

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam

www.tno.nl

T +31 88 866 50 10

TNO-rapport

TNO 2023 P10124

Uitfasering fossiele technieken

Datum	23 januari 2023
Auteur(s)	Martin Scheepers, Juan Giraldo Chavarriaga
Aantal pagina's	13
Opdrachtgever	NVDE
Projectnaam	Uitfasering fossiele technieken
Projectnummer	060.55207

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Aanpak	4
3	Resultaten	6
3.1	Selectie fossiele technieken	6
3.2	Uitfasering fossiele technieken	6
3.3	Discussie	10
4	Conclusie	12
	Verwijzingen	13

1 Inleiding

Het internationaal klimaatbeleid (UNFCCC, 2015) streeft er naar de stijging van de mondiale gemiddelde temperatuur ruim onder de 2 °C boven het pre-industriële niveau te houden en de stijging tot 1,5 °C te beperken. Om dat doel te bereiken zijn voor de Europese Unie reductiedoelen voor broeikasgasemissies (BKG-emissies) afgesproken voor 2030 (reductiedoel 55% (EC, 2020)) en voor 2050 (BKG-neutraal (EC, 2021a)). Voor Nederland zijn de reductiedoelen: tenminste 55% in 2030 (waarbij het beleid streeft naar 60%), 70% in 2035, 80% in 2040 en BKG-neutraal in 2050 (EZK, 2022).

Om deze BKG-emissiedoelen te bereiken wordt vooral ingezet op het financieel betaalbaar rendabel maken van technologie (bijv. SDE++-subsidie), het duurder maken van conventionele technieken (bijv. CO₂-beprijzing) en het stellen van normen (bijv. CO₂-emissionormen voertuigen). Dit zal het investeren in conventionele fossiele technieken onaantrekkelijk moeten maken en leiden tot uitfasering hiervan. Van het verbieden van gebruik of verplicht beëindigen van de verkoop van conventionele fossiele technieken wordt maar beperkt gebruik gemaakt. Vanaf 2030 mogen geen kolencentrales meer worden ingezet (Nederlandse overheid, 2019) en er liggen plannen voor beëindigen van de verkoop van auto's met verbrandingsmotoren na 2035 (EC, 2021b), en 'mono' CV-ketels na 2026 (BZK, 2022).

De NVDE verwacht dat het steeds belangrijker wordt om te weten wanneer bepaalde technieken niet meer ingezet zullen worden vanwege hun BKG-emissies, en wanneer er niet meer geïnvesteerd dient te worden in de bijbehorende nieuwverkoop. Naast de snelle groei van nieuwe, schone technieken is de tijdige uitfasering van vervuilende opties immers belangrijk om emissies te reduceren. Daarom heeft de NVDE TNO gevraagd om, gelet op het BKG-reductiepad, uit te zoeken op welk moment het niet meer kosteneffectief is te investeren in conventionele fossiele technieken in alle sectoren van het Nederlandse energiesysteem.

TNO heeft scenario's opgesteld voor een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland (Scheepers, et al., 2022). In het minder ambitieuze ADAPT-scenario is in 2050 nog 40% van het energieaanbod afkomstig uit fossiele bronnen – klimaatneutraliteit wordt dan bereikt door onder meer ruime toepassing van CO₂-opslag. In het ambitieuzere TRANSFORM-scenario daalt het gebruik van fossiele brandstoffen in 2050 tot vrijwel nul. Uit deze scenario-uitkomsten kan de uitfasering van fossiele technieken worden bepaald. Dit scenario sluit aan bij de missie van de NVDE, die streeft naar een volledig duurzame energiehuishouding in 2050.

Het doel van dit project is om op basis van een scenario voor het Nederlandse energiesysteem te analyseren wanneer nieuwe investeringen in conventionele fossiele technieken niet meer valide zijn.

