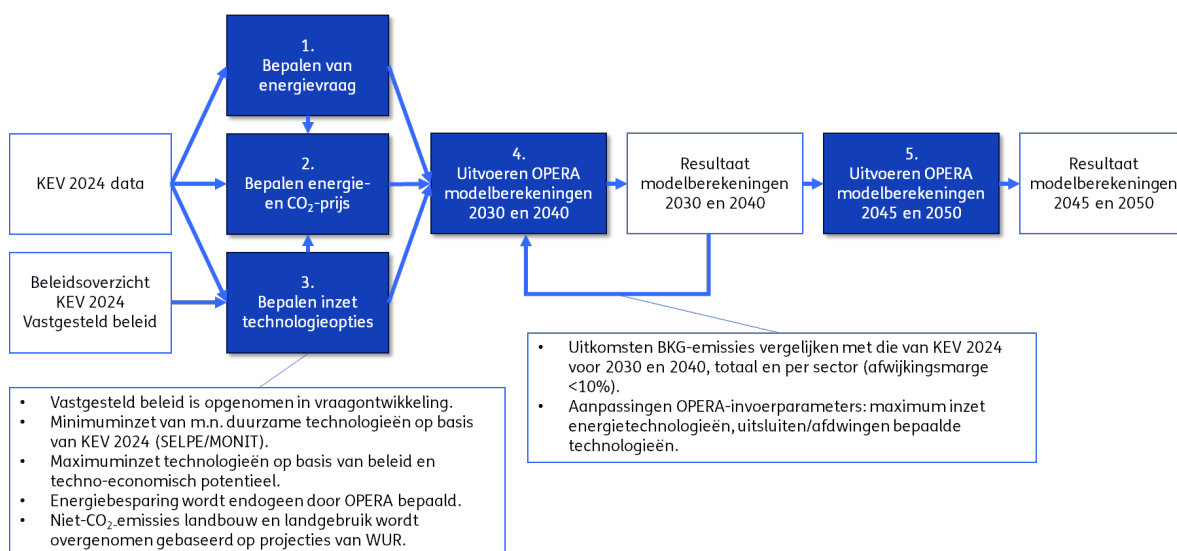
² ETS1 heeft betrekking op de sectoren energieproductie en industrie en ETS2 op de sectoren gebouwde omgeving en transport.

Methode in stappen

De methode kent de volgende 5 stappen³ (zie Figuur 2.1):

1. Bepalen van energievraag bij eindgebruikers, mobiliteitsvraag en industriële productie.
2. Bepalen van prijzen voor fossiele energie, biomassa en biobrandstoffen, en CO₂-emissierechten.
3. Inzet afleiden van technologie-opties in 2030 en 2040 op basis van de KEV 2024 (vastgesteld beleid).
4. Berekenen van energieproductie en -gebruik en BKG-emissies voor vastgesteld beleid voor de periode 2030-2040 met stappen van 5 jaar⁴. De met het OPERA-model berekende BKG-emissies vergelijken met die van de KEV 2024. Indien nodig aanpassen van de invoerparameters (randvoorwaarden). De OPERA-resultaten in 2030 en 2040 laten aansluiten op de KEV-resultaten waarbij de BKG-emissies per sector niet meer dan 10% afwijken.
5. Berekenen van het referentiescenario voor de periode 2040-2050 en de BKG-emissies voor 2045 en 2050.

De gebruikte invoerparameters zoals genoemd in bovengenoemde stappen 1, 2 en 3 worden toegelicht in paragraaf 2.2. Paragraaf 2.3 bespreekt de aanpassing van invoerparameters m.b.t. technologie-inzet om de KEV 2024 projecties met OPERA te reproduceren (stap 4). De resultaten van het referentiescenario voor 2045 en 2050 en de BKG-emissies (stap 5) worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3.



Figuur 2.1: Berekenen referentiescenario op basis van invoerparameters uit KEV 2024 en vergelijking met KEV-projecties voor 2030 en 2040.

Emissieprojecties 2055

Voor projecties van emissies in 2055 is een andere aanpak gevolgd. De reden hiervoor is dat voor 2055 onvoldoende inputdata voor het OPERA-model beschikbaar zijn. De projecties van BKG-emissies voor 2055 worden bepaald op basis van trendmatige ontwikkeling van het referentiescenario. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 2.4.

³ OPERA bevat dezelfde technologieopties als die in de KEV-modellen waarbij vergelijkbare techno-economische data worden gebruikt die regelmatig worden geactualiseerd.

⁴ De OPERA-berekeningen starten in 2020 om een goede startsituatie voor 2030 te creëren.

Niet-energetische emissies bepaald door de WUR

De hierboven beschreven methode wordt met name gebruikt voor projecties van CO₂-emissies uit verbranding, emissies uit olie – en gaswinning en -bewerking (fugitive emissions), industriële processen, afvalverwerking en indirecte CO₂-emissies (b.v. uit oxidatie van solventen). Niet-energie emissies voor 2045, 2050 en 2055 uit landbouw en landgebruik (LULUCF) zijn gebaseerd op projecties van de WUR. De aanpak die de WUR daarbij hanteert is dezelfde als die voor de KEV 2024. Zie voor een verdere toelichting paragraaf 2.5.

OPERA-model

Voor het berekenen van het referentiescenario is gebruik gemaakt van het OPERA-model. OPERA is een energie- en klimaatsysteemmodel voor Nederland. Dit model rekent het energiesysteem en BKG-emissies uit tegen de laagste maatschappelijke kosten rekening houdend met bepaalde randvoorwaarden. Het OPERA-model bestrijkt het volledige Nederlandse energiesysteem, (d.w.z. de sectoren energieproductie, industrie, transport, gebouwde omgeving, agrarische sector en bunkerbrandstoffen voor internationale lucht- en scheepvaart), het niet-energetisch gebruik van koolwaterstoffen en het gehele broeikasgassysteem (ook niet-CO₂ broeikasgassen*), inclusief de emissies voor landgebruik en indirecte CO₂-emissies. Het model houdt rekening met energie-uitwisseling met het buitenland, met pieken en dalen van vraag en aanbod van energie. Zie voor een uitgebreidere beschrijving van het OPERA-model (Scheepers, et al., 2020).

* Methaan (CH₄), lachgas (N₂O), totaal F-gassen (HFC, PFC, SF₆)

2.2 Invoerdata (stap 1 t/m 3)

Het OPERA-model gebruikt drie typen invoerdata:

- Energievraag op basis van omvang van activiteiten.
- Energie- en CO₂-prijzen, prijzen en volumes t.a.v. energie-import en -export.
- Technologiedata.

Hieronder wordt toegelicht welke invoerdata voor deze studie zijn gebruikt.

Energievraag

Voor de verschillende eindgebruikerssectoren wordt de energievraag (warmtevraag, elektriciteitsvraag) als input voor het model gebruikt dan wel een fysieke grootheid die ten grondslag ligt aan deze energievraag, zoals vloeroppervlak van gebouwen, industriële productievolumes en voertuigkilometers. De gebruikte invoerparameters voor 2030 t/m 2040 zijn dezelfde als die gebruikt zijn voor de KEV 2024. Waar deze projecties voor 2045 en 2050 niet beschikbaar zijn uit de KEV 2024, zijn deze invoerparameters lineair geëxtrapoleerd op basis van de trend 2020-2040. De gebruikte invoerparameters m.b.t. de energievraag staan weergegeven in Bijlage A.