Dit rapport beschrijft in hoofdstuk 2 de gevolgde aanpak, presenteert in hoofdstuk 3 de resultaten van de analyse en sluit af met conclusies in hoofdstuk 4.

2 Aanpak

Voor deze analyse worden de resultaten gebruikt van het TRANSFORM-scenario (Scheepers, et al., 2022), zie tekstbox. Dit scenario is doorgerekend met het OPERA-model voor de zichtjaren 2030, 2035, 2040, 2045 en 2050. Het OPERA-model berekent voor elk zichtjaar het energiesysteem van Nederland waarmee aan de energievraag wordt voldaan en het opgelegde BKG-reductiedoel wordt gerealiseerd tegen de laagste maatschappelijke kosten. Voor 2030 geldt een integraal 55%-reductiedoel en in 2050 moet het energiesysteem BKG-emissieneutraal zijn; voor de tussentijdse jaren zijn de reductiedoelen lineair geïnterpoleerd. Bij bepalen van nieuwe investeringen in technologieën wordt rekening gehouden met investeringen die gedaan zijn in voorgaande jaren en de levensduur daarvan.

TRANSFORM-scenario

In dit toekomstbeeld lopen Nederland en Europa voorop in de strijd tegen klimaatverandering en voor duurzaamheid. Met zijn sterke kennisinfrastructuur en innovatieve bedrijfsleven is Nederland ideaal gepositioneerd om een nieuwe, schone en energiezuinige economie op te bouwen. De bewustheid van de Nederlanders van hun energiegebruik en hun CO₂-voetafdruk leidt tot een gedragsverandering en allerlei duurzame initiatieven. Nieuwe technologieën worden enthousiast omarmd. De overheid heeft hier een stimulerende en voorwaardenscheppende rol en is niet bang om verstrekkende beslissingen te nemen. Doordat burgers meer milieubewust zijn en daar ook naar handelen, neemt de energievraag af, verandert de mobiliteitsvraag (bijv. meer gebruik van openbaar vervoer en fiets) en de vraag naar milieubelastende industriële en agrarische producten (bijv. dalende vleesconsumptie). Ook bedrijven nemen initiatieven tot een ambitieuze transformatie door bestaande processen te vervangen door duurzame alternatieven. De industrie wordt minder energie-intensief, er worden zoveel mogelijk gerecyclede en duurzaam verkregen grondstoffen ingezet en een deel van de economische activiteit verschuift naar de dienstensector die daardoor groeit. Ook leidt de maatschappelijke verandering tot aanpassingen in de agrarische sector, zoals meer duurzame landbouw en minder veeteelt. Voor de internationale luchtvaart en scheepvaart, waarvan de broeikasgasemissies buiten de nationale doelstelling vallen, geldt een 95% reductiedoelstelling. CO₂-opslag wordt slechts beperkt toegepast en biomassa wordt vooral ingezet voor toepassingen waarvoor geen alternatieven zijn.

Uit de modelresultaten voor 2030 zijn per sector (energieproductie, industrie, landbouw, gebouwde omgeving, mobiliteit) de belangrijkste conventionele fossiele technieken geselecteerd die samen goed zijn voor 90% van de fossiel gebaseerde CO₂-emissies in 2030.

Voor de geselecteerde fossiele technieken is vervolgens bepaald in welk zichtjaar deze technieken niet meer worden ingezet (fossiel energiegebruik < 0,01 PJ). Bij sommige technieken kan sprake zijn van brandstofsubstitutie, bijvoorbeeld doordat aardgas wordt vervangen door groengas of waterstof. Het TRANSFORM-scenario

staat in beperkte mate CO₂-opslag toe, maar dat is voornamelijk voor het genereren van negatieve emissies (CO₂ afkomstig uit biomassa en uit de lucht).

Op basis van de in het OPERA-model gebruikte levensduur van de geselecteerde fossiele technieken is bepaald op welk moment het investeren daarin niet meer valide is. In het model wordt de levensduur gebruikt voor het berekenen van de CAPEX en vormt daarmee input voor de kostenoptimale inzet van technieken.

3 Resultaten

3.1 Selectie fossiele technieken

Uit de technologie-opties die in 2030 bijdragen aan 90% van de BKG-emissies¹ zijn enkele opties gefilterd waarvan de BKG-emissies niet gerelateerd zijn aan het gebruik van fossiel brandstoffen (zoals procesemissies in de industrie, CO₂-emissies van afvalverbranding en CO₂-emissies bij landgebruik). Er blijft een lijst over van 24 technieken met gebruik van fossiele brandstoffen (zie Tabel 1). De meeste technieken bevinden zich in de industrie (12). Bij twee technieken is sprake van niet-energetisch gebruik van fossiel brandstoffen: methanolproductie en stoomkraken. Daarnaast zijn er vijf technieken in de mobiliteitssector, drie in de gebouwde omgeving, twee in de landbouw en twee bij de elektriciteitsopwekking.

3.2 Uitfasering fossiele technieken

Tabel 2 en Tabel 3 tonen voor de geselecteerde technieken het gebruik van fossiele energie per zichtjaar. Als gevolg van het steeds strenger wordende BKG-reductiedoel daalt bij een groot aantal technieken het gebruik van fossiele brandstoffen tot nul. Het jaar waarin een fossiele techniek is uitgefaseerd is verschillend. Aan de hand van het jaar waarin de fossiele techniek niet meer wordt ingezet en de levensduur van deze techniek (een na laatste kolom) is bepaald in welk jaar niet meer in de techniek geïnvesteerd dient te worden (laatste kolom).

Bij technieken met een relatief lange levensduur (bijv. 30 jaar) kan het jaar waarin nieuwe investeringen niet meer zinvol zijn inmiddels zijn verstreken. Dit geldt voor de traditionele hoogoven en de restgassenketel in de staalindustrie.

Bij zes technieken is het energiegebruik in 2050 niet tot nul gedaald. De techniek wordt nog wel gebruikt, zij het in mindere mate dan nu en de fossiele brandstof is vervangen door een hernieuwbare brandstof. Voor de verwarmingsketels bij huishoudens en in de dienstensector is aardgas vervangen door groen gas of waterstof en bij mobiele werktuigen in de industrie en in de landbouw is diesel vervangen door biodiesel. In het stoomkraakproces is in 2050 de fossiele nafta vervangen door bionafta. Daarnaast worden in dit proces in 2050 restgassen gebruikt (ca. 5% van het energiegebruik) die afkomstig zijn uit productie van biobrandstoffen. In 2050 wordt nog op beperkte schaal aardgas omgezet in methanol. Omdat in het TRANSFORM-scenario verondersteld is dat 90% van de koolstof voor chemicaliën en kunststoffen uit niet-fossiele bronnen afkomstig is, is het nog mogelijk een kleine hoeveelheid fossiele energie (in dit geval aardgas) te gebruiken voor niet-energetische doeleinden.

¹ Sommige fossiel technieken worden in het scenario in 2030 al niet meer ingezet, zoals bijvoorbeeld aardgas gestookte WKK in de tuinbouw.