Energie- en CO₂-prijzen

De gebruikte handelsprijzen voor fossiele brandstoffen, biomassa en CO₂-emissierechten, (zowel voor ETS1 als ETS2), zijn dezelfde als die gebruikt zijn voor de KEV 2024. Hoewel voor ETS1 er vanaf 2040 in principe geen nieuwe emissierechten beschikbaar zullen zijn, zullen in het referentiescenario de BKG-emissies in de energieproductie en industrie nog niet tot nul zijn gereduceerd. Vandaar dat voor 2045 en 2050 ook een ETS1-prijs wordt gehanteerd.

De elektriciteitsprijs door productiemiddelen in Nederland wordt endogeen door het OPERA-model bepaald. Bij de modellering wordt rekening gehouden met de import en export van elektriciteit op uurbasis (volume en prijs). Hiervoor zijn resultaten gebruikt van berekeningen met het Europese elektriciteitsmarktmodel COMPETES die voor de KEV 2024 zijn uitgevoerd.

Tabel 2.1: Energieprijzen (€₂₀₂₃/GJ) en CO₂-prijzen (€₂₀₂₃/ton)⁵

Jaar	Aardgas	Olie	Kolen	Biomassa binnenland (houtige)	Import biomassa (houtpellets)	Biodiesel	Bio-ethanol	CO ₂ -prijs ETS1	CO ₂ -prijs ETS2
2030	7,2	14,5	2,6	6,7	13,8	35,0	40,0	108	55
2035	7,2	14,4	2,7	6,7	13,8	35,0	40,0	141	55
2040	7,3	14,3	2,7	6,7	13,8	35,0	40,0	184	55
2045	7,3	14,0	2,7	6,7	13,8	35,0	40,0	241	55
2050	7,4	14,1	2,7	6,7	13,8	35,0	40,0	315	55

Technologiedata

Met het OPERA-model wordt niet het beleid zelf (d.w.z. het keuzegedrag op basis van beleidsmaatregelen en -instrumenten) maar de fysieke inzet van technologie-opties gemodelleerd op basis van kostenefficiëntie. Met beleid dat is gericht op de toepassing van specifieke technologieën wordt rekening gehouden door voor deze technologie-opties minimum en maximum grenzen te hanteren. Voor de minimuminzet van deze technologieën is de inzet voor 2030 t/m 2040 overgenomen uit de MONIT- en SELPE-bestanden van KEV 2024. De maximuminzet is bepaald uit beleidsplannen (zoals voor wind op zee, CO₂-opslag, kolencentrales en kernenergie) of op basis van techno-economische potentiëlen (zoals voor biomassa en geothermie). De tabel in Bijlage B toont een overzicht van de technologie-opties waarvoor een minimum en maximum inzet is gehanteerd.

Voor alle technologieën die in het OPERA-model zijn opgenomen worden techno-economische parameters gebruikt. Er zijn ruim 550 technologieën waaruit het model kan kiezen. Voor een groot aantal van deze technologieën zijn datasheets beschikbaar die te vinden zijn op <https://energy.nl/datasheets/>. Zie voor een volledig overzicht (Scheepers M., et al., 2024).

2.3 Aanpassing invoerdata (stap 4)

In stap 4 zijn eerst de door OPERA berekende resultaten voor energiegebruik per sector en energiedrager voor 2030 en 2040 vergeleken met die van de KEV 2024. Hieruit kon worden opgemaakt dat de inzet van sommige technologieën verschilden. Zo was de inzet van windenergie, geothermie in de landbouw, zon-PV in de landbouw en elektriciteitssector, isolatie van gebouwen in de dienstensector, elektrische voertuigen en de inzet van LNG voor de scheepvaart in OPERA hoger dan in de KEV. Dit is aangepast door voor deze technologieën en technologiegroepen een maximum inzet toe te passen of, als er al een

⁵ Gebaseerd op KEV 2024 m.u.v. prijzen voor biodiesel en bio-ethanol welke ontleend zijn aan het AdvanceFuel project <http://www.advancefuel.eu/>

maximumgrens was toegepast, deze te verlagen, zodat de inzet meer in overstemming is met de KEVE 2024. Daarnaast was de inzet van bio-SNG, isolatiemaatregelen bij woningen, de inzet van aardgas voor elektriciteitsproductie en de inzet van geothermie voor centrale warmteproductie in OPERA te laag. Hier zijn minimumwaarden gebruikt die in lijn zijn met de KEV.

Daarnaast lieten de initiële OPERA-uitkomsten zien dat alle in Nederland benodigde biobrandstoffen ook in Nederland worden geproduceerd en dat staalproductie plaatsvindt met gebruik van kolen en toepassing van CO₂-afvang en -opslag (CCS). De KEV gaat echter uit van import van bio-ethanol en staalproductie dat voor een deel plaatsvindt op basis van direct reduced iron (DRI) met gebruik van aardgas. Door toepassen van extra randvoorwaarden ten aanzien van import en technologiegebruik, is er voor gezorgd dat het OPERA-model dezelfde keuzes maakt als de KEV.

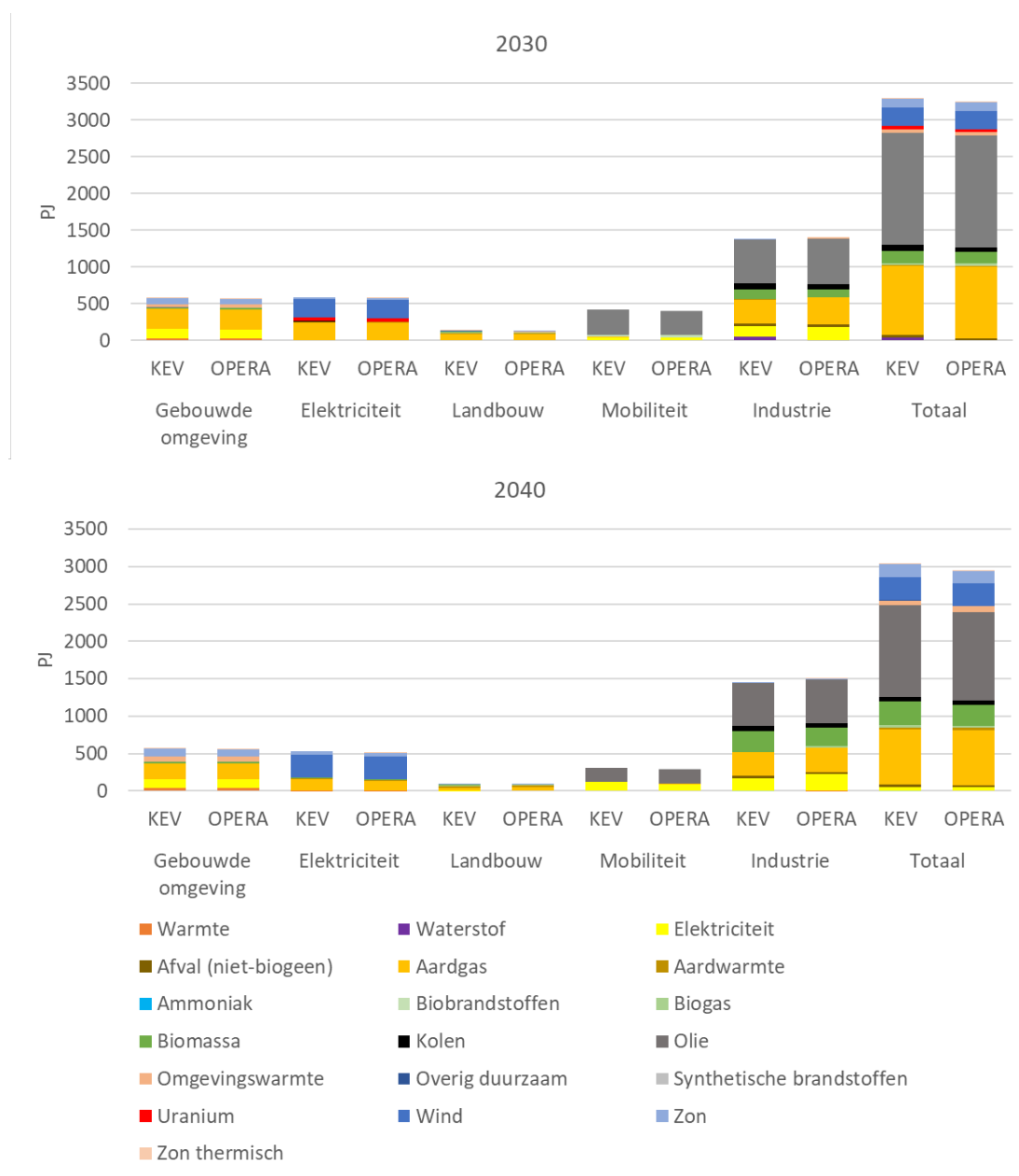
Tenslotte is voor de huishoudens en de dienstensector een additionele CO₂-heffing toegepast bovenop de ETS2-prijs. Naast de randvoorwaarde voor een minimum inzet van duurzame technieken, zorgt deze heffing ervoor dat de keuze voor duurzame technieken bij deze groep eindgebruikers positief wordt beïnvloed. De gebruikte waarden zijn staan in Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Additionele CO₂-heffing voor de gebouwde omgeving (€₂₀₂₃/ton)