Tabel 1 Geselecteerde technieken

Optie	OPERA-code	Sector	Emissie in 2030 (Mton CO ₂ eq)
HR-ketel bij huishoudens	1035	Gebouwde omgeving	13,03
Personenauto met verbrandingsmotor	1351	Mobiliteit	9,71
Vrachtwagen met verbrandingsmotor	1364	Mobiliteit	6,24
Traditionele hoogoven (blast furnace) voor staalproductie	1763	Industrie	5,53
Combined-Cycle Gas turbine	1101	Elektriciteits-opwekking	4,54
Traditionele ammoniak-productie (Haber-Bosch)	1375	Industrie	4,07
Stoomkraken met x% pyrolyse olie	2410	Industrie	3,95
Restgassenketel in de staal industrie	1429	Industrie	3,81
Restgassenketel in de chemische industrie	2031	Industrie	3,44
Bestelbus met verbrandingsmotor	1841	Mobiliteit	3,10
Aardgasketel in de landbouw	1232	Landbouw	2,99
HR-ketel in de dienstensector	1027	Gebouwde Omgeving	2,88
Diesel gebruik in de transport sector (overige)	1273	Mobiliteit	2,57
Gasketel (<100 graden) in de overige industrie	2299	Industrie	2,07
Combined-Cycle Gas turbine met CCS	1599	Elektriciteits-opwekking	1,97
Gasketels in de dienstensector	1226	Gebouwde omgeving	1,86
Aardgas WKK in de chemische industrie	1373	Industrie	1,27
Lage temperatuur aardgas ketel in de chemische industrie	2263	Industrie	1,18
Restgas stoomketel (200 - 400 graden) in de raffinage sector	2375	Industrie	1,14
Aardgasketel in de raffinage sector	1372	Industrie	1,10
Mobiele werktuigen op diesel in de landbouw	1769	Mobiliteit	0,99
Traditionele methanol productie m.b.v. aardgas	2356	Industrie	0,98
Mobiele werktuigen op diesel in de industrie	1771	Landbouw	0,91
Stoomketel (100-200 graden) in de overige industrie	1060	Industrie	0,88

Tabel 2 Uitfasering fossiele technieken – sectoren industrie en elektriciteitsopwekking

Optie	OPERA-code	Sector	PJ					Levens-duur	Niet investeren na:
			2030	2035	2040	2045	2050		
Traditionele hoogoven (blast furnace) voor staalproductie	1763	Industrie	111,7	107,1	0,0	0,0	0,0	30	2010
Combined Cycle Gas turbine	1101	Electriciteitsopwekking	80,3	31,7	7,4	1,7	0,0	20	2030
Traditionele ammoniak-productie (Haber-Bosch)	1375	Industrie	74,2	66,4	55,2	4,9	0,0	20	2030
Stoomkraken met x% pyrolyse olie	2410	Industrie	502,8	414,5	380,0	253,5	119,5	15	n.v.t.
Restgassenketel in de staal industrie	1429	Industrie	15,8	18,8	0,0	0,0	0,0	15	2025
Restgassenketel in de chemische industrie	2031	Industrie	51,5	34,4	1,1	0,0	0,0	15	2030
Gasketel (<100 graden) in de overige industrie	2299	Industrie	36,5	20,6	0,6	0,3	0,0	15	2035
Combined-Cycle Gas turbine met CCS	1599	Electriciteitsopwekking	34,8	6,1	3,0	1,5	0,0	20	2030
Aardgas WKK in de chemische industrie	1373	Industrie	22,5	13,0	4,6	0,0	0,0	15	2030
Lage temperatuur aardgas ketel in de chemische industrie	2263	Industrie	20,9	17,6	12,9	8,9	0,0	15	2035
Restgas stoomketel (200 - 400 graden) in de raffinage sector	2375	Industrie	17,1	3,1	0,5	0,0	0,0	15	2030
Aardgasketel in de raffinage sector	1372	Industrie	41,0	6,1	0,3	0,1	0,0	20	2030
Traditionele methanol productie m.b.v. aardgas	2356	Industrie	110,2	82,5	2,5	0,5	0,4	30	n.v.t.
Stoomketel (100-200 graden) in de overige industrie	1060	Industrie	15,5	5,7	0,4	0,2	0,0	15	2035