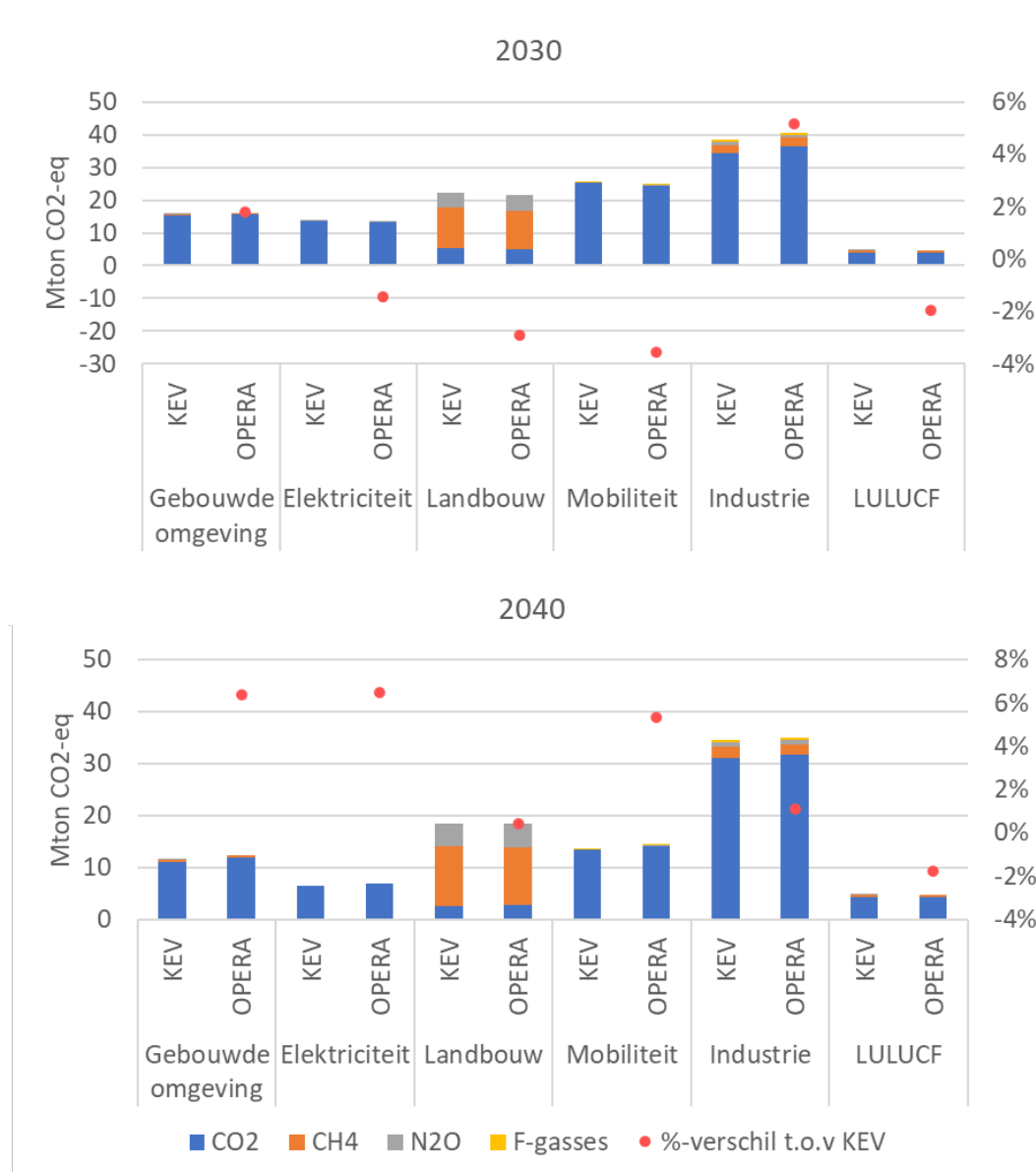
Jaar	Huishoudens	Diensten
2030	192	153
2035	320	256
2040	575	460
2045	575	460
2050	575	460

Na opnieuw de modelberekening uit te hebben gevoerd zijn de totale BKG-emissies voor 2030 en 2040 per sector vergeleken. De verschillen tussen totale BKG-emissies per sector die met OPERA zijn berekend wijken, voor zowel 2030 als 2040, niet meer dan 6% af van die van de KEV 2024 en vallen daarmee ruim binnen het 10%-criterium. De vergelijking van de definitieve OPERA-resultaten voor energieproductie en -gebruik met die van de KEV worden getoond in Figuur 2.2 en de vergelijking voor de BKG-emissies in Figuur 2.3.

Deze aanpak zorgt voor een goede aansluiting van het referentiescenario voor 2045 en 2050 op de KEV-projecties tot 2040. De BKG-emissies voor 2045 en 2050 worden gepresenteerd en toegelicht in het volgende hoofdstuk.



Figuur 2.2: OPERA-resultaten voor 2030 en 2040 vergeleken met projecties voor energie per sector volgens de KEV 2024 voor vastgesteld beleid.



Figuur 2.3: OPERA-resultaten voor 2030 en 2040 vergeleken met de projecties van BKG-emissies per klimaatsector volgens de KEV 2024 voor vastgesteld beleid.