Tabel 3 Uitfasering fossiele technieken – overige sectoren

Optie	OPERA- code	Sector	PJ					Levens- duur	Niet investeren na:
			2030	2035	2040	2045	2050		
HR-ketel bij huishoudens	1035	Gebouwde omgeving	230,2	153,9	108,5	77,4	2,5	10	n.v.t.
Personenauto met verbrandingsmotor	1351	Mobiliteit	144,2	92,8	0,0	0,0	0,0	10	2030
Vrachtwagen met verbrandingsmotor	1364	Mobiliteit	92,4	93,1	78,5	56,6	0,0	8	2042
Bestelbus met verbrandingsmotor	1841	Mobiliteit	46,5	36,2	0,3	0,0	0,0	12	2033
Aardgasketel in de landbouw	1232	Landbouw	52,8	23,7	19,9	8,0	0,0	15	2035
HR-ketel in de dienstensector	1027	Gebouwde Omgeving	50,8	40,7	0,0	0,0	0,0	10	2030
Diesel gebruik in de transport sector (overige)	1273	Mobiliteit	34,6	35,5	2,4	0,0	0,0	10	2035
Gasketels in de dienstensector	1226	Gebouwde omgeving	32,9	31,7	25,7	3,0	0,1	15	n.v.t.
Mobiele werktuigen op diesel in de landbouw	1769	Mobiliteit	14,6	14,6	14,5	14,4	14,3	15	n.v.t.
Mobiele werktuigen op diesel in de industrie	1771	Landbouw	13,3	11,8	10,3	8,8	5,5	15	n.v.t.

3.3 Discussie

Met behulp van modelresultaten van het TRANSFORM-scenario kan een goede indicatie worden gegeven over het jaar waarin fossiele technieken niet meer worden ingezet. Op basis van de levensduur kan worden bepaald in welk jaar niet meer hoeft te worden geïnvesteerd in deze technieken.

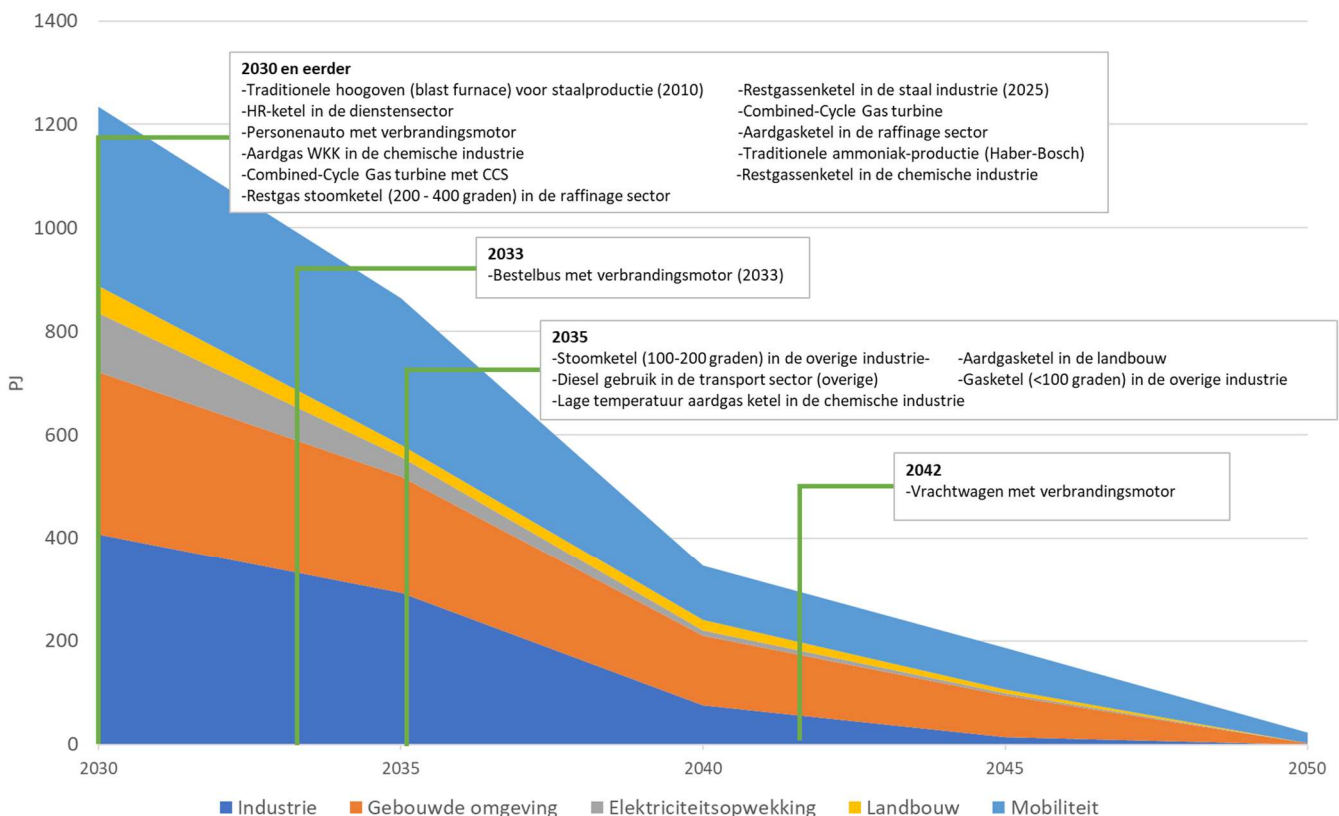
Bij deze analyse moeten wel enkele kanttekeningen worden geplaatst:

- De analyse is uitgevoerd voor één scenario. De toekomstige ontwikkeling van het Nederlandse energiesysteem kan echter een ander verloop hebben. Zo zal in het minder ambitieuze ADAPT-scenario de uitfasering van fossiele technieken later plaatsvinden.
- Met de tussendoelen voor 2035 en 2040 streeft het huidige kabinet naar een sneller reductiepad voor BKG-emissies dan waar het in de analyse gebruikte TRANSFORM-scenario van uit gaat. Hierdoor kunnen fossiele technieken sneller moeten uitfaseren.
- Het TRANSFORM-scenario is doorgerekend met fossiele energieprijzen voor de lange termijn zoals die medio 2021 werden verwacht voordat de energieprijzen vanaf eind 2021 fors stegen. Als de energieprijzen op de lange termijn hoger zijn dan stijgen operationele kosten van de fossiele technieken. Hierdoor kan de overstap naar hernieuwbare technieken eerder aantrekkelijk zijn.
- De analyse is gedaan in stappen van 5 jaar. Een analyse met stappen van 1 jaar zou een verfijnder beeld geven waardoor voor sommige fossiele technieken uitfasering in een eerder jaar zal liggen.
- In het OPERA-model wordt een economische levensduur gebruikt voor de investeringskeuze: met de levensduur wordt de CAPEX berekend en samen met de OPEX bepaalt dit de jaarlijkse kosten van de techniek. In de analyse van dit onderzoek is dezelfde levensduur gebruikt voor het bepalen van het moment waarop niet langer in de techniek hoeft te worden geïnvesteerd. In de praktijk kan een techniek een langere (technische) levensduur hebben dan waar bij de modelberekening van uit is gegaan. Bij grote technische installaties worden soms zelfs levensduurverlengende investeringen gedaan. Als uitgegaan wordt van een langere levensduur dan waar in de modelberekening van is uitgegaan, dan vervroegt dit het jaar waarin de investering niet meer zinvol is.
- De inzet van fossiele technieken kan ook eerder worden beëindigd dan de levensduur waar in de analyse mee is gerekend. Ondanks de nog doorlopende kapitaalskosten kan het toch aantrekkelijk zijn te investeren in een duurzame techniek. Dit geldt bijvoorbeeld voor de traditionele hoogoven in 2040. De economische levensduur is dan korter dan de technische levensduur.
- In de scenariodoorrekening is in 2030 niet uitgegaan van al bestaande installaties; voor alle technieken worden in 2030 investeringen gedaan in nieuwe installaties. In de analyse is er ook van uitgegaan dat alle capaciteit van een techniek dezelfde levensduur heeft, bijvoorbeeld dat alle auto's dezelfde levensduur hebben. In werkelijkheid is er een verdeling van levensduren, zie bijvoorbeeld (Møller Andersen, 2008). Waarschijnlijk zal het meenemen van een levensduurverdeling erin resulteren dat er eerder gestopt dient te worden in investeren in de fossiele techniek, omdat een significant percentage een levensduur zal hebben hoger dan het gemiddelde.
- In de modelanalyse wordt ervan uitgegaan dat de technieken die fossiele technieken vervangen zonder belemmering kunnen worden ingezet. In de praktijk kunnen technieken nog niet beschikbaar zijn, omdat ze nog niet

voldoende ontwikkeld zijn, niet geleverd kunnen worden vanwege gebrek aan materialen of arbeidskrachten of niet kunnen worden aangesloten op de energie-infrastructuur vanwege onvoldoende capaciteit. Bij grotere installaties moet rekening gehouden worden met de doorlooptijd voor voorbereidingen en vergunningen. In de modelanalyse is wel rekening gehouden met daling van kosten als gevolg van innovatie en het op steeds grotere schaal toepassen van de techniek.

4 Conclusie

Aan de hand van een energiescenario waarin het Nederlandse energiesysteem BKG-neutraal wordt in 2050 is onderzocht wanneer fossiele technieken niet langer worden ingezet. Door rekening te houden met de levensduur ontstaat een beeld over het moment waarop, gelet op de CO₂-reductie, nieuw-investeringen in fossiele technieken niet langer doelmatig zijn. Voor veel technieken ligt dat moment omstreeks 2030 en 2035, maar soms al eerder of is dat moment al verstreken, en in een enkel geval later. Dit wordt grafisch weergegeven in Figuur 1. Het moment waarop investeren niet langer zinvol is kan in een eerder jaar liggen dan deze analyse laat zien als de BKG-emissies sneller moeten dalen, de fossiele energieprijzen hoger liggen, uitgegaan wordt van een langere levensduur of rekening wordt gehouden met een levensduurverdeling. Bij overstappen van fossiele technieken naar technieken die gebruik maken van hernieuwbare energiebronnen moeten die technieken wel beschikbaar zijn en kunnen worden toegepast, dat wil zeggen voldoende zijn ontwikkeld, geleverd kunnen worden en kunnen worden aangesloten op de energie-infrastructuur. Een aantal technieken kunnen gebruikt blijven worden als in plaats van fossiele brandstoffen hernieuwbare brandstoffen worden toegepast.



Figuur 1 Daling van het fossiele energiegebruik in het TRANSFORM-scenario (excl. non-energetisch gebruik) en het jaar waarna niet meer geïnvesteerd dient te worden in fossiele technieken.

Verwijzingen

- BZK. (2022). Brief aan Tweede Kamer over normering hybride warmtepompen.
- EC. (2020). *COM(2020) 562 final*.
- EC. (2021a). *Regulation (EU) 2021/1119*.
- EC. (2021b). *COM(2021) 556 final*.
- EZK. (2022). *Ontwerp Beleidsprogramma Klimaat*.
- Møller Andersen, F. L. (2008). *Projection of end-of-life vehicles - Development of a projection model and estimates of ELV's for 2005-2030*. European Topic Centre of Resource and Waste Management, ETC/RWM working paper no. 2008/2.
- Nederlandse overheid. (2019). Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie.
- Scheepers, M., Gamboa Palacios, S., Janssen, G., Moncado Botero, J., van, S. J., Oliveira Machado dos Santos, J., & Uslu, A. W. (2022). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 - Scenario update and analysis of heat supply and chemical and fuel production from sustainable feedstocks*. TNO 2022 P 10162.
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*.