2.4 Extrapolatie energetische BKG-emissies naar 2055

Emissies uit verbranding

De OPERA-resultaten van 2045 en 2050 zijn als leidraad gebruikt voor extrapolatie van de CO₂-emissies naar 2055. Tot 2040 geeft PBL aan dat de allocatie van met name CO₂-emissies tussen de categorieën CTF 1A (verbranding), CTF 1B (vluchtige emissies) en CTF2 (industriële processen) niet eenduidig te maken is voor de KEV 2024 projecties, maar dat de totale emissies over deze sectoren wel kloppen. Daardoor kunnen op sub-sectorniveau trendbreuken voorkomen tussen historische gerapporteerde data in de NIR (National

Inventory Report) en de KEV 2024 projecties. Omdat OPERA geen eenduidig verschil maakt tussen emissies uit verbranding, vluchtige emissies en procesemissies, zijn deze laatste twee eerst afzonderlijk bepaald en van de CO₂-emissies uit OPERA afgehaald. Op basis van de OPERA-resultaten is voor 2055 een extrapolatie gemaakt van dit saldo aan verbrandingsemissies voor verschillende subcategorieën (gebouwde omgeving, transport nationaal, industrie en energie) met de veronderstelling dat er een blijvend effect door de CO₂-beprijzing zal optreden.

Vluchtige emissies

Broeikasgasemissies uit olie- en gasproductie en transport worden afzonderlijk gerapporteerd. Hier is gebruik gemaakt van extrapolatie van wederuitvoervolumes van aardgas en van olie-gerelateerde brandstoffen en energiedragers die als grondstof worden gebruikt.

Procesemissies

Emissies uit industriële processen zijn gebaseerd op de productvraag naar materialen (o.a. staal, aromaten, olefinen) zoals in de KEV en in OPERA zijn opgenomen tot en met 2050. Tevens is er gekeken welke processen de productie van deze materialen worden gebruikt. Op basis daarvan is een extrapolatie naar 2055 gemaakt. Tevens zijn, zoals aangegeven in het 2019 IPCC Refinement (IPCC, 2019), de CO₂-emissies uit waterstofproductie op basis van aardgas en restgassen bij deze sector geteld. Hiervoor is gebruik gemaakt van de OPERA-resultaten omdat deze emissies niet apart uit de KEV te halen zijn. Voor 2045-2055 is een vergelijkbare aanpak gevolgd door gebruik te maken van de OPERA-resultaten en extrapolatie.

Wat in deze sector ook speelt, is dat er meer CO₂ afgevangen wordt dan er ondergronds opgeslagen kan worden (CCS). Een toenemend deel van de afgevangen CO₂ wordt ingezet voor de productie van synthetische brandstoffen. Over de hele keten gezien is dit proces CO₂-neutraal, daarom zijn de afgevangen emissies uit industrie gecorrigeerd voor dat deel dat als CCU wordt ingezet en worden enkel de netto CCS emissies gerapporteerd.

Emissies uit internationale scheep- en luchtvaart (bunkers)

Nederland heeft twee belangrijke beladingspunten voor brandstoffen voor internationale scheepvaart (Rotterdam) en luchtvaart (Schiphol). Hoewel er geen nationaal beleid is om de klimaat- en luchtverontreinigende emissies uit het gebruik van deze brandstoffen aan te pakken, worden de klimaatemissies wel als “memo item” gerapporteerd voor de INEK. De emissies van de bunkerbrandstoffen over de periode tot en met 2055 zijn gerelateerd aan de trendmatige ontwikkelingen van het brandstofvraag (input OPERA-model) en de vervanging van fossiele brandstoffen door brandstoffen van biogene of synthetische oorsprong (output OPERA-model).

2.5 Bepaling van niet-energetisch emissies

BKG-emissies landbouw

De BKG-emissies uit de sector landbouw (exclusief emissies uit verbranding en door mobiele werktuigen, die vallen onder CTF 1A⁶), bestaan voornamelijk uit CH₄ en N₂O vanuit veeteelt (fermentatie en mestverwerking) en landbouwgrond. Tevens is er een kleine bijdrage van CO₂ uit kalkbemesting op landbouwgrond. Ten behoeve van de KEV 2024 en de BKG-projecties t.b.v. INEK heeft WUR een tijdreeks ontwikkeld tot en met 2040 voor de CH₄- en

⁶ Common Reporting Tables, zie hoofdstuk 3.

N₂O- emissies uit veeteelt en landbouwgrond. Deze is integraal overgenomen. Voor de CO₂-emissies is uitgegaan van de resultaten van de KEV 2024. De WUR verwacht dat bestaand beleid geen verdere effecten zal hebben in emissieniveau na 2040. Daarom zijn de BKG emissies voor deze sector na 2040 constant gehouden op dat niveau.

LULUCF-emissies

Voor de BKG-projecties voor de INEK-rapportage heeft PBL door WUR een nieuw scenario voor emissies uit bossen en landgebruik (LULUCF (IPCC, 1996) of FOLU (IPCC, 2006)) laten doorrekenen tot en met 2055. BKG-emissies uit deze sector bestaan voornamelijk uit CO₂ en CH₄, met een kleinere bijdrage van N₂O. Echter, om consistent te zijn met de aanpak in andere sectoren is er voor gekozen om tot en met 2040 de KEV 2024 resultaten over te nemen en voor de latere jaren (2045-2055) die uit de nieuwste projecties. Hierbij dient bovendien vermeld te worden dat de afwijkingen tot en met 2040 tussen deze nieuwere projecties en die uit de KEV 2024 beperkt zijn.

Emissies uit de afvalsector

BKG-emissies uit de afvalsector bestaan uit lekemissies van CH₄ en N₂O uit stortplaatsen en afvalwater behandeling. CO₂-emissies vanuit verbranding van het fossiele deel van afval worden onder CRT 1A meegeteld. CH₄ en N₂O uit afvalverbranding worden onder deze sector gerekend, maar zijn minimaal. Voor de extrapolatie na 2040 worden de KEV 2024 gegevens gebruikt, echter hierbij geeft PBL zelf aan dat de allocatie naar niveau 2 in deze CRT-categorie niet eenduidig te maken is voor de KEV 2024 projecties, maar dat de totale emissies voor deze sector wel kloppen. Voor de CH₄-emissies uit afvalwaterbehandeling en alle N₂O-emissies uit afval is aangenomen dat deze constant blijven, zoals ook gerapporteerd in de KEV 2024 voor de jaren na 2025 tot en met 2040. Voor de extrapolatie van CH₄ uit stortplaatsen is een “decay-functie” toegepast die rekening houdt met een verder afnemende CH₄-emissie met de leeftijd van stortplaatsen op basis van de gegevens uit de KEV 2024.

Indirecte CO₂-emissies

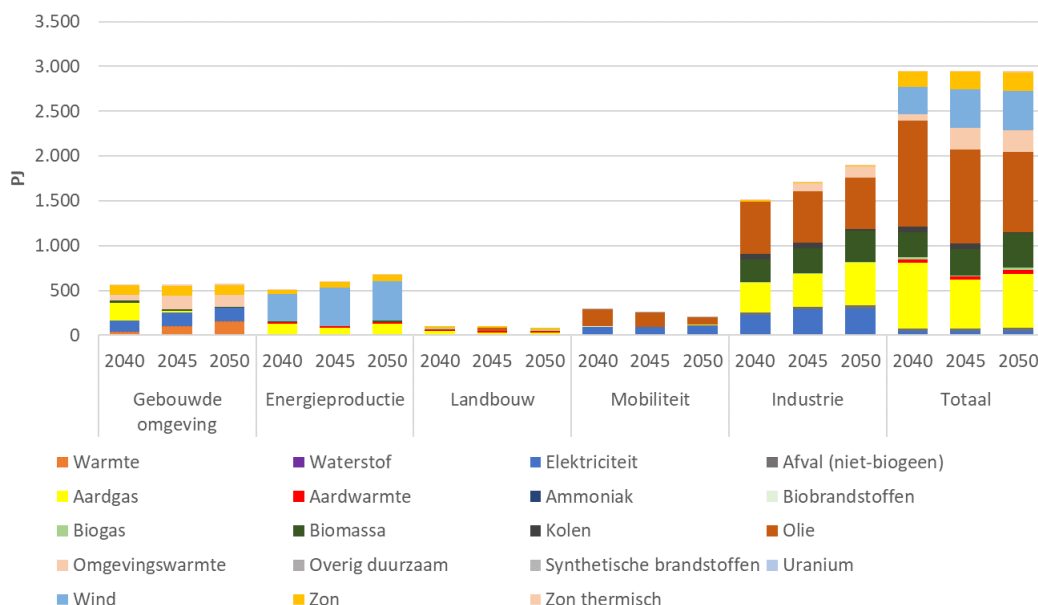
Nederland rapporteert naar de UNFCCC ook indirecte CO₂-emissies uit bijvoorbeeld oxidatie van solventen. Hoewel de rapportage daarvan niet verplicht is, is er wel de verplichting dat, als ze gerapporteerd worden, ze deel uitmaken van de nationale emissies en dus meetellen om het doelbereik weer te geven. Op basis van de projecties uit de KEV 2024 zijn deze indirecte CO₂-emissies verder geëxtrapoleerd naar 2055.

3 Resultaten

3.1 Referentiescenario en BKG-emissies 2045-2050

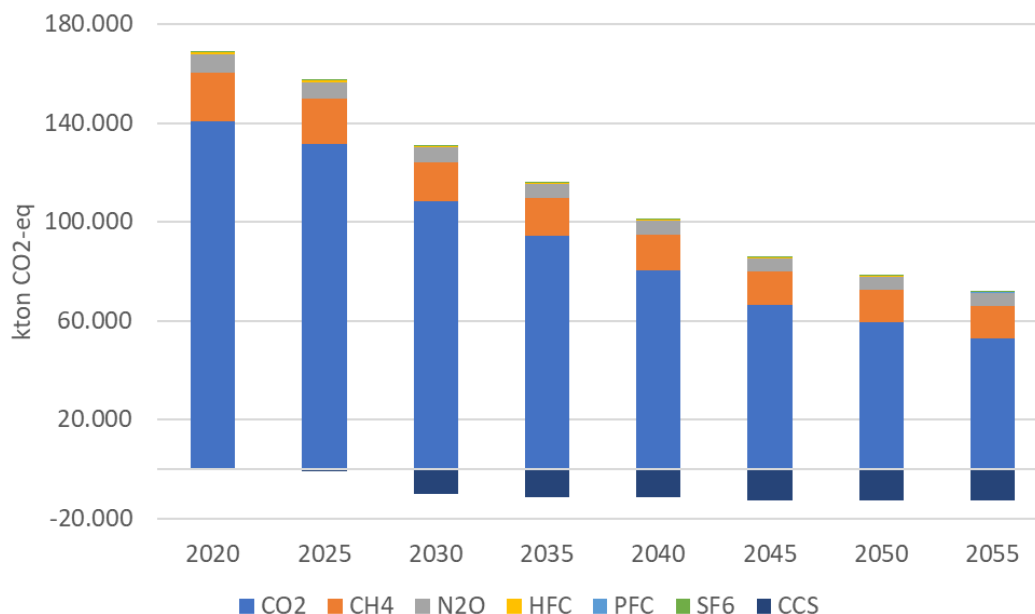
De ontwikkeling van het energiegebruik van het referentiescenario tussen 2040 en 2050 is weergegeven in [Figuur 3.1](#). Het figuur toont het totale energieverbruik en het verbruik per sector.

[Figuur 3.2](#) toont de ontwikkeling van de BKG-emissies voor de periode 2020 tot 2055. De BKG-emissies voor 2020 zijn realisaties (CBS) en de projecties voor 2025 t/m 2040 zijn gebaseerd op de KEV 2024. De projecties van BKG-emissies van verbranding en industriële processen voor 2045 en 2050 zijn gebaseerd op OPERA-berekeningen en voor 2055 op trendmatige extrapolatie. Projecties van niet-energetische emissies uit de landbouw en voor landgebruik in 2040 t/m 2055 zijn gebaseerd op data afkomstig van de WUR. [Figuur 3.3](#) geeft dezelfde emissies weer, maar nu geordend naar de categorieën van INEK-rapportage⁷. De figuren tonen dat de niet-CO₂-emissies minder dalen dan de verbrandingsemissies. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat emissies uit de landbouw na 2040 niet meer dalen.

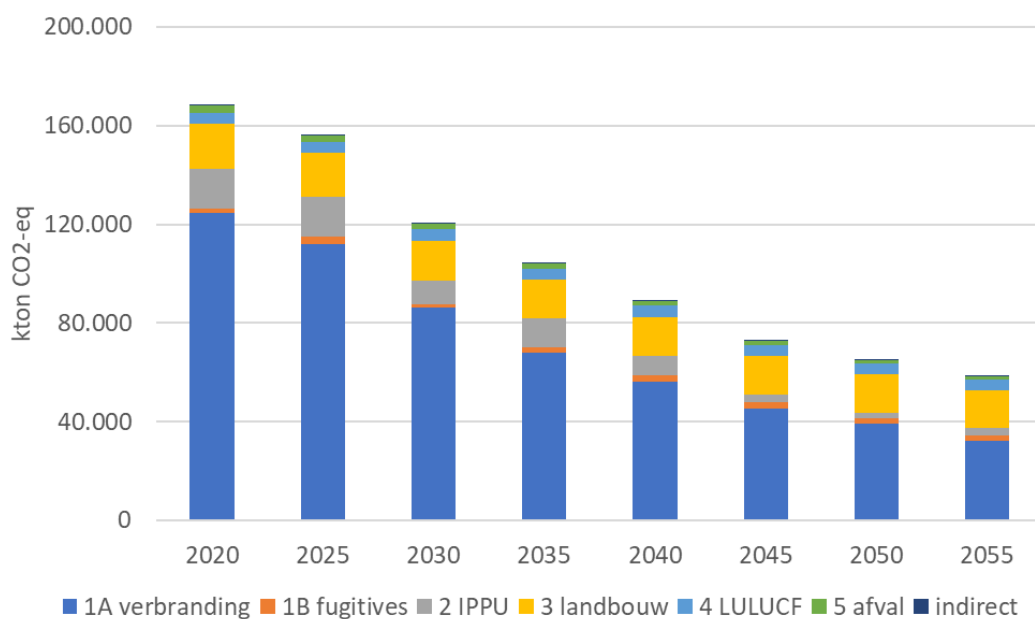


Figuur 3.1: Finaal energieverbruik van het referentiescenario

⁷ De categorieën komen overeen met de Nederlandse indeling in klimaatsectoren



Figuur 3.2: BKG-emissies per type broeikasgas



Figuur 3.3: BKG-emissies per rapportagecategorie

De resultaten van de projecties ten behoeve van de INEK-rapportage worden weergegeven in [Tabel 3.1](#) tot en met [Tabel 3.6](#). De emissies van F-gassen (SF6, NF3, HFC en PFC) worden alleen weergegeven in kton CO₂-eq, aangezien geen onderscheid gemaakt kon worden tussen deze verschillende gassen. In de [Tabel 3.1](#) staan de BKG-emissies voor alle sectoren, inclusief internationale luchtvaart en [Tabel 3.2](#) toont ook de totale BKG-emissies maar dan exclusief internationale luchtvaart. [Tabel 3.3](#) en [Tabel 3.4](#) geven de resultaten voor respectievelijk de ETS- en de ESR-sector. De verdeling van de emissies tussen deze sectoren is op dezelfde manier gedaan als in de KEV 2024.

Tabel 3.1: BKG-emissies inclusief indirecte emissies en inclusief niet-energetisch gebruik, LULUCF en inclusief internationale luchtvaart.

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
CO ₂ *	kton	60.357	50.162	42.257
CH ₄	kton	485	469	465
N ₂ O	kton	21	21	21
CO ₂ *	kton CO ₂ eq	60.357	50.162	42.257
CH ₄	kton CO ₂ eq	13.580	13.128	13.015
N ₂ O	kton CO ₂ eq	5.503	5.466	5.484
F-gassen	kton CO ₂ eq	442	367	301
Totaal	kton CO ₂ eq	79.881	69.123	61.057

* Na aftrek van CO₂-opslag

Tabel 3.2: BKG-emissies inclusief indirecte emissies en inclusief niet-energetisch gebruik en LULUCF, exclusief internationale luchtvaart.

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
CO ₂ *	kton	53.618	46.695	40.042
CH ₄	kton	485	469	465
N ₂ O	kton	20	20	20
CO ₂ *	kton CO ₂ eq	53.618	46.695	40.042
CH ₄	kton CO ₂ eq	13.573	13.121	13.008
N ₂ O	kton CO ₂ eq	5.416	5.381	5.399
F-gassen	kton CO ₂ eq	442	367	301
Totaal	kton CO ₂ eq	73.049	65.565	58.750

* Na aftrek van CO₂-opslag

Tabel 3.3: BKG-emissies voor ETS-sectoren, inclusief niet-energetisch gebruik.

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
CO ₂ *	kton	29.048	26.200	23.639
CH ₄	kton	0	0	0
N ₂ O	kton	0,3	0,3	0,3
CO ₂ *	kton CO ₂ eq	29.048	26.200	23.639
CH ₄	kton CO ₂ eq	0	0	0
N ₂ O	kton CO ₂ eq	68	68	68
F-gassen	kton CO ₂ eq	0	0	0
Totaal	kton CO ₂ eq	29.116	26.268	23.707

* Na aftrek van CO₂-opslag

Tabel 3.4: BKG-emissies ESR-sectoren

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
CO ₂	kton	20.650	16.690	12.798
CH ₄	kton	465	449	445
N ₂ O	kton	20	20	20
CO ₂	kton CO ₂ eq	20.650	16.690	12.798
CH ₄	kton CO ₂ eq	13.015	12.573	12.468
N ₂ O	kton CO ₂ eq	5.261	5.214	5.214
F-gassen	kton CO ₂ eq	442	367	301
Totaal	kton CO ₂ eq	39.367	34.845	30.781

Tabel 3.5: BKG-emissies LULUCF-sector

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
CO ₂ *	kton	3.920	3.797	3.597
CH ₄	kton	19,9	19,6	19,3
N ₂ O	kton	0,33	0,37	0,44
CO ₂ *	kton CO ₂ eq	3.920	3.797	3.597
CH ₄	kton CO ₂ eq	557	549	540
N ₂ O	kton CO ₂ eq	87,9	98,2	116,2
F-gassen	kton CO ₂ eq	NA	NA	NA
Totaal	kton CO ₂ eq	4.566	4.444	4.254

* Netto, na aftrek van CO₂-vastlegging

De BKG-emissies volgens de Common Reporting Tables (CRT) categorieën worden weergegeven in [Tabel 3.6](#). De BKG-emissies in de categorie ‘energie’ betreffen alle BKG-emissies die te maken hebben met het energetisch gebruik van brandstoffen en de emissies die ontstaan bij transport en opslag van deze brandstoffen, en de CO₂ die, volgens de modelanalyse, worden afgevangen en opgeslagen. De BKG-emissies voor de andere categorieën komen niet uit de modelberekeningen, maar zijn geëxtrapoleerd uit de KEV 2024 projecties. Dit is gedaan omdat het OPERA-model niet alle onderliggende emissiebronnen bevat.

Tabel 3.6: BKG-emissies per Common Reporting Tables (CRT) categorie

Broeikasgas	Eenheid	2045	2050	2055
1 Energie				
CO ₂ *	kton	46.959	40.960	34.185
CH ₄	kton	21	10	10
N ₂ O	kton	1	1	1
Totaal	kton CO ₂ eq	47.751	41.395	34.620
2 IPPU				
CO ₂ *	kton	2.217	1.407	1.720
CH ₄	kton	15	15	15
N ₂ O	kton	1	1	1
F-gassen	kton	442	367	301
Totaal	kton CO ₂ eq	3.312	2.428	2.674
3 Landbouw				
CO ₂	kton	85	85	85
CH ₄	kton	398	398	398
N ₂ O	kton	16	16	16
Totaal	kton CO ₂ eq	15.463	15.463	15.463
4 LULUCF				
CO ₂	kton	3.920	3.797	3.597
CH ₄	kton	20	20	19
N ₂ O	kton	0	0	0
Totaal	kton CO ₂ eq	4.566	4.444	4.254
5 Waste				
CO ₂	kton	0	0	0
CH ₄	kton	31	26	22
N ₂ O	kton	3	3	3
Totaal	kton CO ₂ eq	1.521	1.390	1.285
Memo items				
Indirect		437	446	455
CO ₂ CCS	kton	-12.698	-12.692	-12.695

* na aftrek van CO₂-opslag

3.2 Onzekerheden

Naarmate projecties verder in de toekomst liggen nemen de onzekerheden toe over technologische, maatschappelijke en economische ontwikkelingen die bepalend zijn voor de energie- en mobiliteitsvraag en industriële productie. Deze kunnen anders verlopen dan wat hierover in de KEV 2024 en het hier gepresenteerde referentiescenario is verondersteld. Ook klimaatverandering kan invloed hebben op de ontwikkeling van de energievraag en -

productie. Dit heeft gevolgen voor de ontwikkeling van de BKG-emissies. Bij het opstellen van lange termijn projecties voor energie en BKG-emissies met het OPERA-model gelden nog andere onzekerheden. De ontwikkeling van energie- en CO₂-prijzen en kosten en prestaties van technologie kan afwijken van wat voor het referentiescenario is aangenomen. Daarnaast wordt bij het OPERA-model verondersteld dat investerings- en operationele keuzes worden gemaakt die leiden tot de laagste kosten voor het gehele energiesysteem (d.w.z. laagste nationale kosten). Deze keuzes hangen echter af van de verdeling van kosten en opbrengsten tussen de verschillende actoren in het energiesysteem, d.w.z. van de marktinrichting en van beleid- en regulering. Omdat in de praktijk geen sprake is van een perfect functionerende markt en beleid- en regulering niet optimaal hoeft te zijn, kunnen investerings- en operationele keuzes afwijken van wat het model veronderstelt. Ook hoeven actoren niet te handelen op grond van laagste kosten: zij kunnen bijvoorbeeld eerder overschakelen op hernieuwbare energietechnologieën of juist langer gebruik blijven maken van fossiele technologieën terwijl dit duurder is dan het duurzame alternatief. Door deze onzekerheden kunnen de BKG-emissies afwijken van de hier gepresenteerde projecties. Deze mogelijke afwijkingen zijn niet verder onderzocht.

4 Bevindingen en aanbevelingen

Met hulp van een energiesysteemmodel OPERA is een referentiescenario opgesteld voor ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem na 2040 uitgaande van vastgesteld beleid. Het referentiescenario is in lijn gebracht met de BKG-emissies van de Klimaat en Energieverkenning (KEV) 2024 voor 2030 en 2040. De BKG-emissies die met het energiesysteemmodel zijn berekend voor deze twee jaren verschillen per sector niet meer dan 6% met die van de KEV 2024. Op basis van dit referentiescenario zijn de BKG-emissies bepaald voor 2045 en 2050.

Voor de BKG-emissies in 2055 is geen gebruik gemaakt van het referentiescenario, omdat hiervoor geen data over de vraagontwikkeling beschikbaar was. De BKG-emissies in 2055 zijn een extrapolatie van de emissies in 2045 en 2050. Als deze methode voor een volgende INEK-rapportage wordt gebruikt, wordt aanbevolen projecties van de vraagontwikkeling, die als input voor het model wordt gebruikt, uit te breiden tot 2055.

Niet alle BKG-emissies voor 2055 kunnen worden afgeleid uit het referentiescenario. Voor landgebruik en LULUCF zijn de niet-energetische BKG-emissies bepaald op basis van projecties van de WUR. Voor emissies uit de afvalsector en indirecte emissies zijn extrapolaties toegepast.

Referenties

- EC. (2020). Implementing Regulation (EU) 2020/1208.
- EC. (2022). *Recommended parameters for reporting on GHG projections in 2023, unpublished document shared with the Member States*. Brussel.
- EC. (2024). Recommend parameters for reporting on GHG projections 2025.
- IPCC. (1996). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- PBL. (2022). *Beleids overzicht en factsheets beleidsinstrumenten - Achtergrond document bij de Klimaat- en Energieverkenning 2022*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, TNO, CBS en RIVM. (2024). *Klimaat en Energieverkenning (KEV)*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Scheepers, M., Gamboa Palacios, S., Jegu, E., Pup Nogueira, L., Rutten, L., Van Stralen, J., . . . West, K. (2020). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050*. TNO 2020 P10338.
- Scheepers, M., Van Stralen, J., Giraldo Chavarriaga, J., & Smekens, K. (2023). *Referentiescenario broeikasgasemissies 2050-2050 ten behoeve van de INEK-rapportage 2023*. TNO 2023 P10123.
- Scheepers, M., Van Stralen, J., Giraldo Chavarriaga, J., Elberry, A., Uslu, A., & Oliveira Machado dos Santos, C. (2024). *Toward a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 - Scenario update and scenario variants for industry*. TNO 2024 P10607.

Bijlage A

Onderliggende drivers voor de energievraag

Sector	Eenheid	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Industrie								
Staalproductie	Mton	6,10	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
Ammoniakproductie	Mton	2,57	2,75	2,83	2,92	3,01	3,10	3,20
Olefinenproductie	Mton	4,83	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Methanol vraag conventionele toepassingen	Mton	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59
Aromatenproductie	Mton	3,84	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
Chloorproductie	Mton	1,01	1,10	1,14	1,20	1,27	1,34	1,41
Zoutproductie	Mton	7,24	7,90	8,22	8,60	9,09	9,60	10,11
Glasproductie	Mton	0,90	1,04	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
Keramikproductie	Mton	2,87	2,86	2,98	3,07	3,19	3,32	3,45
Afvalverbranding	PJ	67,00	62,49	62,49	62,49	62,49	62,49	62,49
Mobiliteit								
Passagier wegverkeer	Miljard voertuigkilometers	91,72	109,99	119,31	126,32	133,74	140,90	148,5
Licht vrachtverkeer	Miljard voertuigkilometers	18,15	19,90	20,50	21,43	22,42	23,40	24,39
Zwaar vrachtverkeer	Miljard voertuigkilometers	7,49	7,94	7,79	7,80	7,94	8,01	8,11
Binnenvaart	Miljard tonkilometers	44,09	43,28	44,18	44,89	45,61	46,33	47,05
Busvervoer	Miljard voertuigkilometers	0,34	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68

Sector	Eenheid	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Energievraag mobiele werktuigen								
Landbouw	PJ	19,26	17,05	16,27	15,53	14,84	13,82	12,97
Industrie	PJ	25,73	24,47	24,45	23,43	22,46	22,13	21,49
Dienstensector	PJ	4,94	4,79	4,73	4,70	4,67	4,63	4,59
Internationale luchtvaart onder ETS-1	PJ	17,68	29,10	32,02	31,47	31,55	30,98	30,80
Internationale luchtvaart niet onder ETS-1	PJ	75,07	123,56	135,95	133,61	133,98	131,53	130,79
Internationale scheepvaart onder ETS-1	PJ	253,87	227,10	221,87	216,37	199,55	190,94	179,81
Internationale scheepvaart niet onder ETS-1	PJ	239,22	214,00	209,07	203,89	188,04	179,83	169,44
Verwarming huishoudens								
Aantal appartementen	Miljoen	2,69	2,84	2,93	3,01	3,10	3,18	3,26
Aantal rijtjeswoningen	Miljoen	2,20	2,32	2,40	2,46	2,53	2,60	2,66
Aantal andere woningen	Miljoen	2,58	2,71	2,81	2,88	2,96	3,04	3,12
Diensten sector								
Bruto vloeroppervlak onderwijs	Miljoen m ²	33,50	33,22	32,79	30,67	29,91	30,56	31,55
Bruto vloeroppervlak ziekenhuizen	Miljoen m ²	18,42	19,40	21,02	22,97	24,27	23,93	22,15
Bruto vloeroppervlak bedrijfsgebouwen	Miljoen m ²	154,08	160,52	170,15	179,50	188,17	196,35	204,00
Bruto vloeroppervlak kantoren	Miljoen m ²	66,07	67,44	68,03	68,15	68,02	67,72	67,24
Bruto vloeroppervlak datacenters	Miljoen m ²	1,04	1,27	1,62	2,04	2,58	3,25	4,10
Bruto vloeroppervlak overige dienstensector	Miljoen m ²	123,37	136,94	141,93	146,12	150,25	155,33	162,60
Overige warmtevraag								
Landbouw	PJ	91,37	80,84	78,98	70,82	60,40	60,40	60,40
Basismetale - ferro	PJ	8,57	6,14	9,35	9,37	9,37	9,37	9,37

Sector	Eenheid	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Basismetaal – non-ferro	PJ	2,20	1,68	1,46	1,40	1,45	1,44	1,44
Kunstmestindustrie	PJ	11,76	11,28	8,89	9,00	9,62	9,90	10,19
Chemische industrie	PJ	80,48	94,20	86,42	82,22	94,01	77,16	65,51
Voedsel- en genotmiddelenindustrie	PJ	50,80	49,00	45,10	45,00	46,10	43,49	42,10
Overige industrie	PJ	19,91	40,57	37,34	37,26	38,17	34,65	34,86
Afvalverwerkende industrie	PJ	5,40	6,10	6,40	6,60	6,90	7,33	7,68
Overige brandstofvraag transport	PJ	23,30	21,63	28,03	22,69	23,30	23,71	24,20
Smeermiddelenvraag Transport	PJ	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Niet-energetische vraag overige industrie	PJ	17,7	18,51	19,00	19,35	19,75	20,15	20,57
(Overige) elektriciteitsvraag								
Huishoudens	TWh	21,00	19,29	17,57	17,27	17,47	17,47	17,48
Diensten	TWh	31,65	32,56	34,01	35,61	38,08	40,74	43,39
Landbouw	TWh	10,99	8,51	8,76	8,37	8,30	8,30	8,30
Basismetaal – ferro	TWh	2,25	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
Basismetaal – non-ferro	TWh	2,63	2,76	2,87	2,98	3,12	3,15	3,18
Kunstmestindustrie	TWh	0,21	0,00	0,71	0,46	0,24	0,02	0,00
Chemische industrie	TWh	7,63	9,97	13,09	13,49	13,53	13,49	14,20
Voedsel- en genotmiddelenindustrie	TWh	6,69	6,92	7,83	7,94	8,14	8,28	8,43
Overige industrie	TWh	10,62	10,62	10,46	10,58	11,01	11,10	11,25
Afvalverwerkende industrie	TWh	2,44	2,75	1,94	1,94	2,08	2,13	2,20
Transport	TWh	1,49	1,55	1,70	1,78	1,85	1,93	2,01

Bijlage B

Minimum en maximum waarden voor technologie opties

Onderstaande tabel geeft een overzicht van randvoorwaarden t.a.v. minimale en maximale inzet voor technologie-opties die in de OPERA-berekeningen zijn toegepast. De minimuminzet voor 2030, 2035 en 2040 is overgenomen uit de MONIT- en SELPE-bestanden van KEV 2022 voor vastgesteld beleid. De maximuminzet is bepaald uit beleidsplannen (zoals voor wind op zee, CO₂-opslag, kolencentrales en kernenergie) of op basis van techno-economische potentiëlen (zoals voor biomassa en geothermie).

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Elektriciteitsproductie												
Aardgas inzet	PJ	240,0		150,0		130,0	160,0					
CCGT	GW		9,3		9,3		9,3		9,3		9,3	
Wind op Zee	GW	7,9	12,0	15,2	18,2	15,2	18,2	15,2	18,2	15,2	18,2	Routekaart wind op zee; voor 2030 rekening gehouden met begrenzing netaansluiting
Wind op Land	GW	3,9	7,8	3,9	7,8	3,9	7,8	3,9	7,8	3,9	7,8	Maximum volgens KEV. Na 2025 zijn er geen nieuwe SDE++ beschikkingen meer
Wind totaal	PJ		250,0				370,0					
Zon PV totaal	GW		38,6		50,2	54,0	72,3				89,1	

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Zon PV energiesector	GW	4,7	7,2	7,1	12,5	11,9	15,0	11,9	15,5	11,9	16,0	
Kernenergie	GW		0,5		0		0		0		0	Borssele sluit in 2033; geen nieuwe kerncentrales
Kolencentrales	PJ		0		0		0		0		0	Na 2030 geen kolencentrales
Warmteproductie (warmtenetten)												
Geothermie (alle sectoren)	PJ		50,0				125,0				200,0	TNO scenario's 2022 TRANSFORM (TNO P10162)
Geothermie energiesector	PJ	5,8		7,9		11,0		11,0		11,0		
Biomassa (vast)	PJ	7,8	10,5									
Zonthermisch	PJ		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	Zonthermisch komt niet voor bij warmtenetten
Groengas productie												
Vergassing	PJ					55,0		55,0				In lijn met KEV 2024
Huishoudens												
Aardgas	PJ		213,0									
Biomassa (vast)	PJ	15,0	18,7	16,0	18,5	16,0	18,4					
Warmtepompen (omgevingswarmte)	PJ	28,0	29,1	34,0	35,4	41,0	45,0					
Zon PV	GW	16,0	16,5	17,0	18,1	20,0	20,6	20,0	20,6	20,0	20,6	
Warmtelevering	PJ	16,0	17,8	18,0	19,6	20,0	24,0					

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Utiliteit												
Aardgas	PJ		64,0									
Biomassa (vast)	PJ		2,8		2,8		2,8		2,8		2,8	
Warmtepompen (omgevingswarmte)	PJ	16,0	17,3	19,0	20,6	21,0	25,0					
Zon PV	GW	4,7	7,3	7,1	16,5	15,1	23,0	15,1	25,9	15,1	28,8	
Zonthermisch	PJ						12,0		14,0		16,0	
Warmtelevering (overige warmte)	PJ	9,0	10,2	10,0	11,2	11,0	14,0					
Binnenlands transport algemeen												
Benzine	PJ			100,0								
Diesel	PJ			140,0								
Bio-ethanol	PJ	11,3		3,4	4,4	1,5	2,5					
Biodiesel	PJ	16,7		4,5	5,5	2,1	3,1					
Elektriciteit	PJ						100,0					
Personenauto's												
Conventioneel	Miljard voertuigkilometers	50,0	56,0		32,7		17,5					
Volledig elektrisch	Miljard voertuigkilometers	25,0		50,0		80,2				135,4		

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Lichte bedrijfswagens												
Conventioneel	Miljard voertuigkilometers		15,4		9,4		4,0					
Volledig elektrisch	Miljard voertuigkilometers	5,1		12,1		18,4		23,4		24,4		
Zware bedrijfswagens												
Conventioneel	Miljard voertuigkilometers		7,4		6,3		4,9		3,8		2,6	
Volledig elektrisch	Miljard voertuigkilometers	0,4		1,5		3,0		4,2		5,5		
Autobussen												
Conventioneel	Miljard voertuigkilometers		0,41		0,41		0,41		0,41		0,41	
Volledig elektrisch	Miljard voertuigkilometers	0,27		0,27		0,27		0,27		0,27		
Mobiele werktuigen (samengevoegd)												
Elektrisch	PJ	5,2		6,3		11,3						
Internationale lucht- en scheepvaart (bunkers)												
LNG	PJ		13,6		16,5		16,5					
Bio-LNG	PJ		0,1		0,1							
Synthetische diesel	GW		0,1									
Synthetische kerosine	PJ	1,2	1,2	8,3		16,6		24,4		56,2		

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Industrie												
Zon-PV	PJ	2,3	1,9	2,6	2,3	3,1	2,8	3,1	2,8	3,1	2,8	
Geothermie	PJ		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	
Aardgas	PJ			330,0			320,0					
Zonthermisch	PJ		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	
Omgevingswarmte	PJ		3,0		3,0		3,0					
Elektriciteitsverbruik Chemie	PJ				75,0		85,0					
Staalproductie m.b.v. DRI en aardgas	Mton	2,3	2,4	3,5	3,6	3,5	3,6					
Productie fossiele raffinaderijen	PJ	1900		1550		1350		1250		1200		
Landbouw (incl. tuinbouw)												
Geothermie	PJ	12,1		16,1		20,1		20,1		20,1		
Biomassa (vaste)	PJ	4,2	6,2	4,1	6,1	4,0	6,0					
Zon-PV	GW	2,6	3,0	3,0	3,5	3,5	3,8	3,7	4,4	3,8	5,0	
Warmtelevering	PJ	4,0	7,0	4,0	7,0	4,0	7,0					
CO ₂ -opslag												
CO ₂ -opslag	Mton		10,3		11,5		11,6		12,7		12,7	2030: Klimaatakkoord plafond 7,2 Mton; ophoging 2022 met 1,5 Mton

	Eenheid	2030		2035		2040		2045		2050		Bron / opmerking
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Biomassa-beschikbaarheid												
Biomassa binnenlands	PJ		174,7				224,2				273,8	
Biomassa import	PJ		50,0				100,0				150,0	Potentieel in lijn met KEV 2024. Extrapolatie naar 2050.
Bio-ethanol import	PJ		10,8				1,7				1,7	

Energy & Materials TransitionEnergy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl