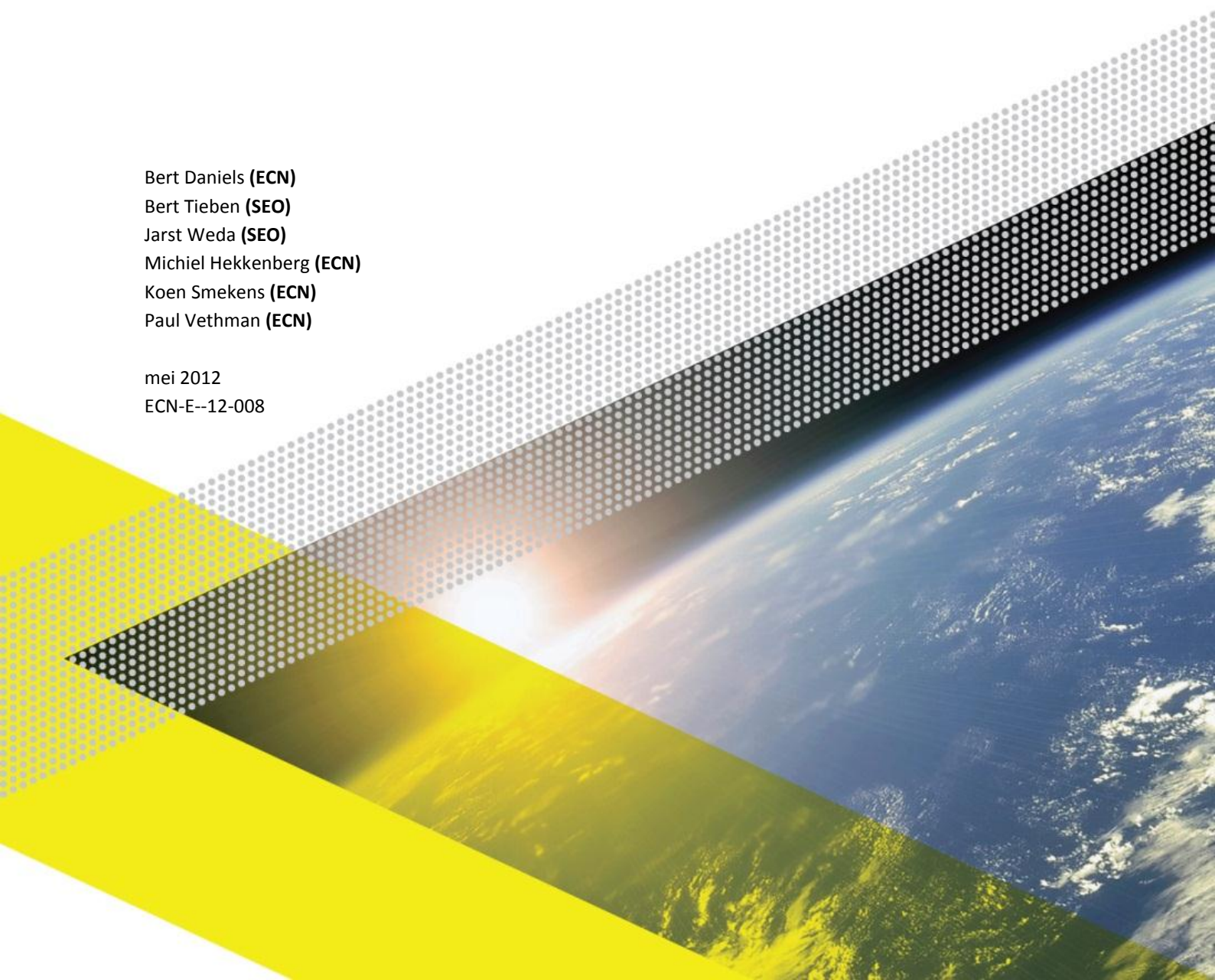


Kosten en baten van CO₂- emissiereductie maatregelen

Bert Daniels (ECN)
Bert Tieben (SEO)
Jarst Weda (SEO)
Michiel Hekkenberg (ECN)
Koen Smekens (ECN)
Paul Vethman (ECN)

mei 2012
ECN-E--12-008



Verantwoording

Dit rapport is geschreven in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Het projectnummer bij ECN is 51380, rapportnummer ECN-E--12-008. Het rapportnummer bij SEO is 2012-32.

Contactpersonen voor dit project zijn de coördinerend auteurs: ECN - Bert Daniëls (tel. +31-88-5154426, e-mail: daniels@ecn.nl), SEO – Bert Tieben (tel. +31-20-5251644, e-mail b.tieben@seo.nl). Naast de auteurs heeft een aantal andere medewerkers van ECN en SEO aan deze studie bijgedragen. Dit zijn Ton van Dril, Paul Koutstaal, Hilke Rösler, Jeffrey Sipma, Casper Tigchelaar en Wouter Wetzels (ECN), Joost Zuidberg en Carl Koopmans (SEO). De finale opmaak is verzorgd door Linda Pronk.

Contactpersoon bij het ministerie van I&M zijn Sander Franse. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft een klankbordgroep ingesteld met vertegenwoordigers van diverse ministeries: Jan Hendriks, Martijn Plantinga (ministerie Economische zaken, Landbouw en Innovatie), David van der Woude (Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties), Hendrik-Jan Heeres, Ewout Visser (ministerie van Financiën), Klaas-Jan Koops, Jochem van der Waals, Els de Wit (ministerie van Infrastructuur en Milieu). Ook hebben Rob Aalbers en Free Huizinga van het Centraal Planbureau onderdelen van het rapport van commentaar voorzien. De auteurs willen alle betrokkenen danken voor hun inbreng. De inhoud van het rapport blijft echter de volledige verantwoordelijkheid van ECN en SEO.

Abstract

The Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment has requested the Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) and SEO Economic Research (SEO) to investigate the costs and benefits of a broad range of technical measures to realise CO₂ emission reductions. The research aims to identify the options that are cost-effective to achieve an 80% reduction of greenhouse gas emissions in 2050, and to determine the total social costs of realising such a reduction of emission levels. Social costs comprise both direct costs and benefits, such as investments and lower energy costs, and indirect costs. The latter include policy costs, effects on air pollution, supply security, economic effects and the benefits of lower GHG-emissions themselves. Uncertainties are huge, but a robust finding is that a broad range of options is required to reduce emissions in a cost-effective way. Only a few options disqualify based on the cost criteria. Social costs depend heavily on policy assumptions and the global context. Without ambitious global climate agreements, net societal costs are the result for the Netherlands, varying from slightly negative to highly positive. If only Europe implements drastic climate policy, the balance may be less positive for the Netherlands, as the welfare benefits of lower European emissions cannot be included. After all, other countries are not bound by the European targets. With such a global climate coalition, benefits may be huge, but net costs still remain possible. A main factor in the calculated welfare benefits is the uncertainty in the valuation of CO₂ emissions.



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Bevindingen	7
1.1 Inleiding	7
1.2 Achtergrond	8
1.3 Mogelijkheden om de kosten te beïnvloeden	8
1.4 Technologiekeuze	10
1.5 Maatschappelijke kosten en baten	13
2 Inleiding	16
2.1 Waarom dit rapport?	16
2.2 Focus	16
2.3 Leeswijzer	18
3 Opties en maatregelpakketten	20
3.1 Uitgangspunten	20
3.2 Maatregelen en kosten	24
3.3 Relevante factoren en onzekerheden	36
4 De maatschappelijke kosten en baten van CO₂-emissiereductiebeleid	48
4.1 Resultaten op hoofdlijnen	48
4.2 De baten van emissiereductie	52
4.3 De kosten van emissiereductie	65
4.4 Saldo van baten en kosten	74
Referentielijst	81

Bijlagen

A.	Beschrijving Optiedocument	84
B.	Overzicht aannames	87
C.	Scenariobeschrijvingen	88
D.	Kostenbegrippen, smalle versus brede kosten	89
E.	Doorgerekende varianten	91
F.	Aanpak MKBA	92
G.	Methodiek milieukosten	113
H.	Kostenranges, emissiereductie en vermeden kosten, optiecategorieën	116
I.	Factsheets optiecategorieën	125
J.	Directe kosten en effecten per optie	141

Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft aan ECN en SEO Economisch Onderzoek gevraagd om onderzoek uit te voeren naar de kosten en baten van de verschillende mogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reducties. Aanleiding is de motie van de Tweede Kamer leden Verburg en Leegte.

Het onderzoek richt zich op de vraag welke maatregelen of *opties* kosteneffectief zijn voor het bereiken van een emissiereductie van 80% in 2050, en wat voor Nederland de totale maatschappelijke kosten en baten zijn van een dergelijke emissiereductie. Maatschappelijke kosten en baten omvatten naast de directe kosten en baten van klimaatmaatregelen: de reguleringskosten, effecten op de luchtkwaliteit, effecten op de voorzieningszekerheid, effecten op de economie en de positieve effecten door de verminderde uitstoot van broeikasgassen.

De onzekerheden in de kosten van de opties zijn groot. Desondanks blijkt, onder verschillende scenario's, een breed scala aan opties nodig om tegen zo laag mogelijke kosten de emissies vergaand omlaag te brengen. Op basis van kostenoverwegingen vallen op voorhand weinig opties af. Om tegen zo laag mogelijke kosten een vergaande emissiereductie te bereiken is het van belang goedkope opties, zoals wind op land en de goedkopere besparingsopties zoveel volledig mogelijk te benutten en waar mogelijk het potentieel te verruimen. Dit voorkomt dat er meer van de dure alternatieven nodig zijn. Bij opties met een lange implementatietijd vereist dit vroegtijdig anticiperen.

Het saldo van de maatschappelijke kosten en baten hangt sterk af van de mondiale context. Bij een wereldwijd klimaatbeleid, is het welvaartseffect in Nederland vooral positief, variërend van enigszins negatief tot zeer positief. Als alleen Europa vergaand klimaatbeleid voert is het saldo voor Nederland minder positief doordat de welvaartswinst van lagere Europese emissies niet kan worden meegeteld. De bandbreedte in de berekende welvaartseffecten wordt vooral bepaald door de onzekerheid in de mate van waardering van CO₂-emissies.

1

Bevindingen

1.1 Inleiding

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft aan ECN en SEO gevraagd om onderzoek uit te voeren naar de kosten en baten van de verschillende mogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reducties. Aanleiding is de motie van de Tweede Kamer leden Verburg en Leegte (zie bijlage).

De motie Verburg en Leegte beoogt het energiebeleid voor de transitie naar een duurzame energievoorziening in een breed, maatschappelijk perspectief te plaatsen. Doel is een zekere en betaalbare energievoorziening met een goede balans tussen ‘groen en groei’. Dit onderzoek brengt in kaart welke mogelijkheden of *opties*¹ voor CO₂ reductie aan deze voorwaarden voldoen en welke kosten en baten deze opleveren. Het onderzoek gaat uit van de maatschappelijke kosten en baten, en brengt daarom behalve de directe ook de indirecte kosten en baten in beeld. Daarnaast wordt er kort ook aandacht besteed aan de overheidsuitgaven voor de CO₂ reducerende maatregelen en de effecten voor de maatschappelijke kosten daarvan.

Het onderzoek richt zich primair op de vraag welke opties kosteneffectief zijn voor het bereiken van een emissiereductie van 80% in 2050 (1.4), in lijn met de Europese voornemens², en wat voor Nederland de totale maatschappelijke kosten en baten zijn van een dergelijke emissiereductie (1.5). Het biedt daarmee ook inzicht in de mogelijkheden die de Nederlandse overheid heeft om die kosten te beïnvloeden (1.3).

¹ Een optie is een mogelijkheid voor toepassing van een technologie met realistische maximale omvang (potentieel), prestaties en kosten op een specifiek gebied of in een sector in een bepaald zichtjaar. De aanduiding maatregel is gereserveerd voor een optie in combinatie met de beleidsinstrumenten die nodig zijn om de optie toe te passen.

² De Europese regeringsleiders hebben in de Europese Raad als doelstelling vastgesteld dat de uitstoot van broeikasgassen binnen de EU in 2050 80 tot 95% lager moet zijn dan in 1990, in de context van de reducties die door ontwikkelde landen als groep nodig zijn om de tweegradendoelstelling te halen.⁶ Hierbij is uitgegaan van een voldoende inspanning van de ontwikkelingslanden, in het bijzonder de meer gevorderde ontwikkelingslanden. (bron: Routekaart 2050)

1.2 Achtergrond

Het onderzoek start met het vaststellen van de goedkoopste manier om de 80% emissiereductie in 2050 te realiseren, op Nederlands grondgebied. De resulterende, kostenoptimale optiepakketten zullen in de praktijk niet 100% haalbaar zijn, maar vormen wel een helder baken om op te koersen. Met dit baken voor ogen is het mogelijk om te kijken naar de acties die in 2020 en/of 2030 voor de hand liggen.

Voor het identificeren van de kostenoptimale pakketten en het berekenen van de kosten is het nodig uitgangspunten te kiezen voor economische ontwikkeling, energieprijzen en ontwikkeling van technologiekosten. De onzekerheden hierin zijn groot, zeker op de termijn van 2050. Daarom vinden de berekeningen plaats voor verschillende aannames, ontleend aan andere studies. Op basis van deze bredere range van aannames is het mogelijk om vast te stellen welke technieken (bijna) altijd robuust en kostenoptimaal zijn, en voor welke technieken dat nooit het geval is.

Voor de mondiale context, die energieprijzen en kostenontwikkeling van technieken bepaalt, is aangesloten bij de Business as usual (BAU) en Blue Map (BM) scenario's van het IEA. Het BAU-scenario gaat uit van een wereld zonder extra klimaatbeleid, in Blue Map is er sprake van een Mondiale klimaatcoalitie, waarin alle landen streven naar forse emissiereducties. Een extra tussenvariant, BAU+, gaat uit van een situatie waarin Europa vasthoudt aan haar klimaatdoelstellingen, terwijl de rest van de wereld dat niet doet.

De mogelijkheden die Nederland heeft voor het reduceren van haar emissies, en de onzekerheden hierin, zijn ontleend aan de routekaarten.

De kosten van klimaatmaatregelen zijn een breed onderwerp, en deze studie kan niet alle mogelijkheden, aspecten en onzekerheden uitputtend en in detail uitdiepen. Wat kostenoptimaal is hangt af van energieprijzen, kostenontwikkeling, beschikbare potentiëlen en de emissiereductie, en deze studie heeft slechts een beperkt scala aan mogelijkheden kunnen verkennen. De berekende optiepakketten vormen dan ook in de eerste plaats een startpunt om de invloed van een aantal van deze aspecten en onzekerheden te verkennen.

1.3 Mogelijkheden om de kosten te beïnvloeden

Vanuit het Nederlandse beleid is er een beperkt aantal mogelijkheden om de kosten van de emissiereductie te beïnvloeden. Die beïnvloeding kan via drie invalshoeken: Het verlagen van de kosten van individuele opties, het verruimen van de mogelijkheden en de keuze van de opties. De eerste twee komen hier aan bod, de laatste in de volgende paragraaf.

Verlagen kosten van technieken

De kostenontwikkeling van technieken wordt grotendeel bepaald op mondiale schaal, maar er bestaan ook op Nederlandse schaal mogelijkheden om de kosten van technieken te verlagen. Een goed gedoseerd maar zeker introductiepad zorgt er bijvoorbeeld voor dat je maximaal profiteert van kostenverlaging door leereffecten. Goed gedoseerd betekent niet te vroeg en te snel, want dan zijn kosten nog te hoog. Maar ook niet te laat en te langzaam, want dat betekent dat het kostenoptimale potentieel niet meer benut kan worden. Ook een evenwichtige mix van innovatiebeleid en uitrolbeleid kan bijdragen aan het laag houden van de kosten. Die evenwichtige mix zal verschillen per techniek, en hangt vooral af van het ontwikkelingsstadium van een techniek, en van ontwikkelingen elders in de wereld.

Verruimen van de mogelijkheden

Bij ambitieuze emissiereducties is het aantal vrijheidsgraden beperkt: er zijn niet heel veel verschillende mogelijkheden om vergaande reducties te halen. Het groter maken van de vrijheidsgraden bij de goedkopere maatregelen zorgt ervoor dat er meer te kiezen valt, en biedt ruimte om dure opties te omzeilen. Hoe meer mogelijkheden er zijn, des te kleiner de kans dat hele dure technieken nodig zijn om de gewenste emissiereductie te halen. Innovatie en het creëren van draagvlak kunnen bijvoorbeeld helpen om op termijn de mogelijkheden te vergroten. Ook het tijdig inzetten op technieken is hiervoor belangrijk, omdat je anders het risico loopt dat je een optie niet meer niet zo in kunt zetten dat de kosten minimaal zijn en daarmee de vrijheidsgraden in de toekomst verder beperkt.

Wachten: kansen en risico's

Of het verstandig is om te wachten om technieken toe te passen hangt dus niet alleen af van de gerealiseerde en nog te verwachten kostendaling van een techniek. Bij technieken die een lange levensduur hebben of waarvan de implementatie veel tijd kost, is het ook belangrijk om vroeg in te zetten omdat anders het volledige potentieel niet tijdig te realiseren is. Dit speelt onder meer een rol bij veel maatregelen aan gebouwen, zoals energiebesparing en hernieuwbare warmte, maar ook bij technieken waar waarvoor grote aanpassingen aan de infrastructuur nodig zijn. Voor de benodigde implementatietijd spelen niet alleen technische factoren een rol, maar bijvoorbeeld ook draagvlak voor bepaalde opties, zoals bij kernenergie en CCS.

Kansen voor lagere kosten

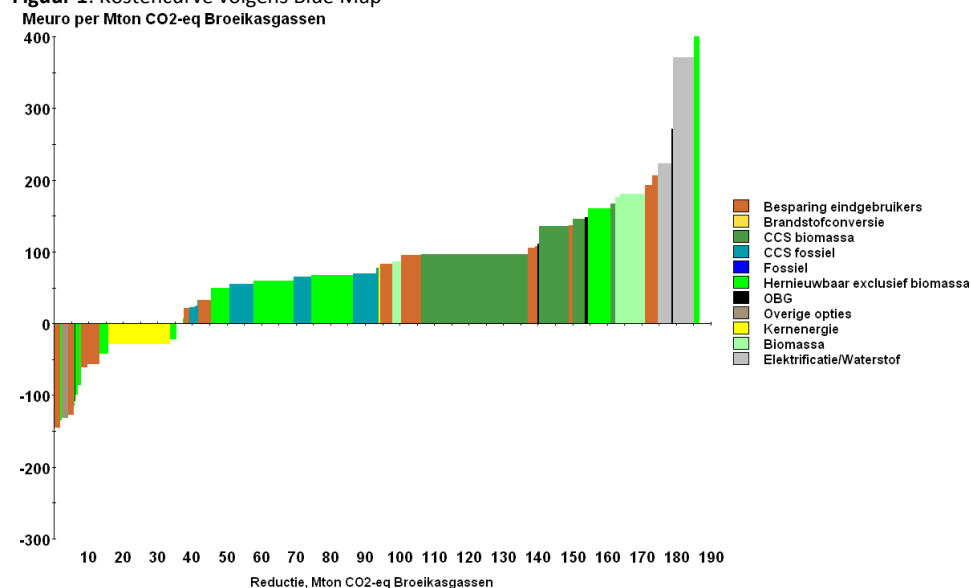
Naarmate technische mogelijkheden van met name de goedkopere opties groter zijn, worden ook de totale kosten lager. Opties die mogelijk nog meer uitgebreid kunnen worden zijn kernenergie, wind op zee, CCS en biomassa: aanbodopties met relatief weinig ruimtegebruik in Nederland. Het uitbreiden van mogelijkheden voor energiebesparing is minder makkelijk, en koste bovendien veel tijd. Daarom is het vooral van belang er voor te zorgen dat geen rendabel potentieel onbenut blijft liggen. Als goedkope opties niet volledig worden benut, kunnen de totale kosten van klimaatbeleid veel hoger worden omdat dan duurdere opties moeten worden ingezet om dezelfde reductie te halen.

1.4 Technologiekeuze

Brede range van maatregelen nodig

Het onderzoek omvat een groot aantal technische maatregelen. De onzekerheden in de kosten van die technieken zijn groot, maar toch blijkt een breed scala aan technieken nodig om tegen minimale kosten de emissies omlaag te brengen. Op basis van kostenoverwegingen vallen op voorhand weinig technische maatregelen af. Dat is vastgesteld bij uiteenlopende energieprijzen, beschikbare potentiëlen en kostenontwikkelingen van technieken.

Figuur 1: Kostencurve volgens Blue Map



Ranking van opties

De figuur laat de kosteneffectiviteit (€/ton CO₂) zien van opties in een optiepakket dat 80% reductie realiseert in 2050, binnen de context van het Blue Map scenario. Hoewel bijna alle soorten opties nodig zijn om 80% emissiereductie te kunnen halen, is er tussen de opties wel een duidelijke rangschikking in de kosteneffectiviteit. De kostencurve laat zien dat de totale kosteneffectiviteit varieert tussen -150 en bijna 400 €/ton CO₂ eq. De onzekerheden zijn hierbij groot. Bij andere energieprijzen, techniekkosten en potentiëlen zullen de netto kosten hoger of lager uitvallen. Gegeven de veronderstelde mogelijkheden zijn alle opties in de curve nodig om 80% emissiereductie te halen, maar de curve laat wel zien dat als de mogelijkheden links en midden in de curve uitgebreid zouden worden, de kosten omlaag kunnen. Binnen de opties is op basis van de consequenties voor de kosten in 2050 het volgende onderscheid te maken:

1. Goedkope opties: Een groot deel van de energiebesparing in alle sectoren, kernenergie, wind op land, CCS bij industriële bronnen. Als het mogelijk is het potentieel van deze opties te vergroten, leidt dit tot verdere verlaging van de kosten. Een belangrijk deel van deze opties heeft per saldo negatieve kosten, het

kan dus uit om deze opties in te zetten, ook als er geen emissiereductiedoel is. Dit geldt des te sterker bij hogere energieprijzen.

2. Duurdere opties, maar (vrijwel) altijd belangrijk om forse emissiereducties te halen. Achterwege laten leidt tot hogere kosten: biomassa, CCS (bij fossiele brandstoffen en biomassa), elektrificatie/waterstof. Vaak zijn deze opties noodzakelijk omdat er weinig andere mogelijkheden zijn om de betreffende emissies te verminderen.
3. Duurdere opties, deze opties zijn noodzakelijk tenzij het potentieel van de goedkopere alternatieven toereikend is om in de behoefte te voorzien. Ze vervullen een soortgelijke rol als goedkopere alternatieven: wind op zee, de duurdere besparingsopties, de duurdere hernieuwbare warmte. Bij internationale afstemming kan een deel van deze opties meer in beeld komen, of juist achterwege blijven, afhankelijk van de behoeften van en mogelijkheden in het buitenland.
4. Niet kostenoptimaal, de opties passen niet in een eindbeeld met 80% emissiereductie: WKK op fossiele brandstoffen zonder CCS, micro-WKK. Deze opties leiden vrijwel altijd tot hogere kosten als je ze in 2050 wel toepast.

Energiebesparing: zeer lage tot hoge kosten

Energiebesparingsmaatregelen zijn verspreid over de hele curve te vinden. Ook binnen de verschillende sectoren is de spreiding groot. Energiebesparing leidt zowel bij de energiegebruiker als bij de energieproducent tot minder emissies. Het achterwege laten van energiebesparing leidt tot veel hogere kosten, en maakt het halen van forse reducties veel moeilijker. De notie dat energiebesparing altijd aantrekkelijker is dan andere maatregelen is echter niet terecht: als er voldoende energie beschikbaar is met weinig kosten en zonder emissies, is toepassing hiervan mogelijk goedkoper dan nog meer besparen. Mogelijkheden voor energiebesparing zijn te vinden in alle eindgebruikssectoren.

CCS: middenmoter

CO₂-afvang en opslag ligt qua kosten in de middencategorie, hoewel er ook enige goedkopere niches zijn bij een aantal industriële processen. Omdat CCS tot extra energiegebruik leidt zijn er vrijwel altijd netto meerkosten. Bij vergaande emissiereducties zijn de restemissies bij CCS bij fossiele bronnen mogelijk een obstakel; dat geldt dan vooral voor kolencentrales. CCS ligt vooral voor de hand bij grootschalige toepassingen, dus in de energiesector en de industrie.

Biomassa (+ CCS): duurder, maar veelzijdig inzetbaar

Biomassa bevindt zich in het algemeen in de duurdere gebieden van de kostencurve. De rol van biomassa is groot omdat het even veelzijdig inzetbaar is als fossiele brandstoffen, en oplossingen biedt voor sectoren waarvoor weinig emissievrije alternatieven zijn. In combinatie met CCS resulteert de inzet van biomassa bovendien in negatieve emissies, die kunnen compenseren voor het ongemoeid laten van bronnen die alleen tegen hele hoge kosten aan te pakken zijn. Zonder biomassa is het halen van 80% reductie veel duurder, en waarschijnlijk niet haalbaar. Dat biomassa, voor zover duurzaam beschikbaar, kosteneffectief is om in te zetten, is een zeer robuuste bevinding, maar de manier waarop dat het beste kan gebeuren is veel onzekerder. De technieken om uit biomassa groen gas of vloeibare brandstoffen te maken, zijn nog volop in ontwikkeling en daarom zijn de kosten en mogelijkheden onzeker.

Grootschalige inzet van onbewerkte biomassa ligt vooral voor de hand in industrie en energiesector, inzet van bewerkte (vloeibare) brandstoffen vooral in transport en gebouwde omgeving,

Kernenergie: robuust qua kosten

Kernenergie is een relatief goedkope optie. Er is veel discussie over onder meer de kosten van kernenergie, maar ook bij hoge kostenaannames blijft kernenergie een kosteneffectieve maatregel. Wel is het kostenvoordeel boven concurrenten als windenergie op zee dan kleiner. Ook als er draagvlak is voor grootschalige inzet van kernenergie, kan het - evenals hernieuwbare elektriciteit - voorzien in slechts een beperkt deel van de totale energievraag. Om ook te voorzien in de behoefte aan warmte en brandstoffen voor de gebouwde omgeving, transportsector en andere sectoren zijn dure aanvullende maatregelen nodig.

Hernieuwbare energie exclusief biomassa: goedkoop, gemiddeld en duur

Ook hernieuwbare energie is verspreid over de hele kostencurve. Relatief goedkoop zijn geothermie, warmte-koudeopslag en wind op land, duurder zijn wind op zee, elektriciteit uit geothermie en zon-PV. Of de duurdere opties kosteneffectief zijn hangt sterk af van beschikbaarheid van andere kosteneffectieve maatregelen. Zo is het Nederlandse potentieel voor wind op zee relatief goedkoop vergeleken met de mogelijkheden die er zijn om aan de Europese elektriciteitsvraag te voldoen. Dus als naar de Europese context wordt gekeken kan wind op zee een grotere rol spelen in de elektriciteitsvoorziening. Hernieuwbare warmte is – veel meer dan hernieuwbare elektriciteit – grotendeels gebonden aan de locatie waar ook de vraag naar warmte is.

Elektrificatie/waterstof: duur maar belangrijk

Voor transport, verwarming van woningen en industriële processen kunnen elektriciteit en waterstof de inzet van fossiele brandstoffen vervangen. Dit vergt vaak relatief dure technieken, maar het maakt het wel mogelijk om bijvoorbeeld het grote potentieel aan CO₂-vrije elektriciteit beter en breder te benutten. Deze technieken kunnen ook een rol spelen bij het opvangen van fluctuaties in het aanbod van hernieuwbare elektriciteit. De onzekerheid over de inzetbaarheid en kostenontwikkeling van deze technieken is nog erg groot.

De weg naar 2050

Bepaalde opties passen minder goed bij 80% reductie in 2050, maar kunnen wel een rol spelen in het traject naar 2050. CCS bij kolencentrales is bijvoorbeeld minder robuust: in verhouding tot de geproduceerde elektriciteit zijn de restemissies waarschijnlijk hoog en is de aanslag op de CO₂-opslagcapaciteit groot. Deze optie kan echter wel een rol spelen in het traject naar 2050, om de ontwikkeling van CCS uit te rollen. Een soortgelijke rol kan meestook van biomassa spelen voor het ontwikkelen van een biomassamarkt. Warmtekrachtkoppeling (WKK) op aardgas zonder CCS speelt geen rol in het eindbeeld, maar kan op middellange termijn nog wel een rol spelen. In 2050 liggen combinaties van WKK met biomassa en/of CCS meer voor de hand.

Welke opties niet?

Een aantal opties valt op grond van kostenoverwegingen duidelijk af, ook als de mogelijke rol van die opties in het traject naar 2050 in beschouwing wordt genomen. Micro-WKK resulteert in 2050 niet in netto emissiereducties, maar juist in een toename, en is op korte termijn nog te duur om kosteneffectief te zijn. Ook WKK op waterstof lijkt geen aantrekkelijke optie. Beide leiden daarom in 2050 tot extra kosten.

Onzekerheden bij biomassa, elektrificatie/waterstof

Hoewel een aantal keuzes op hoofdlijnen robuust lijkt, geldt dit niet voor de detailinvulling. Met name biomassa kan op zeer veel verschillende manieren ingezet worden, waarbij de onzekerheden in de kosten van de verschillende mogelijkheden nog erg groot zijn. Belangrijke alternatieven hierbij zijn directe verbranding voor warmte en/of elektriciteit, en de omzetting in afgeleide brandstoffen zoals groen gas en transportbrandstoffen. Bij elektrificatie en waterstof zijn de technische ontwikkelingen zeer onzeker, en daarmee de precieze invulling en kostenverwachtingen.

1.5 Maatschappelijke kosten en baten

Breder perspectief

Om de effectiviteit van beleidsopdrachten voor klimaatbeleid goed op waarden te schatten is het nodig om alle maatschappelijke kosten en baten mee te nemen. Aanvullend op de analyse van de directe kosten en baten van klimaatmaatregelen zijn dan ook de brede welvaartseffecten van het totale pakket van maatregelen om 80% CO₂-reductie te bereiken, onderzocht. Hierin zijn ook de reguleringskosten (kosten die rechtstreeks voortvloeien uit de keuze van een beleidsinstrument), effecten op de luchtkwaliteit, effecten op de voorzieningszekerheid (bijvoorbeeld via lagere afhankelijkheid van import van fossiele brandstoffen), effecten op de economie (productie, werkgelegenheid en arbeidsproductiviteit) en baten van verminderde uitstoot van broeikasgassen gewaardeerd.

Kosten en baten afhankelijk van mondiale samenwerking

Bij wijze van verkenning van de 'hoeken van het speelveld' is een maatschappelijke kosten en batenanalyse uitgevoerd van een CO₂-reductie van 80% in Nederland, in twee verschillende achtergrondscenario's. In een scenario waarin de hele wereld een dergelijke CO₂-reductie nastreeft (mondiale klimaatcoalitie ofwel Blue Map), is het saldo van maatschappelijke kosten en baten in Nederland overwegend positief (Tabel 1). In een achtergrondscenario waarbij alleen Europa 80% CO₂-reductie nastreeft en de rest van de wereld geen klimaatbeleid voert (het BAU+ scenario), is het saldo van maatschappelijke kosten en baten negatief. De MKBA bevestigt hiermee dat klimaatbeleid moet blijven inzetten op mondiale samenwerking en dat een permanente *Europese Alleingang* vanuit maatschappelijk welvaartspectief een minder positief resultaat oplevert.

Tabel 1: Opbouw MKBA-saldo in beide scenario's (netto contante waarden, mld. euro)

SalDI per type effect	Blue Map			BAU+		
<i>Directe effecten</i>						
Vermeden brandstofverbruik			68,2			90,6
Kosten emissiereductiemaatregelen			-143,2			-149,8
Voorzieningszekerheid			7,6			7,6
<i>Indirecte effecten</i>						
Structurele groei			11,0			11,3
<i>Externe effecten</i>						
Vermeden broeikasgasemissie	36,9	á	276,2			+?
Vermeden luchtverontreiniging			3,9			3,9
Bruto MKBA-saldo	-19,6	á	223,6			-36,3 +?
Netto MKBA-saldo <i>Normering</i>	-48,6	á	194,6			-77,7 +?
Netto MKBA-saldo <i>Beprijzing</i>	-30,2	á	222,3	-61,9	á	-52,6 +?
Netto MKBA-saldo <i>Subsidiëring</i>	-58,5	á	184,7			-74,2+?

Maatschappelijke baten van energiebesparing

Vermeden brandstofverbruik heeft in beide scenario's grote maatschappelijke baten. In het BAU+ scenario zijn deze baten zelfs groter dan in het scenario met een mondiale klimaatcoalitie. Dit komt doordat in het scenario met mondiaal weinig klimaatbeleid de wereldvraag naar fossiele energie hoog is en daarmee ook de prijs. De economische baten van vermeden brandstofverbruik zijn dan hoger. Echter, ook bij een mondiale klimaatcoalitie zijn er aanzienlijke baten van vermeden brandstofverbruik.

Naast de broeikasgasreductie, draagt het bij aan de mondiale afname van de vraag naar fossiele brandstoffen, waardoor de energieprijzen daalt. Hierdoor zijn de kosten van resterend energiegebruik aanzienlijk lager.

Marge in kosten en baten afhankelijk van waardering CO₂-reductie

De grote bandbreedte in het saldo van kosten en baten in het Blue Map-scenario komt door de marge in de waardering van vermeden CO₂-emissies. Er zijn uiteenlopende schattingen van de baten van vermeden schade die afhangen van de grondslag en methodologie voor de schatting van de waarde van CO₂-emissie. De waardering van vermeden CO₂-emissie in het Blue Map scenario houdt bij de onderkant van de bandbreedte slechts rekening met beperkte schade door klimaatverandering, terwijl aan de bovenkant van de bandbreedte rekening wordt gehouden met klimaatverandering die weliswaar een kleine kans kent maar grote (economische) schade impliceert. Het uitsluiten van deze risico's impliceert het rekenen met relatief hoge CO₂-prijzen.

In BAU+ is geen sprake van wederkerigheid of een internationale verplichting om CO₂-emissie te reduceren. Dit betekent dat de Europese inspanning op dit vlak strikt genomen geen baat in termen van welvaartswinst oplevert: volgens de schadekostenmethodiek mag de winst van lagere emissies in Europa niet als baat worden ingeboekt. Dit impliceert echter niet dat CO₂-emissiereductie in BAU+ geen baten heeft. Er bestaat immers ook in BAU+ betalingsbereidheid om CO₂ te reduceren. De hoogte van deze betalingsbereidheid is echter ongewis, daarom is dit effect als 'baat van onbekende omvang' ingeboekt, een zogeheten positieve *pro memorie* (PM) post. Een minimale betalingsbereidheid van € 20,- per ton CO₂-eq is nodig om het bruto

MKBA-saldo van minus € 36 miljard te compenseren. Als Nederlandse burgers bereid zijn dit bedrag te betalen voor de reductie van een ton CO₂-eq, kan de reductiedoelstelling ook via de *Europese Alleingang*, zoals verondersteld in het BAU+ scenario, gunstig uitpakken op de welvaart in Nederland.

Kosten van overheidsregulering

Klimaatbeleid, net als het meeste overheidsbeleid, kent reguleringskosten. Deze zijn meegenomen in het netto MKBA-saldo. Het netto MKBA-saldo is afhankelijk van het beleidsinstrumentarium van de overheid. Normering, beprijzing en subsidiëring laten wederom de hoeken van het speelveld zien. Afhankelijk van het beleidsinstrument vindt er ook een zogenoemde bestedingsimpuls plaats: positieve effecten op binnenlandse productie en de werkgelegenheid, bijvoorbeeld in de bouw- en installatiebranche.

De doorgerekende reguleringskosten zijn met de nodige onzekerheid omgeven en geven vooral een indicatie van ordegroottes. Zo is het aannemelijk dat beprijzing minder welvaartsverliezen oplevert dan subsidiëring en normering. Dit betekent echter niet dat beprijzing altijd de beste maatregel is. Stimuleringsbeleid zal in de praktijk bestaan uit een doordachte combinatie van reguleringsvarianten.

2

Inleiding

2.1 Waarom dit rapport?

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft aan ECN en SEO gevraagd om onderzoek uit te voeren naar de kosten en baten van de verschillende mogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reducties. Aanleiding is de motie Verburg (zie bijlage).

De motie Verburg beoogt het energiebeleid voor de transitie naar een duurzame energievoorziening in een breed, maatschappelijk perspectief te plaatsen. Doel is een zekere en betaalbare energievoorziening met een goede balans tussen 'groen en groei'. Dit onderzoek brengt in kaart welke CO₂-reductiemaatregelen aan deze voorwaarden voldoen. Het onderzoek gaat uit van de maatschappelijke kosten en baten, en brengt daarom behalve de directe kosten en baten ook de indirecte in beeld.

Dit rapport geeft een overzicht van de kosten en baten van maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Kosten en baten omvatten hierbij niet alleen de directe kosten, maar ook externe effecten, de effecten op de economische groei, en de verdeling van de kosten.

Het geeft hiermee beleidsmakers en politici meer inzicht in de kosten van de verschillende maatregelen, de mogelijkheden om de kosten van klimaatbeleid te minimaliseren, en de mogelijkheden om synergie met andere doelen te benutten.

2.2 Focus

Kostensoorten

Het rapport richt zich op een brede definitie van kosten met nadruk op de jaren 2030 en 2050, tegen de achtergrond van een veronderstelde 80% reductie van broeikasgasemissies in Nederland in 2050. 2020 komt vooral aan de orde voor zover op

kortere termijn voorbereidingen moeten worden getroffen om op langere termijn reductie mogelijk te maken en de kosten ervan te verlagen.

Een brede invulling betekent dat kosten niet beperkt zijn tot directe kosten – investeringen, exploitatiekosten en baten van bespaarde energie. Het omvat ook de externe effecten van luchtverontreiniging, het effect op de economische ontwikkeling, en de effecten op importafhankelijkheid van brandstoffen. Naarmate het kostenbegrip breder wordt, is het wel moeilijker om alle onderdelen van de kosten te kwantificeren. De kosten zijn dan ook met meer onzekerheden omgeven. Voor sommige kostencomponenten is het alleen mogelijk om de grootteorde te duiden.

Globale verkenningen

De brede scope van het onderzoek betekent dat niet alle relevante factoren in detail verkend kunnen worden. Ook de focus op de langere termijn betekent dat de resultaten met veel onzekerheden omgeven zijn. Om deze reden abstraheert het rapport veel details, en gaat het ook minder in detail in op afzonderlijke maatregelen. Wel is er veel aandacht voor de factoren die bepalen hoe hoog de totale kosten uitvallen, zoals beschikbare potentiëlen, energieprijzen en kosten van technieken. Scenarioanalyses met varianten brengen de gevoeligheid van de kosten in kaart. De resultaten moeten in de eerste plaats gezien worden als een globale verkenning van de kosten van klimaatmaatregelen, en van een inventarisatie van wat belangrijk is voor die kosten. Het rapport kan binnen de beschikbare tijd en ruimte niet in detail alle factoren behandelen.

Nederlandse focus

Het rapport heeft een duidelijk Nederlandse focus. Mondiale en Europese ontwikkelingen hebben uiteraard wel een beslissende invloed op de mogelijkheden die Nederland heeft om haar emissies omlaag te brengen, en op de kosten die dat met zich meebrengt. En nog belangrijker, alleen met een mondiale aanpak kan klimaatverandering worden tegengegaan. Nederland is te klein om zelfstandig invloed uit te oefenen op klimaatverandering. De mondiale ontwikkelingen vormen in dit rapport alleen de basis voor berekeningen – bijvoorbeeld energieprijzen, CO₂-prijzen, kostenontwikkelingen van technieken zijn afgeleid uit de mondiale context – maar blijven zelf verder grotendeels buiten beeld.

Een ander aspect van de Nederlandse focus is dat alleen de binnenlandse reductiemogelijkheden voor Nederlandse emissiereducties berekend worden. Met internationale afstemming kunnen kosten mogelijk omlaag worden gebracht, bijvoorbeeld door import en export van energie.

Maatschappelijk perspectief

Alle kostencijfers zijn vastgesteld vanuit het maatschappelijk perspectief. Dat betekent dat de kosten niet zo veel zeggen over de aantrekkelijkheid van opties voor bedrijven en burgers, en dus ook niet zoveel zeggen over de kans dat opties autonoom – zonder beleid – toegepast worden. Ook betekent het dat verschillen in investeringsrisico's tussen sectoren geen rol spelen voor de kosten van maatregelen.

Internationale achtergrondscenario's

Startpunt voor de berekeningen zijn de Business as Usual (BAU) en Blue Map scenario's van het IEA, met een tussenvariant BAU+. In het BAU-scenario is er geen mondiaal klimaatbeleid, stijgen fossiele energieprijzen, blijft de CO₂-prijs laag en blijven kosten van technieken om broeikasemissies te reduceren relatief hoog. In Blue map is er wel mondiaal klimaatbeleid, zijn fossiele energieprijzen lager, de CO₂-prijs hoger en kosten van technieken lager. BAU+ is een tussenvariant waarin Europa de emissies wel fors gaat verminderen, terwijl (een groot deel van) de rest van de wereld dat niet doet. Prijzen en kosten liggen tussen BAU en Blue Map in.

Gebruik van de scenario's voor de verkenning van directe kosten

Voor de berekeningen van kostenoptimale optiepakketten in Hoofdstuk 3 zijn de achtergrondscenario in de eerste plaats een bron van gegevens voor energie en CO₂-prijzen, en als een achtergrondbeeld waarbinnen de kostenontwikkeling van technieken kan worden bepaald. Door de verschillen tussen de achtergrondscenario's is het ook mogelijk inzicht te krijgen in de effecten van optiekosten en energieprijzen op de optiepakketten en hun kosten. Er zijn geen verschillen verondersteld tussen de achtergrondscenario's in de beschikbaarheid van opties voor Nederland. Het Blue Map scenario is ook het startpunt voor de verkenning van effecten van alternatieve aannames: grotere potentiëlen voor biomassa, wind, CCS en kernenergie, andere kostenontwikkeling van technieken, het niet of minder beschikbaar zijn van opties etc.

Gebruik van de scenario's voor de MKBA

Hoofdstuk 4 brengt tegen de achtergrond van BAU+ en Blue Map in beeld wat de maatschappelijke kosten en baten zijn van een broeikasgasemissiereductie van 80%, vergeleken met voortzetting van het bestaande beleid. Hiervoor is het ijkpunt de referentieraming 2010-2020 (Daniels, Kruitwagen, 2010). De maatschappelijke kosten en baten worden hierbij bepaald door een situatie met 80% reductie door Nederland in BAU+ of Blue Map te vergelijken met voortzetting van het bestaande beleid. Voor beide MKBA's zijn er ook drie globale beleidsvarianten: normeren, beprijzen, subsidiëren.

2.3 Leeswijzer

Het vervolg van dit rapport is opgebouwd uit drie delen. Eerst volgen twee hoofdstukken die de belangrijkste bevindingen beschrijven voor de opties en maatregelpakketten (Hoofdstuk 3) en de maatschappelijke kosten en baten van een selectie van deze maatregelpakketten (Hoofdstuk 4). Om deze hoofdstukken transparant en toegankelijk te houden is informatie over de gevolgde aanpak, cijfermatige onderbouwing en detailinformatie over individuele maatregelen zoveel mogelijk ondergebracht in de bijlages.

Hoofdstuk 3 laat zien hoe de kosten van opties en optiepakketten samenhangen met verschillende, al dan niet beïnvloedbare, factoren. Kosten omvatten hier de directe jaarlijkse kosten van opties en maatregelpakketten, vanuit een maatschappelijk perspectief, en de externe effecten van luchtverontreiniging. Dit hoofdstuk besteedt

aandacht aan de rolverdeling van de maatregelen, de interacties tussen de maatregelen en het belang van energieprijzen, beschikbaarheid en potentiëlen van technieken en de kostenontwikkeling van technieken. Ook gaat het in op de verdeling van maatregelen tussen sectoren, en de verdeling van emissiereducties in de tijd, en laat het zien welke kostenstijgingen optreden als maatregelen niet beschikbaar zijn, of juist geforceerd ingezet worden.

Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de maatschappelijke kosten-baten analyse. De directe kosten uit Hoofdstuk 3 worden hier aangevuld met andere kosten en baten. Naast directe kosten en baten zoals investeringen en energiebatens beschrijft dit hoofdstuk de baten van CO₂-emissiereductie, en bestedingsimpulsen en effecten op de structuur van de economie. Voor drie instrumentatierichtingen (normeren, beprijzen en subsidiëren) wordt een ruwe inschatting gegeven van de kosten van beleid.

De uitgebreide bijlage van het rapport omvat overzichten voor de verschillende optiepakketten, categorieën maatregelen, met individuele kosten, de extra kosten die ontstaan als maatregelen niet beschikbaar zijn, de rol die de maatregelen hebben voor het systeem als geheel, en hun score op specifieke kostenaspecten zoals externe effecten en importafhankelijkheid. Ook beschrijft de bijlage de aanpak, met cijfermatige overzichten van aannames voor energieprijzen en technieken. De bijlage bevat tevens overzichten voor de verschillende categorieën maatregelen en kosten, de rol die deze maatregelen hebben voor het systeem als geheel en hun score op specifieke kostenaspecten zoals externe effecten en importafhankelijkheid.

3

Opties en maatregelpakketten

3.1 Uitgangspunten

Dit hoofdstuk laat zien met welke opties de een veronderstelde 80% emissiereductie in 2050 kan worden gerealiseerd, en tegen welke directe kosten. Het laat zien welke technieken passen in een kostenoptimale aanpak van broeikasgasemissies, welke factoren hierbij van invloed zijn, en welke mogelijkheden er zijn om hier rekening mee te houden vanuit het beleid. De context waarbinnen deze analyse plaatsvindt is een 80% reductie van emissies op Nederlands grondgebied in 2050 en 40% in 2030. In hoeverre deze context zelf kostenoptimaal is, is geen onderdeel van de analyse.

Startpunt: kostenoptimale pakketten van maatregelen

Startpunt voor de analyse zijn kostenoptimale optiepakketten maatregelpakketten: de maatregelpakketten waarmee Nederland de emissiereductie tegen minimale kosten haalt, uitgaande van binnenlandse maatregelen, en ten opzichte van een baseline waarin het huidige beleid wordt voortgezet³. Het hoofdstuk laat zien hoe samenstelling en kosten van de kostenoptimale pakketten afhangen van verschillende factoren, zoals energieprijzen, kostenontwikkeling van technieken en de beschikbaarheid van potentiëlen. De kostenoptimale pakketten vormen een baken waarop het beleid kan koersen, maar ze zijn in praktijk nooit geheel te realiseren. Daarom laat het hoofdstuk ook zien wat de consequenties zijn van afwijkingen van de optimale pakketten, en gaat het in op de mogelijkheden die er zijn om in de buurt te komen van de optimale pakketten. Een belangrijk aspect hierbij is de fasering in het traject op weg naar 2050.

³ Ijkpunt is de doorgetrokken referentieraming 2010-2020, variant met vastgesteld beleid. Het ijkpunt voor het vastgestelde beleid is najaar 2009: het beleid dat toe officieel van kracht was. Dat betekent dat de baseline niet beleidsarm is, maar er al het nodige klimaatbeleid plaatsvindt.

Directe kosten en externe effecten van luchtverontreiniging

Directe kosten betreffen investering, bediening en onderhoud en vergadering in energiegebruik, evenals de externe effecten op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Deze laatste zijn bepaald als vermeden kosten van maatregelen die anders nodig zouden zijn. Andere externe effecten – bijvoorbeeld visuele hinder door windmolens, effecten op de natuur, risico's op ongevallen met kerncentrales – zijn niet gekwantificeerd. In de directe kosten is rekening gehouden met het effect van een maatregel op de directe kosten in andere sectoren: de netto kosten van bijvoorbeeld de elektriciteitsproductie door zon-PV omvatten ook de vermeden kosten van elektriciteitsproductie door kolen- en gascentrales.

Macro-economische effecten zijn niet meer aan individuele opties toe te rekenen, en zijn daarom geen onderdeel van dit hoofdstuk maar van hoofdstuk 4. De directe kosten zijn berekend als Nationale Kosten volgens de Methodiek Milieukosten (VROM, 1998).

Waar de kosten en effecten

Ook komt aan de orde in welke sectoren welke kosten en effecten optreden. Dit beantwoordt echter niet de vraag wie de kosten betaalt. Beleid bepaalt wie met de initiële kosten van maatregelen geconfronteerd wordt, en daarom zijn aanvullende veronderstellingen nodig over het beleid dat ingezet wordt om de maatregelen te implementeren. Ook dit is onderwerp van het volgende hoofdstuk.

Jaarlijkse kosten

Alle getoonde kosten in dit hoofdstuk zijn jaarlijkse kosten voor 2050 of 2030. Dit in tegenstelling tot H4, dat de Netto Contante Waarde van de verschillende kosten en baten laat zien. Dit hoofdstuk vergelijkt jaarlijkse kosten met jaarlijkse effecten, en kan zodoende ook de kosteneffectiviteit (kosten per ton CO₂eq reductie) berekenen. Ook dit is dan weer een momentopname voor het betreffende jaar.

Focus op 2030 en 2050

De getoonde maatregelpakketten zijn in kaart gebracht voor 2030 en 2050, op basis van verschillende aannames voor energieprijzen, beschikbaarheid en kosten van technieken, en limiterende factoren, zoals de totale beschikbaarheid van biomassa en ondergrondse opslagcapaciteit voor CO₂. Het begrip beschikbaarheid is hierbij ruim ingevuld: technieken kunnen ook beperkt beschikbaar zijn omdat het maatschappelijk draagvlak ontbreekt, of omdat geen beleid denkbaar is dat een bepaalde technische mogelijkheid volledig kan ontsluiten.

Optiepakketten voor 80% emissiereductie in 2050 en 40% in 2030

De optimale maatregelpakketten voor 2030 en 2050 zijn de goedkoopste manier om - gegeven de verschillende aannames - een bepaald doel te halen. Hierbij is uitgegaan van 80% binnenlandse emissiereductie voor 2050, ten opzichte van 1990. Dit is in lijn

met het Europese voornemen om 80% emissiereductie te realiseren⁴. De resultaten voor 2030 zijn afzonderlijk geoptimaliseerd op basis van een tussendoel van 40%, op basis van een inschatting van de mate van toepassing en beschikbaarheid die past in het traject naar 2050.

Dit rapport focust weliswaar op de kosten en baten van verschillende CO₂ reducerende maatregelen en niet op de benodigde reducties, maar het is wel nodig om over dit laatste een aannname te doen. Het gaat dus uiteindelijk om de kosteneffectiviteit van een optie binnen de context van de verdergaande reductiedoelstellingen op lange termijn. In hoeverre de 80% en 40% kostenoptimaal is voor Europa en de afzonderlijke lidstaten, of dat een andere mondiale en Europese verdeling van de reducties tot lagere kosten leidt, is geen onderwerp van deze studie.

Nederlandse maatregelen

Deze analyse gaat er van uit dat de reductiemaatregelen in Nederland toegepast worden. In de praktijk zal het deels onzeker zijn welke reductie precies in Nederland zal plaatsvinden: dit hangt namelijk ook af van de kosten en beschikbaarheid van reductiemaatregelen - inclusief hernieuwbare energie - in andere landen. Nederland kan dus bijvoorbeeld ook (hernieuwbare) elektriciteit gaan importeren of exporteren. Een dergelijke internationale uitwisseling biedt mogelijkheden om de kosten te verlagen.

Uitstoot in 2030 en 2050

80% reductie t.o.v. 1990 betekent voor Nederland in 2050 nog een uitstoot van 45 Mton. Uitgaande van een lineaire afname van de toegestane emissies geldt in 2030 een reductie van 40% ofwel 135 Mton. Dit is in lijn met de voorwaardelijke ambitie zoals gesteld in de klimatebrief 2050: uitdagingen voor Nederland bij het streven naar een concurrerend, klimaatneutraal Europa' van het Ministerie van infrastructuur en Milieu.

Onzekerheden

Om de robuustheid van de uitkomsten te toetsen zijn ook de maatregelpakketten voor afwijkende uitgangspunten beschouwd. Het is onmogelijk om binnen het bestek van dit rapport alle onzekerheden te verkennen. Daarom zijn centrale waarden gekozen van waaruit de effecten van een select andere aannames in kaart worden gebracht.

Startwaarden voor de aannames

Tabel 2 geeft een overzicht van de belangrijkste centrale aannames die gehanteerd zijn voor de beschikbaarheid van potentiële en opties. Sommige potentiële hebben betrekking op de beschikbaarheid van een bepaalde bron, bijvoorbeeld biomassa, andere op de veronderstelde inzetbaarheid van een specifieke techniek, bijvoorbeeld wind op land. Tenzij anders vermeld gelden de waarden uit de tabel. Bijlage B geeft een

4 Dit voornemen geldt binnen de context van een mondiale coalitie waarbij zowel de ontwikkelde landen als andere regio's hun bijdrage leveren om de 2-graden doelstelling te halen. Een Europese doelstelling van 80% betekent niet dat de elke lidstaat afzonderlijk 80% reductie moet halen. Via internationale uitwisseling van mogelijkheden kan Europa tegen lagere kosten de 80% reductie halen, waarbij de reducties per lidstaat zullen variëren. De 80% voor Nederland hoeft dus niet het – in Mondiale of Europese context - kostenoptimale reductieniveau te zijn: dat kan hoger of lager liggen.

uitgebreider overzicht, waarin ook aanvullende aannames staan die een kleinere impact hebben op de resultaten.

Tabel 2: Standaardwaarden voor potentiëlen en andere limiterende factoren

Factor	Aanname 2030	Aanname 2050
Beschikbare biomassa	300 PJ	500 PJ
Waarvan binnenlands	150 PJ	200 PJ
Waarvan buitenlands	150 PJ	300 PJ
Maximale elektriciteitsproductie kerncentrales	72 PJ (20TWh)	144 PJ (40TWh)
Beschikbaarheid jaarlijkse CO ₂ -opslagcapaciteit	20 Mton	50 Mton
Maximale elektriciteitsproductie wind op land	36 PJ (10 TWh) ⁵	36 PJ (10 TWh)
Maximale elektriciteitsproductie wind op zee	162 PJ (45 TWh)	324 PJ (90 TWh)
Geothermie voor warmte	50 PJ	50 PJ

Scenario's: Business as usual (BAU), Europese alleingang (BAU+), Blue map

De mogelijkheden die Nederland heeft om haar broeikasgasemissies te verlagen en de kosten daarvan, worden mede bepaald door mondiale ontwikkelingen. De mondiale context bepaalt de ontwikkeling van energieprijzen, en bepaalt ook hoeveel innovatie die er plaats vindt in CO₂-emissie reducerende technieken. Startpunt zijn de BAU en Blue Map scenario's van het IEA en de tussenvariant BAU+ (zie Hoofdstuk 2). Het Blue Map scenario neemt in de berekeningen een centrale plaats in, en wordt ook gebruikt voor het verkennen van de effecten van andere potentiële aannames.

Plausibiliteit

De scenario's spelen in dit hoofdstuk vooral een belangrijke rol om inzicht te krijgen in de rol van kostenontwikkeling van technieken en de rol van energieprijzen. 80% emissiereductie in Nederland is echter niet reëel in het BAU-scenario, en het is ook zeer de vraag in hoeverre Europa vasthoudt aan 80% emissiereductie als de rest van de wereld zich niet committeert aan vergaande emissiereductie, zoals in BAU+.

Prijzen van fossiele energie

Bij krachtig mondiaal klimaatbeleid zal de vraag naar fossiele energie dalen, en is het waarschijnlijk dat prijzen minder sterk stijgen of zelfs dalen. Uiteraard hangen deze prijseffecten ook af van welke opties mondiaal toegepast worden: CCS leidt bijvoorbeeld niet tot minder maar tot meer energiegebruik.

Prijzen van biomassa

Voor biomassa daarentegen zal de vraag stijgen. Wat energiegebruikers over hebben voor biomassa zal daarbij in belangrijke mate afhangen van de opportuniteitskosten ten opzichte van fossiele brandstoffen: bij een gelimiteerd

⁵ Voor wind op land en geothermie is na 2030 geen verdere potentieelontwikkeling verondersteld. Bij wind op land zou dit bij gelijkblijvend ruimtebeslag mogelijk nog kunnen door vergroting van het vermogen per windmolen. Bij geothermie zijn bronnen uitputbaar: de warmteproductie van een geothermieput neemt na verloop van tijd af. Hier is verondersteld dat de verschillende factoren elkaar tussen 2030 en 2050 compenseren.

aanbod van biomassa voor energietoepassingen zal een prijs tot stand komen die afhangt van fossiele energie prijzen, de CO₂-prijs, en de extra handlingskosten en efficiencyverliezen die gebruik van biomassa met zich meebrengt⁶. Bij de energie- en CO₂-prijzen uit BAU en Blue Map lijken de verschillende factoren elkaar ongeveer te compenseren, en zijn de te verwachten biomassaprijzen op basis van opportuniteitskosten ongeveer gelijk (zie Bijlage C). Daarom is in alle scenario's van dezelfde biomassaprijzen uitgegaan.

Kostenontwikkeling technieken

Een mondiale klimaatcoalitie, met wereldwijde toepassing van maatregelen om broeikasemissies te verminderen, zal ook leiden tot verdere ontwikkeling en kostendaling van toegepaste technieken. In Blue Map is de daling van deze kosten het grootst, in BAU het kleinst.

3.2 Maatregelen en kosten

3.2.1 Optiepakketten en kosten

Kosten en effecten

Figuur 2 en 3 tonen de kosten en emissiereductie van de belangrijkste optiecategorieën bij 80% emissiereductie, voor BAU, BAU+, Blue map en een aantal van Blue map afgeleide varianten met andere kosten en potentiële (zie bijlage). De Nationale (meer)Kosten liggen tussen 1 en 16 miljard per jaar in 2050. De doorgerekende optiepakketten zijn gebaseerd op optimalisatie van binnenlandse maatregelen. Ze kunnen daarmee zowel een te optimistisch als een te pessimistisch beeld geven: in de praktijk is het niet mogelijk om met beleid alle beschikbare opties kostenoptimaal in te zetten; de werkelijke kosten zullen dus hoger liggen. Maar internationale uitwisseling van mogelijkheden kan juist weer tot lagere kosten leiden. Desondanks is het kostenoptimale beeld een helder referentiepunt voor het verkennen van de mogelijkheden en het uitzetten van de koers.

De kosten van het maatregelpakket zijn in Blue Map hoger dan in BAU en BAU+: de grotere kostendaling van technieken heeft minder impact dan de daling van de energieprijzen in Blue map.⁷

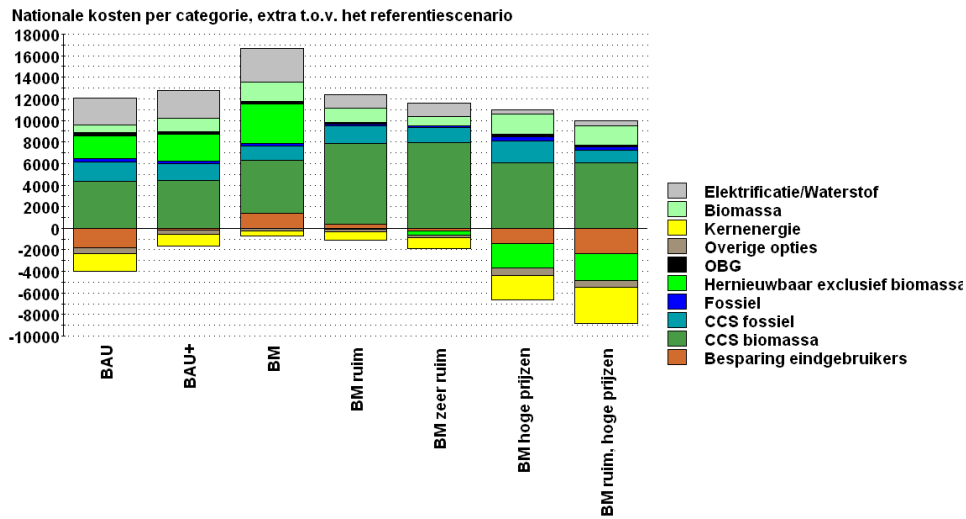
Sommige maatregelen –energiebesparing, hernieuwbaar exclusief biomassa - hebben in een aantal varianten netto negatieve kosten, kernenergie in alle varianten. Omdat het kosten vanuit een maatschappelijk perspectief zijn wil dit niet zeggen dat ze daarmee

⁶ De concurrerende vraag naar biomassa voor voedsel ligt in de eerste plaats besloten in de beschikbaarheid van biomassa, niet in de prijs van dat deel wat beschikbaar is voor energietoepassingen.

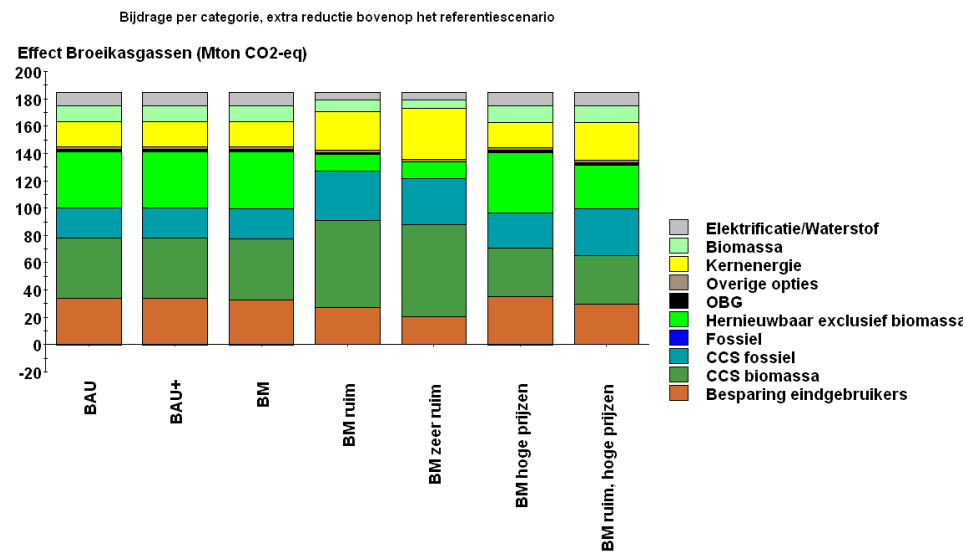
⁷ Voor de totale kosten en baten is dit plaatje uiteraard niet compleet: de daling van de energieprijzen is immers mede te danken aan het realiseren van het maatregelpakket in Nederland en andere landen. In de kosten-batenanalyse in Hoofdstuk 4 worden deze baten wel in beeld gebracht.

ook aantrekkelijk zijn voor investeerders, ze worden dus niet automatisch toegepast in de baseline.

Figuur 2: Nationale kosten naar optiecategorie, BAU, BAU+, Blue map en varianten



Figuur 3: Emissiereductie naar optiecategorie, BAU, BAU+, Blue map en varianten



Waar de verschillen in kosten tussen BAU, BAU+ en Blue map aanzienlijk zijn, geldt dat niet voor verdeling van de emissiereducties over de maatregelen: die is nagenoeg hetzelfde. Dit is een aanwijzing dat er bij de veronderstelde potentiëlen niet veel keuzeruimte is. Die is er wel in de verschillende varianten van Blue Map met grotere potentiëlen. Met name kernenergie, biomassa en CCS krijgen dan een groter aandeel, ten koste van energiebesparing en overig hernieuwbaar.

Methodiek milieukosten

De kosteneffectiviteiten in de curve zijn gebaseerd op de zogenaamde Nationale Kosten uit de Methodiek Milieukosten. De Nationale Kosten zijn maatschappelijke kosten, vanuit het perspectief van Nederland als geheel (zie Bijlage A). Hierin zijn alle soorten kosten vertaald naar jaarlijkse kosten, zodat ze een-op-een vergeleken kunnen worden met de jaarlijkse effecten.

Welke kosten zitten in de curve?

Alle kosten van opties die 2050 bijdragen aan de aan de emissiereductie in 2050 zijn onderdeel van de kostencurve. Een windmolen uit 2035 die nog draait in 2050 is dus opgenomen in de curve, op basis van de investeringskosten die in 2035 daarvoor gemaakt zijn. Een windmolen die in 2050 inmiddels afgebroken is, zit niet in de kostencurve voor 2050.

Emissiereducties en kosten

In de kostencurve zoals getoond worden de emissiereducties en kosten van alle maatregelen bepaald door ze te vergelijken met de referentietechnieken uit de baseline waarvoor ze in de plaats komen. In de meeste gevallen is dit eenduidig: besparing maakt minder ketelvermogen nodig, biomassa komt in de plaats van fossiel, en CCS komt in de plaats van soortgelijke installaties zonder CCS.

Referenties bij elektriciteit

Bij elektriciteit is de referentietechniek minder eenduidig. Bij windmolens, kerncentrales en toepassing van elektriciteitsbesparing worden de kosten en effecten bepaald door de elektriciteit die ze produceren dan wel besparen te verrekenen met de gas- en kolencentrales uit het achtergrondscenario. Dat betekent dat het effect van bijvoorbeeld windenergie niet constant is, maar afhangt van de mix van conventionele centrales die verdrongen wordt.

Complicatie bij meer elektriciteitsgebruik

Bij elektriciteit treedt er wel een complicatie op, omdat er naast elektriciteitsbesparing en alternatieve opwekking ook opties zijn die juist tot meer elektriciteitsgebruik leiden. Om nu consequent te zijn, en te komen tot kloppende totalen van kosten en effecten, moeten ook maatregelen die leiden tot extra vraag naar elektriciteit met dezelfde gas- en kolencentrales verrekend worden. Dat leidt soms tot contra-intuïtieve resultaten. Productie van waterstof met elektrolyse van elektriciteit leidt volgens deze systematiek tot een emissietoename, terwijl in werkelijkheid de CO₂-vrije elektriciteit van windmolens en kerncentrales wordt ingezet. Een systematiek die hier rekening mee zou houden roept echter de vraag op welke emissiereductie dan aan wind- en kernenergie zou mogen worden toegerekend.

Individuele kosten versus totale kosten

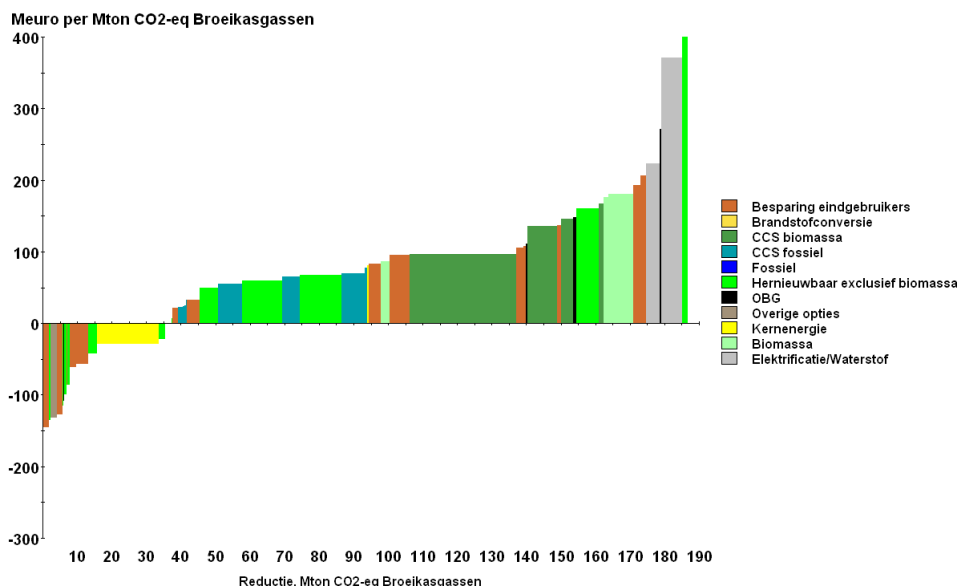
Zoals uit het voorgaande al duidelijk zal zijn speelt de samenhang tussen maatregelen een belangrijke rol. Bij inzet van elektriciteit uit kernenergie, windmolens en biomassaverbranding met CCS, in elektrische auto's is alleen nog bij benadering aan te geven wat de kosteneffectiviteit voor de individuele opties

is, door deze te vergelijken met technieken uit de baseline. Daarmee is niet het hele effect van een optie in beeld: de elektrische auto is bijvoorbeeld relatief duur, maar maakt het wel mogelijk om beter gebruik te maken van het grote potentieel aan CO₂-vrije elektriciteitsopwekking. De gemiddelde kosteneffectiviteit van een optie binnen een bepaald optiepakket zegt daarom niet alles over de bijdrage van die optie aan de totale kosten. Een consequentie van de gevolgde methodiek is verder dat de kosteneffectiviteit van de duurste optie in de getoonde curves niet gelijk is aan de marginale CO₂-prijs.

Een brede range aan maatregelen nodig

Figuur 4 toont een voorbeeld van een kostencurve voor 2050, gebaseerd op de standaardaanname voor het Blue map scenario (zie Bijlage C). De curve geeft de goedkoopste manier weer om in 2050 de 80% emissiereductie te halen. Voor vrijwel alle soorten maatregelen is er een niche in het kostenoptimale maatregelpakket. Op voorhand vallen er op basis van kostenoverwegingen bijna geen opties af. Ondanks forse verschillen in de gemiddelde kosten van de verschillende maatregelen, zijn alle hoofdgroepen van maatregelen vertegenwoordigd in de curve: energiebesparing, inzet van biomassa, andere hernieuwbare energie, CO₂-opvang en opslag, kernenergie en maatregelen voor de overige broeikasgassen. Verder worden koolstofarme energiedragers geproduceerd in de aanbodsectoren om in de vraagsectoren ingezet te worden in plaats van fossiele brandstoffen: elektrificatie/waterstof, groen gas en biobrandstoffen. Hoewel het grootste deel van de maatregelen minder dan 100€/ton CO₂-equivalent kost, zijn ook fors duurdere maatregelen nodig om het doel te halen.

Figuur 4: Nationale kostencurve van maatregelen 2050 Blue map



Waarom is een brede range van maatregelen kostenoptimaal?

Dat er, ondanks forse kostenverschillen, van alle soorten maatregelen wel iets in het kostenoptimale pakket zit, hangt samen met de beperkte beschikbaarheid van de verschillende potentiëlen, grote variatie in kosten binnen maatregelsoorten, en het feit dat niet elke soort maatregel even makkelijk in elke soort energiebehoefte kan voorzien.

Convergentie of divergentie

Volgens (CPB, 2011) is van belang welke technieken wereldwijd het meeste toepast worden, omdat de kosten van deze technieken het meest zullen dalen door leereffecten. Daardoor zal een beperkt aantal technieken uiteindelijk als winnaar verschijnen.

Tegenover deze tendens naar convergentie staan echter ook factoren die juist kunnen leiden tot divergentie. De potentiëlen van de afzonderlijke technieken zijn – zowel binnen Nederland, Europa als mondiaal - naar verwachting ontoereikend om de gehele gewenste emissiereductie te realiseren, en bovendien kan niet elk potentieel even makkelijk in elke soort behoefte aan energie – warmte en kracht voor verschillende toepassingen- voorzien. Dat betekent dat een bredere portfolio aan maatregelen vereist is om de vereiste emissiereductie te realiseren.

Verder speelt een rol dat, meer dan bij de huidige energietechnieken, bij de CO₂-arme tegenhangers de kosten en mogelijkheden sterker afhangen van lokale omstandigheden, schaalniveau en inbedding: bijvoorbeeld beschikbaarheid van wind, aardwarmte, zonnuren, nabijheid en kosten van CO₂-opslagmogelijkheden. Dat betekent dat de lokale omstandigheden een grotere rol spelen voor welke techniek het meest voor de hand ligt.

Beperkte potentiëlen en kostenvariatie

Bij 80% emissiereductie moet de uitstoot van broeikasgassen ongeveer 185 Mton CO₂-equivalenten broeikasgassen omlaag ten opzichte van de baseline. De verschillende bronnen van emissiereductie – CCS, biomassa en andere hernieuwbare energie, kernenergie, besparing - zijn elk afzonderlijk veel te klein om deze emissiereductie mogelijk te maken. Daarnaast is er binnen veel van deze bronnen een grote variatie in kosten. Dat betekent dat vrijwel altijd een deel van deze bronnen kosteneffectief is, ook als andere – gemiddeld goedkopere – bronnen meer dan toereikend zijn.

Beperkingen in de inzet

Ook zijn er beperkingen in de manier waarop verschillende bronnen ingezet kunnen worden. Kernenergie en windenergie zijn relatief goedkoop, maar voorzien alleen in de behoefte aan elektriciteit. Die elektriciteit kan wel voorzien in de behoefte aan warmte en energie voor transport, maar dat vergt dure aanvullende maatregelen, en het resulteert in extra omzettingsverliezen. Omzetting van biomassa in warmte of brandstof is dan toch weer goedkoper.

Effect van andere aannames

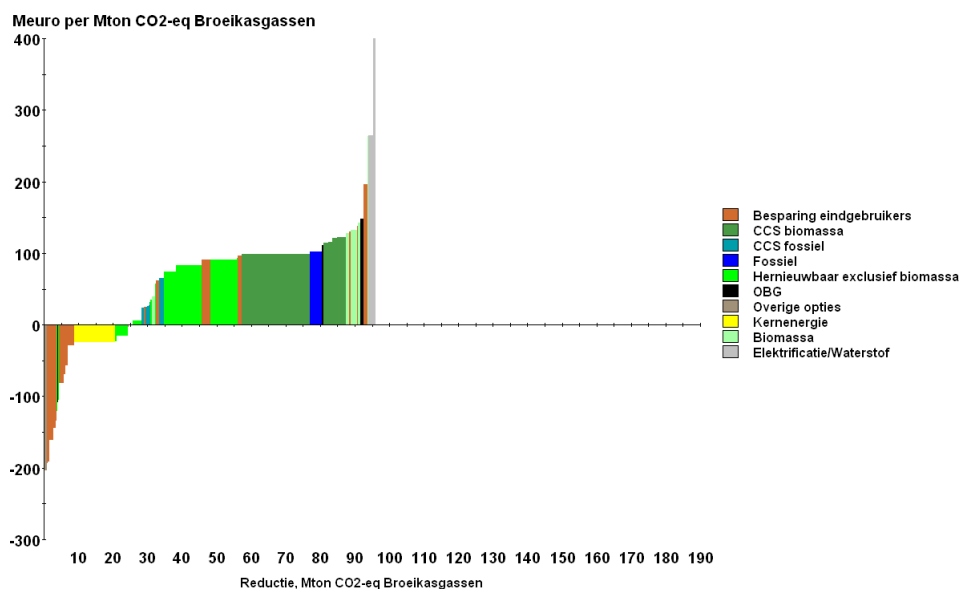
De inzet van een brede range van maatregelen lijkt niet erg gevoelig voor de veronderstelde kosten: ook bij andere kostenaannames - met tot 50% hogere of lagere kosten voor afzonderlijke opties - blijft dit beeld staan. Als de vereiste emissiereductie kleiner is, of de mogelijkheden (potentiëlen) zijn groter, zijn er wel meer mogelijkheden om het zonder bepaalde maatregelen te stellen (zie ook Paragraaf 3.3.1).

2030

Het maatregelpakket in 2030 is gebaseerd op een reductie van 40%, uitgaande van lineaire afname tot 2050. Omdat 2030 een tussenstation is op weg naar 2050, is het zinvol om niet alleen voor 2030 de kosten te minimaliseren, maar ook al rekening te houden met de gevolgen die keuzes hebben voor de verdere toekomst. Van belang daarbij is hoe ver je in 2030 moet zijn met de toepassing van verschillende technieken om in 2050 de 80% te kunnen halen tegen minimale kosten. Verder zullen er in 2030 gebouwen en kapitaalgoederen geplaatst worden die in 2050 nog steeds bestaan. Als deze niet passen bij 80% reductie in 2050 dan zorgen ze voor extra kosten.

Daarnaast is ook wel enige ruimte om op de kosten in 2030 zelf te optimaliseren. Bepaalde maatregelen zullen in 2030 naar verwachting nog niet of minder beschikbaar zijn, omdat er nog meer technologische ontwikkeling nodig is. Het maatregelpakket zoals getoond in de curve houdt met de verschillende aspecten rekening. Wel zijn er grote onzekerheden bij de verschillende factoren.

Figuur 5: Nationale kostencurve van maatregelen 2030 Blue map



3.2.2 Maatregelcategorieën en beleidsimplicaties

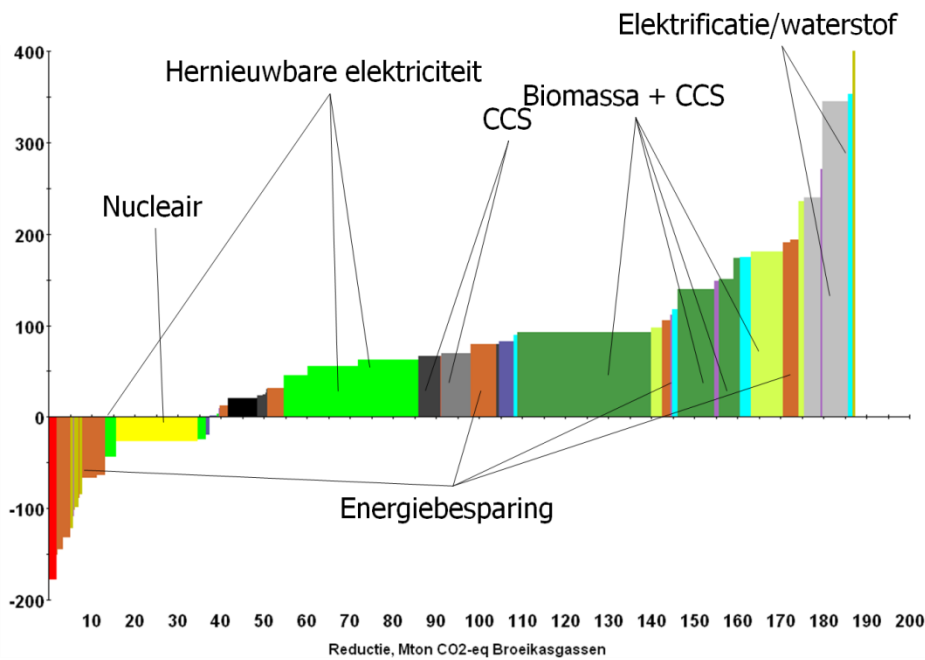
De diverse soorten maatregelen spelen verschillende rollen in het totale optiepakket, zijn anders verdeeld over de sectoren en verschillen qua kostenrange. Ook de beleidsimplicaties verschillen per maatregelcategorie.

Tabel 3 vat een aantal belangrijke eigenschappen van verschillende categorieën opties samen.

Tabel 3: Soorten maatregelen, kosten en rol binnen energiesysteem

Categorie opties	Kostenrange	Schaalgrootte	Belangrijkste sectoren	Opmerkingen
Energiebesparing	Negatief-zeer hoog	Klein- groot	Industrie, gebouwde omgeving transport	Grote rol, belangrijk voor laag houden kosten
Elektrificatie/waterstof	Hoog-Zeer hoog	Klein – middel	Gebouwde omgeving, transport	Vooral belangrijk voor sectoren met dure alternatieven
CO ₂ -vrije elektriciteit: kern wind etc	Laag-hoog	klein – groot	Energie	Grote rol, belangrijk voor laag houden kosten
Hernieuwbare warmte	Laag-zeer hoog	Klein-middel	Gebouwde omgeving, landbouw	Zeer divers, deels ook elektrificatie (warmtepompen)
CCS fossiel	Laag-Middel	Groot	Industrie, energie	Met name van belang voor industrie
Biomassa	Middel-hoog	Klein-groot	Alle	Grote rol, zeer veelzijdig inzetbaar, en daardoor oplossing op plaatsen met weinig alternatieven
Biomassa+CCS	Middel-hoog	Groot	Energie, industrie	Negatieve emissies, waardoor duurdere maatregelen elders overbodig worden

Figuur 6: Positionering van een aantal maatregelen in de kostencurve



Opties: Kosten, inzetbaarheid, sectorverdeling en observaties voor het beleid

Energiebesparing

Energiebesparing vermindert niet alleen direct de behoefte aan energie, maar leidt ook tot afgeleide besparingen omdat ook de omzettingsverliezen bij de productie van de elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen verminderen. Mogelijkheden voor energiebesparing komen voor over de hele range aan kostencategorieën, en zijn verdeeld over alle sectoren. Ook binnen elk van de afzonderlijke sectoren zijn zowel goedkope als dure maatregelen te vinden. Dat energiebesparing altijd kosteneffectiever zou zijn dan andere maatregelen, is een misverstand: als er voldoende energie beschikbaar is met weinig kosten en zonder emissies, is toepassing hiervan mogelijk goedkoper dan nog meer en duurder besparen. Ruimere beschikbaarheid van kern, CCS en goedkoop hernieuwbaar dringt de rol van besparing dan ook iets terug.

De toepassingsmogelijkheden voor energiebesparing zijn sterk gekoppeld aan de, vaak lange, levenscyclus van gebouwen en installaties. Met name in de bestaande bouw is het bovendien erg moeilijk om met beleid alle mogelijkheden te ontsluiten. Voor maximale potentieelbenutting in 2050 is daarom op korte termijn al beleid nodig.

Elektrificatie en gebruik waterstof

Elektriciteit en waterstof kunnen ingezet worden op plaatsen waar nu nog fossiele brandstoffen worden gebruikt. Hiervoor moeten die waterstof en elektriciteit uiteraard eerst wel zonder (veel) CO₂-emissies opgewekt zijn om een bijdrage te kunnen leveren aan de CO₂-emissiereductie. Elektrificatie en waterstofgebruik vereisen meestal ingrijpende en dure technieken bij de betreffende vraagsectoren. Ze bieden echter wel de mogelijkheid om relatief goedkope CO₂-vrije elektriciteit breder in te kunnen zetten: een reden waarom ze ondanks de hoge kosten bij een brede range van aannames in de kostenoptimale pakketten zitten. Elektrificatie en het gebruik van waterstof liggen het

meest voor de hand in de gebouwde omgeving en de transportsector. Omdat de technieken voor elektrificatie en het gebruik van waterstof nog sterk in ontwikkeling zijn, is nog erg onzeker welk van beide uiteindelijk de belangrijkste rol gaat spelen, met name in de transportsector.

Gezien de grote onzekerheden is nog onduidelijk waarop het beleid precies in zou moeten zetten. Het op beperkte in gang zetten van meerdere alternatieven ligt waarschijnlijk nog het meest voor de hand. Tegelijkertijd vereisen elektrificatie en het gebruik van waterstof bij grootschalige toepassing forse aanpassingen van de infrastructuur, waar mogelijk een lange doorlooptijd voor geldt. Verdere innovaties zijn belangrijk voor meer duidelijkheid, en ook om verdere kostendaling te bewerkstelligen.

CO₂-vrije elektriciteit: Kernenergie, windenergie en zon-pv

Deze categorie maatregelen kan voorzien in de behoefte aan elektriciteit. Elektriciteit kan ook voorzien in de behoefte aan warmte en energie voor transport, maar hiervoor zijn aanvullende maatregelen nodig. Kernenergie en windenergie (vooral op land) zijn relatief goedkoop, maar zon-pv is wat duurder. De kostenontwikkeling van deze laatste technologie kan echter verrassingen brengen: in recente jaren zijn de kosten van PV-panelen fors gedaald. Wind- en kernenergie zijn beperkt tot de aanbodsectoren, maar zon-pv kan ook goed kleinschalig toegepast worden bij de vraagsectoren, met name de gebouwde omgeving. In veel gevallen lijkt de toepassing van CO₂-vrij elektriciteit niet in de eerste plaats beperkt te zijn doordat er te weinig potentieel is, maar doordat de vraag naar elektriciteit in Nederland verzadigd raakt. Dit begrenst de toepassing van met name de wat duurere opties, zoals wind op zee. Bij een optimalisatie op Europees niveau speelt deze verzadiging naar verwachting een kleinere rol, en zou wind op zee mogelijk een rol kunnen spelen voor de export van hernieuwbare elektriciteit. Ook als technieken om elektriciteit in te zetten voor niet gangbare toepassingen goedkoper worden (elektrificatie en waterstof), zou dit de rol van CO₂-vrije elektriciteit groter kunnen maken. Niet regelbare opties zoals wind en zon veroorzaken verder kosten voor het inpassen van deze opties; ook hier zijn naar verwachting bij Europese afstemming deze kosten lager.

De implementatieduur van de individuele technieken is vaak relatief beperkt, hoewel aanpassingen aan infrastructuur om grootschalig niet regelbaar vermogen in te passen wel veel meer tijd zullen vergen. In een aantal gevallen is het draagvlak mogelijk beperkend voor implementatietempo en de uiteindelijke rol. Voor veel van deze technieken wordt verdere kostendaling verwacht. Hier staat tegenover dat goedkope reducties die nu al extra gerealiseerd worden, het op een later tijdstip wellicht mogelijk maken om duurere maatregelen te vermijden.

Hernieuwbare warmte

Hernieuwbare warmte omvat een breed scala aan maatregelen op het gebied van aardwarmte, zonnewarmte, warmtepompen en warmte-koudeopslag. Inzet van hernieuwbare warmte vindt vooral plaats bij eindgebruiksectoren. Aardwarmte wordt vooral toegepast bij de glastuinbouw en de utiliteitsbouw, tegen relatief lage kosten. Zonnewarmte en omgevingswarmte liggen daarnaast ook voor de hand bij de huishoudens, al dan niet in collectieve systemen. Naarmate de toepassing kleinschaliger is, zijn de kosten veelal hoger. Hernieuwbare warmte concurreert deels met verdere

besparing op warmtevraag bij gebouwen, maar kan ook in gecombineerde concepten worden toegepast.

Hernieuwbare warmte is zeer divers, en zal ook vanuit het beleid een gedifferentieerde aanpak vergen. Bij individuele systemen, zoals bijvoorbeeld geothermie in de glastuinbouw, kan toepassing in een korte doorlooptijd gerealiseerd worden. Bij collectieve systemen is vanwege de ruimtelijke afstemming een veel langere doorlooptijd waarschijnlijk. Voor de meer grootschalige opties is het waarschijnlijk voldoende als aan de bedrijfseconomische randvoorwaarden is voldaan, maar vooral voor de gebouwde omgeving is faciliterend beleid ook vereist.

CO₂-opvang en opslag

Hiermee kan zowel bij fossiele energiedragers als bij biomassa een gedeelte van de CO₂ verwijderd worden. Dit kan plaatsvinden bij grootschalige toepassingen voor elektriciteitsproductie, warmteproductie, omzettingen van brandstoffen en industriële processen. Naast de extra investeringen zorgt het verlies aan omzettingsrendement voor een belangrijke kostenpost. In tegenstelling tot bij veel andere opties zijn hogere energieprijzen voor CCS een nadeel. De kosten van CO₂-afvang en opslag variëren van relatief laag bij bepaalde industriële processen tot circa 100€/ton CO₂, en zijn sterk afhankelijk van energieprijzen. Grotere beschikbaarheid van opslagpotentieel leidt tot meer toepassing van CCS en lagere kosten.

CCS bij individuele bronnen (grote centrales, bedrijven) kan technisch gezien in een korte periode gerealiseerd worden. Bij grotere systemen met een gezamenlijke infrastructuur is een langere doorlooptijd nodig. Waar CCS onder zee hogere kosten met zich meebrengt, is bij CCS op het land het draagvlak een belangrijk issue.

Biomassa

Biomassa kan omgezet worden in elektriciteit en/of warmte, groen gas, waterstof, grondstoffen en transportbrandstoffen. Het is daarmee een van de meest veelzijdig inzetbare opties, ook al omdat afgeleide producten zoals groen gas en biobrandstoffen vrijwel overal te gebruiken zijn zonder dat ter plekke dure en ingrijpende aanpassingen van installaties en voertuigen nodig zijn. Inzet van primaire (ruwe) biomassa is voornamelijk beperkt tot grootschalige toepassingen (industrie en energiesector), maar afgeleide brandstoffen (groen gas en biobrandstoffen) zijn universeel inzetbaar, dus ook op kleine schaal. De inzet van biomassa zelf is meestal wel duurder dan die van fossiele brandstoffen: omzettingsrendementen zijn meestal wat lager, er zijn extra investeringen in installaties nodig en de handlingkosten zijn hoger. De voornaamste kostenpost is echter meestal de biomassa zelf. Het grote voordeel van biomassa is dat het helpt om dure en moeilijk realiseerbare aanpassingen aan de vraagkant te voorkomen. Een belangrijke kanttekening bij biomassa is dat de mondiale beschikbaarheid van biomassa, en zeker van biomassa die aan de duurzaamheidscriteria voldoet, onzeker is.

Dat inzet van biomassa belangrijk is, is robuust. De wijze waarop dat het beste kan is daarentegen nog onzeker. Daarvoor is het afwachten wat de technische ontwikkelingen zijn; mogelijk kan innovatiebeleid deze ontwikkelingen bespoedigen. Voor het opzetten van een infrastructuur en logistiek kan uitrol wel al een rol spelen.

Maatregelen op Nederlands grondgebied, of in het buitenland?

Vergaande emissiereducties vergen internationale afstemming van het beleid, en het ligt ook voor de hand dat maatregelen daar genomen worden waar ze het goedkoopst zijn. De huidige analyse gaat grotendeels uit van implementatie van de maatregelen in Nederland. Dit is in lijn met het uitgangspunt dat de ontwikkelde landen 80% reducties realiseren, en de rest van de wereld 50%. Nederland kan ook CO₂-vrije energie uit het buitenland importeren, wat voor biomassa al verondersteld is. Hoewel de kosten van maatregelen in het buitenland geen onderwerp van deze studie zijn, is er wel iets te zeggen over een mogelijke verdeling van binnenlandse en buitenlandse maatregelen.

Locatie-indifferente maatregelen

Voor een aantal maatregelen maakt het niet zo veel uit waar ze plaatsvinden. Een kerncentrale kan zowel in Nederland als omliggende landen geplaatst worden. De locatie van die kerncentrale doet er dan niet zo heel veel toe. Wel leiden grotere transportafstanden voor de geproduceerde elektriciteit tot wat extra verliezen en kosten leiden, en is Nederland vanwege de ruime beschikbaarheid van koelwater een gunstige vestigingsplaats.

Locatiegebonden maatregelen

Andere maatregelen zijn meer plaatsgebonden, in die zin dat de maatregel alleen daar kan worden toegepast waar de bijbehorende activiteit plaatsvindt. Dit geldt vooral voor maatregelen in de eindgebruiksectoren: energiebesparing en hernieuwbare warmte in de gebouwde omgeving, industrie en transportsector, en CCS bij industriële processen. De mogelijke toepassing van dergelijke maatregelen in Nederland hangt mede af van de omvang van deze activiteiten in Nederland.

Locatievoordelen

Ten slotte zijn er maatregelen – meestal aanbodstechnieken - die niet strikt gebonden zijn aan een bepaalde locatie, maar waarbij de kosten voor verschillende locaties wel sterk kunnen verschillen. Nederland heeft wat dit betreft mogelijk locatievoordelen voor CCS, vanwege de lokale beschikbaarheid van CO₂-opslagcapaciteit, voor wind op zee, vanwege de beschikbare ruimte op het continentaal plat van de Noordzee en voor grootschalige biomassa, vanwege de goedkope toegang tot wereldmarkten door de beschikbaarheid van zeehavens. Voor Zon-PV is Nederland in het nadeel ten opzichte van bijvoorbeeld Zuid-Europa, en voor kleinschalige biomassa ten opzichte van Oost-Europa.

Mogelijke consequenties voor Nederland

De analyses wijzen erop dat – zeker bij de wat ruimere potentieelaannames – Nederland goed in haar eigen behoefte aan elektriciteit kan voorzien, en er dan ook nog ruimte is voor export van elektriciteit. Uit analyses met TIAM blijkt bovendien dat de marginale kosten om in West Europa 80% emissiereductie te realiseren in 2050 ruim boven het niveau van de belangrijkste Nederlandse elektriciteitsproductietechnieken – kernenergie, wind op land en op zee,

opwekking met CCS – liggen. Er is daardoor een reële kans dat het voor Nederland aantrekkelijk is om meer te doen dan nodig is voor de eigen behoefte aan elektriciteit, en exporteur van elektriciteit te worden. Ook zou Nederland een deel van haar CO₂-opslagcapaciteit kunnen verkopen aan buitenlandse bedrijven. Voor biomassa is Nederland netto importeur; daarbij is verondersteld dat de omzetting van biomassa in groen gas of biobrandstoffen in Nederland plaatsvindt. Ook op het gebied van deze omzetting zou Nederland een groter verzorgingsgebied voor zijn rekening kunnen nemen. Aan de andere kant zou de opwerking van biomassa ook plaats kunnen vinden in de gebieden van herkomst. Een dergelijke internationale herverdeling hoeft niet op voorhand te leiden tot meer of minder emissiereducties door Nederland, maar biedt wel de mogelijkheid om kosten te verlagen, zowel in Nederland als in het buitenland.

Biomassa + CO₂-opvang en opslag

De combinatie van biomassa en CO₂-opvang en opslag maakt negatieve emissies mogelijk: CO₂ die door planten uit de atmosfeer is vastgelegd wordt zo langdurig onttrokken aan de koolstofcyclus. Deze negatieve emissies kunnen vooral bij vergaande reducties een belangrijke rol spelen om de kosten laag te houden. Ze helpen immers om dure maatregelen elders te voorkomen. Toepassing bij de productie van elektriciteit warmte of waterstof zorgt voor volledige benutting van het potentieel aan negatieve emissies: in de geproduceerde energiedrager zit immers geen koolstof meer. Bij toepassing van biomassa voor productie van groen gas en biobrandstoffen komt een belangrijk deel van de CO₂ later alsnog vrij. Bij biomassa en biomassa + CCS is een belangrijke keuze of biomassa ingezet wordt voor sectoren die weinig alternatieven hebben, zoals de luchtvaart, of dat negatieve emissies elders gebruikt worden om te compenseren voor het relatief ongemoeid laten van die sectoren.

Overige maatregelen

Naast de bovengenoemde maatregelen speelt nog een aantal soorten maatregelen een relatief kleine rol, zoals de verdere reducties van de uitstoot van overige broeikasgassen. Verder wordt ook nog steeds warmtekraftkoppeling (WKK) toegepast, maar vooral in combinatie met CCS en/of biomassa. Het effect van de inzet van WKK in plaats van gescheiden opwekking is daarbij kleiner dan het effect van toepassen van biomassa en of CCS, en daarom is WKK niet als aparte categorie onderscheiden. Voor het zo efficiënt mogelijk inzetten van biomassa en CCS speelt het echter wel degelijk een rol.

Voorwaardenscheppend beleid

Kosten en potentiëlen staan niet in steen gebeiteld. Beleid kan, binnen bepaalde grenzen, mede bepalen wat in 2030 en 2050 de kosten en mogelijkheden zijn om emissiereducties te realiseren. Tijdige uitrol van maatregelen kan er voor zorgen dat de kosten dalen, en dat een zo groot mogelijk deel van de potentiëlen ook daadwerkelijk gerealiseerd kan worden. Ook innovatiebeleid kan zorgen voor kostendalingen en verruiming van de mogelijkheden. Hoe groter de mogelijkheden, des te kleiner de kans dat ook hele dure maatregelen ingezet moeten worden om een bepaalde reductie te halen.

Welke opties niet?

Bepaalde opties lijken niet of minder goed te passen in het kostenoptimale pakket voor 80% emissiereductie in 2050. Dat wil echter niet zeggen dat de betreffende opties helemaal geen rol kunnen spelen. Bij nog verdergaande reducties in de verdere toekomst kunnen opties alsnog in beeld komen, en ook kunnen opties in het traject naar 2050 een rol spelen. Verschillende criteria spelen hierbij een rol:

1. Speelt een optie bij verdergaande emissiereducties wel een rol, en is het daarom nodig of goedkoper om in 2050 de optie al toe te passen?
2. Levert een optie op korte termijn wel een emissiereductie op, en is de optie op deze termijn relatief kosteneffectief?
3. Kan een optie een rol spelen als wegbereider voor andere opties?

Wel een rol na 2050

Op grond van het eerste criterium kunnen bijvoorbeeld veel waterstoftechnologieën, verdergaande elektrificatie en zon-PV een rol spelen. Na 2050, of zelfs al in 2050 bij verdergaande reducties, kunnen dergelijke technieken toch nodig zijn. Het kan daarom ook verstandig zijn om in het traject naar 2050 daar rekening mee te houden, door onderzoek of beperkte uitrol.

Wel een rol in het traject naar 2050

Conventionele WKK, biomassa-meestook en op middellange termijn CCS bij kolencentrales kunnen op basis van het tweede criterium een rol spelen. Biomassa-meestook en kolencentrales met CCS kunnen bovendien een rol spelen als transitietechnologie, waarbij ze helpen als wegbereider voor respectievelijk biomassaopties en de opzet van infrastructuur voor CO₂-afvang en opslag.

Geen rol in het traject naar 2050

Opties die duidelijk niet lijken te passen bij 80% emissiereductie en ook niet in het traject naar 2050, zijn micro-WKK en WKK op waterstof. Micro-WKK betekent gegeven de situatie in 2050 geen afname van emissies maar juist een toename, die vervolgens elders door dure maatregelen gecompenseerd moet worden. Op de kortere termijn valt micro-WKK af op basis van de hoge kosten. Bij WKK op waterstof zijn zowel de kosten als ketenefficiëntie ongunstig.

3.3 Relevante factoren en onzekerheden

Deze paragraaf verkent verschillende factoren die van invloed zijn op de kosten (en mogelijkheden) om op termijn een vergaande reductie van emissies te bereiken. Voor een deel zijn dit onzekerheden waarop Nederlandse beleidsmaker geen tot weinig greep hebben, maar voor een deel ook zijn het factoren waarop Nederland, al dan niet in Europees verband invloed op kan uitoefenen.

Achtereenvolgens komen aan de orde:

- Kosten, prijzen en potentiëlen.
- Externe effecten op luchtverontreiniging.
- Meerkosten bij het uitsluiten van opties.

- Meerkosten bij het wel toepassen van opties die niet in een kostenoptimaal pakket passen.
- Het tijdpad voor de emissiereductie.
- Implementatietempo en levensduur van opties.

Tussen de verschillende factoren is vaak de nodige interactie, maar deze is niet altijd in kaart worden gebracht.

3.3.1 Kosten, prijzen en potentiëlen

Bij een vooruitblik naar 2030 en 2050 zijn per definitie de onzekerheden zeer groot. Dat geldt niet alleen voor de kostenontwikkeling van de individuele maatregelen en de prijsontwikkeling van energiedragers, maar ook voor de beschikbaarheid en realiseerbaarheid van individuele opties en potentiëlen. Daarom is het van belang om te kijken hoe groot de invloed is van deze - vaak moeilijk beïnvloedbare – onzekerheden op de kostenoptimale keuzes en de kosten.

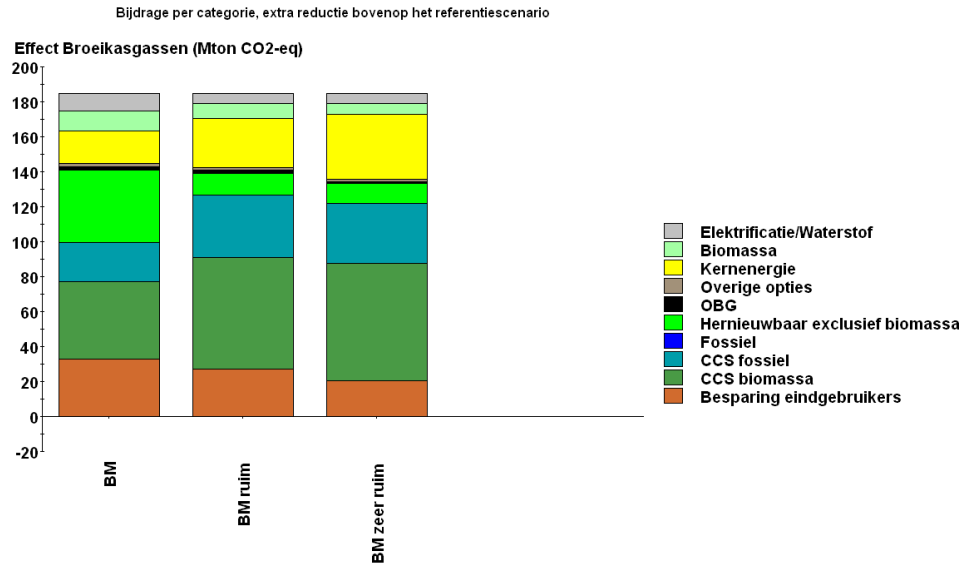
Naast de exogene onzekerheden kunnen er ook redenen zijn om bewust af te zien van de toepassing van een maatregel, of om maatregelen juist wel toe te passen als dat niet kostenoptimaal is. Ook hierbij is het van belang om inzicht te hebben op de invloed die dat heeft op de kosten.

Vanwege de onderlinge interacties behandelt deze paragraaf potentiëlen, kostenontwikkeling en energieprijzen in samenhang.

Potentiëlen

Bij ruimere potentiëlen – meer biomassa, CO₂-opslagcapaciteit, kernenergie, windenergie – kan dezelfde reductie makkelijker gehaald worden. Makkelijker betekent ook dat er meer verschillende mogelijkheden zijn om opties in te zetten, en dat er meer ruimte is om daarbij rekening te houden met de kosten.

Figuur 7: Reducties per categorie voor verschillende potentieelaannames

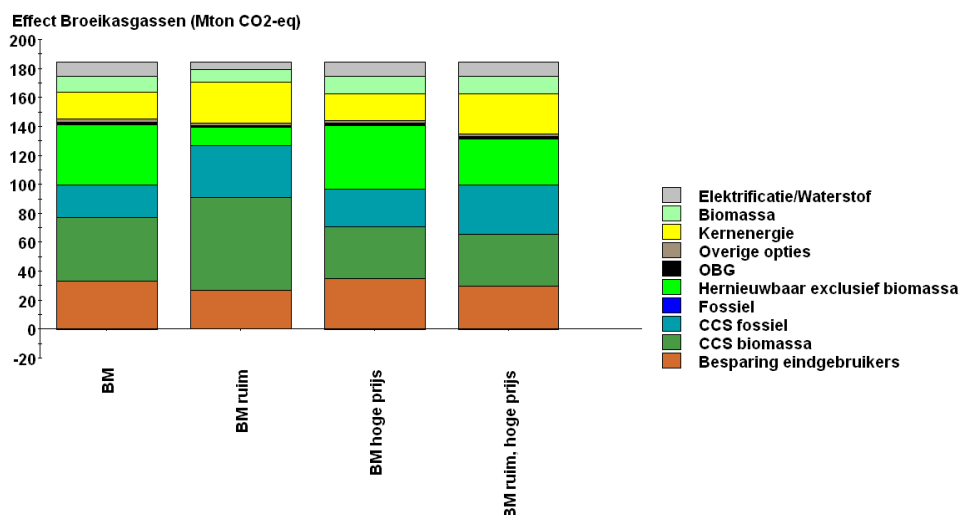


Figuur 7 laat voor 2050 de kostenoptimale optiepakketten zien bij verschillende potentieelaannames voor Blue Map (zie Bijlage E). De Nationale Kosten dalen bij deze verruiming van ca. 16 miljard via 11 naar 10 miljard per jaar in 2050. Alle categorieën opties blijven in beeld, maar er treden wel verschuivingen op: verruiming leidt tot een grotere inzet van kernenergie, CCS fossiel en biomassa, en tot een kleinere inzet van besparingsmaatregelen en hernieuwbare energie exclusief biomassa. Bij een nog sterkere verruiming neemt kernenergie verder toe, vooral ten koste van energiebesparing. De verschuivingen gaan gepaard met Per saldo komt dit neer op een verschuiving van kleinschalige naar grootschalige toepassingen en van vraagsectoren naar aanbodsectoren, maar ook van relatief onomstreden opties naar opties waaraan meer problemen kleven qua draagvlak of beschikbaarheid.

Energieprijzen

Hogere energie en biomassaprijzen bevoordelen opties die tot een lager energiegebruik leiden, en benadelen bijvoorbeeld CCS, dat juist tot een hoger energiegebruik leidt. Ook hier geldt weer dat er voldoende keuzeruimte moet zijn voordat dergelijke kostenverschuivingen ook zichtbaar worden in de kostenoptimale manier om het doel te halen. Figuur 8 laat dit zien voor Blue map, en varianten hierop met verdubbelde energieprijzen, ruime potentieelaannames en de combinatie hiervan. Waar bij de redelijke potentieelaannames er nauwelijks verschuivingen optreden bij verdubbeling van de energieprijzen, zijn er bij de ruimere potentiëlen wel duidelijke effecten, ten gunste van energiebesparing en hernieuwbaar exclusief biomassa.

Figuur 8: Reducties per categorie voor verschillende energieprijsaannames



Techniekkosten

Ook tegen- of meevallende kostenontwikkeling van opties heeft implicaties voor de samenstelling van het optimale pakket. Tabel 4 laat de aandelen in de totale emissiereductie voor een onzekerheidsanalyse met 50% lagere of hogere investeringskosten en operationele kosten.

Tabel 4: Aandelen van de verschillende opties bij variërende kosten, Blue map

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	14 - 23%		7 - 10%	0 - 4%	5 - 10%	
Brandstofconversie	<1%					<1%
CCS biomassa	22 - 31%				15 - 28%	0 - 8%
CCS fossiel	7 - 14%				4 - 11%	0 - 6%
Hernieuwbaar exclusief biomassa	18 - 29%	-2 - -1%	1 - 4%		<1%	16 - 28%
Overige broeikasgassen	~1%	~1%				
Kernenergie	10 - 11%					10 - 11%
Biomassa	3 - 7%	<1%		1 - 4%	<1%	1 - 3%
Elektrificatie/Waterstof	3 - 5%		-1 - 0%	3 - 5%		

De waarden zijn gebaseerd op de range in toepassing van maatregelen bij kosten die tot 50% lager of hoger liggen, voor de redelijke potentiële aannames en Blue Map energieprijzen.

Hoewel er wel variatie is in de aandelen van de verschillende categorieën opties, blijven wel alle categorieën in beeld. Bij dezelfde berekening met ruime potentiële aannames zijn de meeste bandbreedtes groter, zie Tabel 5. Hier resulteert de grotere speelruimte in meer variatie.

Tabel 5: Aandelen van de verschillende opties bij variërende kosten, Blue map ruime potentieelaannames

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	6 - 24%		5 - 9%	0 - 5%	1 - 10%	
Brandstofconversie						
CCS biomassa	22 - 43%				14 - 34%	1 - 8%
CCS fossiel	12 - 26%				4 - 13%	4 - 16%
Hernieuwbaar exclusief biomassa	4 - 26%	~1%	2 - 3%		0 - 1%	4 - 23%
Overige broeikasgassen	0 - 1%	0 - 1%				
Kernenergie	~15%					~15%
Biomassa	0 - 6%			0 - 4%		0 - 3%
Elektrificatie/Waterstof	0 - 5%		-1	0 - 5%		

Kosten versus potentiëlen: wat is het belangrijkste voor de totale kosten?

Tabel 6 laat zien wat de impact is van tegenvallende techniekkosten van +25% en potentiëlen van -20% ten opzichte van de standaard aannames. Bij de tegenvallende potentiëlen is zowel gekeken naar tegenvallende realisaties voor alle technieken (bijvoorbeeld door lagere impact van het beleid), als naar tegenvallende beschikbaarheid van de onderliggende potentiëlen (biomassa, wind, CO₂-opslagcapaciteit etc.). De impact van tegenvallende realisaties en potentiëlen is hierbij vergelijkbaar met die van tegenvallende kosten, zeker als reducties en de grens van de mogelijkheden dicht bij elkaar liggen.

Tabel 6: Kosten bij verschillende doelen (mld. euro) en aannames voor kosten en potentiëlen

	Kosten bij verschillende reductiedoelen		
	-70%	-80%	-90%
Aannames	-70%	-80%	-90%
Standaard	9.8	15.4	26.5
Kosten + 25%	13.1	20.4	34.5
Alle opties -20%	13.1	25.8	Niet haalbaar
Potentiëlen -20%	12.5	20.3	Niet haalbaar

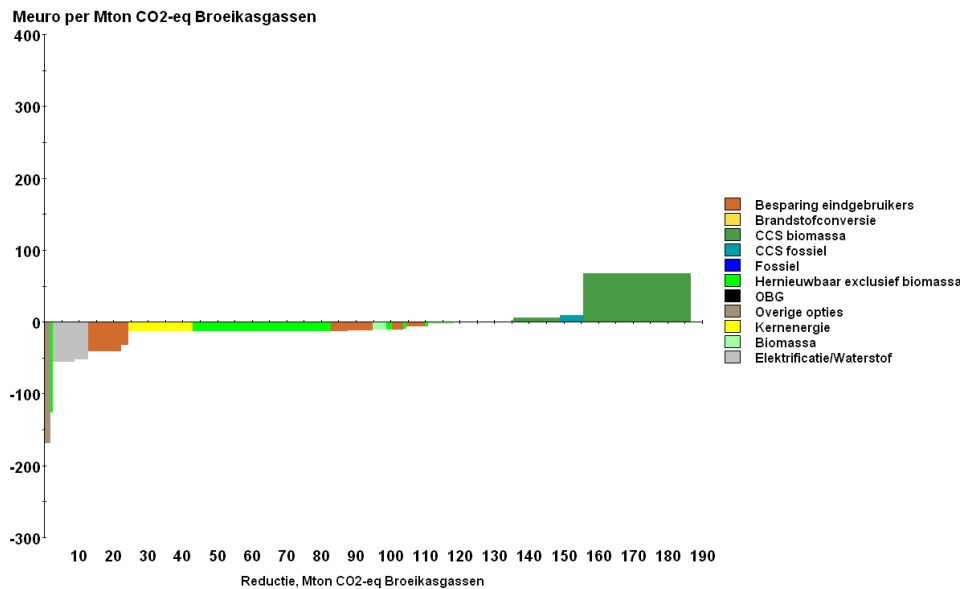
Relatie tussen ambitieniveau, mogelijkheden en kosten

Naarmate de emissiereducties hoger zijn nemen de kosten toe. Niet alleen zijn er meer maatregelen nodig, maar ook neemt de ruimte voor het kiezen van maatregelen op grond van hun kosten af. In alle gevallen nemen de kosten bij het benaderen van de grenzen van de mogelijkheden meer dan evenredig toe: er valt steeds minder te kiezen, en er zijn dus steeds minder vrijheidsgraden om te optimaliseren op kosten. Voor een deel zijn de mogelijkheden in 2050 beïnvloedbaar door het beleid: vroegtijdig werken aan de verruiming van de potentiëlen waar mogelijk kan – gegeven een bepaalde doelstelling – tot belangrijke kostenreducties leiden. Zowel uitrolbeleid als innovatiebeleid kunnen hierbij een rol spelen.

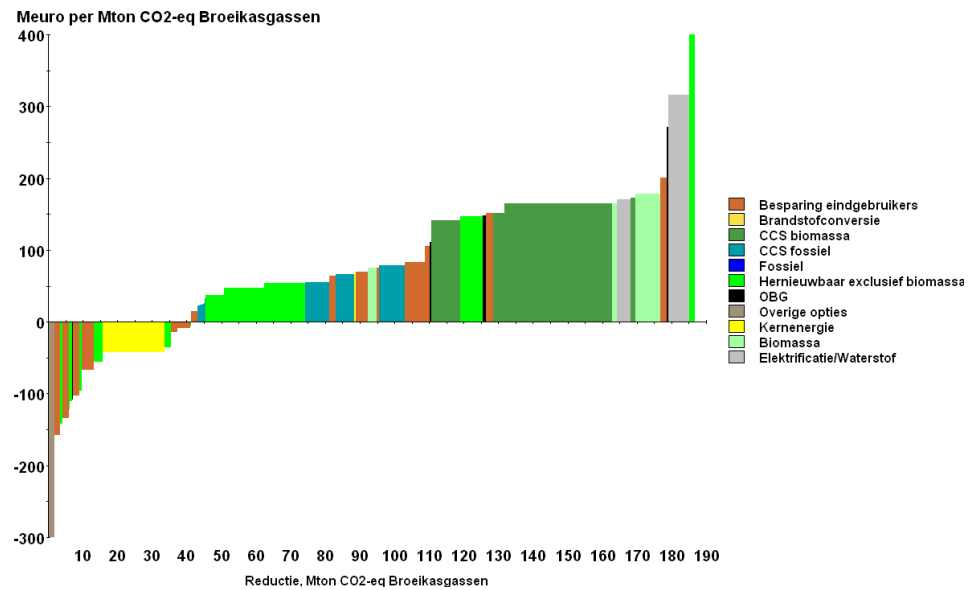
3.3.2 Externe effecten op luchtverontreiniging

Opties om CO₂-emissies te beperken hebben vrijwel altijd ook invloed op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Op basis van schadekosten van de verschillende luchtverontreinigende stoffen is het mogelijk om externe kosten voor de verschillende soorten maatregelen te berekenen.

Figuur 9: Kostencurve, alleen externe effecten (Blue Map)



Figuur 10: Kostencurve, Nationale Kosten plus externe effecten (Blue Map)



Figuur 9 en Figuur 10 laten kostencurves zien met en zonder externe effecten op luchtverontreiniging⁸. De meeste opties hebben netto externe baten (negatieve externe kosten), met als uitzonderingen CCS en biomassa. Als bij de samenstelling van de optiepakketten voor 80% emissiereductie op voorhand rekening wordt gehouden met de externe kosten, leidt dit niet tot wezenlijk andere optiepakketten. Wel treden bij minder vergaande reducties wat verschillen op. Andere externe effecten, zoals visuele hinder van windmolens of het risico op nucleaire ongevallen, zijn niet gekwantificeerd en geen onderdeel van de curve.

3.3.3 Meerkosten bij uitsluiting opties

Als opties die in het kostenoptimale pakket passen, niet toegepast worden, leidt dit tot extra kosten. In dat geval moet immers uitgeweken worden naar andere, duurdere maatregelen. Hierbij spelen drie factoren een rol:

- Hoe hoog zijn de kosten van de optie?
- Hoe groot is de bijdrage van de optie? Hierbij is niet alleen de bijdrage in termen van vermeden emissies van belang, maar ook bijvoorbeeld de mate waarin een de optie andere maatregelen mogelijk maakt.
- Zijn er voldoende andere opties beschikbaar, en hoe duur zijn deze? Kunnen deze opties ter plaatse dezelfde emissiereductie realiseren of moet elders meer emissiereductie plaatsvinden⁹?

Tabel 7 laat de meerkosten zien als maatregelen die wel in het kostenoptimale pakket passen niet toegepast worden. Anders gezegd: de tabel maakt zichtbaar wat de bijdrage van een maatregelcategorie is aan het laag houden van de kosten. In sommige gevallen bij het uitsluiten van een maatregel het doel niet meer haalbaar, zoals in een aantal

⁸ Hierbij is niet geoptimaliseerd op de externe effecten, maar zijn deze allen zichtbaar gemaakt en op volgorde gezet van €/ton CO₂ eq.

⁹ Vergelijk meer wind op zee als er geen kernenergie toegepast wordt, en meer biomassa met CCS in de industrie als er geen biobrandstoffen in de transportsector worden toegepast.

gevallen dat er nationaal geen hernieuwbare energie(excl. biomassa) ingezet wordt. Verder is energiebesparing belangrijk voor het laag houden van de kosten: zonder energiebesparing vallen kosten € 3-30 miljard hoger uit. Dat geldt vooral voor de energiebesparing in de gebouwde omgeving, maar ook besparing in de industrie en transport leveren een substantiële bijdrage aan het laag houden van de kosten. Het weglaten van biomassa met en zonder CCS zorgt voor respectievelijk € 3-8 en 0,5-4 miljard aan meerkosten, geen elektrificatie/waterstof (vooral van belang in de transportsector) voor € 0,5-8 miljard meerkosten, geen kernenergie voor 3-4 miljard en geen CCS bij fossiele bronnen voor € 3-5 miljard meerkosten.

Tabel 7: Meerkosten (mln. euro) bij het niet toepassen van maatregelcategorieën¹⁰

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	3280 – 30430		1870 - 6430	220 - 620	1000 – 4040	
Brandstofconversie						
CCS biomassa	3150 – 8530				1300 - 3630	260 – 570
CCS fossiel	2720 – 4670				1550 - 2610	550 – 930
Fossiel	620 – 1650				610 - 940	20 – 1000
Hernieuwbaar exclusief biomassa	3530 – #	1670 - 4000	610 - 1050		0 - 240	430 – 15600
OBG	60 – 490	60 - 490				
Overige opties	500 – 930			500 - 930		
Kernenergie	3200 – 4220					3200 – 4220
Biomassa	450 – 3670			60 - 2110		60 – 2180
Elektrificatie/Waterstof	520 – 7820			520 - 7570		

Noot: Weergegeven zijn de totale meerkosten als de betreffende categorie van maatregelen in de betreffende sector niet toegepast wordt. In sommige gevallen is daarbij de 80% emissiereductie niet meer haalbaar, dit is aangegeven met #.¹¹

3.3.4 Meerkosten bij toepassen van niet-kostenoptimale opties

Ook het wel toepassen van opties die niet in het kostenoptimale pakket passen, leidt tot extra kosten. Tabel 8 toont indicatieve meerkosten bij het toepassen van een aantal opties die niet in het optimale pakket zitten, uitgedrukt in toename van de totale kosten per ton extra emissiereductie door de betreffende opties.¹² De getallen hangen uiteraard sterk af van de technieken die plaats moeten maken als deze opties meer toegepast worden. Onzekerheden in de meerkosten zijn hierbij zeer groot omdat ze afhangen van minimaal twee technieken - de verplicht toegepaste techniek en de

10 Range voor drie uitgangssituaties: standaard aannames Blue Map, Blue map met ruime en zeer ruime potentiëlen.

11 Voor deze analyse is toepassing van een bepaalde maatregelcategorie uitgesloten, en is vervolgens de rest van het maatregelpakket geoptimaliseerd.

12 Een megaton reductie door (micro) WKK in de gebouwde omgeving leidt bijvoorbeeld tot een toename van de totale kosten tussen de 1,1 en 1,4 miljard.

techniek die daardoor verdrongen wordt - waarvan de afzonderlijke kosten ook al onzeker zijn.

De achtergrond van de meerkosten kan sterk verschillen. WKK zonder CCS betekent ten opzichte van de technieken die in het kostenoptimale pakket per saldo een toename van emissies, die elders weer gecompenseerd moet worden. Dat betekent dat conventionele WKK ook als het veel goedkoper zou zijn niet in het kostenoptimale pakket past. Maar bij hernieuwbare elektriciteit in de gebouwde omgeving (voornamelijk zon-PV), is het in de eerste plaats een duurdere manier om dezelfde emissiereducties te realiseren. Zon-PV zou dus goed in het kostenoptimale pakket kunnen passen, als de kosten ervan lager uitvallen of er verdergaande reducties nodig zijn.

Tabel 8: Meerkosten bij het wel toepassen van optiecategories die niet in het optimale pakket zitten¹³

	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Biomassa elektriciteit					50 - 70
Biomassa elektriciteit CCS					100 - 130
Biomassa feedstock CCS				350 - 510	
Biomassa warmte	430 - 1950			200 - 220	
Biomassa warmte CCS				0 - 20	
Hernieuwbare elektriciteit		160 – 210			
Warmte fossiel CCS				20 - 250	
Waterstofproductie biomassa					200 - 340
Waterstofproductie biomassa CCS					40 - 70
WKK biomassa				190 - 220	
WKK fossiel		1070 – 1150		450 - 770	
WKK fossiel CCS				10 - 100	
WKK waterstof		1970 – 2050			

Meerkosten zijn de totale meerkosten in miljoenen euro per Mton extra gerealiseerde emissiereductie door de betreffende maatregel¹⁴.

Dat opties tot een toename van kosten leiden, wil niet zeggen dat er geen andere redenen kunnen zijn om ze toe te passen, hetzij in 2050 of in het traject naar 2050.

3.3.5 Tjdpad

Vroeg beginnen of wachten?

Een belangrijk vraagstuk voor het beleid is wanneer te beginnen om toepassing van een optie te stimuleren. Belangrijke overwegingen daarbij zijn:

- Mondiale ontwikkelingen.

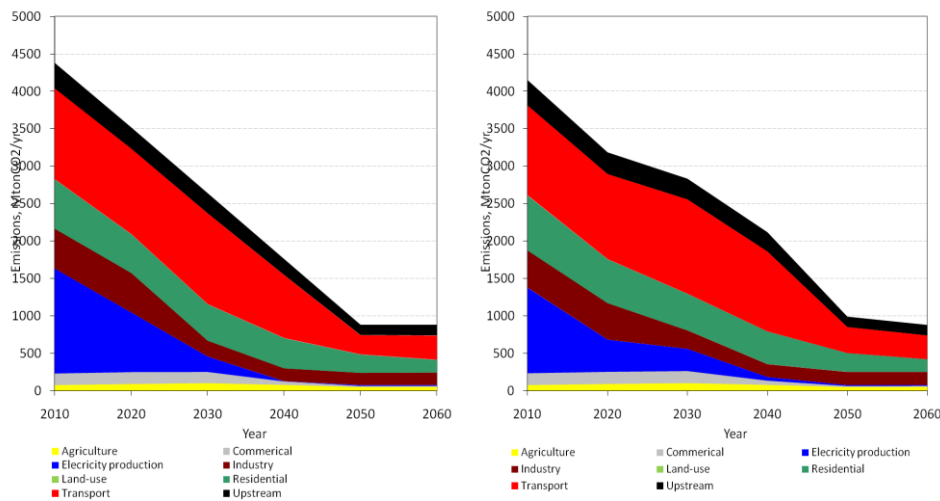
¹³ Range voor drie uitgangssituaties: standaard aannames Blue Map, Blue map met ruime en zeer ruime potentiëlen.

¹⁴ Voor deze analyse is een kleine extra inzet van een categorie in de berekening verondersteld, en is vervolgens de inzet van de rest van de maatregelen geoptimaliseerd.

- Is al duidelijk welke opties uiteindelijk nodig zijn?
- Hoeveel gaan opties nog dalen in kosten? Is daar nog extra innovatie voor nodig, of vooral uitrol van maatregelen?
- Wat is het risico dat wachten er toe leidt dat niet tijdig het hele potentieel benut kan worden? Hoe snel kan een optie geïmplementeerd worden?
- Zijn reducties op korte termijn kosteneffectief in het licht van de vereiste cumulatieve emissiereducties tot 2050? Oftewel: maakt relatief goedkope reductie op korte termijn het mogelijk om op lange termijn duurdere maatregelen uit te stellen?

Vroeg beginnen betekent dat een groter deel van de implementatie plaatsvindt als kosten van maatregelen nog hoger zijn, en als nog niet duidelijk is welke maatregelen uiteindelijk het meest aantrekkelijk zijn. Maar laat beginnen betekent een groter risico dat een potentieel minder volledig benut kan worden, en dat in plaats daarvan sneller te implementeren maar duurdere maatregelen nodig zijn¹⁵. Een extra Mton reductie op korte termijn kan dus rendabel zijn, als daarmee op langere termijn een veel duurdere reductie voorkomen of uitgesteld wordt. Hierbij speelt ook een rol dat voor de twee graden doelstelling niet het precieze reductiepercentage in 2050 van belang is, maar de totale emissiereducties tot 2050. Het niet toepassen op korte termijn van relatief goedkope maatregelen kan dus betekenen dat dit tot 2050 gecompenseerd moet worden met duurdere maatregelen.

Figuur 11: Kostenoptimale emissieontwikkeling West-Europa bij lineaire reductie en bij een cumulatief emissieplafond



Figuur 11 laat zien wat een optimalisatie over het hele tijdpad oplevert voor de emissies in West-Europa¹⁶. De linker grafiek gaat uit van een opgelegd lineair reductiepad, in de rechter figuur kunnen emissiereductie uit de verschillende jaren tegen elkaar

¹⁵ Eigenlijk is het vooral van belang hoe hoog de cumulatieve broeikasgasemissies tot 2050 zijn, en niet wat precies het traject is tot de 80% reductie in 2050. In deze studie vindt geen cumulatieve optimalisatie plaats.

¹⁶ Berekeningen met TIAM, een mondiaal dynamisch optimalisatiemodel (...). In de berekeningen kunnen in 2010 al emissiereducties ingezet worden, daarom begint de figuur in 2010 al met lagere emissies. De berekeningen zijn puur ter illustratie, en staan los van de flexibiliteitsmechanismen, in het huidige beleid, zoals de mogelijkheden voor banking and borrowing in het emissiehandelssysteem.

uitgewisseld worden, zolang de totale emissies over het hele tijdpad maar voldoen aan de 2-gradendoelstelling.

Het verschil in reductietraject en totale kosten is relatief klein. Wel zijn de resultaten een aanwijzing dat het eerder kostenoptimaal is om emissiereducties naar voren te halen dan om ze uit te stellen. Het lijkt kostenoptimaal om relatief goedkope maatregelen, met name in de energiesector, al op korte termijn toe te passen, en daarmee duurdere maatregelen, vooral in de transportsector uit te stellen. Dit betekent een geringe versnelling van de emissiereducties op korte termijn, en juist een geringe vertraging op de langere termijn.

Subdoelen

In Nederland en Europa is er naast het reductiedoel voor broeikasgassen ook sprake (geweest) van afgeleide doelen voor hernieuwbare energie en energiebesparing. Over nut en noodzaak van dergelijke subdoelen wordt verschillend gedacht. Dit kader zet een aantal overwegingen op een rij, zonder daarmee een pleidooi voor of tegen subdoelen te willen vormen. Het kostenverhogende effect van subdoelen is in het kader van deze studie niet doorgerekend.

Minder vrijheidsgraden: meerkosten

Subdoelen leiden op korte termijn in principe altijd tot een toename van de kosten, omdat ze het aantal vrijheidsgraden om op kosten te optimaliseren beperken.

Marktimperfecties

Subdoelen zorgen voor meer sturing, en kunnen bijvoorbeeld een rol spelen als marktimperfecties ertoe leiden dat een generiek doel niet tot de maatschappelijk optimale keuzes leidt. Een subdoel zou bijvoorbeeld een rol kunnen spelen om technieken die nu nog te duur zijn om te concurreren met andere technieken, maar waarvan wel duidelijk is dat ze op termijn nodig zijn, wel toe te passen en zo kosten te laten dalen.

Vooraf hogere kosten bij onevenwichtige keuze subdoelen

Hogere kosten door subdoelen, ook op lange termijn, ontstaan vooral als de doelen niet in evenwicht met elkaar zijn. Als bijvoorbeeld het energiebesparingsdoel of doel voor hernieuwbare energie erg hoog liggen in relatie tot wat er nodig is om het emissiedoel te halen, leidt dit tot grote meerkosten.

Omgaan met veranderingen

Zoals uit deze studie blijkt varieert de kosteneffectieve mix van in te zetten reductieopties afhankelijk van energieprijzen, kosten van maatregelen en beschikbare potentiëlen. Ook economische groei, bevolkingsgroei, of ontwikkelingen van de gebouwvoorraad hebben invloed op de snelheid waarmee bijvoorbeeld energiebesparing gerealiseerd kan worden. Het kan daarom verstandig zijn om, als er voor subdoelen gekozen wordt, er rekening

mee te houden dat het doel bijgesteld moet kunnen worden.

Implementatietempo en levensduur

Voor veel maatregelen is het implementatietempo van groot belang: Het realiseren van de potentiële kost tijd. Die beperking in het implementatietempo hangt niet altijd af van hele harde factoren. Bij bijvoorbeeld besparingen in de bestaande woningbouw kan dit technisch in principe in een relatief korte tijd, maar is het veel praktischer en goedkoper om aan te sluiten bij natuurlijke momenten, als naar aanleiding van verhuizingen of groot onderhoud gebouwen toch al aangepakt worden. Bij sommige opties is de ontwikkeltijd op individuele locaties beperkt, maar kan de aanleg van de benodigde bijbehorende infrastructuur of logistiek meer tijd vergen. Ook kan een snelle uitrol van bepaalde technieken meer maatschappelijke weerstand oproepen, en is daarom een geleidelijker pad te prefereren. Gezien de totale omvang van de veranderingen die nodig zijn om tot vergaande emissiereductie te komen Tabel 9 geeft een overzicht van een aantal technieken met een geschatte implementatietijd en factoren die daarbij van belang zijn.

Tabel 9: Technieken met lange levensduur (bij bouw in 2030 nog steeds (deel) operationeel in 2050)

Maatregel	2050 beeld
Kolencentrales (CCS)	Leidt zonder CCS in 2050 tot extra kosten, eventueel kan ook later CCS toegepast worden, of kunnen centrales omgebouwd worden tot biomassacentrales.
Nieuwe gebouwen	Als nieuwe gebouwen minder zuinig zijn dan passend in de situatie van 2050, dan kan dit tot hogere kosten leiden. Vooral woningen hebben een lange levensduur, bij utiliteitsgebouwen vindt vaak na 10-20 jaar een grootschalige renovatie plaats, waarbij de energieprestatie alsnog verbeterd kan worden
Kerncentrales	Past goed in 2050 bij 80% reductie
Geothermie	Past goed in 2050 bij 80% reductie

Vrijheidsgraden in 2030

Bij een aantal technieken is het gezien het implementatietraject nog niet per se nodig om in 2030 al op grote schaal te investeren. Dat betekent dat hier meer ruimte is om te kiezen op basis van de kosten 2030. Technieken die op grond daarvan in 2030 passen in een kostenoptimaal pakket, zijn kernenergie, wind op land, geothermie in de glastuinbouw, grootschalige WKK op aardgas, inzet van biomassa en energiebesparing in diverse sectoren. Bij veel van deze maatregelen geldt dat als het mogelijk is om hier in 2030 al meer van te implementeren, dat tot lagere kosten kan leiden.

4

De maatschappelijke kosten en baten van CO₂-emissiereductiebeleid

4.1 Resultaten op hoofdlijnen

Scope

Dit hoofdstuk onderzoekt de maatschappelijke kosten en baten van de opties voor reductie van CO₂-emissies. Maatschappelijke kosten en baten vormen de optelsom van directe, indirecte en externe effecten. Hoofdstuk 3 geeft antwoord op de vraag wat de kostenefficiënte inzet is van de opties in relatie tot de voorwaardelijke Europese doelstelling van 80% CO₂-emissiereductie in 2050 ten opzichte van het 1990-niveau.¹⁷ Deze berekening is gebaseerd op de directe kosten van de inzet van de opties, zoals de bouwkundige en elektromechanische investeringen, operationele kosten, investeringssubsidies, enzovoort. Hoofdstuk 4 trekt de analyse breder en onderzoekt in aanvulling op de directe effecten, de indirecte en externe kosten en baten:

- *Indirecte effecten* hangen als tweede-orde effect causaal samen met directe effecten, maar mogen geen doorgegeven direct effect zijn. In dit laatste geval vallen direct en indirect effect samen en zou bij het bepalen van het saldo van maatschappelijke effecten sprake zijn van dubbeltelling. Voorbeelden van indirect effecten zijn de korte en langetermijneffecten van investeringen in CO₂-reducerende maatregelen op de binnenlandse productie, werkgelegenheid, kapitaalgoederenvoorraad, innovatie en arbeidsproductiviteit;
- *Externe effecten* hebben net als indirecte effecten een bredere werking in de maatschappij dan de directe effecten, maar zijn meestal ongeprijsd. De opgave voor de maatschappelijke kosten-batenanalyse is om de externe effecten in geld te waarderen ten einde het saldo van alle effecten te kunnen bepalen. In onderhavige MKBA zijn de baten van vermeden emissies een evident voorbeeld.

¹⁷ De Europese emissiereductiedoelstelling is voorwaardelijk op voldoende inspanning van (meer gevorderde) ontwikkelingslanden (PBL & ECN, 2011, p. 16).

Opzet van de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA)

De doelstelling van dit hoofdstuk is om de maatschappelijke kosten en baten te berekenen van de opties en maatregelpakketten die in Hoofdstuk 3 zijn uitgewerkt. Een MKBA vergelijkt een uitgangssituatie – het nulalternatief – met de situatie waarin de effecten van een beleidswijziging zichtbaar wordt, het projectalternatief. Deze aanpak is voor dit onderzoek in internationaal perspectief geplaatst, gegeven de beleidscontext. Dit betekent dat het projectalternatief voor Nederland een variant is waarin de samenstelling van de internationale coalitie voor bevordering van het klimaatdoel het onderscheidend element is. De beleidsruimte voor Nederland bestaat uit de bijdrage aan deze internationale samenwerking. Dit betreft de analyses op basis van het Blue Map scenario en het BAU+ scenario. In het Blue Map scenario is sprake van mondiaal afgestemd CO₂-reductiebeleid, in BAU+ is er enkel een Europese klimaatcoalitie (zie verder paragraaf 2.2).

Totaalbeeld

Uit de MKBA blijkt dat het saldo van baten en lasten van investering in CO₂-emissiereductie sterk afhankelijk is van het achtergrondscenario. Voor het BAU+ scenario kennen alle beleidsvarianten een negatief MKBA-saldo, met name omdat de CO₂-emissiereductie voor Nederland in dit scenario conform de schadekostenmethodiek niet meetelt als een maatschappelijke baat: elders in de wereld zal de Nederlandse vermindering van de emissies waarschijnlijk worden gecompenseerd door een hogere uitstoot. Ook ontstaat een beperkt effect op de productie en werkgelegenheid via de bestedingsimpuls, een effect dat afhankelijk is van het beleidsinstrument (normering, subsidiering of beprijzing). Verder tellen de verbetering van de voorzieningszekerheid en de baat van lagere energie-uitgaven voor bedrijfsleven en burgers mee als welvaartswinst.

De kosten omvatten zowel de directe kosten van de investeringen (bouwtechnische en elektromechanische investeringen en operationele kosten), als de indirecte kosten van het beleid dat nodig is om de investeringen te prikkelen of af te dwingen. Dit zijn de reguleringskosten van de genoemde beleidsinstrumenten. Deze kosten zijn onderdeel van het MKBA-saldo. Vanwege hun geringe vergelijkbaarheid is het echter niet opportuun uitspraken te doen over welke beleidsvariant vanuit welvaartsperspectief het meest wenselijk is. Bovendien is stimuleringsbeleid in de praktijk altijd een doordachte combinatie van reguleringsvarianten, in plaats van een keuze hiertussen.

De conclusie is dat de klimaatdoelstelling tegen de achtergrond van het BAU+ scenario per saldo hogere maatschappelijke kosten met zich meebrengt dan maatschappelijke baten, vooral omdat er in BAU+ geen sprake is van vermeden schade door Nederlandse (of Europese) inspanningen om CO₂-emissie te reduceren. Zo bezien is een *Europese Alleingang*, zonder dat later andere landen aansluiten, vanuit maatschappelijk welvaartsperspectief niet aantrekkelijk (Tabel 10). Het uitblijven van schadevermindering impliceert echter niet dat CO₂-emissiereductie in BAU+ geen baten heeft. Ook in BAU+ zal betalingsbereidheid bestaan om CO₂ te reduceren. De hoogte van deze betalingsbereidheid is echter ongewis, daarom is dit effect als baat van onbekende omvang ingeboekt, aangeduid met '+?'. Een minimale betalingsbereidheid van € 20,- per ton CO₂-eq is nodig om het bruto MKBA-saldo van minus € 36 miljard te

compenseren. Als Nederlandse burgers bereid zijn dit bedrag te betalen voor de reductie van een ton CO₂-eq, kan de reductiedoelstelling ook via de Europese *alleingang* zoals verondersteld in het BAU+ scenario, gunstig uitpakken op de welvaart in Nederland.

Blue Map laat een ander beeld zien. Dit scenario veronderstelt een wereldwijde klimaatcoalitie. Hierdoor tellen de Nederlandse emissiereducties ten volle mee als welvaartswinst. De waarde van deze emissiereducties is echter onzeker, en daar is de bandbreedte rekening mee gehouden. De bovenwaarde van de bandbreedte is sterk positief. De baat van vermeden brandstofverbruik is in Blue Map lager dan in BAU+. Dit komt door de lagere fossiele brandstofprijzen omdat de wereld minder (fossiele) energie consumeert. Dit maakt energie, dus ook fossiele energie, minder schaars. Met lagere prijzen zijn ook de opportuniteitskosten van vermeden brandstofverbruik lager, wat zichtbaar is als een kleinere maatschappelijke baat.

Per saldo zijn de reductie van de CO₂-emissies en het vermeden brandstofverbruik de grootste baten van klimaatbeleid in Blue Map. Voorzieningszekerheid, extra werkgelegenheid via de bestedingsimpuls en een impuls voor innovatie en groei op lagere termijn vormen met bedragen tussen € 7,6 en 15,6 miljard (uitgedrukt als een netto contante waarde) kleinere posten op het MKBA-overzicht.

Conclusie is dat in Blue Map het MKBA-saldo als bovenwaarde een grote positieve waarde kent. Voor de benedenwaarde kan de uitkomst negatief zijn. Het verschil tussen boven- en onderwaarde is groot. Dit wordt vooral veroorzaakt door de onzekerheid over de waarde van CO₂ in de toekomst. Figuur 12 en Figuur 13 maken de bandbreedtes grafisch inzichtelijk. In het bruto MKBA-saldo is geen rekening gehouden met de specifieke kosten en baten van de instrumentkeuze. Dit is dus exclusief de bestedingsimpuls en de reguleringskosten, die qua omvang afhangen van het gekozen instrument. De reguleringskosten die met ieder instrument samenhangen geven een gevoel voor orde grootte. Een keuze voor een specifieke instrumentmix vraagt nadere specificering en onderbouwing van de in te zetten instrumenten.

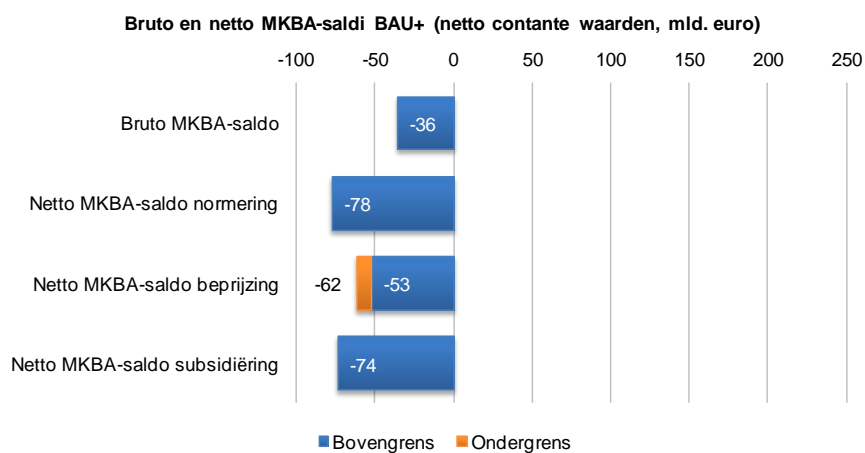
De uitgebreide toelichting op de saldotabellen is opgenomen in Paragraaf 4.4.

Tabel 10: MKBA-saldo in een Blue Map en BAU+ scenario (netto contante waarden, mld euro) ¹⁸

	Blue Map		BAU+	
<i>Directe effecten</i>				
Vermeden brandstofverbruik		68,2		90,6
Kosten emissiereductiemaatregelen		-143,2		-149,8
Voorzieningszekerheid		7,6		7,6
<i>Indirecte effecten</i>				
Structurele groei		11,0		11,3
<i>Externe effecten</i>				
Vermeden broeikasgasemissie	36,9	à 276,2		+?
Vermeden luchtverontreiniging		3,9		3,9
Bruto MKBA-saldo	-19,6	à 223,6		-36,3 +?
Netto MKBA-saldo <i>Normering</i>	-48,6	à 194,6		-77,7 +?
Netto MKBA-saldo <i>Beprijzing</i>	-30,2	à 222,3	-61,9	à -52,6 +?
Netto MKBA-saldo <i>Subsidiëring</i>	-58,5	à 184,7		-74,2 +?

Bron: SEO Economisch Onderzoek.

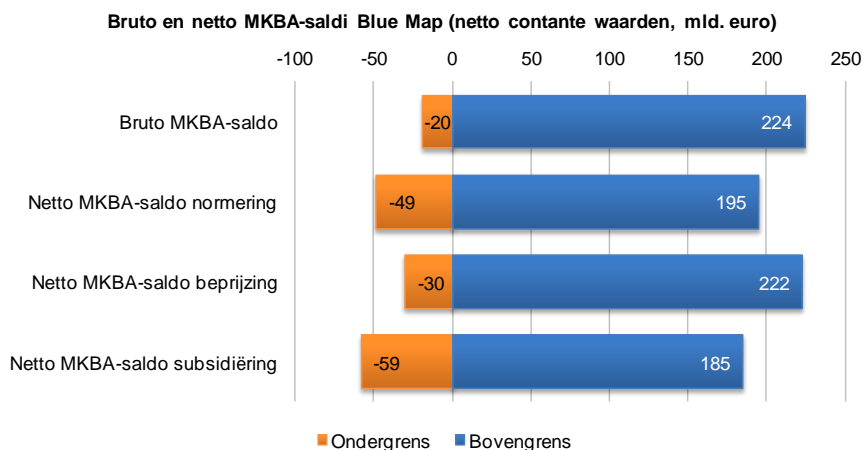
Figuur 12: MKBA-saldi in BAU+ in alle gevallen negatief



Bron: SEO Economisch Onderzoek

¹⁸ Alle contante waarden zijn uitgedrukt in 2011-euro's.

Figuur 13: MKBA-saldi in Blue Map tenderen naar positief



Bron: SEO Economisch Onderzoek

4.2 De baten van emissiereductie

Vermeden brandstofverbruik

Vermeden brandstofverbruik is een belangrijk onderdeel van de baten. De omvang van de baat wordt bepaald door de verandering in het gebruik en de verandering in de prijzen van de verschillende energiedragers.

Vermeden brandstofverbruik wordt gewaardeerd als de cumulatieve nationale energiebatens tegen wereldhandelsprijzen. In BAU+ wordt ruim € 90 miljard aan vermeden brandstofverbruik gerealiseerd, in Blue Map krap € 70 miljard (Tabel 11). Dit verschil is een prijseffect, aangezien de fysieke besparing voor alle scenario's ongeveer hetzelfde is.¹⁹

Tabel 11: Baten van vermeden brandstofverbruik (netto contante waarden, mld. euro)

Projectalternatief	Nationale energiebatens tegen wereldhandelsprijzen (WHP)	Gevoeligheidsanalyse: WHP uit BAU-scenario
BAU+	90,6	+37,4
Blue Map	68,2	+59,9

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Figuur 27 en Figuur 28 in Bijlage F.2 tonen de prijsverschillen. De figuren laten alleen de prijzen van fossiele brandstoffen zien. Dit zijn de prijzen die het verschil maken: hoe meer landen emissiereductiebeleid voeren, hoe lager de prijzen van fossiele energie. De verklaring hiervoor is een kleiner mondiaal energiegebruik dat energie minder schaars maakt, ook fossiele energie. Voor hernieuwbare energiebronnen is gerekend met gelijke prijzen in de scenario's.

¹⁹ Bij een 80 %-reductiedoelstelling en reële potentiële aannames is de keuzevrijheid tussen opties niet zeer groot. Daarom tenderen de oplossingen voor BAU+ en Blue Map naar elkaar toe. Zie hoofdstuk 3 voor een uitgebreidere toelichting.

Goedkoper restgebruik fossiele brandstoffen

Vermeden brandstofverbruik genereert een baat in termen van welvaart: de koopkracht die vrijkomt kan worden benut voor andere bestedingen. Er is ook een prijseffect: restgebruik van fossiele energie in BAU+ en Blue Map wordt goedkoper door de daling van wereldhandelsprijzen in beide scenario's.²⁰ Tabel 44 en Tabel 45 in Bijlage F.2 verklaren dit effect, dat stevig kan oplopen tot rondom € 10 miljard per jaar in Blue Map. Het is vooral het resterend oliegebruik dat dit effect voor een belangrijk deel verklaart. Het gebruik van olie daalt in Blue Map flink, maar bedraagt in 2050 nog steeds 852 PJ per jaar. Dit genereert een flinke opportuniteitskost bij lagere prijzen voor fossiele brandstoffen dat qua omvang in nominale waarde rond de € 8 à 10 miljard per jaar schommelt. De contante waarde van dit prijseffect bedraagt € 64 tot 128 miljard (Tabel 12).

Tabel 12: Netto contante waarde van goedkoper restverbruik t.o.v. BAU (mld. euro)

	BAU+	Blue Map
Kolen	3,6	7,4
Olie	39,7	79,8
Aardgas	20,4	40,5
Totaal	63,8	127,7

Bron: SEO Economisch onderzoek o.b.v. data ECN

Dit prijseffect is niet opgenomen als een baat in de MKBA-tabel, omdat het effect volledig is toe te rekenen aan prijsontwikkelingen op mondiale energiemarkten. Nationaal beleid heeft hierop per definitie geen invloed. Een MKBA rekent effecten toe aan beleidskeuzes. Een prijseffect dat is veroorzaakt door een niet te beïnvloeden externe ontwikkeling blijft buiten beschouwing. Het prijseffect is overigens wel reëel en veroorzaakt een positief welvaartseffect.

Verdelingseffecten

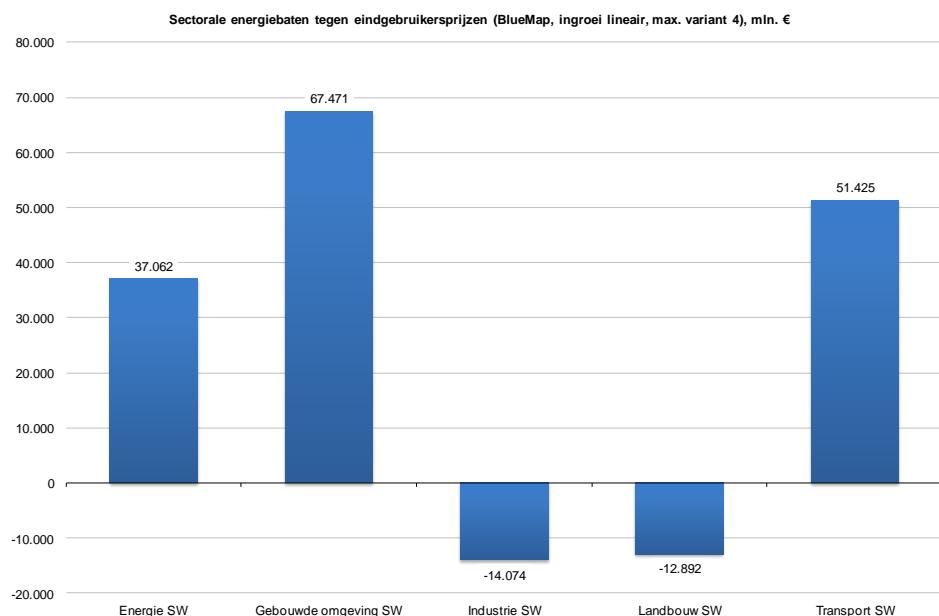
Figuur 14 geeft een overzicht van de verdeling van de baat van het vermeden brandstofverbruik over de verschillende sectoren. Het gaat hier om de baten vanuit het perspectief van de doelgroep, en niet om de maatschappelijke baten. De energiebatens zijn daarom berekend op basis van de prijs die de betreffende doelgroep betaalt voor de inkoop van energie, dan wel krijgt bij de verkoop van energie. Hierbij zijn de prijzen uit de *baseline* gebruikt. De verdelingseffecten zijn een eerste-orde-effect: er wordt geen rekening gehouden met eventuele prijsveranderingen als gevolg van het emissiereductiebeleid. Vooral in energieproducerende sectoren, het transport en de gebouwde omgeving slaan de baten neer.²¹

²⁰ Hiervoor is het prijsverschil ten opzichte van een *business as usual* scenario maatgevend (zie Bijlage F.2).

²¹ Dit resultaat is zonder het hiervoor genoemde prijseffect van goedkoper restgebruik.

Het verdelingseffect wordt bepaald door de inzet van de verschillende soorten opties in de genoemde sectoren. In de energiesector domineert de overstap op hernieuwbare energie en nucleaire energie, waardoor de inkoop van fossiele brandstoffen per saldo lager wordt. In de gebouwde omgeving en de transportsector wordt de inzet van brandstof lager door energiebesparing. Ook is er meer inzet van groen gas en biobrandstoffen, en is de prijs van deze biogene brandstoffen in deze berekeningen exclusief energiebelasting en accijnzen. In de industrie en de landbouw zijn er netto kosten. In de industrie komt dit door de inzet van biomassa en CCS, waardoor de kosten van energie-inkoop toenemen. In de landbouw wordt WKK vervangen door hernieuwbare warmte. De landbouw wordt daarmee een netto consument van elektriciteit in plaats van een netto producent. Het effect hiervan is groter dan dat van de vermeden kosten van aardgasinkoop.

Figuur 14: Verdeling van energiebaten over sectoren (netto contante waarden, mln. euro)



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.2.1 Voorzieningszekerheid

Introductie

Een groeiend aandeel van hernieuwbare energie in de totale energieproductie heeft effect op de voorzieningszekerheid.²² Dit effect houdt verband met de negatieve economische impact van fossiele energiemarkten op de macro-economie. Deze impact ontstaat door de volatiliteit van prijsontwikkelingen op de wereldmarkten voor fossiele brandstoffen, zoals aardolie. De gevolgen van de twee oliecrises uit de jaren zeventig zijn evidente voorbeelden.

²² Voorzieningszekerheid heeft betrekking op de continuïteit van het energieaanbod. Er kunnen ook in het energiesysteem zelf interrupties optreden, die we aanduiden met de term *leveringszekerheid*. Stroomstoringen of aardgaslekken hebben bijvoorbeeld een negatieve bijdrage aan de leveringszekerheid, maar vallen buiten de scope van het begrip voorzieningszekerheid.

Het effect van energiemarkten op de voorzieningszekerheid loopt via het prijsmechanisme. Een plotselinge beperking van de productie van olie veroorzaakt over het algemeen een sterke stijging van de wereldprijs van aardolie. De hoge energieprijs vormt een economische kostenpost. Consumenten zien hun koopkracht door inflatie teruglopen; producenten worden geconfronteerd met de hogere prijs van een cruciale productiefactor, energie. Dit kan de winstmarges van het bedrijfsleven onder druk zetten. Het korte termijn macro-economische effect van de prijsschok kan zijn dat zowel de consumptieve bestedingen als de investeringsvraag teruglopen. Voor de langere termijn is de impact op de investeringsonzekerheid van belang. Prijsvolatiliteit van een belangrijke hulpbron zoals energie verhoogt de onzekerheid van investeerders in de energiesector en daarbuiten. Hamilton (2009) concludeert in een recent rapport van de Brookings Institute dat volatiele energieprijzen op de lange termijn de economische groei en de werkgelegenheid negatief beïnvloeden.

Bij reductie van de prijsonzekerheid op de energiemarkt door substitutie van prijsgevoelige fossiele energiebronnen door hernieuwbare energie, kan de voorzieningszekerheid verbeterd worden. Het gevolg is een vermeden economische kostenpost die door de MKBA als een baat wordt behandeld. Hierbij moet rekening worden gehouden met het gegeven dat ook hernieuwbare brandstoffen, zoals biomassa, prijsonzekerheid kennen.²³ Het gaat met andere woorden om het relatieve verschil in prijsonzekerheid tussen fossiele energiebronnen en het hernieuwbare alternatief.

Waardering van voorzieningszekerheid

De vermeden macro-economische verstoring als gevolg van minder import van een energiedrager is een product van de vermeden import (het deel van het vermeden brandstofverbruik dat in het nulalternatief geïmporteerd zou worden) en een premie die aan de vermindering van importafhankelijkheid wordt toegekend (Leiby, 2007).²⁴ Deze premie weerspiegelt de waarde van het opheffen van (macro-economische verstoring als gevolg van) prijsonzekerheid over de energiedrager. Prijsonzekerheid kan het gevolg zijn van beperkte natuurlijke beschikbaarheid van de energiedrager (dit speelt bij de import van fossiele brandstoffen), maar bijvoorbeeld ook door onzekerheid over de toevoer (dit speelt bijvoorbeeld bij houtimport ten behoeve van biomassa productie).²⁵

Maatschappelijke baten van voorzieningszekerheid

Figuur 15 toont de achtergrond van de vermeden importafhankelijkheid en de extra import. Het personenverkeer realiseert een forse reductie van het brandstofgebruik en draagt daarmee sterk bij aan de verminderde importafhankelijkheid. Ook de import van kolen neemt flink af. Daar staat extra import van biomassa tegenover. Per saldo

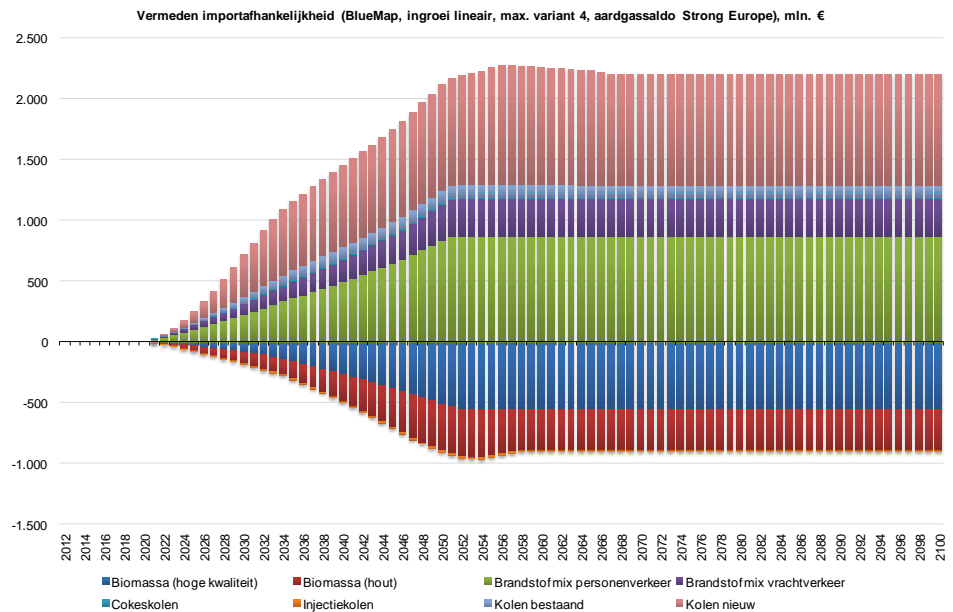
23 Dit geldt niet voor stromingsenergiebronnen, zoals wind, water en zon.

24 De premie wordt jaarlijks opgehoogd met de voorspelde BBP-groei in PBL & ECN (2011, p. 57).

25 Tegenover minder importafhankelijkheid als gevolg van minder verbruik van een geïmporteerde energiedrager staat *toegenomen* importafhankelijkheid als gevolg van *meer* verbruik van een energiedrager die niet (volledig) binnenlands kan worden betrokken. Voorbeelden hiervan zijn bepaalde biomassasoorten. Voor extra import van deze energiedragers wordt een maatschappelijke kost ingeboekt (zie het gebied onder de x-as in Figuur 44). De gepresenteerde baten van voorzieningszekerheid zijn in werkelijkheid dus een *saldo* van baten (vermeden importafhankelijkheid) en lasten (extra importafhankelijkheid)

vermindert de importafhankelijkheid wat de omvang van de baat voor de post voorzieningszekerheid verklaart. De importafhankelijkheid is verder toegelicht in Bijlage F.3.

Figuur 15: Vermeden en extra importafhankelijkheid in the Blue Map scenario



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Tabel 13 berekent de omvang van de baten die ontstaan door grotere voorzieningszekerheid. Doordat de effecten op de importafhankelijkheid weinig verschillen tussen de scenario's, is ook de omvang van de baat vrijwel gelijk. Per saldo is de maatschappelijke baat positief met een waarde die ligt tussen circa € 3,7 miljard en € 13 miljard in netto contante waarde.

Tabel 13: Baten van voorzieningszekerheid (netto contante waarden, mld. euro)

Projectalternatief	Ondergrens	Gemiddelde baat	Bovengrens
BAU+	3,7	7,6	13,0
Blue Map	3,7	7,6	13,0

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.2.2 Bestedingsimpuls

Introductie

Investerings in de opties voor CO₂-emissiereductie hebben op de korte termijn invloed op de productie en de werkgelegenheid. Dit indirecte effect wordt in MKBA's doorgaans voorzichtig behandeld om te voorkomen dat dubbeltellingen plaatsvinden (een direct

effect wordt ook geteld als indirect effect) of dat compenserende indirecte effecten worden genegeerd.

Waardering van de bestedingsimpuls

Dit onderzoek schat de multiplier en de aanpassingstermijn conservatief in en hanteert de termijn van 10 jaar voordat de impuls van de extra bestedingen is uitgewerkt en de economie weer de lange termijn hoeveelheid produceert. Het weglekken van bestedingen naar buitenlandse markten vermindert de impact van de multiplier. Dit weglekeffect is in dit onderzoek meegenomen door de bestedingsimpuls alleen over de binnenlandse bestedingen te berekenen.²⁶

De omvang van de bestedingsimpuls is vervolgens afhankelijk gesteld van het gekozen beleidsalternatief. Bij normering worden in de impuls alleen bestedingen meegenomen die privaat rendabel zijn. De redenering hierachter is dat van investeringen die voor huishoudens of het bedrijfsleven per saldo batig zijn maar om uiteenlopende redenen niet tot stand komen in het nulalternatief, een bestedingsimpuls (lees: het wegnemen van marktfaalen) uitgaat op het moment dat ze via een norm worden afgedwongen.²⁷

Bij beprijzing wordt de bestedingsimpuls deels tenietgedaan door (onmiddellijke) prijsstijging van producten en diensten die onder het emissiehandelssysteem vallen, dan wel belast worden. De consument zal het effect van beprijzing vooral merken bij het kopen van bouwmaterialen, glas(producten) en producten waarin basischemicaliën zijn verwerkt. In deze MKBA is gerekend met een indicatieve bandbreedte van koopkrachtdaling van 10 tot 20 procent. Een gedetailleerde onderbouwing van dit effect is opgenomen in Bijlage F.4.

Voor het beleidsalternatief subsidiëring zijn geen aanvullende aannames gedaan over de hoogte van de bestedingsimpuls. Hier is de snelheid bepalend waarmee extra bestedingen weglekken of een prijsstijging veroorzaken die de impuls op de reële economie (werkgelegenheid en productie) tenietdoen. Deze correctie vindt uiteindelijk altijd plaats: er is geen structureel effect. De MKBA berekent alleen het tijdelijke effect van de bestedingsimpuls op reële variabelen.

Bij beprijzing en subsidiëring wordt vervolgens gecorrigeerd voor ineffectiviteit van een bestedingsimpuls in tijden van hoogconjunctuur, wanneer de extra bestedingen inflatie en dus koopkrachtverlies opleveren. Omdat op voorhand niet te voorspellen is of overheidsingrijpen in tijden van hoog of laagconjunctuur plaatsvindt, wordt slechts de helft van de bestedingsimpuls als baat ingeboekt. Het gaat hier puur om het effect van investeringen op een 'verkeerd' moment in de conjunctuur waardoor prijsstijgingen de reële effecten snel zullen wegpoetsen. Het onderzoek houdt geen rekening met mogelijke pogingen om de investeringen op het juiste moment te timen. Er zijn geen aanwijzingen dat een dergelijke aanpak, die berust op het voorspellen van de stand van de conjunctuur, succesvol zal zijn. Dit verdedigt de pragmatische aanpak om rekening te houden met een kans van 50% op investeren in tijden van hoog- dan wel laagconjunctuur.

²⁶ De bestedingsimpuls wordt enkel over de initiële investeringen berekend (vervangingsinvesteringen en operationele kosten blijven buiten beschouwing).

²⁷ Bij beprijzing en subsidiëring is een dergelijke correctie niet nodig aangezien na heffing dan wel subsidie alle opties privaat rendabel worden verondersteld.

Figuur 16 toont de omvang van de bestedingsimpuls voor de drie beleidsvarianten. Normering genereert de kleinste impuls vanwege de verdringing van andere bestedingen. Het subsidie-instrument veroorzaakt de impuls met de grootste omvang. Merk op dat de figuur alleen het effect van de impuls weergeeft. De omvang van de investeringsimpuls zelf is toegelicht in Figuur 20 verderop en bij de toelichting op de investeringskosten. Het gaat om investeringen met een jaarlijkse omvang van circa € 8 à 10 miljard in nominale waarde.

Bijlage F.4 bevat een gedetailleerde toelichting op de berekening van de bestedingsimpuls.

Figuur 16: Omvang van de bestedingsimpuls in de tijd



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Maatschappelijke baten van de bestedingsimpuls

De baat van de bestedingsimpuls is bij normering € 9 tot 12 miljard, bij beprijzing tussen € 12 en 14 miljard en bij subsidiëring ongeveer € 16 miljard (Tabel 14). Merk op dat dit bruto baten zijn. De inzet van ieder beleidsinstrument gaat gepaard met specifieke reguleringskosten, zoals toegelicht in Paragraaf 4.3. De kosten van de instrumenten zijn in alle gevallen groter dan de omvang van de bestedingsimpuls. De netto baten van de bestedingsimpuls zijn met andere woorden negatief, zoals toegelicht in de uitgebreide MKBA-saldo tabellen in Paragraaf 4.4.

Tabel 14: Baten van de bestedingsimpuls (netto contante waarden, mld. euro)

Projectalternatief	Normering	Beprijzing	Subsidiëring
BAU+	12,4	12,8 à 14,4	16,0
Blue Map	9,3	12,4 à 14,0	15,6

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Als gevoeligheidsanalyse is met een bestedingsimpuls van 5 in plaats van 10 jaar gerekend. In dat geval verdwijnt ieder jaar 20% van de oorspronkelijke toename van de productie (Tabel 15). Hierdoor neemt de waarde van de bestedingsimpuls af met ongeveer 40 procent.

Tabel 15: Gevoeligheidsanalyse kortere bestedingsimpuls (netto contante waarden, mld. euro)

Projectalternatief	Normering	Beprijzing	Subsidiëring
BAU+	7,3	7,6 à 8,5	9,5
Blue Map	5,5	7,4 à 8,3	9,2

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.2.3 Effect op de structurele groei

Introductie

De analyse van de kortetermijneffecten van investeringen in opties voor CO₂-emissiereductie roept de vraag op wat de langetermijneffecten van dit type investeringen zijn. Volgens het CPB is het antwoord op deze vraag afhankelijk van het kanaal waarlangs de bestedingen lopen. Zijn dit louter consumptieve bestedingen dan is het langetermijneffect nul. Heeft de impuls betrekking op de investeringen dan is het langetermijneffect afhankelijk van de impact op de kapitaalgoederenvoorraad en de arbeidsproductiviteit, een van de determinanten van de BBP-groei. Daarnaast is innovatie nodig voor bepaalde opties waarmee een bijdrage wordt geleverd aan de productie en diffusie van kenniskapitaal. Ook dit kan invloed hebben op de arbeidsproductiviteit en daarmee op de structurele groei van de economie (zie verder Bijlage F.5).

Waardering van structurele groei

Investeringen in de opties voor CO₂-emissiereductie hebben in sommige gevallen gevolgen voor de kapitaalintensiteit van de energieproductie en de productie of diffusie van kenniskapitaal. De MKBA berekent de productiviteitseffecten door het verschil in kapitaalinvesteringen tussen nulalternatief en projectalternatief te nemen. Bij een positief verschil zal de productie van energie per saldo kapitaalintensiever worden.

Bij deze berekening onderscheiden we verschillende fysiek kapitaal:

- fysiek kapitaal nodig voor elektriciteitsproductie. Dit betreft de kapitaalinvesteringen in de elektriciteitsopwekking, zowel hernieuwbaar als fossiel. Kapitaal bestaat uit centrales en distributie- en transportleidingen;
- overig fysiek kapitaal dat vooral energiegerelateerd is zoals de productie van biogas.

Daarnaast onderscheiden we het kenniskapitaal als bron van multifactorproductiviteit (technologische vooruitgang).²⁸

Om het effect van veranderingen in de kapitaalgoederenvoorraad te berekenen hebben we een outputelasticiteit nodig. Deze elasticiteit geeft aan wat de procentuele verandering in de productie is als gevolg van de verandering van een productiefactor, zoals verandering van de kapitaalgoederenvoorraad. In de literatuur zijn verschillende schattingen gemaakt van deze elasticiteiten. Hierbij is op basis van eerder onderzoek verondersteld dat het aandeel fysiek kapitaal in energiegerelateerde investeringen 84% is tegenover het aandeel van kenniskapitaal 16% (Koopmans e.a., 2010, p. 60).

Tabel 16: Outputelasticiteiten van fysiek en kenniskapitaal

Kapitaaltype	Outputelasticiteit	Bron
Fysiek kapitaal		
Elektriciteitsproductie	0,25	Egert e.a. (2009, p. 31)
Overig fysiek kapitaal	0,20	CPB (2010b, p. 56)
Kenniskapitaal	0,13	Guellec & Van Pottelsberghe (2001, p. 113)

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tabel 17: Verdeling van optiecategories over de kapitaalsoorten

Elektriciteitsproductie	Overig fysiek kapitaal
Biomassa elektriciteit	Biobrandstoffen
Fossiele centrales	Biomassa warmte
Hernieuwbare elektriciteit	Hernieuwbare warmte
Kernenergie	Warmte fossiel
WKK biomassa	Waterstof warmte
WKK fossiel	Waterstofproductie biomassa
WKK waterstof	Waterstofproductie elektriciteit
	Waterstofproductie geen CCS

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

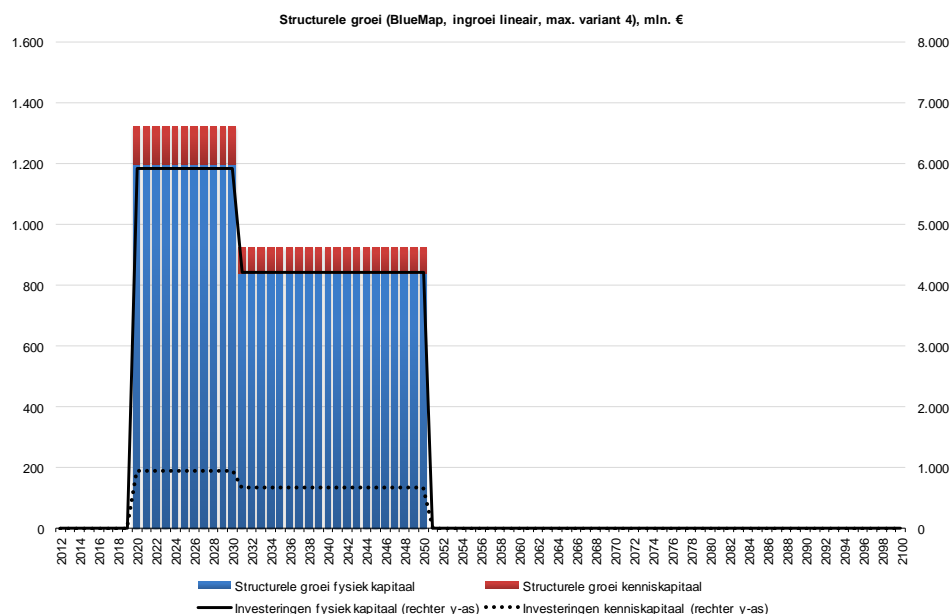
Maatschappelijke baten van structurele groei

Structurele groei wordt berekend als de bouwtechnische en elektromechanische investeringen in de optiecategories uit Tabel 17 in jaar t , vermenigvuldigd met het aandeel van het kapitaaltype (84% en 16% voor respectievelijk fysiek en kenniskapitaal) en de outputelasticiteit van de soorten fysiek en kenniskapitaal (zie Tabel 16).²⁹ In beide scenario's bedraagt de contante waarde van de structurele groei € 11 miljard (Tabel 18).

28 Multifactorproductiviteit is dat deel van de groei van de toegevoegde waarde en arbeidsproductiviteit dat niet kan worden verklaard door de veranderende (kwantitatieve en kwalitatieve) inzet van arbeid en kapitaalgoederen (Van den Bergen, 2008, p. 179).

29 Structurele groei wordt alleen over initiële investeringen berekend en niet over vervangingen.

Figuur 17: Structurele groei van fysiek en kenniskapitaal



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Tabel 18: Baten van structurele groei (netto contante waarden, mld. euro)

Projectalternatief	Electriciteitsproductie	Overig fysiek kapitaal	Kenniskapitaal	Totaal
BAU+	8,4	1,8	1,1	11,3
Blue Map	8,2	1,7	1,0	11,0

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

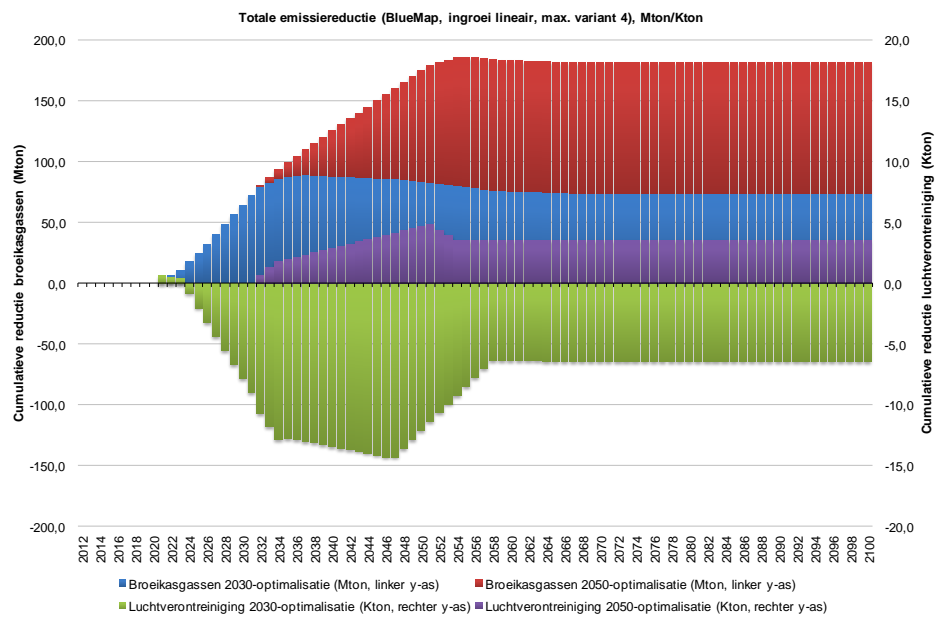
4.2.4 Emissiereductie

Introductie

Het externe effect van de vermeden CO₂-emissies moet voor de MKBA gewaardeerd worden. In MKBA's van opties voor reductie van CO₂-emissies is dit doorgaans een belangrijk effect.

Figuur 18 schetst de ontwikkeling van de emissies. De MKBA waardeert niet alleen CO₂ maar ook andere broeikasgassen (CH₄, F-gassen en N₂O).

Figuur 18: Reductie van broeikasgassen en luchtverontreiniging



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Waarde van CO₂

Reductie van emissies zorgt voor een maatschappelijke baat: klimaatkosten als gevolg van de uitstoot worden vermeden. Daarnaast ervaren mensen een schoner milieu als welvaartswinst. De waarde van de vermeden CO₂-emissies en overige broeikasgassen is bepaald aan de hand van schattingen in de literatuur. Hiervoor is gebruik gemaakt van de schadekostenmethodiek, de social cost of carbon. Deze waarde varieert in de tijd en is mede afhankelijk van de bevolkingsdichtheid en de economische groei. Dit betekent een oplopende waarde van CO₂ in de tijd, gegeven de veronderstellingen van de scenario's.

Tabel 19 schetst gegevens voor de schadekostenwaardering van CO₂ aan de hand van verschillende bronnen. Deze bronnen zijn metastudies: ze combineren schattingen uit andere studies. Tol (2009) gebruikt hiervoor een groot aantal gegevens. Nadeel van deze bron is dat de waarde niet is bepaald voor toekomstige jaren. Dit is wel gebeurd door CE Delft en Watkiss zoals Tabel 19 laat zien. De MKBA gebruikt de gegevens van CE Delft, maar laat de invloed van andere veronderstellingen zien in de gevoeligheidsanalyse. Dit maakt transparant wat de invloed is van variaties in de waardering van CO₂.

Tabel 19: Drie bronnen voor schadekostenwaardering van CO₂-emissiereductie (€ per tCO₂)³⁰

	2010			2020			2030			2040			2050 e.v.		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
CE Delft (2010)	7	25	45	17	40	70	22	55	100	22	70	135	20	85	180
Watkiss e.a. (2006) ³¹	19	30	121	23	36	157	28	44	163	32	50	184	40	64	224
Tol (2009) ³²	12	44	158												

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN, CE Delft (2010, pp. 95-96 en Annex J.1), Watkiss e.a. (2006, p. xi) en Tol (2009, p. 41)

Maatschappelijke baten van emissiereductie

Broeikasgassen

Er bestaan vuistregels in de MKBA literatuur die bepalen of een reductie van CO₂-emissies een maatschappelijke baat vormt. De vuistregels hebben betrekking op:

- Wederkerigheid: als Nederland emissies reduceert, doen andere landen dat ook;
- Internationale juridische verplichtingen, die (wereldwijde) reducties afdwingen;
- Nederlandse preferenties: er is betalingsbereidheid in Nederland voor een bijdrage aan het klimaatvraagstuk, ook al reduceren andere landen minder of helemaal niet.

Voor BAU+ kan volgens de eerste twee vuistregels geen maatschappelijke baat worden toegerekend aan de reductie van CO₂-emissies. Er is in dit scenario geen wederkerigheid van emissies en geen internationale juridische verplichting voor landen buiten Europa. Een alternatief zou zijn om de betalingsbereidheid van Nederlandse burgers te meten voor de nationale bijdrage aan het klimaatvraagstuk. Hiervan bestaan geen betrouwbare schattingen.³³ Daarom is CO₂-emissiereductie in BAU+ ingeboekt als 'baat van onbekende omvang', een zogeheten positieve *pro memorie* (PM) post.³⁴

In Tabel 20 worden de baten van vermeden broeikasgassen weergegeven. In het Blue Map scenario bedraagt de baat van de CO₂-emissiereductie in netto contante waarde circa € 135 miljard. De bandbreedte geeft de mate van onzekerheid aan van deze schatting en is conform de veronderstellingen in de literatuur (CE Delft, 2010).

30 Watkiss e.a. (2006) en Tol (2009) drukken schadekosten uit per metrische ton koolstof in plaats van per metrische ton koolstofdioxide. De waardes zijn omgerekend met een conversiefactor van 1tC = 3,664t CO₂ (Watkiss e.a. 2006, p. 1).

31 De schadekosten van Watkiss e.a. (2006), uitgedrukt in 2000€, zijn omgerekend naar eurobedragen met behulp van historische wisselkoersen van DNB (€ 1 = £ 0,60948)

32 Van de meta-analyse van Tol (2009) zijn de gewogen waarden genomen (*Fisher-Tippett*-verdeling), met het 33^{ste} percentiel als onderwaarde en het 95^{ste} percentiel als bovenwaarde rondom het gemiddelde. Deze kosten, uitgedrukt in 1995\$, zijn omgerekend naar 2010-waarden met een inflatiecorrectie van 43 % (*CPI Inflation Calculator* van de *Bureau of Labor Statistics*, <http://1.usa.gov/276heh>) en vervolgens naar eurobedragen met behulp van de historische wisselkoersen van DNB (€ 1 = \$ 1,3257).

33 Er bestaan wel buitenlandse studies waarin burgers wordt gevraagd wat zij bereid zijn te betalen voor vermindering van CO₂-uitstoot (zogenoemd *stated preference* onderzoek), zie onder meer Tsang & Burge (2011), NewExt (2004), Carlsson e.a. (2010) en Adaman e.a. (2011). Deze studies wijken qua uitgangspunten (een 80 %-emissiereductie gegeven dat landen buiten Europa niet deelnemen) en demografische kenmerken van de steekproef (in het bijzonder het inkomensniveau) echter te sterk af om dienst te kunnen doen als indicatie voor de betalingsbereidheid van Nederlanders in een BAU+ scenario.

34 Ter illustratie van de 'vereiste' betalingsbereidheid is teruggerekend hoe hoog deze zou moeten zijn om het negatieve bruto MKBA-saldo te compenseren. Dit is ongeveer € 20 per ton CO₂-eq (constante waarde tussen 2020 en 2100).

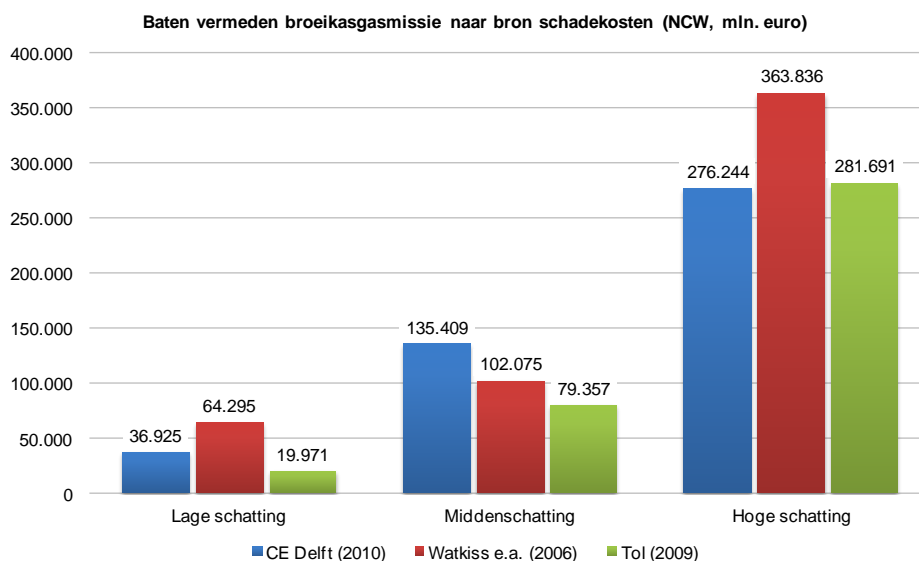
Tabel 20: Baten van vermeden broeikasgassen op basis van schadekostenwaardering (netto contante waarden, mld. euro)

	Blue Map			
	BAU+	Laag	Midden	Hoog
Totaal broeikasgassen	-	36,9	135,4	276,2

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN en CE Delft (2010, pp. 95-96 en Annex J.1)

Figuur 19 toont de gevoeligheidsanalyse voor de baat van vermeden CO₂-emissies. De schatting laat zien dat omvang van de baat afhankelijk is van de gebruikte CO₂-waardes. De resultaten zijn echter goed vergelijkbaar en bieden niet een heel ander beeld. Opvallend is de scheve staart: het verschil tussen de ondergrens en het gemiddelde is kleiner dan het verschil tussen de bovengrens en het gemiddelde. Dit verschil geeft aan dat de kans op een extreme situatie met grote schade (bijvoorbeeld overstromingen in laaggelegen gebieden) groter is dan de waarschijnlijkheid van een extreme situatie met een positieve uitkomst (klimaatverandering geeft mondiale economie een impuls).³⁵ De waarschijnlijkheden hebben invloed op de verwachte kosten en daarmee op de toekomstige waardering van CO₂ via de schadekostenmethodiek. De waardes van CE Delft tonen deze scheve verdeling ook, maar zijn in de middenschatting iets hoger dan schattingen uit de andere bronnen.

Figuur 19: Gevoeligheidsanalyse: baten van vermeden broeikasgassen



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN, CE Delft (2010), Watkiss e.a. (2006) en Tol (2009)

Luchtverontreiniging

Tabel 21 geeft aan dat de (netto) baten van vermeden luchtverontreiniging relatief gering zijn, ongeveer € 3,9 miljard in beide scenario's. Alleen van NO_x en SO₂ wordt over de zichtperiode minder uitgestoten en zijn er dus baten van emissiereductie. Van de

³⁵ Zie verder: Tol (2009, p. 37).

andere stoffen is per saldo meer emissie en zijn er maatschappelijke kosten van emissietoename. De schadekosten per ton emissiereductie waarmee gerekend is, zijn toegelicht in Bijlage F.6.

Tabel 21: Baten van vermeden luchtverontreiniging (netto contante waarden, mld. euro)

	BAU+	Blue Map
NMVOS	-0,3	-0,3
NH3	-9,7	-9,7
NOx	15,3	15,3
SO2	1,2	1,2
Fijn stof PM10	-2,6	-2,6
Totaal luchtverontreiniging	3,9	3,9

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.3 De kosten van emissiereductie

4.3.1 Investeringskosten

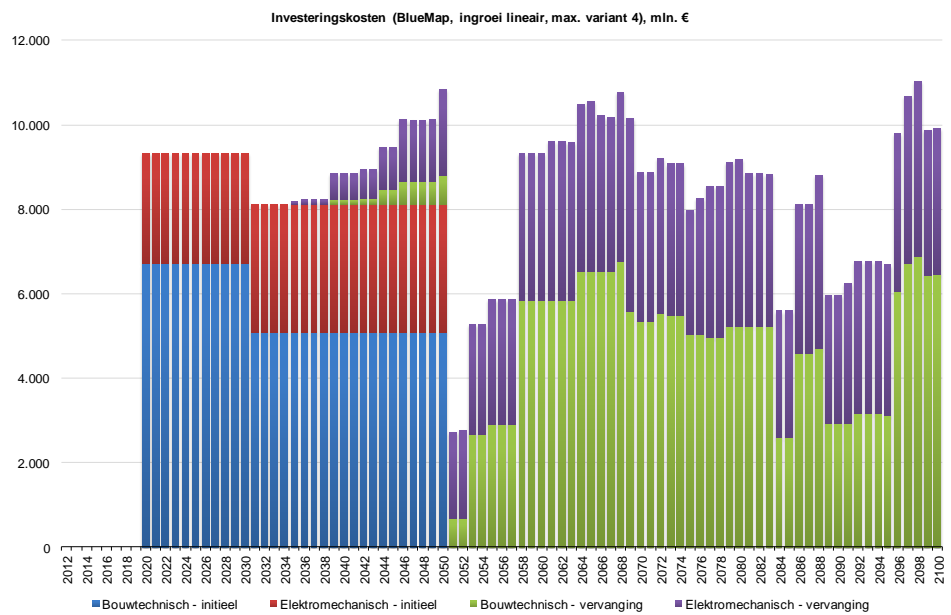
Introductie

Aan opties zijn bouwtechnische en elektromechanische investeringskosten verbonden. Naast additionele investeringen ten opzichte van het nulalternatief bevat het optiepakket ook vermeden investeringen – minder investeringen ten opzichte van het nulalternatief.

Investeringskosten worden in gelijke delen over de investeringsperioden 2020-2030 en 2031-2050 uitgesmeerd (zie Bijlage F.1 voor een toelichting). De blauwe en rode balken in Figuur 20, respectievelijk de bouwtechnische en elektromechanische investeringen, geven dit grafisch weer.

Afhankelijk van of de optie (volledig) in stand wordt gehouden (zie Bijlage F.1) vinden na het verstrijken van de technische levensduur van een optie vervangingsinvesteringen plaats. Van een optie met een levensduur van 15 jaar worden zodoende investeringen uit het eerste jaar ($t=1$) herhaald in het zestiende jaar ($t=1+\text{technische levensduur}$). Na 2050 vinden enkel nog vervangingsinvesteringen plaats (de groene en paarse balken in Figuur 20).

Figuur 20: Bouwtechnische en elektromechnische (vervangings)investeringen



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Tabel 22 geeft de ‘kale’ investeringssom voor de twee scenario’s BAU+ en Blue Map, respectievelijk de additionele investeringen ten opzichte van het nulalternatief, de vermeden investeringen ten opzichte van het nulalternatief en het saldo daarvan (de netto investeringen). De ‘kale’ investeringen zijn exclusief vervangingen en zijn nominaal – dat wil zeggen, houden geen rekening met de temporisering van kastromen (ze zijn niet uitgedrukt in netto contante waarden). De tabel geeft vooral inzicht in de ordegrrootte van de kosten van de optiepakketten. In een BAU+ scenario kost het netto € 273 miljard om de emissiereductiedoelstelling te realiseren (nogmaals: exclusief vervangingsinvesteringen en zonder rekening te houden met temporisering), in Blue Map is dat € 8,5 miljard minder. Dit is vooral gelegen in lagere kosten voor de additionele investeringen – het niveau van de vermeden investeringen is in beide scenario’s ongeveer € 52 miljard.

Tabel 22: Initiele nominale (vermeden) investeringen (mld. euro)

	BAU+	Blue Map
Investeringen		
Bouwtechnisch	207,8	203,5
Elektromechanisch	118,2	113,4
Totaal investeringen	326,0	316,8
Vermeden investeringen		
Bouwtechnisch	-28,1	-28,0
Elektromechanisch	-24,5	-23,9
Totaal vermeden investeringen	-52,6	-51,9
Netto investeringen		
Bouwtechnisch	179,8	175,4
Elektromechanisch	93,7	89,5
Totaal netto investeringen	273,5	264,9

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Maatschappelijke kosten van investeringen

De cijfers in Tabel 23 bevatten wel vervangingsinvesteringen en houden wel rekening met het investeringstempo. De cijfers kunnen worden geïnterpreteerd als de waarde die de kasstromen uit Figuur 20 in 2012 vertegenwoordigen. In het BAU+ scenario is de netto contante waarde van de bouwtechnische en elektromechanische investeringen € 108 miljard, waarvan € 132 miljard aan investeringen en € 24 miljard aan vermeden investeringen. De tabel maakt tevens inzichtelijk in welke sectoren de (vermeden) investeringen plaatsvinden. Het kosteneffectieve besparingspotentieel is het grootst in de energiesector, gebouwde omgeving en het transport.

Tabel 23: Netto contante waarden investeringen in BAU+ scenario (bedragen in mld. euro)

	Investeringen		Vermeden investeringen		Netto	
Energie	50,3	38%	-9,0	37%	41,3	38%
Gebouwde omgeving	32,4	25%	-8,8	36%	23,6	22%
Industrie	17,1	13%	-3,4	14%	13,7	13%
Landbouw	6,0	5%	-3,2	13%	2,8	3%
Transport	26,3	20%	0,0	0%	26,3	24%
Totaal	132,1	100%	-24,4	100%	107,6	100%

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Tabel 24 geeft hetzelfde overzicht voor het Blue Map scenario. De netto contante waarden van de kasstromen zijn lager dan in het BAU+ scenario, conform het beeld in Tabel 22, maar de verschillen zijn veel kleiner wanneer de (vervangings)investeringen in een tijdsperspectief zijn geplaatst. De verdeling van de netto investeringskosten over sectoren in Blue Map komt sterk overeen met de verdeling in BAU+.

Tabel 24: Netto contante waarden investeringen in Blue Map-scenario (bedragen in mld. euro)

	Investeringen		Vermeden investeringen		Netto	
Energie	48,8	38%	-9,0	37%	39,8	39%
Gebouwde omgeving	31,5	25%	-8,7	36%	22,7	22%
Industrie	16,8	13%	-3,4	14%	13,4	13%
Landbouw	5,7	4%	-3,2	13%	2,5	2%
Transport	24,6	19%	0,0	0%	24,6	24%
Totaal	127,5	100%	-24,4	100%	103,1	100%

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Verdelingseffecten

Investeringen betekenen naast uitgaven ook inkomsten voor bedrijven in binnen en buitenland. Op categorieniveau is een inschatting gemaakt van waar de investeringen terecht komen. Tabel 25 geeft een overzicht van deze zogenoemde verdelingseffecten.³⁶ In BAU+ en Blue Map lekt ongeveer 40% van de bestedingen weg naar het buitenland. Van de binnenlandse bestedingen komen twee min of meer gelijke delen terecht in de bouw en materiaalleverende sector. De resterende bestedingen komen ten goede aan de installatiebranche.

³⁶ Inclusief vervangingsinvesteringen.

Tabel 25: Verdelingseffecten investeringen in BAU+ en Blue Map (netto contante waarden, mld. euro)

	BAU+		Blue Map	
Bouw	25,8	24%	25,3	25%
Installatie	12,6	12%	11,9	12%
Equipment	28,2	26%	26,7	26%
Import	41,0	38%	39,1	38%
Totaal	107,6	100%	103,1	100%

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.3.2 Operationele kosten

Maatschappelijke kosten van bediening en onderhoud

Kosten van bediening en onderhoud (Operation & Maintenance, kortweg O&M) vormen de hoofdmoot van een bredere post 'Overige kosten en baten'. Dit verklaart deels waarom in Tabel 26 ook negatieve kosten voorkomen: in de landbouw zijn de overige baten groter dan de (operationele) kosten.³⁷ Over de gehele zichtperiode bedragen de operationele kosten € 40 tot 42 miljard.

Tabel 26: Operationele kosten (netto contante waarden, mld. euro)

	BAU+	Blue Map
Energie	22,0	21,1
Gebouwde omgeving	0,3	0,3
Industrie	18,3	17,4
Landbouw	-0,1	-0,1
Transport	1,6	1,6
Totaal	42,1	40,2

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Verdelingseffecten

Net als bij investeringen impliceren operationele kosten naast uitgaven ook inkomsten voor bedrijven in binnen en buitenland. De verdelingseffecten in Tabel 27 maken duidelijk dat 80% van de uitgaven aan bediening en onderhoud ten goede komen aan de installatiebranche.

³⁷ Daarnaast is het mogelijk dat in een projectalternatief een optie wordt ingezet met lagere operationele kosten ten opzichte van de optie uit het nulalternatief die ermee wordt vervangen. Per saldo zijn er dan negatieve (uitgespaarde) operationele kosten.

Tabel 27: Verdelingseffecten operationele kosten in BAU+ en Blue Map (netto contante waarden, mld. euro)

	BAU+		Blue Map	
Bouw	0,0	0%	0,0	0%
Installatie	33,2	79%	31,6	79%
Equipment	3,2	8%	3,0	8%
Import	5,8	14%	5,5	14%
Totaal	42,1	100%	40,2	100%

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

4.3.3 Reguleringskosten

De invoering van de opties voor CO₂-emissiereductie vraagt beleid. Voor de invulling van de beleid zijn drie varianten doorgerekend:

- **Beprijzen:** invoering van een CO₂-prijs, die de opties voor CO₂-emissiereductie voldoende aantrekkelijk maakt in vergelijking met het fossiele alternatief;
- **Normen** die verplichten tot reductie van CO₂-emissie;
- **Subsidie:** een bijdrage vanuit de overheid om het kostenverschil tussen de opties voor CO₂-emissiereductie en CO₂-emitterende alternatieven te reduceren.

Beprijzing

Het CPB (Broer e.a., 2002) deed nog voor de invoering van het Europese emissiehandelssysteem ETS onderzoek naar de economische effecten van een nationaal CO₂-emissiehandelssysteem. Het hield daarbij onder meer rekening met verschuiving van activiteiten van sectoren, productiekrimp, verplaatsing van energie-intensieve bedrijven naar het buitenland als gevolg van energieprijstijgingen, werkloosheid en verlies aan productiviteit (tezamen de korte en lange termijn macro-economische aanpassingskosten), alsook met transactiekosten van verschillende systemen en het onderscheid tussen afgeschermd en niet-afgeschermd sectoren. Het CPB presenteert naast kortetermijneffecten ook structurele welvaartsverliezen van de door hen onderzochte systemen, uitgedrukt als verlies van Netto Nationaal Inkomen (NNI). Daarmee is deze studie nuttig als een referentiekader voor regulering in de vorm van beprijzing van CO₂-emissie.

Naast bovengenoemde welvaartsverliezen die beprijzing met zich meebrengt, is ook de nationaal onrendabele top van de emissiereductiemaatregelen zelf onderdeel van het NNI-verlies. Deze horen bij de reguleringskosten buiten beschouwing te blijven om dubbel telling te voorkomen. Het is echter niet te achterhalen welk deel van het NNI-verlies hieraan is toe te schrijven en dus is een zekere mate van dubbel telling onvermijdbaar.

In de basisvariant van het CPB worden alleen afgeschermd sectoren aan een emissieplafond onderworpen en vallen niet-afgeschermd sectoren onder een

prestatienorm.³⁸ Het lange termijn (reële) NNI-verlies van de basisvariant wordt door het CPB op 0,3% geschat.³⁹ Wanneer ook niet-afgeschermden sectoren onder een absoluut emissieplafond vallen, loopt het NNI-verlies op tot 1,1%. Het verschil van 0,8 procentpunt wordt vooral toegeschreven aan verplaatsing van (zeer) energie-intensieve bedrijven naar het buitenland (Broer e.a., 2002, p. 11) en is daarmee indicatief voor de hogere reguleringskosten in BAU+ ten opzichte van Blue Map. In een Blue Map scenario is verplaatsing van energie-intensieve industrieën immers vrijwel uitgesloten aangezien er geen sprake is van verstoring van concurrentieverhoudingen (het gelijke speelveld) omdat alle landen een even stringent klimaatbeleid voeren. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het CPB uitgaat van een nationaal emissiehandelssysteem en dat verplaatsingseffecten kleiner zijn in een Europees systeem, aangezien (energie-intensieve) Europese industrieën vooral onderling concurreren. Bovendien beweren sommige economen dat weglekeffecten op lange termijn kunnen afzwakken als gevolg van sectorale verschuivingen binnen een economie (Schmalensee, 1993). Internationale handel redresseert als het ware via structurele aanpassingen het verlies aan potentiële productie als gevolg van overheidsregulering. Daarom is in deze MKBA slechts een kwart van dit 'weglekverlies' ingeboekt en wordt in BAU+ gerekend met een maximaal BBP-verlies van 0,5%.

Tabel 28 vertaalt deze uitkomsten door naar kosten van beprijzing in de onderhavige MKBA. Als gevolg van beprijzing wordt BBP-verlies⁴⁰ verondersteld in de periode waarin de emissiereducerende opties worden uitgerold, dat wil zeggen tussen 2020 en 2050. Na 2050 zijn de macro-economische aanpassingskosten nihil verondersteld. De geschatte welvaartsverliezen als gevolg van beprijzing bedragen € 31 tot 38 miljard in BAU+ en € 15 tot 23 miljard in Blue Map.

Tabel 28: Kosten van beprijzing (netto contante waarden, mld. euro)

Variant	BAU+	Blue Map
Hybride emissiehandelssysteem (terugsluisvariant)	30,7	15,4
Hybride emissiehandelssysteem (basisvariant)	38,4	23,0

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. Broer e.a. (2002, pp. 47-62)

Tegenover de *overschatting* van de reguleringskosten in de door het CPB gepresenteerde structurele welvaartsverliezen als gevolg van het meenemen van de onrendabele top van de emissiereductie maatregelen zelf (zie boven), staat een *onderschatting* omdat het CPB uitgaat van een relatief bescheiden emissiereductiedoelstelling van 12 Mton over een periode van 5 jaar. Dit komt neer op een reductie van circa 6 procent ten opzichte van het achtergrondscenario, gemiddeld 1,2% additionele emissiereductie per jaar.⁴¹ In deze MKBA wordt 80% emissiereductie

38 De internationale concurrentiepositie van afgeschermden bedrijfstakken wordt door maatregelen ter beperking van CO₂-emissies niet structureel verstoord. Niet-afgeschermd zijn landbouw, chemie (kunststof, organische en anorganische chemie), basismetalen, overige industrie: (bouwmaterialen en papierindustrie), transport (excl. personenvervoer) en olieraffinage. Afgeschermd zijn alle overige sectoren (Broer e.a., 2002, p. 42).

39 In de 'terugsluisvariant' van het CPB gebruikt de overheid emissieheffingsopbrengsten om loon- en inkomstenbelasting en werkgeverspremies te verlagen. De resulterende kleinere belastingverstoring zorgt voor een beperkter NNI-verlies, namelijk 0,2%. Deze waarde is in Blue Map als ondergrens van de reguleringskosten gebruikt.

40 Het Netto Nationaal Inkomen is in hoge mate vergelijkbaar met het Bruto Binnenlands Product.

41 De prestatienorm voor niet-afgeschermden sectoren betreft een jaarlijkse verbetering van de CO₂-intensiteit van 1,5% (Broer e.a., 2002, p. 43).

opgelegd, waarmee gemiddeld 2,6% additionele emissiereductie per jaar moet worden gerealiseerd. Door de oorspronkelijke waarden van het CPB te hanteren, wordt aangenomen dat de overschatting en onderschatting elkaar opheffen.

Normering

Via normering kan verplicht worden gesteld dat producenten en gebruikers opties introduceren om de CO₂-emissie te reduceren. De economische kosten van normering bestaan in de versturende werking van dergelijke normen op de economische keuzes van consumenten en producenten. Het inperken van keuzevrijheid veroorzaakt een welvaartsverlies.

Dit welvaartsverlies als gevolg van normering bestaat uit verschillende posten. Belangrijk is het onderscheid tussen de directe effecten op de welvaart en de indirecte effecten. Een *direct effect* betreft de private kosten die door bedrijven en huishoudens worden gemaakt om de norm die nodig is voor reductie van CO₂-emissie te implementeren. In deze categorie vallen ook de handhavingskosten van de overheid. De indirecte effecten zijn de dynamische, langetermijn effecten die neerslaan in een lagere productiviteit en gereduceerd innovatievermogen, die van invloed zijn op het groeipotentieel van de economie (Schmalensee 1993, p. 13). Schattingen in de literatuur geven aan dat deze dynamische kosten van normering en andere vormen van regulering hoger zijn dan de directe kosten en cumulatief vele procenten van het BBP kunnen kosten. Zoals Hazilla en Kopp (1990, p. 370) stellen: de directe implementatiekosten van klimaatbeleid rusten op een beperkt aantal sectoren, maar de indirecte effecten zijn voelbaar door de hele economie.

Het risico voor deze MKBA is dat de schattingen van het welvaartsverlies zowel de directe als indirecte effecten bevatten. De directe kosten van de reductieopties zijn in deze MKBA al onderdeel van de directe investeringskosten. Om dubbeltelling te voorkomen moeten de welvaartskosten van de regulering beperkt blijven tot de handhavingskosten van de overheid en indirecte effecten zoals de reductie van productiviteit en innovatie. De meeste studies geven een geaggregeerde kostenschatting van directe en indirecte effecten. Hazilla en Kopp (1990) vergelijken echter de conventionele directe kostenmaatstaf met de indirecte "maatschappelijke" kosten. De directe reguleringskosten van klimaatmaatregelen waren volgens deze studie tussen in de Verenigde Staten in 1981-1990 gemiddeld 1,5% van het BBP per jaar. De meer omvattende maatschappelijke kosten waren circa 2,25% van het BBP per jaar. Het verschil was dus 0,75% van het BBP per jaar.⁴² Dit vormen de indirecte uitstralingseffecten van de regulering. Schmalensee (1993, p. 14) suggereert op basis van een literatuuroverzicht dat de maatschappelijke kosten in zwaar gereguleerde sectoren zelfs een "substantial multiple" van de directe, "compliance" kosten kunnen bedragen.

De schatting van Hazilla en Kopp (1990) biedt een indicatie van de omvang van de reguleringskosten op het vlak van klimaatbeleid. In deze MKBA wordt in Blue Map op basis hiervan een conservatieve schatting van 0,5% BBP-verlies per jaar gehanteerd als

⁴² Hazilla en Kopp (1990, p. 865) geven de nominale bedragen van de directe "compliance costs" en de bredere maatschappelijke kosten per jaar. Deze bedragen zijn omgerekend naar percentages van het BBP met gegevens over het BBP in lopende prijzen van de Verenigde Staten in 1981-1990. Het onderzoek betrof een empirische analyse naar de kosten van de Amerikaanse Clean Air en Clean Water Act.

de maatschappelijke kosten van normering om CO₂-emissiereductie af te dwingen. In BAU+ wordt dit welvaartsverlies, net als bij beprijzing, met 0,2 procentpunt opgehoogd om de hogere wegleffecten te weerspiegelen.

Tabel 29 toont de reguleringskosten verbonden aan normering. Er wordt BBP-verlies verondersteld in de periode waarin de emissiereducerende opties worden uitgerold, dat wil zeggen tussen 2020 en 2050. Na 2050 zijn de normeringskosten nihil verondersteld.⁴³ De totale verdisconteerde welvaartsverliezen als gevolg van normering bedragen € 38 miljard in Blue Map. In BAU+ vallen de reguleringskosten € 16 miljard hoger uit vanwege eerder genoemde verplaatsingseffecten.

Tabel 29: Kosten van normering (netto contante waarden, mld. euro)

	BAU+	Blue Map
Totale reguleringskosten normering	53,8	38,4

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Subsidiëring

Subsidies zijn geënt op het wegnemen van de onrendabele investeringstop van initiatieven. Het is met de voorhanden data niet mogelijk om per optie vast te stellen of er sprake is van een investeringstop, maar wel of de cumulatieve (netto)baten van een optie opwegen tegen de (initiële) investeringskosten. Dit resulteert in een schatting van de onrendabele exploitatietop: de totale kosten van de optie⁴⁴ (de bouwtechnische en elektromechanische investeringen) minus de totale baten van de optie. De totale baten worden berekend als de jaarlijkse sectorale energiebaten tegen eindgebruikersprijzen minus de operationele kosten per jaar, vermenigvuldigd met de technische levensduur van de optie. Opties met kosten groter dan (cumulatieve) baten hebben een onrendabele exploitatietop die in dit beleidsalternatief wordt gesubsidieerd.⁴⁵ De uitrol van opties tussen 2020 en 2050 gaat gepaard met ruim € 100 miljard aan onrendabele toppen, zie Tabel 30.

Idealiter is het totale subsidiebedrag gelijk aan de som van alle onrendabele toppen. Echter, in de praktijk speelt informatieongelijkheid tussen subsidieaanvrager en verstrekker en wordt zowel subsidie verstrekt aan initiatieven die geen onrendabele top hebben (fout-positief, type I fout) als geen subsidie verstrekt aan initiatieven die wel onrendabele top hebben (fout-negatief, type II fout). Hierdoor is het totale subsidiebedrag altijd een bepaalde factor hoger dan het theoretisch noodzakelijke bedrag. In deze MKBA is gerekend met een effectiviteit van 50%, waarmee het totale subsidiebedrag twee keer hoger is dan de som van de onrendabele toppen (Koopmans e.a., 2010, p. 88). Hiermee komt het totale subsidiebedrag op € 215 tot 218 miljard.

43 De impliciete aanname die hieraan ten grondslag ligt, is dat eenmaal 'afgedwongen' investeringen daarna in stand worden gehouden (lees: vervangingsinvesteringen zullen zonder overheidsingrijpen tot stand komen).

44 De kosten worden, net als de (netto)baten, berekend over één technische levensduur. Er wordt derhalve geen rekening gehouden met vervangingsinvesteringen.

45 Er is geen rekening gehouden met eventuele vermeden subsidies als gevolg van vermeden investeringen ten opzichte van het nulalternatief.

Dit bedrag wordt via belastingheffing gesocialiseerd. Belastingen zijn een overdracht en daarmee geen kostenpost in een MKBA. De belastingheffing heeft indirect echter invloed op economische beslissingen (De Nooij en Koopmans, 2004):

- Consumenten kopen minder producten, wat de consumentenwelvaart vermindert;
- Er zit een verschil tussen de kosten van de aanschaf van goederen en diensten voor consumenten en de opbrengsten voor de producent. De aankoopbeslissing – welk product of dienst? – wordt beïnvloed door de belasting;
- De keuze tussen werk of de consumptie van vrije tijd wordt beïnvloed. Werk kan minder attractief worden, omdat met het inkomen minder goederen gekocht kunnen worden (substitutie-effect). Aan de andere kant kan de belasting consumenten prikkelen meer uren te werken om het verlies aan inkomen te compenseren (inkomenseffect). Aangezien de keuzes van werknemers veranderen, resulteert een verlies van welvaart.

Empirisch onderzoek naar de omvang van de economisch kosten als gevolg van belastingheffing is volgens De Nooij en Koopmans (2004) niet eenduidig. Wel concluderen deze auteurs dat het effect omvangrijk kan zijn. De Nooij en Theeuwes (2004) hanteren als een gemiddelde waarde een welvaartsverlies van 25% bij iedere € belastingheffing. Deze MKBA hanteert dezelfde waarde. De kosten van belastingheffing zijn op basis hiervan ongeveer € 54 miljard in beide scenario's.

Tabel 30: Kosten van belastingheffing (netto contante waarden, mld. euro)

Onrendabele top per sector	BAU+	Blue Map
Energie	16,5	14,5
Gebouwde omgeving	0,2	0,3
Industrie	80,4	77,5
Landbouw	10,7	16,8
Transport	0,0	0,0
<i>Totale onrendabele top</i>	<i>107,8</i>	<i>109,1</i>
<i>Totaal subsidiebedrag (correctie crowding out)</i>	<i>215,5</i>	<i>218,1</i>
Kosten van belastingheffing	53,9	54,5
Gevoeligheidsanalyse: lage kosten belastingheffing	-21,6	-21,8
Gevoeligheidsanalyse: hoge kosten belastingheffing	+32,3	+32,7

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Vergelijkbaarheid van de beleidsvarianten

De drie beleidsvarianten die in deze MKBA zijn doorgerekend, geven een indicatie van de 'hoeken van het beleidspeelveld'. In de praktijk is het onwaarschijnlijk dat voor slechts één van de varianten wordt gekozen en zullen ze dus naast elkaar bestaan. Zodoende zal stimuleringsbeleid in de praktijk eerder bestaan uit een doordachte combinatie van reguleringsvarianten, in plaats van een keuze hiertussen.

Een tweede kanttekening bij de doorgerekende beleidsvarianten is hun geringe onderlinge vergelijkbaarheid. Gedetailleerde bronnen over reguleringskosten zijn bijzonder schaars⁴⁶ (Koopmans e.a., 2010, pp. 86-87) en zelden exact toegesneden op de voorliggende MKBA. Daardoor is het onmogelijk is om 'de' kosten van een beleidsvariant te bepalen. Dit pleit ervoor om de uitkomsten hoogstens in termen van

⁴⁶ Dit geldt met name voor beleidsvarianten die volledig leunen op handhaving, terwijl deze in kwalitatieve vergelijkingen vaak als meest kostbaar uit de bus komen (Rooijers e.a., 2010, p. 24; Ministerie van Financiën, 2010, p. 45).

ordegrootte met elkaar te vergelijken, met inachtneming van onderliggende aannames en kanttekeningen bij iedere beleidsvariant.

4.4 Saldo van baten en kosten

Tabel 31 en Tabel 32 tonen de gedetailleerde MKBA-tabellen voor respectievelijk een BAU+ en Blue Map scenario. Beide tabellen bestaan uit twee delen: MKBA-posten die onafhankelijk zijn van de gekozen beleidsvariant, afgesloten met een bruto MKBA-saldo, gevolgd door de beleidsafhankelijke MKBA-posten, afgesloten met netto MKBA-saldi. Het verschil in directe effecten tussen beide scenario's – bestaande uit vermeden brandstofverbruik, kosten van emissiereductiemaatregelen en voorzieningszekerheid – is vooral het gevolg van de hogere fossiele energieprijzen in BAU+, waardoor de baten van vermeden gebruik groter zijn. Voorts zijn de baten CO₂-emissiereductie afwezig in BAU+ en dominant in Blue Map.

Tabel 31: Maatschappelijke kosten en baten in het BAU+ scenario⁴⁷

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BAUplus								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
Netto contante waarden x €1.000.000.000 (2011€) Discontovoet: 5,5% en 4,0% (resp. standaard en onomkeerbaar)								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						90,6		90,6
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-31,4	-26,0	-5,8	-2,3	-3,4			-68,9
Elektromechanische investeringen	-9,8	2,4	-7,8	-0,6	-22,9			-38,7
Operationele kosten*	-22,0	-0,3	-18,3	0,1	-1,6			-42,1
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-63,3	-23,9	-32,0	-2,7	-27,9			-149,8
Voorzieningszekerheid						7,6		7,6
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-63,3	-23,9	-32,0	-2,7	-27,9	98,2		-51,5
Indirecte effecten								
Structurele groei						11,3		11,3
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						11,3		11,3
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen								0,0
Reductie luchtverontreiniging						3,9		3,9
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						3,9		3,9
BRUTO MKBA-SALDO	-63,3	-23,9	-32,0	-2,7	-27,9	113,5		-36,3
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-53,8		-53,8
Bestedingsimpuls						12,4		12,4
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-77,7
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-38,4 á -30,7		-38,4 á -30,7
Bestedingsimpuls						12,8 á 14,4		12,8 á 14,4
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-61,9 á -52,6
Beleidsalternatief Subsidiering								
Reguleringskosten								
Subsidies	16,5	0,1	80,4	10,7			-107,8	0,0
Kosten belastingheffing						-53,9		-53,9
Subtotaal reguleringskosten	16,5	0,1	80,4	10,7		-53,9	-107,8	-53,9
Bestedingsimpuls						16,0		16,0
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIERING								-74,2

Bron: SEO Economisch Onderzoek

47 In deze MKBA worden kasstromen standaard tegen een discontovoet van 5,5 % contant gemaakt, conform de OEI-leidraad. Voor onomkeerbare effecten (in casu emissiereductie) wordt met een discontovoet van 4 % gerekend.

Tabel 32: Maatschappelijke kosten en baten in het Blue Map scenario

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BlueMap								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
Netto contante waarden x €1.000.000.000 (2011€) Discountvoet: 5,5% en 4,0% (resp. standaard en onomkeerbaar)								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						68,2		68,2
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-30,3	-25,9	-5,7	-2,0	-3,2			-67,1
Elektromechanische investeringen	-9,5	3,2	-7,7	-0,5	-21,5			-36,0
Operationele kosten*	-21,1	-0,3	-17,4	0,2	-1,6			-40,2
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-60,9	-23,0	-30,8	-2,4	-26,2			-143,2
Voorzieningszekerheid						7,6		7,6
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-60,9	-23,0	-30,8	-2,4	-26,2	75,8		-67,5
Indirecte effecten								
Structurele groei						11,0		11,0
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						11,0		11,0
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen						36,9 á 276,2		36,9 á 276,2
Reductie luchtverontreiniging						3,9		3,9
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						36,9 á 280,1		36,9 á 280,1
BRUTO MKBA-SALDO	-60,9	-23,0	-30,8	-2,4	-26,2	123,7 á 366,9		-19,6 á 223,6
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-38,4		-38,4
Bestedingsimpuls						9,4		9,4
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-48,6 á 194,6
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-23,0 á -15,4		-23,0 á -15,4
Bestedingsimpuls						12,4 á 14,0		12,4 á 14,0
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-30,2 á 222,3
Beleidsalternatief Subsidiëring								
Reguleringskosten								
Subsidies	14,5	0,3	77,5	16,8		-54,5	-109,1	0,0
Kosten belastingheffing						-54,5		-54,5
Subtotaal reguleringskosten	14,5	0,3	77,5	16,8		-54,5	-109,1	-54,5
Bestedingsimpuls						15,6		15,6
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIËRING								-58,5 á 184,7

Bron: SEO Economisch Onderzoek

4.4.1 Investeringsstempo (leereffecten)

De MKBA veronderstelt een gemiddeld pad voor de leereffecten: Er is geen indicatie voor een versnelling of vertraging van de technologische ontwikkeling rondom de opties die worden ingezet, noch of een versnelde of vertraagde uitrol van opties haalbaar is. De robuustheidsanalyse laat wel zien hoe het kosten-batensaldo verandert als het leereffect varieert. Het effect is complex doordat verschillende effecten elkaar deels tegenwerken. Een sterk leereffect maakt uitstel van investeringen mogelijk, een progressieve of vertraagde uitrol. Het effect hiervan is een per saldo lagere baat van vermeden brandstofverbruik door het uitstel van de investeringen, maar ook lagere investeringskosten door het leereffect. Dit compenseert elkaar deels. Ook de baat van de emissiereductie wordt versneld of vertraagd. Dit heeft voor Blue Map grote invloed op het saldo. Een vertraagde uitrol van de investeringen genereert een lagere maatschappelijke baat voor deze post, omdat de reductie van de emissies later tot stand komt. Door de discontering levert dit een lagere netto contante waarde op in euro's van 2012, ook al is het effect in termen van volumes uiteindelijk gelijk.

Er is ook een compenserende werking via het effect op de structurele groei en de bestedingsimpuls. Lagere investeringskosten betekenen tevens een kleinere impuls voor de economie via deze twee kanalen. Dit compenseert elkaar deels, al is het effect op de kosten (een direct effect) per saldo groter.

Per saldo hebben leereffecten een gunstig effect op het MKBA-saldo in BAU+ vanwege het effect op de kosten, die worden uitgesteld. Het saldo in de vertraagde uitrol is minder negatief dan in het versnelde scenario (Tabel 33 versus Tabel 35).

Voor Blue Map is het effect minder genuanceerd omdat in tegenstelling tot BAU+ de uitgestelde investeringen de (aanzienlijke) CO₂-baten vertragen. De ondergrens van het MKBA-saldo is minder negatief, maar de bovengrens minder positief. De bandbreedte van het resultaat is met andere woorden smaller (Tabel 34 versus Tabel 36).

Tabel 33: Maatschappelijke kosten en baten in het BAU+ scenario met versnelde uitrol

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BAUplus								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
<i>Netto contante waarden x €1.000.000.000 (2011€) Discountvoet: 5,5% en 4,0% (resp. standaard en onomkeerbaar)</i>								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						105,0		105,0
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-36,2	-29,7	-6,8	-2,6	-4,0			-79,3
Elektromechanische investeringen	-11,3	2,7	-9,2	-0,7	-26,5			-44,9
Operationele kosten*	-25,3	-0,3	-21,1	0,1	-1,8			-48,4
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-72,8	-27,3	-37,0	-3,2	-32,3			-172,6
Voorzieningszekerheid						8,4		8,4
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-72,8	-27,3	-37,0	-3,2	-32,3	113,4		-59,2
Indirecte effecten								
Structurele groei						13,0		13,0
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						13,0		13,0
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen								0,0
Reductie luchtverontreiniging						4,7		4,7
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						4,7		4,7
BRUTO MKBA-SALDO	-72,8	-27,3	-37,0	-3,2	-32,3	131,0		-41,6
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-53,8		-53,8
Bestedingsimpuls						13,3		13,3
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-82,1
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-38,4 á -30,7		-38,4 á -30,7
Bestedingsimpuls						13,9 á 15,7		13,9 á 15,7
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-66,1 á -56,7
Beleidsalternatief Subsidiering								
Reguleringskosten								
Subsidies	19,3	0,2	90,6	12,7			-122,8	0,0
Kosten belastingheffing						-61,4		-61,4
Subtotaal reguleringskosten	19,3	0,2	90,6	12,7		-61,4	-122,8	-61,4
Bestedingsimpuls						17,4		17,4
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIERING								-85,6

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tabel 34: Maatschappelijke kosten en baten in het Blue Map scenario met versnelde uitrol

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BlueMap								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
<i>Netto contante waarden x €1.000.000.000 (201€)</i>								
<i>Discountvoet: 5,5% en 4,0%</i>								
<i>(resp. standaard en onomkeerbaar)</i>								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						78,7		78,7
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-34,9	-29,5	-6,6	-2,4	-3,7			-77,2
Elektromechanische investeringen	-10,9	3,6	-9,0	-0,6	-24,9			-41,8
Operatieve kosten*	-24,2	-0,3	-20,0	0,2	-1,8			-46,1
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-70,1	-26,3	-35,6	-2,8	-30,4			-165,1
Voorzieningszekerheid						8,4		8,4
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-70,1	-26,3	-35,6	-2,8	-30,4	87,1		-78,0
Indirecte effecten								
Structurele groei						12,6		12,6
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						12,6		12,6
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen						41,3 á 300,9		41,3 á 300,9
Reductie luchtverontreiniging						4,7		4,7
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						41,3 á 305,6		41,3 á 305,6
BRUTO MKBA-SALDO	-70,1	-26,3	-35,6	-2,8	-30,4	141,0 á 405,3		-24,2 á 240,1
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-38,4		-38,4
Bestedingsimpuls						10,0		10,0
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-52,6 á 211,7
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-23,0 á -15,4		-23,0 á -15,4
Bestedingsimpuls						13,5 á 15,2		13,5 á 15,2
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-33,7 á 240,0
Beleidsalternatief Subsidiëring								
Reguleringskosten								
Subsidies	17,0	0,4	87,5	19,9			-124,8	0,0
Kosten belastingheffing						-62,4		-62,4
Subtotaal reguleringskosten	17,0	0,4	87,5	19,9		-62,4	-124,8	-62,4
Bestedingsimpuls						16,9		16,9
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIERING								-69,7 á 194,6

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tabel 35: Maatschappelijke kosten en baten in het BAU+ scenario met uitgestelde uitrol

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BAUplus								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
Netto contante waarden x €1.000.000.000 (2011€) Discontovoet: 5,5% en 4,0% (resp. standaard en onomkeerbaar)								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						77,2		77,2
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-27,0	-22,6	-4,9	-1,9	-2,9			-59,3
Elektrotechnische investeringen	-8,4	2,1	-6,6	-0,5	-19,4			-32,9
Operationele kosten*	-18,9	-0,2	-15,8	0,1	-1,4			-36,2
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-54,4	-20,7	-27,3	-2,3	-23,7			-128,4
Voorzieningszekerheid						6,9		6,9
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-54,4	-20,7	-27,3	-2,3	-23,7	84,1		-44,3
Indirecte effecten								
Structurele groei						9,8		9,8
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						9,8		9,8
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen								0,0
Reductie luchtverontreiniging						3,2		3,2
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						3,2		3,2
BRUTO MKBA-SALDO	-54,4	-20,7	-27,3	-2,3	-23,7	97,0		-31,4
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-53,8		-53,8
Bestedingsimpuls						11,2		11,2
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-74,0
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-38,4 á -30,7		-38,4 á -30,7
Bestedingsimpuls						11,5 á 13,0		11,5 á 13,0
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-58,3 á -49,1
Beleidsalternatief Subsidiering								
Reguleringskosten								
Subsidies	13,9	0,1	70,6	8,9			-93,6	0,0
Kosten belastingheffing						-46,8		-46,8
Subtotaal reguleringskosten	13,9	0,1	70,6	8,9		-46,8	-93,6	-46,8
Bestedingsimpuls						14,4		14,4
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIERING								-63,8

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Tabel 36: Maatschappelijke kosten en baten in het Blue Map scenario met uitgestelde uitrol

Maatschappelijke kosten en baten								
Scenario nulalternatief: BlueMap								
	Energieproductie	Gebouwde omgeving	Industrie	Landbouw	Transportsector	Maatschappij (overig)	Overheid	Totaal nationaal
Netto contante waarden x €1.000.000.000 (2011€) Discountvoet: 5,5% en 4,0% (resp. standaard en onomkeerbaar)								
Directe effecten								
Vermeden brandstofverbruik						58,3		58,3
Emissiereductiemaatregelen								
Bouwtechnische investeringen	-26,0	-22,5	-4,8	-1,7	-2,7			-57,7
Elektromechanische investeringen	-8,1	2,8	-6,5	-0,4	-18,3			-30,6
Operationele kosten*	-18,1	-0,2	-15,0	0,2	-1,4			-34,5
Subtotaal emissiereductiemaatregelen	-52,3	-19,9	-26,3	-2,0	-22,3			-122,8
Voorzieningszekerheid						6,8		6,8
SUBTOTAAL DIRECTE EFFECTEN	-52,3	-19,9	-26,3	-2,0	-22,3	65,1		-57,6
Indirecte effecten								
Structurele groei						9,5		9,5
SUBTOTAAL INDIRECTE EFFECTEN						9,5		9,5
Externe effecten								
Reductie broeikasgassen						32,7 á 251,9		32,7 á 251,9
Reductie luchtverontreiniging						3,2		3,2
SUBTOTAAL EXTERNE EFFECTEN						32,7 á 255,0		32,7 á 255,0
BRUTO MKBA-SALDO	-52,3	-19,9	-26,3	-2,0	-22,3	107,4 á 329,6		-15,4 á 206,9
Kosten en baten per beleidsscenario								
Beleidsalternatief Normering								
Reguleringskosten						-38,4		-38,4
Bestedingsimpuls						8,6		8,6
NETTO MKBA-SALDO NORMERING								-45,3 á 177,0
Beleidsalternatief Beprijzing								
Reguleringskosten						-23,0 á -15,4		-23,0 á -15,4
Bestedingsimpuls						11,2 á 12,6		11,2 á 12,6
NETTO MKBA-SALDO BEPRIJZING								-27,3 á 204,1
Beleidsalternatief Subsidiëring								
Reguleringskosten								
Subsidies	12,1	0,3	68,0	14,0			-94,3	0,0
Kosten belastingheffing						-47,1		-47,1
Subtotaal reguleringskosten	12,1	0,3	68,0	14,0		-47,1	-94,3	-47,1
Bestedingsimpuls						14,0		14,0
NETTO MKBA-SALDO SUBSIDIERING								-48,6 á 173,7

Bron: SEO Economisch Onderzoek

Referentielijst

- Adaman, F., Karalıb, N., Kumbaroğlub, G., Orb, İ., Özkaynaka, B., & Zenginobuza, Ü. (2011), What determines urban households' willingness to pay for CO₂ emission reductions in Turkey: A contingent valuation survey, *Energy Policy*, 39(2), 689-698.
- Bergen, D. van den (2008), *Welvaartsgroei en productiviteit*, in: De Nederlandse economie 2008, CBS, Den Haag.
- Broer, P., Mulder, M., & Vromans, M. (2002), Economische effecten van nationale systemen van CO₂-emissiehandel: Nationale dilemma's bij een mondiaal vraagstuk, CPB document nr. 018, Den Haag.
- Carlsson, F., Kataria, M., Krupnick, A., Lampi, E., Löfgren, Å., Qin, P., et al. (2010), Paying for Mitigation: A Multiple Country Study, EFD Discussion Paper 10-12.
- CBS (2011), *Hernieuwbare energie in Nederland 2010*, Den Haag.
- CE Delft (2008a), *Impacts on Competitiveness from EU ETS: An analysis of the Dutch industry*, Delft.
- CE Delft (2008b), *Berekening van externe kosten van emissies voor verschillende voertuigen: Op basis van nieuwe emissiecijfers en met analyse van toekomstige waarderings*, Delft.
- CE Delft (2010a), *Handboek Schaduwprizen: Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, Delft.
- CE Delft (2010b), *Handboek Schaduwprizen: Annex J Totale lijst met weegfactoren*, Delft.
- CPB (2006), *Maatschappelijke kosten-batenanalyse van de Westerschelde Containerterminal, een 'second opinion'*, CPB notitie 19 december 2006, Den Haag.
- CPB, MNP, & RPB (2006), *Welvaart en leefomgeving; een scenariostudie voor Nederland in 2040*, Den Haag.
- CPB (2010a), *SAFFIER II: 1 model voor de Nederlandse economie, in 2 hoedanigheden, voor 3 toepassingen*, CPB document nr. 217, Den Haag.

CPB (2010b), Centraal Economisch Plan 2010, Den Haag.

Daniëls, B.W.; Kruitwagen, S.; Beurskens, L.W.M.; Boot, P.A.; Drissen, E.; Deurzen, J. van; Elzenga, H.E.; Geilenkirchen, G.; Gerdes, J.; Hanschke, C.B.; Hekkenberg, M.; Hoen, A.; Jimmink, B.; Kieboom, S.; Lensink, S.M.; Luxembourg, S.L.; Menkveld, M.; Kroon, P.; Peek, K.; Plomp, A.J.; Schijndel, M. van; Seebregts, A.J.; Sijm, J.P.M.; Sipma, J.M.; Sluis, S. van der; Stralen, J. van; Tigchelaar, C.; Uytterlinde, M.A.; Verdonk, M.; Vethman, P.; Volkers, C.H.; Wetzels, W.; De Vita, A.; Wilting, H.; Referentieraming energie en emissies 2010-2020. ECN-E--10-004, april 2010;193 pag.

Daniëls, B.W.; Beurskens, L.W.M.; Boerakker, Y.H.A.; Coninck, H.C. de; Dril, A.W.N. van; Harmsen, R.; Jeeninga, H.; Kroon, P.; Lako, P.; Londo, H.M.; Menkveld, M.; Seebregts, A.J.; Stienstra, G.J.; Volkers, C.H.; Vries, H.J. de; Wilde, H.P.J. de; Ybema, J.R.; Farla, J.C.M.; Optiedocument energie en emissies 2010/2020. ECN-C--05-105 maart 2006.

Daniëls, B.W.; Beurskens, L.W.M.; Boerakker, Y.H.A.; Coninck, H.C. de; Dril, A.W.N. van; Harmsen, R.; Jeeninga, H.; Kroon, P.; Lako, P.; Londo, H.M.; Menkveld, M.; Seebregts, A.J.; Stienstra, G.J.; Volkers, C.H.; Vries, H.J. de; Ybema, J.R.; Farla, J.C.M.; Verkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing 2020. Analyses met het Optiedocument energie en emissies 2005. ECN-C--05-106 februari 2006.

Eijgenraam, C.J.J, Koopmans, C.C., Tang, P.J.G., & Verster, A.C.P. (2000), Evaluatie van infrastructuurprojecten; Leidraad voor kosten-batenanalyse, SDU: Den Haag.

Guellec, D. & B. van Pottelsberghe de la Potterie (2001), R&D and Productivity Growth: Panel Data Analysis of 16 OECD Countries, STI Working Paper no. 2001/3, Parijs.

Hamilton, J. (2009), 'Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-2008', Brookings Papers on Economic Activity, Washington.

Hope, C.W. (2011), The Social Cost of CO₂ from the PAGE09 Model, Discussion Paper No. 2011-39.

IEA (2007), Energy Security and Climate Policy: Assessing Interactions, Parijs.

Kerkhof, A. C., Moll, H. C., Drissen, E., & Wilting, H. C. (2008), Taxation of multiple greenhouse gases and the effects on income distribution: A case study of the Netherlands, *Ecological Economics*, 67(2), pp. 318-326.

Koopmans, C.C. (2006), De waarde van normen, SEO-rapport no. 892, Amsterdam.

Koopmans, C.C., Tieben, L.A.W., Berg, M.R. van den, & Willebrands, D. (2010), Investeren in een schone toekomst: De kosten en baten van een duurzame energiehuishouding in Nederland, SEO-rapport no. 2010-40, Amsterdam.

Kuik, O. (2007), Maatschappelijke- en milieukosten van elektriciteitsvoorziening: Een notitie voor het Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening, IVM, Amsterdam.

Leiby, P.N. (2007), Estimating the Energy Security Benefits of Reduced U.S. Oil imports, Oak Ridge National Laboratory TM-2007/0238, Tennessee.

Ministerie van Financiën (2010), Brede Heroverweging Klimaat en Energie, Den Haag.

- NewExt (2004), *New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (Final Report)*, IER, Stuttgart.
- Nijdam, D. S., Wilting, H. C., Goedkoop, M. J., & Madsen, J. (2005), *Environmental Load from Dutch Private Consumption: How Much Damage Takes Place Abroad?* *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), pp. 147-168.
- Nooij, M. de & J. Theeuwes (2004), *De kosten van baten van internationale organisaties*, *Tijdschrift voor Politieke Economie*, vol. 25(3), pp. 116-142.
- Nooij, M. de & C.C. Koopmans (2004) *The welfare costs of taxation: the missing costs in cost-benefit analysis? A critical note*, SEO discussion paper 27, Amsterdam
- Oosterhaven, J., J. P. Elhorst, A. Heyma & C.C. Koopmans (2004), *Indirecte Effecten Infrastructuur: Aanvulling Leidraad OEI*.
- PBL & ECN (2011), *Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden*, Den Haag.
- Rooijers, F.J.; Leguijt, C.; Groot, M.I. (2010), *Versnelling van CO₂-reductie in de Gebouwde Omgeving: Een waaier aan instrumenten*, CE: Delft.
- Ros, J.; Koelemeijer, R.; Elzenga, H.E.; Peters, J.; Hekkenberg, M.; Bosch, P.; *Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden*. ECN-O--11-076, november 2011.
- Schmalensee, R. (1993), *The costs of environmental protection*, MIT Center for Energy and Environmental Policy Research.
- Smekens, K.E.L.; Kroon, P.; Plomp, A.J.; Daniëls, B.W.; Hanschke, C.B.; Seebregts, A.J.; Deurzen, J. van; Menkveld, M.; Beurskens, L.W.M.; Lensink, S.M.; Hammingh, P.; Hoen, A.; Peek, K.; Schijndel, M. van; *Actualisatie Optiedocument 2009. Opties voor het verminderen van broeikasgasemissies, energiegebruik en luchtverontreiniging*. ECN-E--10-011 oktober 2010.
- Smid, B. & J. Vromans (2006), *Athena: a multi sector model of the Dutch economy*, CPB-document nr. 105, Den Haag.
- Stavins, R.N. (2008), *A Meaningful U.S. Cap-and-Trade System to Address Climate Change*, *Harvard Environmental Law Review*, 32(2), pp. 293-371.
- Tigchelaar, C.; Daniëls, B.W.; Menkveld, M.; *Obligations in the existing housing stock: who pays the bill?* ECN-L--11-073 juni 2011; 15 pag.; 91 downloads. Gepresenteerd bij: ecee 2011 Summer Study, Belambra Presqu'île de Giens, France, 6-11 June 2011.
- Tol, R.S.J. (2009), *The Economic Effects of Climate Change*, *The Journal of Economic Perspectives*, 23(2), 29-51.
- Tsang, F. & Burge, P. (2011), *Paying for carbon emissions reduction*, RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- Watkiss, P., Anthoff, D., Downing, T., Hepburn, C., Hope, C.W., Hunt, A. & Tol, R.S.J. (2006), *The Social Costs of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.

Bijlage A.

Beschrijving Optiedocument

Het optiedocument is een tool die de inzet van technische en beleidsmaatregelen optimaliseert om een bepaald emissie- of energiedoel (of doelen) te halen tegen de laagst mogelijk kosten. Kosten zijn dus uitermate belangrijk voor deze tool. Hieronder staat een overzicht van de aanwezige kosten en andere economische parameters.

Optimalisatie

De optimalisatie vindt plaats op basis van de zogenaamde Nationale Kosten uit de Methodiek Milieukosten, optioneel kan ook op basis van doelgroepkosten gerekend worden, of kunnen externe effecten aan de National Kosten toegevoegd worden. Bij de optimalisatie houdt het model rekening met de belangrijkste interacties tussen de verschillende maatregelen: maatregelen kunnen elkaar beconcurreren, maar vaak ook faciliteren. Een consequentie van de interacties is dat sommige relatief goedkope maatregelen vaak geen onderdeel van een kostenoptimaal pakket zijn, omdat de reducties van die maatregelen niet ver genoeg gaan voor het halen van de doelstelling, en ze opties die wel ver genoeg gaan, in de weg zitten.

Technologie kosten

Per technische optie wordt er onderscheid gemaakt naar volgende kosten.

Tabel 37: Kostenberekening voor Nationale kosten en Eindverbruikerskosten

	Eenheid	Behandeling in Nationale kosten-methodiek	Behandeling in Eindverbruikers-kostenmethodiek
Investering bouwtechnisch	mln. €	4% discontovoet, afschrijving 25 jaar	Sectorale discontovoet 5,5-10%; en 19% BTW voor huishoudens
Investering elektro/mechanisch	mln. €	4% discontovoet, afschrijving 10 jaar	Sectorale discontovoet 5,5-10%; en 19% BTW voor huishoudens

Energie kosten/baten	mln. €/a	Op basis van commodityprijzen van brandstoffen, in de resultaten op basis van het nationale netto-effect van de brandstofinzet en verdringing	Op basis van eindgebruikersprijzen, in de resultaten op basis van het sectorale netto-effect van de inzet en verdringing en verdring van energiedragers
Overig operationele kosten/baten	mln. €/a	Worden verrekend als kosten	Worden verrekend als kosten
Uitvoeringskosten overheid	mln. €/a	Worden verrekend als kosten	n.v.t.
Investeringsubsidies	mln. €	Geen onderdeel (overdrachten, geen kosten)	Worden verrekend als reductie op investeringen
Operationele steun/heffing	mln. €/a	Geen onderdeel (overdrachten, geen kosten)	Baten

Energiedragers

Energiedragers (brandstoffen) dragen in het optiedocument bij aan zowel de nationale kosten als de eindgebruikerskosten. Voor nationale kosten tellen dit zijn de commodityprijzen, voor eindgebruikerskosten de eindverbruikersprijzen. De laatste variëren per sector, en zijn inclusief heffingen en energiebelastingen. Ook wordt er onderscheid gemaakt naar eindverbruikersprijzen voor WKK, dus zonder energiebelasting. Kosten voor infrastructuur (gas en elektriciteit) zijn geen onderdeel van de nationale kosten, omdat de relatie tussen een verandering van de vraag naar brandstoffen en de kosten van de infrastructuur niet eenduidig is en sterk afhangt van het tijdvenster.

Bepaalde afvalstromen met energie-inhoud hebben negatieve brandstofprijzen, deze houden dan rekening met kosten die moeten gemaakt worden om ze als afval af te voeren. Bij inzet als energiedrager zijn dit vermeden kosten, vandaar een negatieve waarde.

Kostenschaling

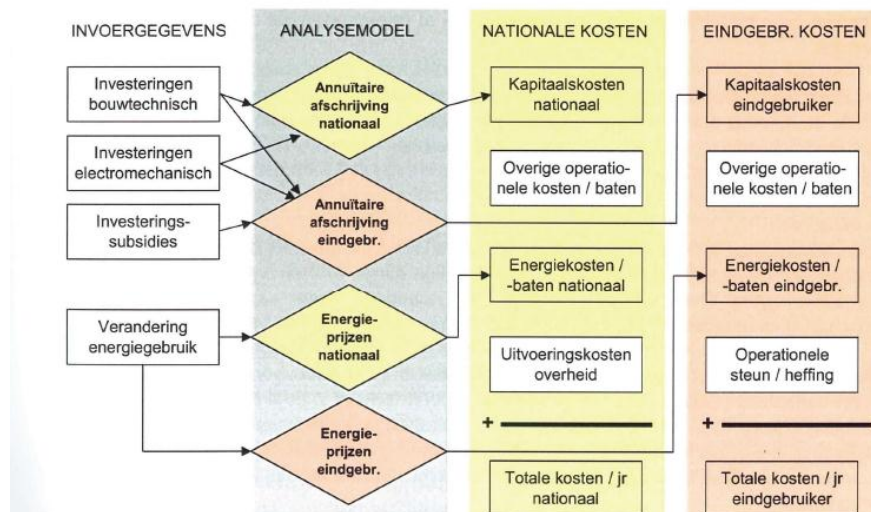
Vanuit de beschikbare kostencijfers kunnen de kosten van opties aangepast worden voor andere jaren en/of achtergrondscenario's via schaling. Dit kan op drie manieren:

- Een overkoepelende schaalfactor die ingrijpt op alle variabelen van de optie : potentieel en kosten samen. Deze schaalfactor verandert niets aan de kosteneffectiviteit van de optie, wel aan het kostenniveau.
- Een schaalfactor om de investeringskosten te schalen onafhankelijk van de het optiepotentieel (grootte). Deze schaling verandert wel de kosteneffectiviteit.
- Een schaalfactor om de operationele kosten te schalen onafhankelijk van de optiegrootte en van de investeringskosten. Deze schaling verandert wel de kosteneffectiviteit.

Kosteneffectiviteit

Het Optiedocument geeft na berekening van elke optie (van elke gradueel oplopende intensiteit ervan) de kosteneffectiviteit uitgedrukt in €2000/eenheid vermeden doelstof. Voor elk opties kunnen er tot 4 verschillende intensiteiten opgegeven worden. Het optiedocument gaat per intensiteit de inzet bepalen om aan de doel(en) en randvoorwaarden te voldoen. Indien opties een andere energiedrager vervangen (substitutie) of verdringing (bv besparing of hernieuwbaar opgewekte stroom i.p.v fossiel opgewekte stroom), dan komen de vermeden brandstofkosten van de vervangen of verdrongen energiedrager als baten in de kostenberekening. Voor elektriciteitsopwekking geldt bovendien dat als stroom, opgewekt door bestaande eenheden, verdrongen wordt, er ook baten zijn door de vermeden operationele kosten van deze centrales. De operationele kosten van de vervangende optie blijven als kosten staan.

Figuur 21: Schematisch overzicht van de componenten van de jaarlijkse milieukosten met de invoergegevens uit de optiebeschrijvingen (wit) en de specifieke onderdelen van de milieukosten volgens de nationale kosten- en eindgebruikerbenadering



Voor meer informatie over kosten en kostenmethodiek, zie sectie 3.4 in <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05105.pdf>.

Bijlage B.

Overzicht aannames

De hier weergegeven aannames vormen de centrale waarden voor de berekeningen. De waarden sluiten aan bij de aannames van de e-designberekeningen die voor de routekaarten gedaan zijn. Tenzij anders vermeld, zijn de berekeningen in dit rapport gebaseerd op de “redelijke” potentiëleaannames uit de e-designberekeningen voor de Routekaarten. Daarnaast zijn ook berekeningen uitgevoerd met “beperkte”, “ruime” en “zeer ruime” aannames. In e-design is daarnaast gedifferentieerd met meer of minder uitgebreide energiebesparingen. In de berekeningen voor dit rapport is energiebesparing onderdeel van de optimalisatie.

Tabel 38: Beschikbare potentiëlen volgens “redelijke” aannames 2030, 2050

Factor	Aanname 2030	Aanname 2050
Beschikbare biomassa	300 PJ	500 PJ
Waarvan binnenlands	150 PJ	200 PJ
Waarvan buitenlandse	150 PJ	300 PJ
Maximale elektriciteitsproductie kerncentrales	72 PJ (20TWh)	144 PJ (40TWh)
Beschikbaarheid jaarlijkse CO ₂ -opslagcapaciteit	20 Mton	50 Mton
Maximale elektriciteitsproductie wind op land	36 PJ (10 TWh)	36 PJ (10 TWh)
Maximale elektriciteitsproductie wind op zee	162 PJ (45 TWh)	324 PJ (90 TWh)
Geothermie voor warmte	50 PJ	50 PJ
Maximale elektrificatie/waterstof industrie		

Tabel 39: Overzicht redelijke, ruime en zeer ruime potentiëleaannames 2050

Factor	Redelijk	Ruim	Zeer Ruim
Beschikbare biomassa	500 PJ	750 PJ	1000 PJ
Waarvan binnenlands	200 PJ	200 PJ	200 PJ
Waarvan buitenlandse	300 PJ	550 PJ	800 PJ
Maximale elektriciteitsproductie kerncentrales	144 PJ (40TWh)	216 PJ (60TWh)	288 PJ (80TWh)
Beschikbaarheid jaarlijkse CO ₂ -opslagcapaciteit	50 Mton	75 Mton	100 Mton
Maximale elektriciteitsproductie wind op land	36 PJ (10 TWh)	54 PJ (10 TWh)	72 PJ (10 TWh)
Maximale elektriciteitsproductie wind op zee	324 PJ (90 TWh)	396 PJ (110 TWh)	468 PJ (130 TWh)
Geothermie voor warmte	50 PJ	75 PJ	100 PJ
Maximale elektrificatie/waterstof industrie			

Bijlage C.

Scenariobeschrijvingen

De berekeningen sluiten voor de energie- en CO₂-prijzen aan bij de Business as usual (BAU) en Blue Map (BM) projecties van het IEA. BAU veronderstelt een gelijkblijvende intensiteit van het mondiale klimaatbeleid, met een stijgende vraag naar energie en stijgende fossiele brandstofprijzen, terwijl BM een mondiale klimaatcoalitie veronderstelt, met stagnerende en dalende prijzen van fossiele brandstofprijzen.

De BAU en BM-beelden vormen ook de basis voor aannames, voor kostenontwikkeling van CO₂-emissiereducerende technieken en de prijsvorming van biomassa.

In het BAU-scenario is de kostendaling van mitigatietechnieken gering, omdat door de geringe mondiale toepassing de leereffecten achterblijven. IN BM daarentegen zet de kostendaling van veel technieken door. De kostendaling is relatief het grootst bij relatief nieuwe technieken. De veronderstelde kosten voor technieken zijn afgeleid uit de learning ratio's uit (), en uit het veronderstelde aantal verdubbelingen van de capaciteit dat in een BAU, BAU+ en Blue Map wereld zou optreden. De op basis hiervan afgeleid investeringskosten en operationele kosten liggen in 2050 in BAU veelal tussen de 10% en 50% hoger dan in Blue Map, met enkele uitschieters.

De veronderstelde biomassaprijzen voor BAU en BM zijn afgeleid uit de substituuwaaarde van biomassa voor fossiele energiedragers, de CO₂-reductiewaarde (afgeleid uit de CO₂-prijzen), en de meestal lagere efficiency bij inzet van biomassa in plaats van fossiele energiedragers. Omdat in BAU en BM de fossiele energieprijzen en de CO₂-prijzen tegengesteld bewegen, resulteert voor beide beelden ongeveer dezelfde biomassaprijs. Daarom is in alle scenario met dezelfde prijs gerekend. De getoonde prijs is voor hoogwaardige houtige biomassa, andere laagwaardiger soorten hebben veelal lagere prijzen.

Tabel 40: Brandstofprijzen in BAU, BAU+ en Blue Map scenario

	BAU	BAU+	Blue Map
2050 prijzen in €/GJ			
Aardgas	14.7	11.6	8.6
Biomassa (hout)	16.8	16.8	16.8
Kolen	4.8	3.6	2.4
Olie	21.5	17.0	12.5
2030 prijzen in €/GJ			
Aardgas	14.0	12.5	11.0
Biomassa (hout)	16.8	16.8	16.8
Kolen	4.6	3.7	2.7
Olie	20.6	18.4	16.1

Bijlage D.

Kostenbegrippen, smalle versus brede kosten

De kosten en baten zoals gerapporteerd omvatten diverse kostencomponenten. De kostencomponenten verschillen ten aanzien van onzekerheden, subjectiviteit, voorbehouden etc. Dit overzicht beschrijft de verschillende kostencomponenten. Startpunt van de analyses zijn de directe kosten (smal kostenbegrip). De stap naar een breder kostenbegrip omvat het moneteriseren van andere aspecten (CO₂-emissies en andere externe effecten, voorzieningszekerheid, importafhankelijkheid) en het bepalen van doortikeffecten voor de nationale economie. Bij het verbreden van het kostenbegrip worden de onzekerheden groter, en doen meer subjectieve elementen hun intrede. Om volledig inzicht te bieden in de opbouw van de kosten, worden zowel de totaal- als de afzonderlijke onderdelen zichtbaar gemaakt.

Directe kosten

Direct aan de opties verbonden kosten en baten, zoals investeringen, operationele kosten en energiebatens. Dit is het meest “robuuste” en concrete onderdeel van de kosten. De kosten kunnen per individuele optie berekend worden door de optie te vergelijken met de referentietechnologie die in de baseline dezelfde functie(s) vervult. De directe kosten van een windmolen of kerncentrale bestaan dus niet alleen uit de eigen investeringen en operationele kosten, maar ook uit de vermeden kosten en energie-inzet van de overbodig geworden kolen- en gascentrales.

CO₂-baten

Hierbij spelen twee componenten een rol. Enerzijds de maatschappelijke “willingness to pay”, anderzijds de vermeden kosten voor de koop van emissierechten op de Europese of mondiale emissiehandel. De twee componenten worden niet dubbel geteld. Bij de “willingness to pay” component is een complicatie dat de baten van Nederlandse maatregelen mondiaal neerslaan, omgekeerd geldt dat dus ook voor maatregelen die het buitenland neemt. De baten gelden dus alleen onder de veronderstelling van wederkerigheid.

Externe effecten luchtverontreiniging

Maatregelen gericht op het vermijden van CO₂-emissies hebben in de meeste gevallen ook effect op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Voor producent of consument die de uitstoot veroorzaakt is dit een extern effect, omdat hij of zij de kosten van de vervuiling niet betaalt. Luchtverontreiniging is in veel gevallen voelbaar tot ver over de grenzen wat de vraag oproept wie de kosten van dit extern effect moet dragen. Een maatschappelijke kosten-batenanalyse waardeert de vervuiling door de hoeveelheid van de uitstoot te berekenen en een prijs voor de vervuiling te bepalen.

Dit onderzoek bepaalt de maatschappelijke waarde van de vervuiling door te kijken naar de schadekosten van de vervuiling voor het klimaat en de leefomgeving.

Voorzieningszekerheid en importafhankelijkheid

Afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en geïmporteerde biomassa betekent afhankelijkheid van prijsschommelingen op de wereldmarkt. Bij prijsstijgingen, bijvoorbeeld oliecrises of politieke onrust in olieproducerende landen, zien consumenten hun koopkracht afnemen en worden bedrijven aangetast in hun investeringsvermogen. Op lange termijn kan dit leiden tot onzekerheid bij investeerders in de energiesector en daarbuiten. Door een lager energiegebruik of overgang op eigen hernieuwbare opwekking neemt de afhankelijkheid van geïmporteerde brandstoffen af en treedt er een maatschappelijke baat op

Bestedingsimpuls

Een CO₂-emissiereductiedoelstelling van 80 procent betekent dat er grootschalig moet worden geïnvesteerd in allerlei schone maatregelen. In economisch mindere tijden (laagconjunctuur) genereren deze investeringen extra vraag naar goederen en diensten en geven daarmee een stimulans aan de binnenlandse productie en werkgelegenheid. Dit is een korte termijn effect. Op langere termijn en in economisch goede tijden (hoogconjunctuur) reageren alleen de prijzen van goederen en diensten op de extra vraag en is er dus geen effect op de binnenlandse productie en werkgelegenheid. Ook is het effect afhankelijk het gevoerde overheidsbeleid, de wijze waarop de overheid de investeringen in 'duurzaam' afdwingt of stimuleert.

Structurele groei

De investeringen in CO₂-reducerende maatregelen leiden op de *lange* termijn tot veranderingen in de economische structuur. Door investeringen in CO₂-reductiemaatregelen wordt de Nederlandse productie kapitaalintensiever en wordt er kenniskapitaal opgebouwd en verspreid. Dit maakt de Nederlandse economie productiever: per eenheid kapitaal en arbeid wordt meer toegevoegde waarde (BBP) geproduceerd. Dit stimuleert het structurele groeivermogen van de economie.

Reguleringskosten

Grootschalige energietransitie komt niet vanzelf tot stand. Er is overheidsbeleid nodig om deze investeringen te stimuleren, dan wel af te dwingen. In de eerste categorie bevinden zich subsidies, die het schone alternatief aantrekkelijker maken ten opzichte van CO₂-emitterende alternatieven, en CO₂-prijzen en -belastingen, die het CO₂-emitterende alternatief duurder en dus onaantrekkelijker maken ten opzichte van schone alternatieven. Bij het afdwingen van CO₂-reducerende maatregelen valt te denken aan normen, bijvoorbeeld een energieprestatienorm voor woningen en voertuigen of een verplichting voor energiebedrijven om een bepaald percentage duurzame energie te produceren.

Bijlage E.

Doorgerekende varianten

Tabel 41: Uitgangspunten in doorgerekende varianten

Variant	Prijzen (zie bijlage C)	Techniekkosten	Potentiëlen (zie bijlage B)	MKBA doorgerekend
BAU	BAU	BAU	Redelijk	Ja
BAU+	BAU+	BAU+	Redelijk	Ja
Blue Map	BM	BM	Redelijk	Ja
Blue Map, hoge prijzen	BM x2	BM	Redelijk	Nee
Blue Map ruim		BM	Ruim	Nee
Blue Map zeer ruim		BM	Zeer ruim	Nee
Blue Map ruim hoge prijzen	BM x2	BM	Ruim	Nee
Blue Map, gevoeligheidsanalyse techniekkosten	BM	BM (+/- 50%, 50 random trekkingen)	Redelijk	Nee
Blue Map ruim, gevoeligheidsanalyse techniekkosten	BM	BM (+/- 50%, 50 random trekkingen)	Ruim	Nee

Bijlage F.

Aanpak MKBA

F.1 Methodologische verantwoording

Koppeling van twee zichtjaren

ECN heeft voor twee zichtjaren een optimaal optiepakket samengesteld: voor 2030 en voor 2050. Om van twee statische optimalisaties één lopende tijdreeks te maken, is het noodzakelijk om te bepalen welk gedeelte van de 2050-optimalisatie additioneel is ten opzichte van de 2030-optimalisatie en welk gedeelte van de 2030-optimalisatie in stand wordt gehouden door middel van vervangingsinvesteringen. Hiervoor is gekeken naar de mate waarin een optie fysiek wordt toegepast in beide jaren, oftewel de capaciteit die de optie in beide jaren opwekt. Er zijn 3 mogelijkheden:

Tabel 42: Additionaliteit en vervanging worden vastgesteld o.b.v. fysieke toepassing

Fysieke toepassing optie	Consequentie
Een optie bestaat wel in de 2030-optimalisatie, maar niet in de 2050-optimalisatie	De optie wordt uitgerold tussen 2020 en 2030. Investerings worden niet vervangen na het verstrijken van de technische levensduur ⁴⁸ : de optie wordt uitgefaseerd.
Een optie bestaat niet in de 2030-optimalisatie, maar wel in de 2050-optimalisatie	De optie wordt uitgerold tussen 2030 en 2050. Investerings worden vervangen na het verstrijken van de technische levensduur.
Een optie bestaat in beide optimalisaties	De optie wordt uitgerold tussen 2020 en 2050. Per optie wordt op basis van de ratio <i>Fysieke toepassing 2030 : 2050</i> vastgesteld welk gedeelte van de 2050-optimalisatie additioneel ⁴⁹ is en welk gedeelte van de 2030-optimalisatie vervangen ⁵⁰ wordt.

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Tabel 43 toont de koppeling van beide zichtjaren in het Blue Map scenario.

⁴⁸ De technische levensduur van iedere optie wordt benaderd door 150 % van de economische levensduur te nemen.

⁴⁹ Indien er in 2030 van een optie net zoveel of meer capaciteit was geïnstalleerd dan in 2050 (de ratio *Fysieke toepassing 2030 : 2050* is groter dan of gelijk aan 100 %), is er geen sprake van additionaliteit in 2050. In alle andere gevallen is additionaliteit gelijk aan 100 % minus de ratio *Fysieke toepassing 2030 : 2050*. ECN stelt de ratio *Fysieke toepassing 2030 : 2050* vast per optievariant (van iedere optie bestaan minstens 1 en maximaal 4 varianten). Om tot één gewogen gemiddelde additionaliteitsfractie per optie te komen, zijn de fracties per optievariant gewogen op hun totale (vermeden) investeringssom. De additionaliteitsfractie dient niet te worden verward met de fractie *OptieGekozen*. Deze fractie bepaalt in hoeverre een optie wordt toegepast in de optimalisaties van ECN. Alle effecten in deze MKBA (Investerings, energie-effecten, emissie-effecten, *et cetera*) worden vermenigvuldigd met de fractie *OptieGekozen*. Daarenboven wordt de additionaliteitsfractie toegepast op effecten uit de 2050-optimalisatie.

⁵⁰ De vervangingsfractie van de 2030-optimalisatie is gelijk aan 100 % minus de additionaliteit in 2050. Tevens worden met de vervangingsfractie eventuele kostenvoordelen ingeboekt. Net als bij additionaliteit wordt per optie een gewogen gemiddelde vervangingsfractie berekend door de fracties per optievariant te wegen op hun totale (vermeden) investeringssom.

Tabel 43: Koppeling van de zichtjaren in het BlueMap-scenario

	2030- optimalisatie	2050- optimalisatie	Vervanging 2030	Additionaliteit 2050
1014 Kernenergie eDesign 3000u 2011		✓	-	100%
1018 Kernenergie eDesign 7000u 2011	✓	✓	99%*	48%
1019 Geothermie Utiliteitsbouw eDesign 2011	✓	✓	31%	67%
1023 WP grondwater ketel Utiliteitsbouw eDesign 2011		✓	-	100%
1025 Geothermie WB nieuwbouw eDesign 2011	✓	✓	30%	72%
1027 REF HR-107 Utiliteitsbouw eDesign 2011	✓	✓	101%	61%
1035 REF HR-107 (WB bestaande bouw) eDesign 2011	✓	✓	67%	56%
1037 REF HR-107 (WB nieuwbouw) eDesign 2011	✓	✓	63%	59%
1042 Wind op Zee eDesign 2011	✓	✓	79%*	50%
1043 REF H2 uit SMR 2011		✓	-	100%
1047 Elektrische warmtepomp industrie eDesign 2011		✓	-	100%
1049 WKK biomassa (vloeibaar) eDesign 2011	✓		0%	-
1050 WKK biomassa (vloeibaar) CCS eDesign 2011	✓	✓	79%*	41%
1054 WKK gas eDesign 2011	✓		0%	-
1055 Ketels LT biomassa CCS eDesign 2011	✓		0%	-
1061 Ketels HT biomassa CCS eDesign 2011	✓		0%	-
1072 REF Ketels aardgas industrie eDesign 2011	✓	✓	100%	59%
1073 REF WKK gas eDesign 2011	✓	✓	100%	49%
1083 REF Plastics uit olie eDesign 2011	✓	✓	100%	79%
1084 Plastics uit olie CCS eDesign 2011	✓	✓	94%*	79%
1090 Wind op Land eDesign 2011	✓	✓	77%*	0%
1091 Plug-in Hybride Auto's eDesign 2011	✓	✓	88%*	59%
1092 Hybride Auto's eDesign 2011	✓		0%	-
1093 Elektrische Auto's eDesign 2011	✓	✓	88%*	79%
1095 Gasverbranding STEG CCS 3000u eDesign 2011		✓	-	100%
1099 REF Poederkool verbranding 7000u eDesign 2011	✓	✓	67%	0%
1100 REF Poederkool verbranding 3000u eDesign 2011	✓	✓	100%	0%
1101 REF Gasverbranding STEG 7000u eDesign 2011	✓	✓	100%	0%
1102 REF Biomassameestook 7000u eDesign 2011		✓	-	100%
1103 REF Biomassameestook 3000u eDesign 2011	✓	✓	94%*	0%
1104 REF Gasverbranding STEG 3000u eDesign 2011	✓	✓	100%	44%
1105 Gasverbranding STEG 3000u eDesign 2011	✓		0%	-
1111 Landbouw Geothermie eDesign 2011	✓	✓	11%	0%
1112 REF Landbouw WKK gas eDesign 2011	✓	✓	99%*	47%
1114 Landbouw WKO met warmtepomp eDesign 2011	✓	✓	85%*	84%
1115 Elektriciteit uit geothermie eDesign 2011		✓	-	100%
1117 Kleinschalige biomassaverbranding 7000u eDesign 2011	✓		0%	-
1118 Gasturbine 250u eDesign 2011	✓	✓	100%	0%
1120 Besparing warmtevraag bestaande bouw huishoudens kostenproject	✓	✓	94%*	34%
1126 Finale besparing elektriciteit industrie	✓	✓	100%	79%
1127 Finale besparing warmte industrie	✓	✓	100%	79%
1128 Besparing elektriciteitsvraag huishoudens kostenproject	✓		0%	-
1130 Besparing warmtevraag HDO bestaande en nieuwbouw kostenproject	✓	✓	90%*	60%
1131 Besparing overig verkeer eDesign 2011	✓	✓	88%*	67%
1132 Vrachtverkeer op gasmotor eDesign 2011	✓	✓	98%*	53%
1144 Hlsarna 2010	✓	✓	87%*	0%
885 CO ₂ -afvang (bio) ethanol 2010	✓	✓	93%*	0%
886 CO ₂ -afvang ammoniakproductie 2010	✓	✓	93%*	0%
887 CO ₂ -afvang etheenoxide productie 2010	✓	✓	92%*	0%
888 CO ₂ -afvang waterstof plants (high purity H2) 2010		✓	-	100%
889 CO ₂ -opslag waterstofplants raffinaderijen 2010	✓	✓	93%*	0%
890 CO ₂ -afvang primaire ijzer- en staalindustrie 2010		✓	-	100%
981 Groen gas uit vergassing van biomassa met CCS 2011		✓	-	100%
986 Ethanol uit biomassa (starch) 2011	✓	✓	83%*	75%
987 Ethanol uit biomassa (suiker) 2011	✓	✓	76%*	75%

Bron bij Figuur 43: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN; * = onvolledige vervanging impliceert kostenvoordeel⁵¹

Lineaire uitrol van opties

Standaard worden de investeringskosten lineair uitgesmeerd over de investeringsperiode. Tussen 2020 en 2030 wordt zodoende ieder jaar $\frac{1}{11}$ (9%) van de totale (vermeden) investeringssom gerealiseerd en tussen 2031 en 2050 ieder jaar $\frac{1}{20}$ (5%).⁵²

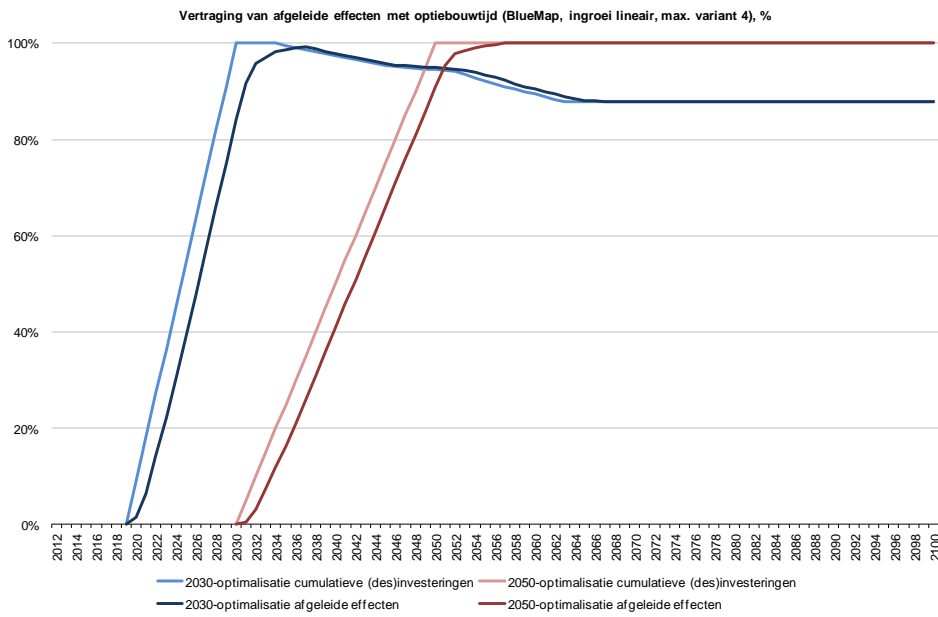
Behoudens sommige reguleringskosten zijn alle kosten en baten in deze MKBA afhankelijk van de mate waarin een optie is uitgerold. Daarom worden deze 'afgeleide' effecten geschaald op de in dat jaar gerealiseerde cumulatieve capaciteit. Stel dat de helft van een optie in 2030 is gerealiseerd, dan zouden bijvoorbeeld de helft van de (uiteindelijk maximale) jaarlijkse vermeden brandstofverbruik en operationele kosten gelden. De afgeleide effecten worden echter vertraagd met de bouwtijd om een realistischer beeld te schetsen. Bij een optie met een bouwtijd van 5 jaar worden dus 5 jaar na het realiseren van de volledige capaciteit ook de volledige afgeleide effecten (operationele kosten, vermeden brandstofverbruik, emissiereductie, et cetera) ingeboekt.

Onderstaande figuur illustreert het lineaire investeringstempo en de vertraging van afgeleide effecten.

51 Er is sprake van een kostenvoordeel indien investeringen van de 2030-optimalisatie wel maar onvolledig worden vervangen, er geen desinvestering plaatsvindt (er is sprake van desinvestering als de geïnstalleerde fysieke capaciteit in 2030 hoger is dan in 2050) en de kostenverhouding tussen 2030 en 2050 groter is dan de capaciteitsverhouding (anders gezegd: de kosten per eenheid capaciteit zijn hoger in 2030 dan in 2050). In geval van een kostenvoordeel wordt er een 'korting' op de vervangingsinvesteringen toegepast, maar blijven de afgeleide effecten op 100 %-niveau. In geval van desinvestering worden ook de afgeleide effecten gekort.

52 Ook voor effecten die samenhangen met de investeringssom in een jaar, te weten de bestedingsimpuls, structurele groei en kosten van belastingheffing als gevolg van subsidieverstrekking, is er sprake van enkelvoudige uitrol/groeiopaden. Alle overige effecten – bijvoorbeeld vermeden brandstofverbruik, emissiereductie en operationele kosten – zijn cumulatief.

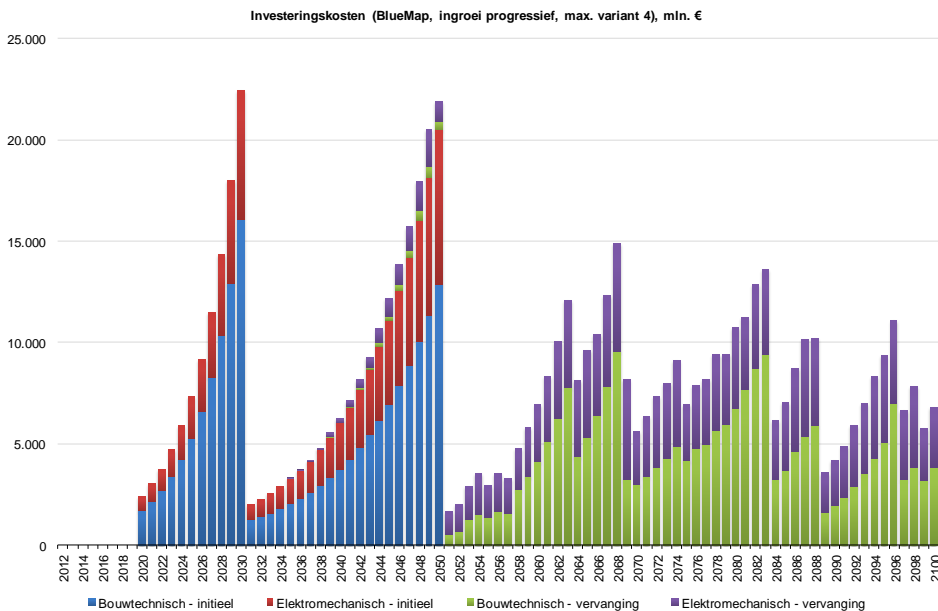
Figuur 22: Kosten gaan voor de baten



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

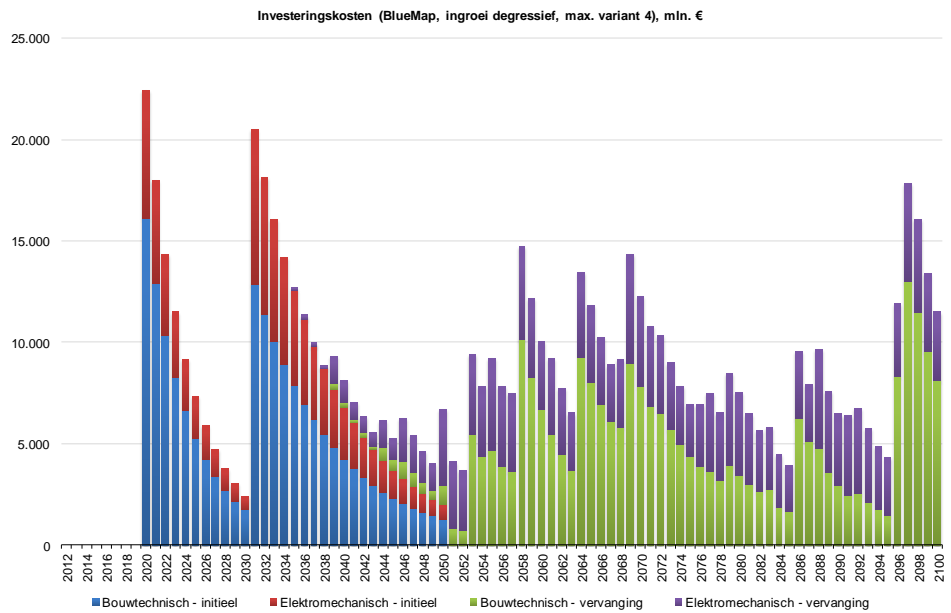
Als gevoeligheidsanalyse zijn er twee alternatieven voor een lineair uitrol van de opties: een progressief groeipad (relatief veel investeringen laat in de tijd, zie Figuur 23) en een degressief groeipad (relatief veel investeringen vroeg in de tijd, zie Figuur 24).

Figuur 23: Een vertraagd investeringstempo (progressieve curve)



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Figuur 24: Een versneld investeringsstempo (degressieve curve)

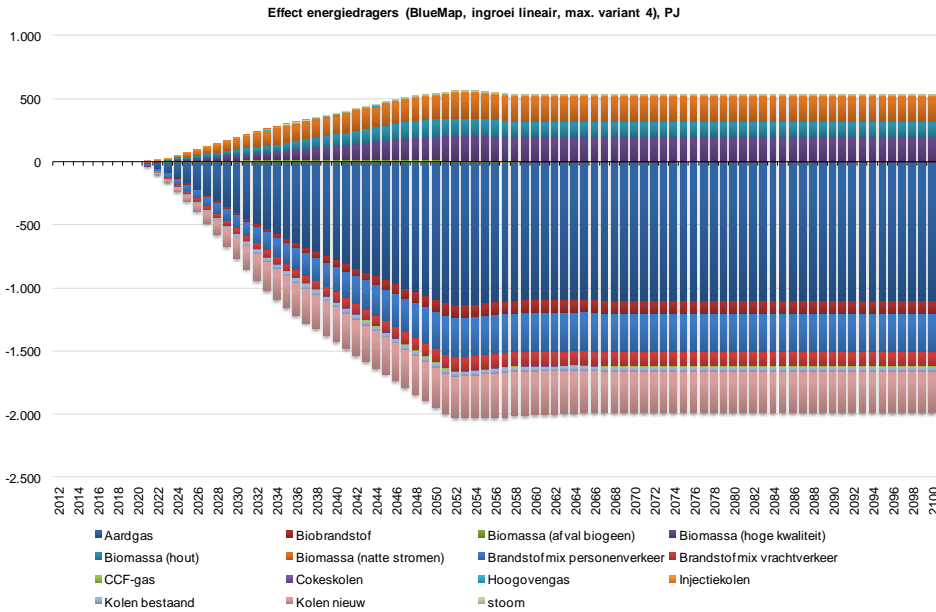


Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

F.2 Vermeden brandstofverbruik

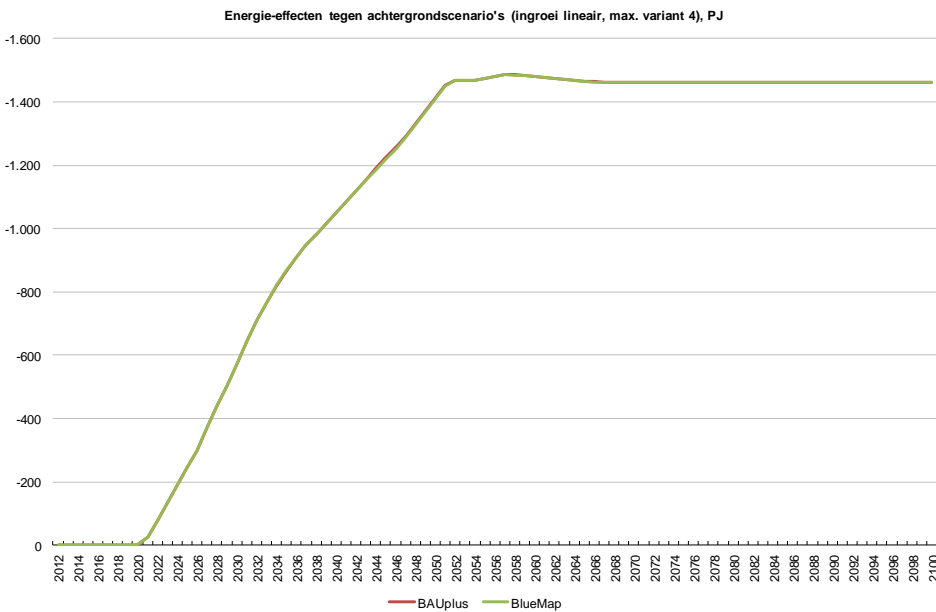
Onderstaande figuur geeft de verandering weer in het energiegebruik in de periode tot 2050. Er wordt duidelijk meer biomassa gebruikt. Fossiel energiegebruik neemt flink af. Figuur 25 verklaart de ontwikkeling van het totale energiegebruik. De figuur laat zien dat er per saldo weinig verschil zit tussen de scenario's als het gaat om het effect van de opties gericht op vermeden brandstofverbruik.

Figuur 25: Verandering gebruik van energiedragers



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Figuur 26: In alle scenario's wordt per saldo uiteindelijk 1.500 PJ energie bespaard⁵³



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

Het volume effect verklaart met andere woorden niet het verschil tussen de scenario's. De prijsverschillen werken sterker door. Figuur 27 en 28 tonen de prijsverschillen. De figuren laten alleen de prijzen van fossiele brandstoffen zien. Dit zijn de prijzen die het verschil maken: hoe internationaler het scenario, hoe lager de prijzen van fossiele energie. De verklaring hiervoor is een lager mondiaal energiegebruik dat energie minder

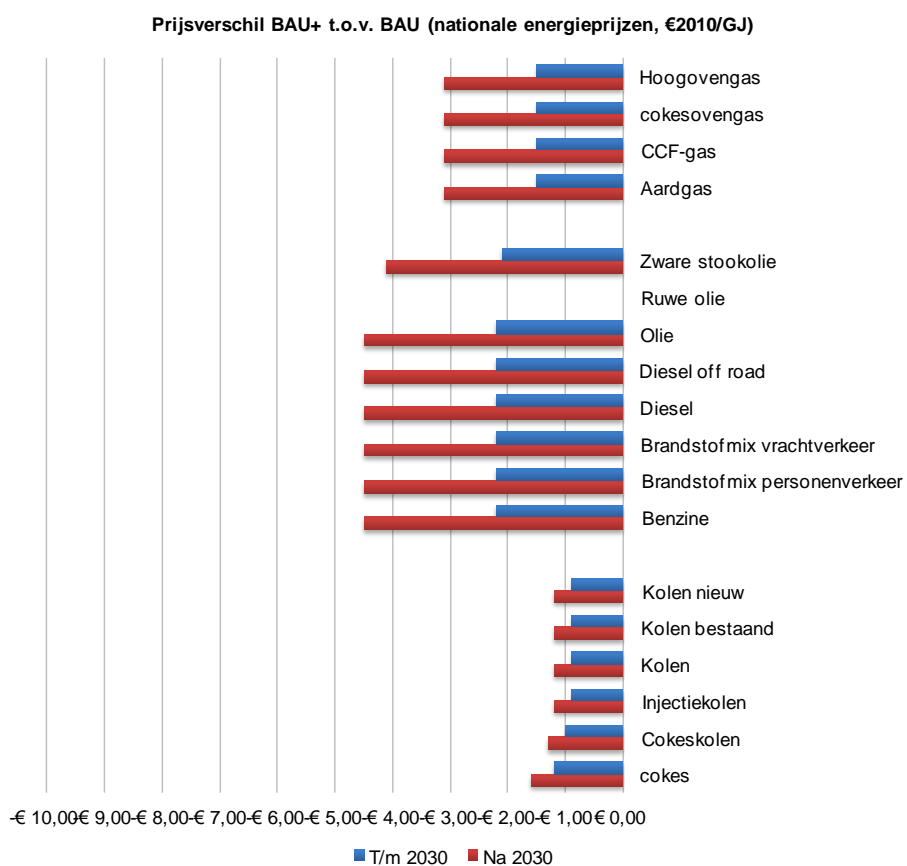
⁵³ Ten behoeve van de leesbaarheid van de figuur staat de y-as in omgekeerde volgorde.

schaars maakt, ook fossiele energie. Voor hernieuwbare energiebronnen is gerekend met gelijke prijzen tussen de scenario's.

Vermeden brandstofverbruik genereert een baat in termen van welvaart: de koopkracht die vrijkomt kan worden benut voor andere bestedingen. Er is ook een prijseffect: restgebruik van fossiele energie wordt goedkoper door de prijsontwikkeling in het scenario. Tabel 44 en Tabel 45 verklaren dit effect, dat stevig kan oplopen tot rondom € 10 miljard per jaar in Blue Map. Het is vooral het resterend oliegebruik dat dit effect voor een belangrijk deel verklaart. Het gebruik van olie daalt in Blue Map flink, maar bedraagt in 2050 nog steeds 852 PJ. Dit genereert een flinke opportuniteitskost bij lagere prijzen voor fossiele brandstoffen. De getoonde bedragen gelden voor de zichtjaren in de tabellen.

Dit prijseffect is niet opgenomen als een baat in de MKBA-tabel, omdat het effect volledig is toe te rekenen aan prijsontwikkelingen op mondiale energiemarkten. Nationaal beleid heeft hierop per definitie geen invloed. Een MKBA rekent effecten toe aan beleidskeuzes. Een prijseffect dat is veroorzaakt door een niet te beïnvloeden, externe ontwikkeling blijft buiten beschouwing. Het prijseffect is overigens wel reëel en veroorzaakt een positief welvaartseffect.

Figuur 27: Prijsverschillen van fossiele brandstoffen: BAU+ ten opzichte van BAU⁵⁴



Bron: ECN

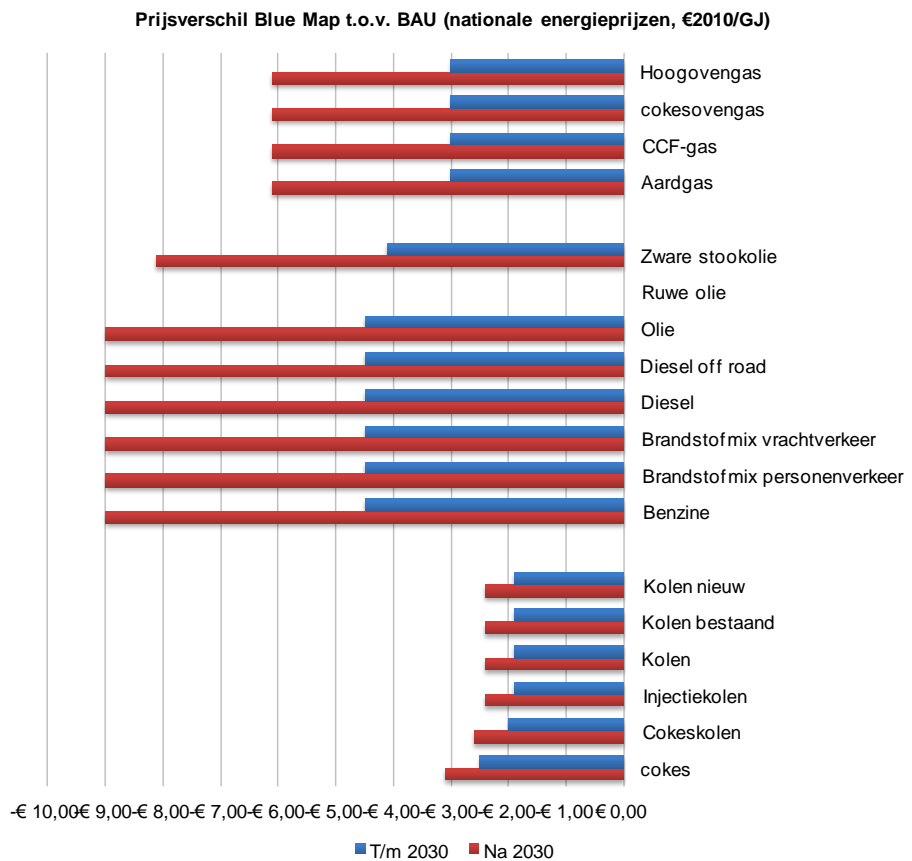
Tabel 44: Prijsvoordeel goedkoper restverbruik in BAU+

		2020	2030	2040	2050
Kolen	<i>Restverbruik</i>	559 PJ	304 PJ	149 PJ	82 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 0,5 mld.	€ 0,3 mld.	€ 0,2 mld.	€ 0,1 mld.
Olie	<i>Restverbruik</i>	1.194 PJ	1.082 PJ	964 PJ	852 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 2,6 mld.	€ 2,4 mld.	€ 4,3 mld.	€ 3,8 mld.
Aardgas	<i>Restverbruik</i>	1.419 PJ	940 PJ	607 PJ	336 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 2,1 mld.	€ 1,4 mld.	€ 1,9 mld.	€ 1,0 mld.
Totaal	<i>Restverbruik</i>	3.172 PJ	2.325 PJ	1.720 PJ	1.270 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 5,3 mld.	€ 4,1 mld.	€ 6,4 mld.	€ 4,9 mld.

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

⁵⁴ Nationale energieprijzen zijn de wereldhandelsprijzen plus eventuele bewerkingskosten.

Figuur 28: Prijsverschillen van fossiele brandstoffen: Blue Map ten opzichte van BAU



Bron: ECN

Tabel 45: Prijsvoordeel goedkoper restverbruik in Blue Map

		2020	2030	2040	2050
Kolen	<i>Restverbruik</i>	559 PJ	304 PJ	150 PJ	85 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 1,1 mld.	€ 0,6 mld.	€ 0,4 mld.	€ 0,2 mld.
Olie	<i>Restverbruik</i>	1.194 PJ	1.082 PJ	964 PJ	852 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 5,3 mld.	€ 4,8 mld.	€ 8,6 mld.	€ 7,6 mld.
Aardgas	<i>Restverbruik</i>	1.419 PJ	940 PJ	607 PJ	335 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 4,3 mld.	€ 2,8 mld.	€ 3,7 mld.	€ 2,0 mld.
Totaal	<i>Restverbruik</i>	3.172 PJ	2.325 PJ	1.722 PJ	1.273 PJ
	<i>Prijsvoordeel</i>	€ 10,7 mld.	€ 8,2 mld.	€ 12,6 mld.	€ 9,8 mld.

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. data ECN

F.3 Importsaldi energie

Tabel 46: Importsaldi (%) van energiedragers in de MKBA

Energiedrager	Importsaldo ⁵⁵
Aardgas ⁵⁶	Variabel ⁵⁷
Benzine	100,0%
Biobrandstof	0,0%
Biomassa (afval biogeen)*	0,0%
Biomassa (coferment)*	0,0%
Biomassa (hoge kwaliteit)*	100,0%
Biomassa (hout)*	100,0%
Biomassa (middenkwaliteit)*	0,0%
Biomassa (natte stromen)*	0,0%
Biomassa (suikers)*	60,0%
Biomassa (zetmeel)*	60,0%
Brandstofmix personenverkeer	100,0%
Brandstofmix vrachtverkeer	100,0%
Cokes	100,0%
Cokeskolen	100,0%
Diesel	100,0%
Diesel off road	100,0%
e-inhoud mest	0,0%
Injectiekolen	100,0%
Kolen	100,0%
Kolen bestaand	100,0%
Kolen nieuw	100,0%
LPG	100,0%
Olie	100,0%
Ruwe olie	98,0%
Stoom	0,0%
Warmte	0,0%
Zware stookolie	100,0%

Bron: CBS Energiebalans 2010 en CPB e.a. (2006, pp. 298-299); * = PBL & ECN (2011), CBS (2011, p. 84), ECN/Universiteit Wageningen (2006, p. 43) en ECN⁵⁸; Bewerking SEO Economisch Onderzoek

⁵⁵ Berekend als invoer minus uitvoer, gedeeld door nationaal energieverbruik minus onttrekkingen aan de energievoorraad. Uitvoer is inclusief brandstoflevering aan internationale scheep- en luchtvaart, zogeheten bunkers.

⁵⁶ Gecorrigeerd voor verbruik van de lokale restgassen CCF, chemisch restgas, cokesovengas, fermentatiegas en hoogovengas. Minder verbruik van deze restgassen leidt tot meer verbruik van aardgas en vice versa.

⁵⁷ Het importsaldo is niet voor alle energiedragers over de hele zichtperiode 'constant'. Dit geldt in het bijzonder voor aardgas, waarvan Nederland op het moment meer exporteert dan importeert (een negatief importsaldo). In het nulalternatief zal uitputting van aardgasvelden op den duur echter leiden tot een positief importsaldo. Het 'autonome' importsaldo in het nulalternatief wordt in het projectalternatief gecorrigeerd voor energiebesparing. Ter illustratie: het CPB e.a. (2006, pp. 298-299) voorspelt dat in een *Global Economy*-scenario Nederland in 2040 per saldo 670 PJ aardgas zal importeren. In het BAU+ projectalternatief wordt echter 780 PJ minder aardgas verbruikt, waarmee er geen tekort op de aardgasbalans ontstaat (Nederland blijft per saldo exporteur). In het BAU+ projectalternatief wordt het *Global Economy*-aardgasscenario gevolgd, in het Blue Map projectalternatief het *Strong Europe*-aardgasscenario

⁵⁸ In de CBS *Energiebalans* is in- en uitvoer van biomassa onderdeel van winning, daarom is voor de importsaldi van biomassasoorten naar andere bronnen gezocht.

F.4 Bestedingsimpuls

Verdringing van publieke en private bestedingen

Een belangrijke reden waarom een bestedingsimpuls in MKBA's vaak geen rol speelt, is de verdringing van private en publieke investeringen. Een investering A met omvang X verdringt een investering B elders in de economie met dezelfde omvang X. De positieve bestedingsimpuls van A kent als tegenhanger een negatieve bestedingsimpuls van B. De netto baat is nul.

De vraag is wanneer deze verdringing optreedt. Twee situaties zijn relevant:

A. Financiering uit extra belastingen

Een mogelijke veronderstelling is dat de overheid *extra* uitgaven doet voor CO₂-reductie. Dit sluit minder goed aan bij de gedachte van vaste uitgavenplafonds. Maar onder deze veronderstelling zijn de kosten wel helder: de extra overheidsuitgaven plus eventuele kosten van belastingheffing. In dit geval treden tijdelijke additionele bestedingsimpuls op. De omvang van deze impuls wordt bepaald door de *balanced budget multiplier*:

- Een met overheidssubsidie gefinancierde investering genereert extra productie via de inkomensmultiplier;
- De belasting nodig om de subsidiekosten te dekken en het netto-effect voor rijksbegroting op nul te houden, verlaagt particuliere bestedingen en verlaagt de productie via de inkomensmultiplier.

De standaard waarde van deze multiplier in de economische literatuur is 1. De toename in de vraag en daarmee de productie is precies gelijk aan de omvang van de investering. De intuïtie achter dit resultaat is dat een investering van € 100 miljoen een direct effect op het BBP heeft, en daarna een reeks indirecte effecten via het multiplierproces. De verhoging van de belastingen heeft een indirect effect op de bestedingen: het verlaagt het besteedbaar inkomen en daarmee indirect de consumptieve bestedingen. Dit effect is een fractie *c* van het effect op het besteedbaar inkomen, waarbij *c* staat voor de marginale consumptiequote.⁵⁹ Deze marginale consumptiequote is over het algemeen < 1 waarmee de negatieve impuls via extra belastingheffing < € 100 miljoen is.

Merk op dat dynamische prijseffecten op de middellange termijn buiten beschouwing blijven bij deze 'statische' multiplier. Zo kan de prijsconcurrentiepositie van Nederland verslechteren waardoor de binnenlands geproduceerde uitvoer vermindert. Dit heeft op de middellange termijn een negatieve impact op het bestedingseffect. Dit gaat overigens niet op voor het Blue Map scenario dat van alle landen een extra investeringsinspanning vraagt om de beweging naar -80% CO₂-emissiereductie te maken.

Verdringing kan ook optreden via het effect van de rentevoet op de particuliere investeringen. Dit laatste effect speelt vooral een rol als extra overheidsuitgaven via staatsschuld worden gefinancierd.

⁵⁹ Het gaat hier om consumptie van binnenlands geproduceerde goederen. Minder import raakt de Nederlandse productie niet.

B. Financiering via extra overheidsschuld

Een volgende route is om de extra uitgaven te financieren via extra overheidsschuld. Dit genereert een bestedingsimpuls onder de veronderstelling dat de kapitaalmarkt niet perfect werkt (marktfalen). Huishoudens kennen een kasrestrictie door de beperkte mogelijkheid tot lenen op de kapitaalmarkt. Als de overheid extra bestedingen doet en deze financiert via staatsschuld leent de staat als het ware het bedrag dat de huishoudens door het marktfalen niet in staat zijn te lenen. De kasrestrictie wordt verlicht met als gevolg extra bestedingen, inkomens en productie (zie box).

De macroeconomische relatie tussen het particuliere spaaroverschot en de overheidsbegroting

In de macroeconomie bestaat een boekhoudkundige relatie tussen het particuliere spaaroverschot en het tekort op de overheidsbegroting. Als we afzien van het buitenland stelt deze relatie dat:

Het saldo van sparen en investeren in de particuliere sector = het saldo van overheidsuitgaven en belastinginkomsten.

Zo gezien wordt een spaaroverschot van de particuliere sector door de overheid 'gebruikt' voor extra bestedingen. Een spaaroverschot kan betekenen dat huishoudens te weinig lenen. Dit zien we boekhoudkundig terug in het gat tussen overheidsuitgaven en belastinginkomsten. Dit wordt bedoeld met de opmerking dat de overheid als het ware 'leent' voor huishoudens.

Extra staatsschuld veroorzaakt verdringing van andere bestedingen. De crowding out verloopt nu niet via de particuliere bestedingen, maar via de investeringen. Extra overheidsschuld (uitgifte staatsobligaties) drijft de rente op wat de particuliere investeringen verlaagt. Deze verdringing is 100% als we uitgaan van een "klassieke" situatie met volledige werkgelegenheid en perfecte prijsaanpassingen. Dit geeft aan dat de timing van de investeringen van belang is voor de omvang van de bestedingsimpuls.

- In een hoogconjunctuur zorgen prijsaanpassingen voor 100% verdringing; geen bestedingseffect;
- In een laagconjunctuur zorgen prijsaanpassingen voor < 100% verdringing; er is wel een bestedingseffect, maar dit effect werkt met een multiplier < 1.

Een praktisch voorbeeld is de zeer actuele discussie over de effecten van nieuwe bezuinigingen. Het CPB heeft een analyse gemaakt van de stimuleringsmaatregelen genomen in 2009. Conclusie is dat stimulering de productiedaling en stijging van de werkloosheid flink heeft gedempt. Wel is de overheidsschuld verder gestegen dan anders was gebeurd. Het CPB merkt bij deze conclusies op:

"Voor deze Notitie is gebruik gemaakt van SAFFIER, het macro-economische model van het CPB. Het SAFFIER-model past in de brede en stabiele consensus over de positieve gevolgen op de economische groei op korte termijn van stimuleringsmaatregelen en de negatieve gevolgen op de economische groei op korte termijn van bezuinigingen. Stimuleringsmaatregelen zijn slechts effectief als er sprake is van

conjuncturele werkloosheid en onvolledig gebruik van de productiecapaciteit. Als dat niet het geval is leiden stimuleringsmaatregelen slechts tot prijsstijging en verdringing van particuliere consumptie en investeringen door overheidsbestedingen (crowding-out).⁶⁰

De MKBA rekent met een bestedingseffect dat pas in 2020 start. Onduidelijk is wat de conjunctuur zal zijn vanaf 2020 of wat het begrotingstekort in 2020 is. Daarom rekent de MKBA met de helft van het maximale bestedingseffect.

Verdringing via Ricardiaanse equivalentie

De Amerikaanse econoom Barro lanceerde in 1974 een extra argument voor het klassieke resultaat van 100% verdringing bij door schuld gefinancierde overheidsinvesteringen. Dit argument staat bekend als Ricardiaanse equivalentie. De essentie van dit argument is dat vooruitziende burgers snappen dat ook staatsschuld uiteindelijk terugbetaald wordt via hogere belastingen. De extra schuld wordt daarom onmiddellijk gecompenseerd via hogere particuliere besparingen en dus lagere bestedingen. Voorwaarde voor dit effect is:

- Veronderstelling van rationele verwachtingen bij burgers;
- Veronderstelling van perfect intergenerationeel altruïsme: de huidige generatie spaart zodat de latere generaties de extra belasting kunnen betalen (we veronderstellen in feite een oneindig leven);
- Veronderstelling van perfect werkende kapitaalmarkten.

Het lijstje argumenten waarom Ricardiaanse equivalentie niet optreedt is lang: verwachtingen zijn niet rationeel gevormd, sommige mensen hebben geen kinderen en geven niets om de volgende generatie, kapitaalmarkten werken niet perfect enzovoort.

Merk op dat Ricardiaanse equivalentie strikt genomen alleen stelt dat de keuze tussen belastingheffing en schuldfinanciering irrelevant is voor een gegeven omvang van overheidsbestedingen. Wat het bestedingseffect ook is, het zal gelijk zijn voor schuldgefinancierde of door extra belastingheffing gefinancierde overheidsbestedingen.

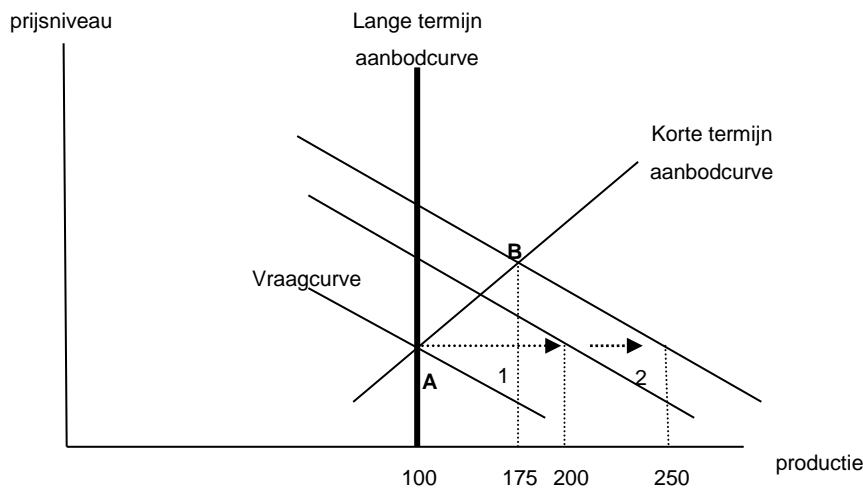
De voorstanders van dit principe zoals de Amerikaan Barro worden gezien als aanhangers van de Nieuw-Klassieke school, die stelt dat het effect van extra overheidsbestedingen nul is. Maar hiervoor is een extra argument nodig, additioneel aan Ricardiaanse equivalentie, namelijk 100% verdringing van bestedingen door extra overheidsuitgaven via snelle prijsaanpassingen.

Verklaring werking multiplier

Figuur 29 ligt de essentie van de inkomensmultiplier toe. Vraag is: passen prijzen zich zo snel aan dat de kortetermijnaanbodcurve verticaal is, zoals de langetermijnaanbodcurve? Gaan we in één keer van A naar C of is er een tijdelijk bestedingseffect via B?

60 CPB (2011), Effecten stimuleringspakket, Den Haag, p. 13.

Figuur 29: Positief multipliereffect van investeringen



Bron: De Nooij & Theeuwes (2004, p. 126)

De investeringen in de opties voor CO₂-emissiereductie genereren een bestedingsimpuls met een effect op de macro-economie in de vorm van een stijging in productie en werkgelegenheid. De omvang van dit effect wordt bepaald door de inkomensmultiplier die alleen optreedt op de korte termijn. Figuur 29 laat een dalende vraagcurve zien in combinatie met een stijgende aanbodcurve voor de korte termijn. De aanbodcurve geeft aan dat bedrijven bij een stijging van de prijs bereid zijn om hun productie op te voeren. Op de lange termijn is de hoeveel productie echter alleen afhankelijk van de hoeveelheid productiemiddelen in de economie en niet van het prijspeil. Op lange termijn wordt zoveel geproduceerd als mogelijk is bij een efficiënte inzet van de productiemiddelen arbeid en kapitaal. Dit is het natuurlijke productieniveau waarbij op de arbeidsmarkt alleen maar frictiewerkloosheid (of natuurlijke werkloosheid) is.

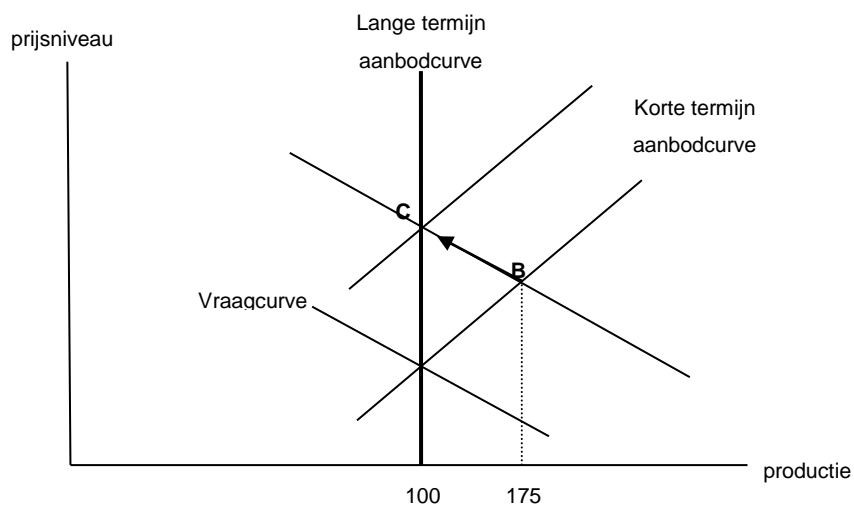
De werking van de bestedingsmultiplier kan als volgt worden toegelicht. In de figuur is punt A het oorspronkelijke evenwicht tussen vraag en aanbod. De bestedingsimpuls als gevolg van investeringen in CO₂-emissiereductie verschuift de vraagcurve naar rechts (aangegeven met 1). Door de toegenomen vraag stijgt de omzet, de productie en daarmee de werkgelegenheid. Dit proces gaat verder omdat de medewerkers en Nederlandse ondernemers in een tweede ronde hun hogere inkomens op hun beurt zullen besteden bij bedrijven in binnen- en buitenland. Dit genereert weer hogere inkomens en meer bestedingen in een derde ronde. Dit proces van doorwerking is het multiplierproces. In elke ronde stijgen het nationaal product en de werkgelegenheid.

Dit proces is echter eindig omdat de bestedingen in elke ronde kleiner worden. In elke ronde lekt inkomen weg bijvoorbeeld omdat er uit de inkomens wordt gespaard of omdat men geen Nederlandse goederen maar ingevoerde producten koopt. Het totale vraageffect, het multipliereffect, is in Figuur 29 aangegeven met '2'. Bij constante prijzen stijgt de productie met 150 eenheden van 100 naar 250. In het nieuwe kortetermijnevenwicht B is het aanbod met minder dan deze 150 toegenomen omdat tegelijkertijd het prijspeil is gestegen. Hoe groot het uiteindelijke effect is, is afhankelijk van de prijselasticiteit van de vraag- en aanbodcurve. Een extreme situatie is dat de

economie in een laagconjunctuur verkeert. In dit geval wordt de vraagimpuls waarschijnlijk helemaal omgezet in een toename van de productie. Alle investeringsuitgaven zijn dan baten. Het is realistischer te veronderstellen dat de vraagimpuls maar voor een deel een kortetermijneffect op de productie heeft. Op grond van empirische studies gebruiken De Nooij en Theeuwes (2004) een waarde van 0,5 zodat de productie toeneemt van 100 naar 175.

Prijsaanpassing betekent dat het kortetermijneffect van de investeringsimpuls op de lange termijn verdwijnt. Dit effect is in Figuur 30 te zien als de verschuiving van de aanbodcurve naar boven. De bestedingen leiden tot extra productie en daarmee tot intensievere benutting van potentieel schaarse productiemiddelen in de economie, zoals arbeid. Het gevolg zijn prijs- en loonstijgingen. Prijsstijgingen remmen de bestedingen af en loonstijgingen remmen de inzet van arbeid en daardoor de productie af. Door het stijgende prijspeil daalt de productie van boven het natuurlijke niveau ($B > A$) terug naar het natuurlijke productieniveau ($C = A$). Er wordt in het voorbeeld weer 100 geproduceerd. Uiteindelijk zijn alleen de lonen en prijzen gestegen.

Figuur 30: Prijsaanpassing laat de investeringsimpuls op lange termijn verdampen



Bron: SEO Economisch Onderzoek

Voor de MKBA is van belang hoe snel dit aanpassingsproces verloopt. Wellicht zijn er tijdelijke baten die meewegen in de bepaling van het saldo, ook als ze op de langere termijn weer verdwijnen. Het werk van het CPB biedt een houvast bij de bepalingen van dit type macro-economische aanpassingstermijnen. Het Athena-model is een Multi-sector model dat gebruikt wordt voor scenarioanalyses van het CPB. Dit model verwerkt een loonimpuls in circa 10 jaar. Dit is de termijn die nodig is voordat de economie na de impuls een nieuw evenwicht bereikt (Smid en Vromans 2006, p. 55). Het Saffier model kent langere macroeconomische aanpassingstermijnen. Stel dat de overheidsbestedingen met 1% BBP verhoogd worden. Volgens Saffier resulteert dit in eerste instantie in een stijging van het BBP-volume en de productie in de marktsector. Ook de investeringen nemen toe door de stijging van de productie en de initiële verbetering van de winstgevendheid. Op den duur worden de ongunstige effecten van

de loonstijging steeds sterker, zodat de omvang van de positieve gevolgen voor de economische groei geleidelijk afnemen. Na circa 20 jaar blijft van de positieve impuls van 1% van het bbp vrijwel niets over (CPB 2010, p. 96).

Waardering van de bestedingsimpuls

Dit onderzoek schat de aanpassingstermijn conservatief in en hanteert de termijn van 10 jaar voordat de impuls van de extra bestedingen is uitgewerkt en de economie weer de lange termijn hoeveelheid produceert. De berekeningen veronderstellen dat ieder jaar 10% van de oorspronkelijke toename van de productie verdwijnt. Verder benadrukken De Nooij en Theeuwes (2004) dat de bestedingen aan de nationale economie moeten toekomen – het weglekken van bestedingen naar buitenlandse markten vermindert de impact van de multiplier. Dit weglekeffect is meegenomen in dit onderzoek door de bestedingsimpuls enkel over de binnenlandse bestedingen te berekenen. Ook worden voorzienbare bestedingen – in casu vervangingsinvesteringen en operationele kosten – buiten de bestedingsimpuls gelaten.

De omvang van de bestedingsimpuls is vervolgens afhankelijk gesteld van het gekozen beleidsalternatief. Bij normering worden in de impuls alleen bestedingen meegenomen die privaat rendabel zijn. De redenering hierachter is dat van investeringen die voor huishoudens of bedrijfsleven per saldo batig zijn maar om uiteenlopende redenen niet tot stand komen in het nulalternatief, een bestedingsimpuls (lees: het wegnemen van marktfaalen) uitgaat op het moment dat ze via een norm worden afgedwongen.⁶¹

Bij beprijzing wordt de bestedingsimpuls deels tenietgedaan door (onmiddellijke) prijsstijging van producten en diensten die onder het emissiehandelssysteem vallen, dan wel belast worden. Tabel 47 geeft een overzicht van de verwachte kostenstijgingen in industriële sectoren onder het Europese emissiehandelssysteem, en het deel van deze kostenstijging dat zal worden doorbelast aan afnemers (CE Delft, 2008). De consument zal het effect van beprijzing vooral merken bij het kopen van bouwmaterialen, glas(producten) en producten waarin basischemicaliën zijn verwerkt.

Het is met bovenstaande data echter niet mogelijk om de daadwerkelijke prijsstijging van consumentenproducten te berekenen, noch in hoeverre de doorsnee Nederlander hierdoor in zijn portemonnee wordt geraakt. Dit kan wel op basis van onderzoek van Kerkhof e.a. (2008), die het effect van het belasten van emissies, respectievelijk van CO₂ en van alle broeikasgassen, op consumentenprijzen in kaart brachten.⁶² Net als bij beprijzing via een emissiehandelssysteem is ook bij beprijzing via belasting onmiddellijke prijsaanpassing en dus koopkrachtverlies waarschijnlijk. De gedetailleerde prijseffecten per productgroep in Kerkhof e.a. (2008, pp. 325-326), gekoppeld aan het aandeel van de productgroep in de totale bestedingen van Nederlandse huishoudens⁶³, staan toe om het totale koopkrachtverlies onder invloed van een emissiebelasting te berekenen. Uit Tabel 48 blijkt dat een doorsnee Nederlands huishouden 4,4 tot 6,1 procent meer zou uitgeven als gevolg van de belasting op respectievelijk alle broeikasgassen en op alleen CO₂. De koopkracht daalt hierdoor met 4,2 tot 5,7 procent.

61 Bij beprijzing en subsidiëring is een dergelijke correctie niet nodig aangezien na heffing dan wel subsidie alle opties privaat rendabel worden verondersteld.

62 De overige broeikasgassen zijn methaan, stikstofdioxide, HFC's, PFC's en zwavelhexafluoride.

63 CBS *Statline*, Bestedingen; uitgebreide indeling naar huishoudkenmerken. Het meest recente meetjaar betreft 2007.

Tabel 47: Verwachte kosten- en prijsstijging als gevolg van EU ETS⁶⁴

Sector	SBI-codes	Stijging netto kostprijzen		Stijging consumentenprijzen	
		€20/tCO ₂	€50/tCO ₂	€20/tCO ₂	€50/tCO ₂
Voedings- en genotmiddelen	15 en 16	<0,5%	0,8%		
Textiel, textielproducten en leer en lederwaren	17, 18 en 19	<0,5%	0,8%		
Houtindustrie	20	<0,5%	<0,5%		
Papier, karton en papier- en kartonwaren	21	1,0%	2,0%	0,0%	0,0%
Uitgeverijen, drukkerijen en reproductie	22	<0,5%	<0,5%		
Aardolie- en steenkoolverwerkend	23, excl. 231	1,0%	2,0%	0,0%	0,0%
Petrochemische producten	2414, 2416 en 2417	1,0%	2,0%	0,5%	1,0%
Meststoffen	2415	8,0%	20,0%	0,0%	0,0%
Anorganische basischemicaliën	2413	3,5%	8,0%	0,0%	0,0%
Overige basischemicaliën	2411 en 241	5,0%	12,0%	1,0%	2,4%
Chemische producten	242-247	<0,5%	<0,5%		
Glas en glaswerk	261	2,0%	4,0%	1,0%	2,0%
Bouwmaterialen (tegels, bakstenen)	264	1,5%	4,0%	1,5%	4,0%
Cement, calcium en gips	265	8,5%	21,0%	4,3%	10,5%
Keramische producten overige	262, 263, 266-268	<0,5%	1,0%		
IJzer en staal	271-273, 231, 2751 en 2752	6,0%	15,0%	0,5%	1,3%
Aluminium	2742	6,0%	15,0%	0,0%	0,0%
Overige non-ferrometalen	2741, 2743 e.v. en 2753 e.v.	2,0%	4,0%	0,0%	0,0%
Overige industrie	25 en 28 e.v.	<0,5%	<0,5%		

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. CE Delft (2008)

Tabel 48: Prijsstijgingen consumenten ten gevolge van emissiebelasting

Productcategorie	Ongewogen gemiddelde prijsstijging		Aandeel in totale bestedingen	Cumulatieve inflatie	
	CO ₂ -belasting	BKG-belasting		CO ₂ -belasting	BKG-belasting
Voedsel	4,8%	6,1%	15%	0,6%	0,7%
Huisvesting	13,2%	8,8%	34%	3,4%	2,2%
Kleding en schoeisel	2,6%	2,0%	5%	0,1%	0,1%
Hygiëne en medische zorg	1,7%	1,3%	8%	0,1%	0,1%
Onderwijs, vrije tijd, vervoer	4,7%	3,3%	35%	1,9%	1,3%
Overige	0,0%	0,0%	3%	0,0%	0,0%
Totaal	4,5%	3,6%	100%	6,1%	4,4%

Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. Kerkhof e.a. (2008) en CBS Statline

Kerkhof e.a. (2008, pp. 321-322) stellen in hun berekeningen de belasting gelijk aan het snijpunt van de marginale reductiekosten met de emissiereductiedoelstelling (beide in euro per ton CO₂). Bovenstaande tabel is gebaseerd op een relatief bescheiden doelstelling van 50 Mton CO₂ eq. in 2010, een emissiereductie van 6% ten opzichte van het niveau in 1990. Het corresponderende belastingtarief is € 57 per ton CO₂ eq. bij belasting van alle broeikasgassen en € 91 per ton CO₂ eq. bij belasting van alleen CO₂.

Een reductiedoelstelling van 80% – circa 185 Mton CO₂ eq. ten opzichte van de *baseline* – impliceert hogere marginale kosten per ton CO₂ eq. Afgaande op Figuur 4 als indicatie van de orde van grootte van marginale reductiekosten zou de belasting tussen € 200 en 250 per ton CO₂ eq. uitkomen, grofweg twee tot vier keer hoger dan in de berekeningen van Kerkhof e.a. (2008).⁶⁵ Het berekenen van het precieze prijseffect dat deze hogere belasting sorteert, vereist uitgebreide input-output-analyses die buiten de reikwijdte

⁶⁴ Uitgaande van volledige veiling van emissierechten.

⁶⁵ Hierbij de kanttekening dat deze figuur geen marginale reductiekosten maar nationale kosten laat zien, berekend ten opzichte van een referentietechniek. De figuur doet dus enkel dienst als *indicatie* van de marginale reductiekosten.

van dit rapport vallen.⁶⁶ In deze MKBA is daarom gerekend met een indicatieve bandbreedte van koopkrachtdaling van 10 tot 20 procent.⁶⁷

Bij beprijzing en subsidiëring wordt vervolgens gecorrigeerd voor ineffectiviteit van een bestedingsimpuls in tijden van hoogconjunctuur, wanneer de extra bestedingen welvaartsverlies opleveren in termen van inflatie en dus koopkrachtverlies. Omdat op voorhand niet te voorspellen is of overheidsingrijpen in tijden van hoog- of laagconjunctuur plaatsvindt, wordt slechts de helft van de bestedingsimpuls als baat ingeboekt. Onderliggende aanname is dat de kans op juiste en onjuiste timing van overheidsingrijpen even groot is.⁶⁸

F.5 Structurele groeieffecten

Een mogelijk effect van investeringen in CO₂-emissiereductie ontstaat door de invloed van de investeringen in de reductieopties op de kapitaalintensiteit van de productie en/of de productie en verspreiding van kenniskapitaal.

Productiviteit verwijst naar het vermogen van de productiefactoren arbeid en kapitaal om toegevoegde waarde – in macro-economische termen, het BBP – te genereren. Een productieve economie is in staat om per eenheid kapitaal en arbeid meer toegevoegde waarde te produceren dan een buurland met een lagere productiviteit. Meestal wordt productiviteit aangeduid door het vermogen van de economie om BBP-groei te realiseren. Dit vermogen hangt af van de twee motoren van economisch groei: arbeidsproductiviteit (BBP per gewerkt uur) en het arbeidsaanbod.

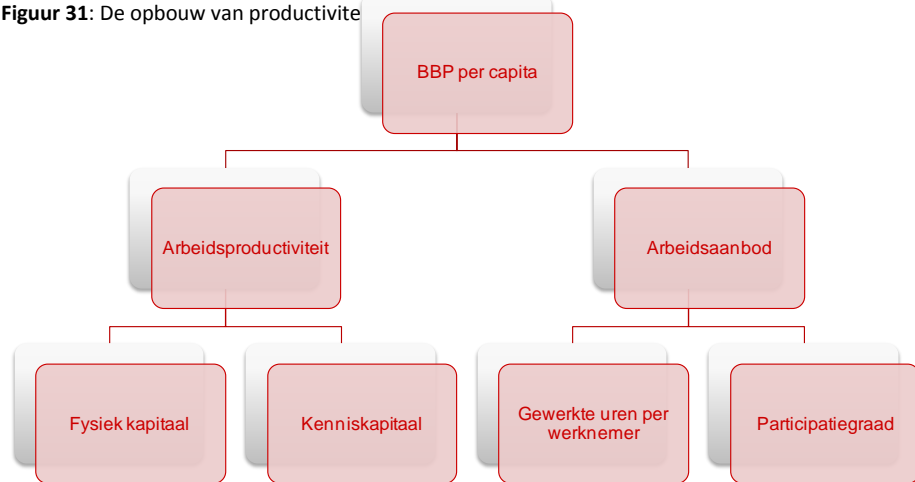
Figuur 31 laat zien dat arbeidsproductiviteit twee samenstellende delen kent: de fysieke kapitaalgoederenvoorraad en de voorraad kenniskapitaal. Fysiek kapitaal heeft bijvoorbeeld betrekking op machines en andere kapitaalgoederen die een werknemer in staat stellen om per gewerkt uur een hogere productie te halen ('capital deepening'). Kenniskapitaal laat zijn invloed gelden op de productiviteit van zowel arbeid als kapitaal. Het heeft bijvoorbeeld invloed op de efficiëntie waarmee de productiefactoren in het productieproces worden gecombineerd. Dit heet multifactorproductiviteit. Er is nog een derde bron van productiviteitsgroei en dat is de verandering in de structuur van de economie waarbij productieve sectoren marktaandeel winnen ten opzichte van de minder productieve sectoren. Dit effect is in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

⁶⁶ Zie Nijdam e.a. (2005) voor details over de methode voor het berekenen van prijsstijgingen onder invloed van emissiebelasting.

⁶⁷ Ter indicatie van marginale reductiekosten zijn de nationale kosten genomen die horen bij 90 % van de 80 %-reductiedoelstelling (ca. 170 Mton CO₂ eq.). Dit om te corrigeren voor opties die vanuit maatschappelijk perspectief duurder zijn dan vanuit doelgroeperspectief (onder meer door gestegen energieprijzen onder invloed van accijns en energiebelasting). Vervolgens is de ondergrens berekend op basis van belasting van alle broeikasgassen (4 % inflatie) en de meest gunstige verhouding tussen de marginale reductiekosten bij respectievelijk 6 en 80 procent emissiereductie (€ 91/ton CO₂ eq. om € 200/ton CO₂ eq.) en de bovengrens op basis van belasting van CO₂ (6 % inflatie) en de minst gunstige verhouding tussen de marginale reductiekosten bij respectievelijk 6 en 80 procent emissiereductie (€ 57/ton CO₂ eq. om € 200/ton CO₂ eq.).

⁶⁸ Voor het beleidsalternatief *subsidiëring* zijn verder geen aanvullende aannames gedaan over de hoogte van de bestedingsimpuls.

Figuur 31: De opbouw van productiviteit



Bron: gebaseerd op Van Ark, Frankema en Duteweerd (2004, p. 8)

De MKBA berekent de productiviteitseffecten door het verschil in kapitaalinvesteringen tussen nulalternatief en projectalternatief te nemen. Bij een positief verschil zal de productie van energie per saldo kapitaalintensiever worden.⁶⁹

Bij deze berekening onderscheiden we verschillende fysiek kapitaal:

- fysiek kapitaal nodig voor elektriciteitsproductie. Dit betreft de kapitaalinvesteringen in de elektriciteitsproducerende industrie, zowel hernieuwbaar als fossiel. Kapitaal bestaat uit centrales en distributie- en transportleidingen;
- overig fysiek kapitaal dat vooral energiegerelateerd is zoals de productie van biogas.

Daarnaast onderscheiden we het kenniskapitaal als bron van multifactorproductiviteit. Om het effect van veranderingen in de kapitaalgoederenvoorraad te berekenen hebben we een output elasticiteit nodig. Deze elasticiteit geeft aan de procentuele verandering in de productie als gevolg van de verandering van een productiefactor, zoals de kapitaalgoederenvoorraad. In de literatuur zijn verschillende schattingen gemaakt van deze elasticiteiten.

- In een paneldata-analyse is door de OECD een studie gemaakt van het effect van investeringen in infrastructuur op de economische groei. Voor Nederland is de outputelasticiteit van infrastructuur in de elektriciteitssector 0,25 (Égert, Kožluk en Sutherland 2009, p. 31).
- Voor de private investeringen in r&d-kapitaal berekenen Guellec en Van Pottelsberghe de la Potterie (2001) een output elasticiteit van 0,13. Dit betekent dat een verhoging van de r&d met 1% de productie met 0,13% verhoogt. Publieke r&d-investeringen hebben over het algemeen grotere spillover effecten doordat ze meer

⁶⁹ Huizinga en Smid (2004, pp. 55-56) waarschuwen voor het tijdelijke effect van capital deepening als bron van productiviteitsgroei. De kapitaal-/arbeidverhouding wordt bepaald door de relatieve prijzen van arbeid en kapitaal. Een kapitaalintensievere productiewijze is dus afhankelijk van een prijsverandering die niet structureel zal blijken als de prijzen van de productiefactoren geen goede weerspiegeling zijn van de marginale productiviteit van de factoren. Er is geen zicht op de duur van dit 'tijdelijke' effect. Huizinga en Smid verwijzen naar de loonmatiging in de jaren tachtig en lijken daarmee te suggereren dat het effect van capital deepening of shallowing decennialang kan aanhouden. In navolging van Van Ark, Frankema en Duteweerd (2004, p. 9) beschouwt deze studie capital deepening als een bron van structurele (in de zin van 'langdurig') productiviteitsgroei.

in het publieke domein liggen. De outputelasticiteit voor publieke r&d is volgens Guellec en Van Pottelsberghe de la Potterie (2001) 0,17.

- Voor de overige vormen van kapitaal maken we gebruik van een theoretische eigenschap van de Cobb-Douglasproductiefunctie. Dit is een productiefunctie met constante meeropbrengsten. Prettige eigenschap van de functie is het feit dat de outputelasticiteit samenvalt met het inkomensaandeel van de productiefactoren. Dit betekent voor het overige kapitaal bijvoorbeeld dat de outputelasticiteit ongeveer 0,2 is omdat de kapitaalinkomensquotiënt in Nederland rond de 20% schommelt (CPB 2010, p. 56).

Voor de berekening van de productiviteitseffecten zijn de kapitaalinvesteringen in de genoemde categorieën genomen voor zover de investeringen geen onrendabele top kennen en een vorm van 'capital deepening' zijn. Een andere veronderstelling is dat het aandeel private r&d circa 16% van de totale bedrijfsinvesteringen beslaat. De publieke investeringen in r&d voor energietransitie zijn hiervan afgeleid. We veronderstellen dat alle subsidieprogramma's op basis van matching tot stand komen zodat bedrijven en overheid qua omvang dezelfde investering plegen in energiegerelateerde r&d.

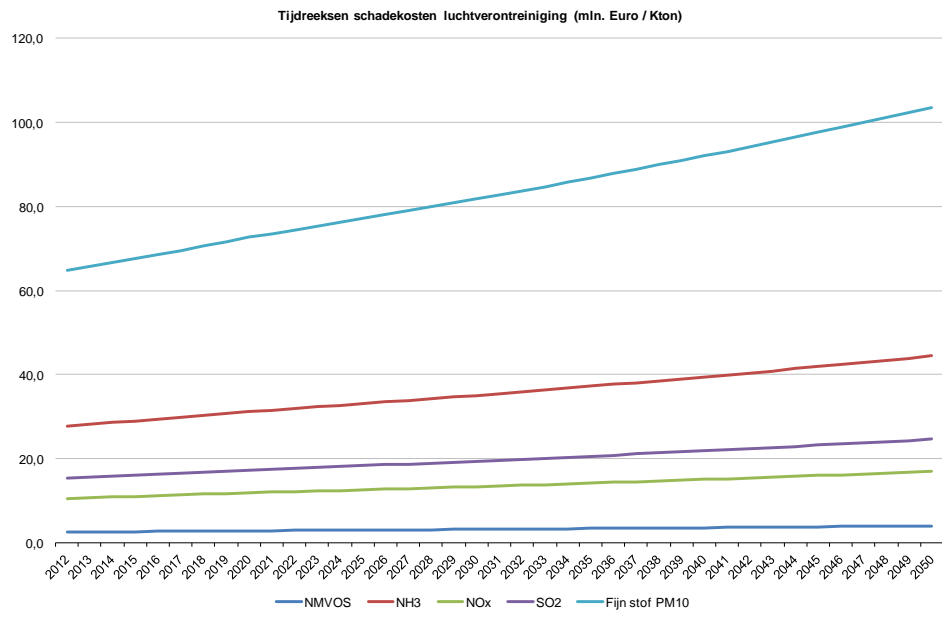
F.6 Waardering van vermeden luchtverontreiniging

Net als vermeden uitstoot van broeikasgassen is ook luchtverontreiniging gewaardeerd tegen schadekosten van CE Delft (2010b).⁷⁰ Conform aanbevelingen uit deze studie worden waarderingen van overige emissies in de tijd opgehoogd een inkomenselasticiteit van 0,85 (CE Delft, 2010a, p. 95).⁷¹ Bij een economische groei (lees: BBP-groei) van 2% nemen de waarderingen van emissiereducties dus met 1,7% ($0,85 * 2\%$) per jaar toe. In lijn hiermee is in de MKBA een BBP-elasticiteit van 0,85 gebruikt om waarderingen van minder luchtverontreiniging te verhogen, zoals weergegeven in Figuur 32. Voor het groeipad van het BBP is PBL & ECN (2011, p. 57) aangehouden. Zij voorspellen tot en met 2020 een jaarlijkse BBP-groei van 1,7% en daarna tot 2050 een jaarlijkse groei van 1,4%. Na 2050 is in deze MKBA geen BBP-groei verondersteld en blijven de schadekosten van luchtverontreiniging dus constant.

70 Zie Tabel 50 van CE Delft (2010b, p. 97 e.v.).

71 Uitgezonderd CO₂, dat een eigen tijdspad kent.

Figuur 32: Toenemende waardering van vermeden luchtverontreiniging



Bron: SEO Economisch Onderzoek o.b.v. CE Delft (2010, p. 95 en Annex J) en PBL & ECN (2011, p. 57)

Bijlage G.

Methodiek milieukosten

De kosten in de kostencurves zijn de nationale Kosten volgens de Methodiek Milieukosten. Onderstaande beschrijving geldt niet voor de MKBA, maar uitsluitend voor kostencurves en directe kosten uit hoofdstuk 3.

Tegenover de jaarlijkse emissiereductie die met een bepaalde optie kan worden gerealiseerd, staan de jaarlijkse milieukosten van die optie. Op basis hiervan worden de 'specifieke kosten' of 'kosteneffectiviteit' van een optie berekend. De kosten zijn in het Optiedocument zoveel mogelijk vastgesteld conform de 'Methodiek Milieukosten' (VROM, 1994 en 1998).

Deze onderscheidt de nationale kosten en de eindgebruikerskosten (eigenlijk doelgroepskosten). De nationale kosten geven de kosten weer voor 'Nederland BV'; het is een grootheid die de kosten vanuit een macro-economisch perspectief benadert. De eindgebruikerskosten of doelgroepskosten sluiten meer aan bij de kosten die door de doelgroepen (sectoren) worden ervaren.

Jaarlijkse milieukosten

De jaarlijkse milieulasten die voor een bepaalde optie moeten worden gemaakt, worden afgeleid uit een aantal eenmalige en doorlopende kostenposten. De in de optiebeschrijvingen opgenomen kosten bestaan uit de investerings- of kapitaalkosten en de operationele kosten en baten. Onderstaand worden de onderscheiden kostensoorten kort besproken.

Investerings en kapitaalkosten

Er is een onderscheid tussen bouwtechnische investeringen en elektromechanische investeringen. Het verschil bestaat uit de afschrijvingstermijn die wordt toegepast voor beide delen van de investeringen. Voor het bouwkundig deel van de investeringen wordt een afschrijvingstermijn van 25 jaar aangehouden; voor het elektromechanische deel van de investeringen wordt een afschrijvingstermijn van 10 jaar gehanteerd.

Voor de investeringskosten van een optie wordt uitgegaan van de aanschafprijs van benodigde apparaten en gebouwen en eventuele bijkomende kosten. Bijkomende kosten zijn kosten die gemaakt moeten worden om de optie gebouwd en operationeel te maken. Voorbeelden zijn voorbereidingskosten, installatiekosten, opstartkosten en bouwrente. Ook eventuele reserveringen voor (verplichte) afbraak van een voorziening na de levensduur (kerncentrales, offshore windturbines) vallen hieronder. De kosten van een bepaald jaar omvatten alle investeringskosten van maatregelen die in dat jaar bijdragen aan de emissiereductie, en niet de kosten van maatregelen die inmiddels vervangen of afgekant zijn, ook hun toepassing in het verleden wel een rol gespeeld heeft bij het tot stand komen van de huidige situatie.

Als de investeringen voor een optie alleen worden gedaan ten behoeve van een milieudoel, dan worden de investeringskosten voor 100% meegenomen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij zogenaamde 'nageschakelde voorzieningen'. Bij procesgeïntegreerde opties worden alleen de meerinvesteringen opgenomen in de optiebeschrijving. Het gaat dan alleen om de meerkosten die moeten worden gemaakt om bijvoorbeeld een schonere productie-installatie te installeren ten opzichte van de investeringskosten die voor het reguliere productieproces moeten worden gemaakt. Indien een optie de 'referentietechniek' in het achtergrondscenario verdringt, worden de meerkosten ten opzichte van die referentie als investeringen opgenomen.

De investeringskosten worden via een annuïtaire afschrijvingsmethode vertaald naar jaarlijkse lasten op basis van de afschrijvingstermijn (10 of 25 jaar) en een disconteringsvoet die per sector kan variëren voor de doelgroepskosten. Voor de nationale kostenbenadering wordt geen onderscheid naar sector gemaakt. In dat geval wordt een disconteringsvoet van 4% gebruikt voor het afschrijven van alle investeringskosten.

Energiekosten of -baten

Bij het maken van de optiebeschrijvingen zijn de extra te maken of uitgespaarde energiekosten niet direct ingevuld, maar is (in fysieke termen; PJ) opgegeven wat de veranderingen in het energiegebruik zijn, gespecificeerd naar energiedrager. Met de prijzen van de verschillende energiedragers berekent het analysemodel de energiekosten of -baten. De energieprijzen zijn afhankelijk van het gehanteerde achtergrondscenario.

Overige operationele kosten/baten

De overige operationele kosten of baten zijn het saldo van alle lopende kosten die in verband met de optie moeten worden gemaakt, exclusief de energiekosten die in het Optiedocument los worden behandeld. Het gaat bijvoorbeeld om kosten voor extra benodigde grond- of hulpstoffen, extra personeelskosten, bijvoorbeeld voor onderhoud en bediening en evt. overheadkosten. Het kan echter ook om baten gaan, bijvoorbeeld als door een optie minder personeel nodig is, of indien een optie bijvoorbeeld leidt tot minder afval- of reinigingskosten of een hogere productopbrengst.

Overdrachten

Onder overdrachten worden alle subsidies, heffingen en fiscale steunconstructies beschouwd. Overdrachten vinden in twee richtingen plaats: van de overheid naar de maatschappij en omgekeerd. Er is altijd sprake van een ontvangende en betalende partij. Nationaal gezien spelen overdrachten geen rol omdat er geen milieugerelateerde overdrachten aan het buitenland plaatsvinden. Ook de toename of het verlies aan overheidsinkomsten, bijvoorbeeld als gevolg van veranderingen in motorrijtuigenbelastingen of accijnsinkomsten, wordt dus niet in de Nationale kosten meegenomen.

Uitvoeringskosten overheid

De uitvoeringskosten voor de overheid zijn geen onderdeel van de doelgroepkosten. In de nationale kosten kunnen de uitvoeringskosten eventueel wel worden meegenomen. Voorbeelden zijn kosten voor bijvoorbeeld het opzetten van subsidieprogramma's waarbinnen subsidieaanvragen worden beoordeeld (niet de subsidies zelf), kosten voor communicatie of handhavingskosten. Uitvoeringskosten voor de overheid kunnen alleen worden ingeschat indien er een duidelijk idee bestaat van de (benodigde) instrumentering om een bepaalde optie te stimuleren. Deze kostenpost is echter voor slechts weinig opties ingeschat.

Overige kostenaspecten

In de milieukostenmethodiek wordt geen rekening gehouden met 2e orde-effecten van milieumaatregelen. Economische gevolgen zoals veranderingen in afzet en verschuivingen in bestedingen worden dus niet in de optiebeschrijvingen en analyses meegenomen.

Ook milieubaten in de zin van minder milieuaantasting maken geen deel uit van de milieukostenmethodiek, evenals kosten of opbrengsten onder emissiehandelssystemen (zoals die momenteel bestaan voor CO₂ en NO_x) maken geen deel uit van de milieukosten. Daarnaast blijven ook andere aspecten buiten beschouwing die niet of moeilijk in kosten zijn uit te drukken. Voorbeelden zijn hinder door windturbines, mogelijke vermindering van biodiversiteit bij import van biomassa, de verdere uitputting van fossiele energievoorraden bij CO₂-opslag, de opslag van radioactief afval over duizenden jaren en risico's van ongevallen bij kerncentrales. Consequenties voor de voorzieningszekerheid en leveringszekerheid op het gebied van energie zijn ook niet in de cijfers meegenomen.

De kosten van optiepakketten zijn geen rijksuitgaven. De nationale kosten zijn alleen de kosten voor Nederland als geheel, en zeggen niets over de verdeling van deze kosten over de overheid en verschillende sectoren. Bij de doelgroepkosten geldt een extra voorbehoud omdat de instrumentering in de meeste gevallen niet bekend is. Als het beleid niet uitgewerkt is, geven de eindgebruikerskosten alleen aan hoe de kosten voor de eindgebruiker uitvallen bij het huidige beleid. Als een bepaalde optie nog niet onder het huidige beleid valt, worden de kosten dus berekend voor de situatie dat de eindgebruiker alle extra kosten voor zijn rekening neemt.

Bijlage H.

Kostenranges, emissiereductie en vermeden kosten, optiecategorieën

Deze bijlage geeft een overzicht van resultaten voor de verschillende optie categorieën. De resultaten zijn afkomstig uit 3 scenario's en 4 varianten: BAU, BAU+ en Blue Map, en 4 varianten van Blue Map met grotere potentiële (ruim, zeer ruim) en hogere energieprijzen. De getoonde resultaten omvatten de kosteneffectiviteit, het aandeel in de emissiereductie, het voorkomen in het kostenoptimale pakket voor de verschillende scenario's, de meerkosten bij uitsluiting van maatregelen, en de meerkosten bij toepassing van niet kostenoptimale maatregelen. De resultaten worden getoond voor een meer geaggregeerde en een meer gedetailleerde categorisering van de opties. Onder de getoonde categorieën van maatregelen vallen in veel gevallen nog veel meer gedetailleerde opties, die niet getoond worden.

De tabellen tonen de range in de kosteneffectiviteit (Nationale Kosten in €/ton CO₂ eq) van diverse categorieën opties, voor verschillende scenario's, en voor een emissiereductie van 80% in 2050. Een deel van de range is terug te voeren op de verschillen tussen de scenario's t.a.v. energieprijzen en kostenontwikkeling. Een ander deel wordt veroorzaakt doordat de categorieën bestaan uit individuele opties met onderling verschillende kosten, en doordat toepassing opties niet op elke locatie dezelfde kosten en opbrengsten met zich meebrengt. De kosteneffectiviteit heeft alleen betrekking op dat deel van de opties dat in de kostenoptimale pakketten wordt toegepast; het kan zijn dat er binnen dezelfde categorie ook nog opties zijn die (veel duurder) zijn.

Tabel 49: Range in kosteneffectiviteit geaggregeerd (€/ton CO₂-equivalent)

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	-420 - 270		-420 - 210	-70 - 270	-250 - 190	
CCS biomassa	90 - 280				90 - 200	110 - 280
CCS fossiel	-220 - 200				20 - 120	-220 - 200
Hernieuwbaar exclusief biomassa	-1260 - 820	-1260 - 220	-290 - 570		330 - 820	-130 - 160
OBG	-110 - 270	-110 - 270				
Kernenergie	-120 - 80					-120 - 80
Biomassa	-300 - 360			60 - 360		-300 - 180
Elektrificatie/Waters	-40 - 370			-40 - 370		

tof

Tabel 50: Range in kosteneffectiviteit gedetailleerd (€/ton CO₂-equivalent)

Range kosteneffectiviteit	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit	-90 - 80		40 - 70		-90 - 80	
Besparing finaal warmte	-420 - 210		-420 - 210		-250 - 190	
Biobrandstoffen CCS						
Biomassa elektriciteit	~50					~50
Biomassa elektriciteit CCS						
Biomassa feedstock						
Biomassa feedstock CCS						
Biomassa warmte						
Biomassa warmte CCS	130 - 200				130 - 200	
CCS centrales	-50 - 110					-50 ⁷² - 110
CCS processen	20 - 200				20 - 120	20 - 200
Fossiel feedstock						
Fossiel feedstock CCS	50 - 70				50 - 70	
Groen gas CCS	110 - 280					110 - 280
Hernieuwbare elektriciteit	-130 - 160					-130 - 160
Warmte fossiel CCS						
Waterstof transport						
Waterstof warmte						
Waterstofproductie biomassa						
Waterstofproductie biomassa CCS						
Waterstofproductie CCS	-220 - 80					-220 - 80
Waterstofproductie elektriciteit						
Waterstofproductie geen CCS						
WKK biomassa						
WKK biomassa CCS	90 - 150				90 - 150	
WKK fossiel						
WKK fossiel CCS						
WKK waterstof						
OBG-opties	-110 - 270	-110 - 270			10 - 10	
Volume- en structureffecten						
Kernenergie	-120 - 80					-120 - 80
Brandstofsubstitutie	-380 - -130			-380 - -130		
Waterstofgebruik						
Elektrificatie	-40 - 370			-40 - 370		
Volume- en structureffecten beperkt						
Biobrandstoffen	-300 - 360			60 - 360		-300 - 180
Groen gas						
Hernieuwbare warmte	-1260 - 820	-1260 - 220	-290 - 570		330 - 820	

⁷² De negatieve waarde hoort bij verdringing van biomassa-meestook door kolen met CCS zonder meestook. Bij CCS zonder verschuiving in de brandstofmix liggen de minimale kosten rond ca 30€/ton CO₂.

Finale besparing verkeer	-70 - 270			-70 - 270		
--------------------------	-----------	--	--	-----------	--	--

De kosteneffectiviteiten geven weliswaar aan of een optie duur of goedkoop is, maar dat een optie wordt toegepast betekent dat die optie past in een kostenoptimaal pakket: een pakket van opties dat gegeven de aannames de goedkoopste manier is om de doelstelling te halen. Daarom is ook aangegeven wat het aandeel in de emissiereducties van de opties is, en in hoeveel procent van de doorgerekende gevallen een optie categorie wordt toegepast.

Tabel 51: Range in % van totale reductie geaggregeerd

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	11 - 19%		5 - 9%	1 - 4%	5 - 8%	
CCS biomassa	19 - 36%				15 - 28%	4 - 8%
CCS fossiel	12 - 19%				~8%	4 - 12%
Hernieuwbaar exclusief biomassa	6 - 24%	~-1%	2 - 3%		<1%	5 - 22%
OBG	0 - 1%	0 - 1%				
Kernenergie	10 - 20%					10 - 20%
Biomassa	3 - 6%			2 - 4%		1 - 3%
Elektrificatie/Waterstof	3 - 5%			3 - 5%		

Tabel 52: Range in % van totale reductie gedetailleerd

Aandeel in emissiereductie	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit	1 - 3%		<1%		1 - 3%	
Besparing finaal warmte	8 - 14%		5 - 9%		4 - 5%	
Biobrandstoffen CCS						
Biomassa elektriciteit	<1%					<1%
Biomassa elektriciteit CCS						
Biomassa feedstock						
Biomassa feedstock CCS						
Biomassa warmte						
Biomassa warmte CCS	0 - 11%				0 - 11%	
CCS centrales	4 - 11%					4 - 11%
CCS processen	5 - 7%				~4%	0 - 3%
Fossiel feedstock						
Fossiel feedstock CCS	~4%				~4%	
Groen gas CCS	4 - 8%					4 - 8%
Hernieuwbare elektriciteit	5 - 22%					5 - 22%
Warmte fossiel CCS						
Waterstof transport						
Waterstof warmte						
Waterstofproductie biomassa						
Waterstofproductie biomassa CCS						
Waterstofproductie CCS	<1%					<1%
Waterstofproductie elektriciteit						

Waterstofproductie geen CCS						
WKK biomassa						
WKK biomassa CCS	15 - 17%				15 - 17%	
WKK fossiel						
WKK fossiel CCS						
WKK waterstof						
OBG-opties	~1%	0 - 1%			<1%	
Volume- en structureffecten						
Kernenergie	10 - 20%					10 - 20%
Brandstofsubstitutie	~1%			~1%		
Waterstofgebruik						
Elektrificatie	3 - 5%			3 - 5%		
Volume- en structureffecten beperkt						
Biobrandstoffen	3 - 6%			2 - 4%		1 - 2%
Groen gas	<1%			<1%		
Hernieuwbare warmte	1 - 2%	~-1%	2 - 3%		<1%	
Finale besparing verkeer	1 - 4%			1 - 4%		

Tabel 53: Percentage voorkomen in de doorgerekende pakketten, geaggregeerd

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	100%		100%	100%	100%	
CCS biomassa	100%				100%	100%
CCS fossiel	100%				100%	100%
Hernieuwbaar exclusief biomassa	100%	100%	100%		80%	100%
OBG	100%	100%				
Kernenergie	100%					100%
Biomassa	100%	10%		100%		100%
Elektrificatie/Waterstof	100%		10%	100%		

Tabel 54: Percentage voorkomen in de doorgerekende pakketten, gedetailleerd

Percentage van de scenario's waarin een maatregel geheel of gedeeljk wordt toegepast	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit	100%		29%		100%	
Besparing finaal warmte	100%		100%		100%	
Biobrandstoffen CCS						
Biomassa elektriciteit	29%					29%
Biomassa elektriciteit CCS						
Biomassa feedstock						
Biomassa feedstock CCS						
Biomassa warmte						
Biomassa warmte CCS	43%				43%	
CCS centrales	100%					100%
CCS processen	100%				100%	100%
Fossiel feedstock						

Percentage van de scenario's waarin een maatregel geheel of gedeeltelijk wordt toegepast	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Fossiel feedstock CCS	100%				100%	
Groen gas CCS	100%					100%
Hernieuwbare elektriciteit	100%					100%
Warmte fossiel CCS						
Waterstof transport						
Waterstof warmte						
Waterstofproductie biomassa						
Waterstofproductie biomassa CCS						
Waterstofproductie CCS	100%					100%
Waterstofproductie elektriciteit						
Waterstofproductie geen CCS						
WKK biomassa						
WKK biomassa CCS	100%				100%	
WKK fossiel						
WKK fossiel CCS						
WKK waterstof						
OBG-opties	100%	100%			100%	
Volume- en structureffecten						
Kernenergie	100%					100%
Brandstofsubstitutie	100%			100%		
Waterstofgebruik						
Elektrificatie	100%			100%		
Volume- en structureffecten beperkt						
Biobrandstoffen	100%			100%		100%
Groen gas	100%			100%		
Hernieuwbare warmte	100%	100%	100%		71%	
Finale besparing verkeer	100%			100%		

Een andere indicator van het belang van een bepaalde categorie opties is de stijging van de kosten als deze categorie minder of niet beschikbaar is. De tabellen geven voor de 7 scenario's/varianten zowel de gemiddelde stijging van de totale kosten bij uitsluiting als de range aan. Bij de berekening van het effect van uitsluiting krijgt het model de uitsluiting of toepassing als extra randvoorwaarde, en berekent het vervolgens hoe tegen minimale kosten de reductie gehaald kan worden.

Tabel 55: Gemiddelde stijging van de totale kosten (mln €/jaar) en/of haalbaarheid doel (% niet haalbaar) als een categorie opties niet beschikbaar is, geaggregeerd

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	21170		5420	580	3200	
CCS biomassa	5870				2520	350
CCS fossiel	4340				2610	850
Hernieuwbaar exclusief biomassa	5370, 57%	3650	1030		130	10320

OBG	300	300				
Kernenergie	4160					4160
Biomassa	2510			1370		1440
Elektrificatie/Waterstof	5640			5500		

Tabel 56: Gemiddelde stijging van de totale kosten (mln €/jaar) en/of haalbaarheid doel (% niet haalbaar) als een categorie opties niet beschikbaar is, gedetailleerd

Gemiddelde meerkosten bij uitsluiting van een maatregel	Nationaal	Landbouw	Gebouwd e omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit	190		10		180	
Besparing finaal warmte	10880		5400		2980	
Biobrandstoffen CCS						
Biomassa elektriciteit	10					10
Biomassa elektriciteit CCS						
Biomassa feedstock						
Biomassa feedstock CCS						
Biomassa warmte						
Biomassa warmte CCS	80				80	
CCS centrales	630					630
CCS processen	1630				1360	150
Fossiel feedstock	950				950	
Fossiel feedstock CCS	950				950	
Groen gas CCS	350					350
Hernieuwbare elektriciteit	1750, 57%					10320
Warmte fossiel CCS						
Waterstof transport						
Waterstof warmte						
Waterstofproductie biomassa						
Waterstofproductie biomassa CCS						
Waterstofproductie CCS	0					0
Waterstofproductie elektriciteit						
Waterstofproductie geen CCS						
WKK biomassa						
WKK biomassa CCS	1850				1850	
WKK fossiel						
WKK fossiel CCS						
WKK waterstof						
OBG-opties	440	300			140	
Volume- en structureffecten						
Kernenergie	4160					4160
Brandstofsubstitutie	950			950		
Waterstofgebruik						
Elektrificatie	5640			5500		
Volume- en structureffecten beperkt						
Biobrandstoffen	1370			1370		1370
Groen gas	350			0		
Hernieuwbare warmte	5710	3650	1030		130	
Finale besparing verkeer	580			580		

Tabel 57: Bandbreedte in de stijging van de totale kosten (mln €/jaar) en/of haalbaarheid doel (% niet haalbaar) als een categorie opties niet beschikbaar is, geaggregeerd

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers	3280 - 38050		1870 - 8100	220 - 890	1000 - 4940	
CCS biomassa	1970 - 8530				670 - 4050	70 - 580
CCS fossiel	2720 - 5520				1550 - 3440	550 - 1470
Hernieuwbaar exclusief biomassa	3530 - #	1670 - 4650	610 - 1530		0 - 240	430 - 19690
OBG	60 - 490	60 - 490				
Kernenergie	3200 - 5330					3200 - 5330
Biomassa	450 - 4580			60 - 2330		60 - 2580
Elektrificatie/Waterstof	520 - 8800			520 - 8520		

Tabel 58: Bandbreedte in de stijging van de totale kosten (mln €/jaar) en/of haalbaarheid doel (% niet haalbaar) als een categorie opties niet beschikbaar is, gedetailleerd

Range meerkosten bij uitsluiting van een maatregel	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit	10 - 450		0 - 30		10 - 420	
Besparing finaal warmte	2900 - 17150		1870 - 8050		980 - 4450	
Biobrandstoffen CCS						
Biomassa elektriciteit	0 - 30					0 - 30
Biomassa elektriciteit CCS						
Biomassa feedstock						
Biomassa feedstock CCS						
Biomassa warmte						
Biomassa warmte CCS	0 - 340				0 - 340	
CCS centrales	420 - 1110					420 - 1110
CCS processen	960 - 2170				850 - 1780	80 - 330
Fossiel feedstock	610 - 1280				610 - 1280	
Fossiel feedstock CCS	610 - 1280				610 - 1280	
Groen gas CCS	70 - 580					70 - 580
Hernieuwbare elektriciteit	430 - #					430 - 19690
Warmte fossiel CCS						
Waterstof transport						
Waterstof warmte						
Waterstofproductie biomassa						
Waterstofproductie biomassa CCS						
Waterstofproductie CCS	0 - 10					0 - 10
Waterstofproductie elektriciteit						
Waterstofproductie geen CCS						
WKK biomassa						
WKK biomassa CCS	430 - 3320				430 - 3320	
WKK fossiel						
WKK fossiel CCS						
WKK waterstof						

Range meerkosten bij uitsluiting van een maatregel	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
OBG-opties	130 - 700	60 - 490			70 - 190	
Volume- en structureffecten						
Kernenergie	3200 - 5330					3200 - 5330
Brandstofsubstitutie	500 - 1260			500 - 1260		
Waterstofgebruik						
Elektrificatie	520 - 8800			520 - 8520		
Volume- en structureffecten beperkt						
Biobrandstoffen	60 - 2330			60 - 2330		60 - 2330
Groen gas	70 - 580			0 - 0		
Hernieuwbare warmte	2880 - 7410	1670 - 4650	610 - 1530		0 - 240	
Finale besparing verkeer	220 - 890			220 - 890		

Omgekeerd kan een categorie opties niet passen in een kostenoptimaal pakket, terwijl een optie toch toegepast wordt. De betreffende tabel laat zien wat de stijging van de kosten is bij toepassing van zo'n categorie opties voor elke ton CO₂ die met die maatregel extra gereduceerd wordt. Ook bij de berekening van het effect deze suboptimale toepassing krijgt het model de toepassing als extra randvoorwaarde, en berekent het vervolgens hoe tegen minimale kosten de reductie gehaald kan worden.

Tabel 59: Bandbreedte in de stijging van de kosten als een opties die niet past in het kostenoptimale pakket toch toegepast wordt (mln € per ton CO₂ die extra door de betreffende optie gerealiseerd wordt)

	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing eindgebruikers						
CCS biomassa						
CCS fossiel						
Hernieuwbaar exclusief biomassa						
OBG						
Kernenergie						
Biomassa		430 - 2150			200 - 490	
Elektrificatie/Waterstof						

Tabel 60: Bandbreedte in de stijging van de kosten als een opties die niet past in het kostenoptimale pakket toch toegepast wordt (mln € per ton CO₂ die extra door de betreffende optie gerealiseerd wordt)

Range meerkosten bij verplichting van een maatregel	Nationaal	Landbouw	Gebouwde omgeving	Transport	Industrie	Energie
Besparing finaal elektriciteit						
Besparing finaal warmte						
Biobrandstoffen CCS	80 - 130					80 - 130
Biomassa elektriciteit	0 - 210					0 - 210
Biomassa elektriciteit CCS	100 - 140					100 - 140
Biomassa feedstock						

Biomassa feedstock CCS	350 - 620			350 - 620	
Biomassa warmte	200 - 490	430 - 2150		200 - 490	
Biomassa warmte CCS	0 - 20			0 - 20	
CCS centrales					
CCS processen					
Fossiel feedstock					
Fossiel feedstock CCS					
Groen gas CCS					
Hernieuwbare elektriciteit			150 - 500		
Warmte fossiel CCS	20 - 280			20 - 280	
Waterstof transport					
Waterstof warmte					
Waterstofproductie biomassa	200 - 500				200 - 500
Waterstofproductie biomassa CCS	40 - 80				40 - 80
Waterstofproductie CCS					
Waterstofproductie elektriciteit					
Waterstofproductie geen CCS					
WKK biomassa	190 - 470			190 - 470	
WKK biomassa CCS					
WKK fossiel	1070 - 1430		1070 - 1430	450 - 1350	
WKK fossiel CCS	10 - 100			10 - 100	
WKK waterstof	1970 - 2520		1970 - 2520		
OBG-opties					
Volume- en structureffecten					
Kernenergie					
Brandstofsubstitutie					
Waterstofgebruik					
Elektrificatie					
Volume- en structureffecten beperkt					
Biobrandstoffen					
Groen gas					
Hernieuwbare warmte					
Finale besparing verkeer					

Bijlage I.

Factsheets optiecategorieën

Dit onderdeel geeft een globale beschrijving van een selectie van de verschillende categorieën maatregelen. Waar relevant worden de categorieën ook per sector belicht. De opzet is van grof naar fijn: na een algemene beschrijving van meerdere verwante categorieën (bijv CCS algemeen) volgt per subcategorie (bijv. CCS elektriciteitsopwekking) een specifiekere beschrijving. De beschrijving gaat niet systematisch alle aspecten van een optie af, maar concentreert zich in de eerste plaats op aspecten die speciaal voor die optie van belang zijn.

De factsheets beschrijven eigenschappen van een bepaalde categorie maatregelen, in een aantal gevallen opgesplitst naar verschillende sectoren. Soms zijn de grenzen tussen categorieën moeilijk te trekken en vallen opties eigenlijk onder verschillende categorieën. Een voorbeeld is WKK op biomassa met CCS.

De kwantitatieve gegevens (kosteneffectiviteit, emissiereductie, toename kosten bij niet beschikbaar) geven een de range zoals die in 5 verschillende berekeningen gevonden is (BAU, BAU+, BM, BM ruime potentiëlen, BM zeer ruime potentiëlen, .., ..).

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Beschrijving techniek, voorbeelden opties, sectoren; onzekerheden voor kosten en effecten; concurrerende opties, opties die deze optie makkelijker maken, of opties die door deze optie makkelijker gerealiseerd kunnen worden, Rol in kostenoptimale pakket

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Emissie 2050, ingroei-traject, 2030, rol afhankelijk van reductie niveau

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit in 2050	Nationale kosten per ton CO ₂ eq, exclusief externe effecten
Emissiereductie 2050	Bijdrage aan emissiereductie in een kostenoptimaal pakket
Toename kosten bij niet toepassen	Toename van de totale directe kosten als de optie categorie niet toegepast wordt, bij optimalisatie van de rest van het pakket
Omschrijving	Eventuele toelichting bij kosten

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten, draagt bij aan minder importafhankelijkheid

Kanttekeningen

Relevante aspecten van een opties die mogelijk onvoldoende zijn meegenomen in invoer of rekenmethode;

Energiebesparing eindgebruikers algemeen

Algemene beschrijving, onzekerheden, rol binnen systeem

Vermindering van vraag naar warmte, elektriciteit en transportbrandstoffen. Voorbeelden zijn gebouwisolatie, zuiniger apparaten en lichtere en beter gestroomlijnde auto's. Aanbodtechnieken (zuiniger ketels, wkk, andere motortechnieken auto's) vallen hier niet onder energiebesparing, maar onder andere categorieën opties. Energiebesparing omvat zowel zeer goedkope als zeer dure maatregelen. Dat komt niet alleen doordat de spreiding in de kosten groot is, maar ook omdat de spreiding in het energiegebruik groot is waardoor de baten sterk variëren. Besparing is zeker niet altijd aantrekkelijker dan andere soorten maatregelen. Een ruimere beschikbaarheid van duurzame en andere CO₂-arme energiebronnen maakt besparing relatief minder aantrekkelijk. Het grote potentieel en de vaak relatief gunstige kosteneffectiviteit betekenen dat de kosten hoog zijn om het wegvallen van energiebesparingen te compenseren. 80- procent reductie zal in de praktijk niet of zeer moeilijk haalbaar zijn zonder energiebesparing.

Eind beelden transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Energiebesparing past in elke fase tot 2050, en bij elk emissiereductieniveau.

Besparingsmogelijkheden zijn zeer sterk gekoppeld aan de levenscyclus van gebouwen, installaties en auto's. De grootste en goedkoopste mogelijkheden zijn er op het moment van vervanging. Met name in gebouwen en industriële installaties beperkt dit het tempo waarin besparingen kunnen worden gerealiseerd. Energiebesparingsmogelijkheden zijn zeer diffuus verspreid in de betreffende sectoren, en de barrières voor implementatie zijn vaak groot. Het is daarom vaak moeilijk om met beleidsmaatregelen een groot deel van het potentieel aan te spreken.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	420 - 270 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	10 - 35 Mton CO ₂
Toename kosten bij niet toepassen	3 - 38 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten, draagt bij aan minder importafhankelijkheid

Kanttekeningen

Bij verregerende besparingen wordt het vaak relatief duurder om de resterende vraag in te vullen, maar soms kan de vraag helemaal wegvallen, bijvoorbeeld omdat een huis geen verwarming meer nodig heeft, en dus ook geen CV en gasleiding. De consequenties die dit heeft voor de kosteneffectiviteit zijn niet in detail bepaald.

Energiebesparing gebouwde omgeving

Algemene beschrijving, onzekerheden, rol binnen systeem

Vermindering van vraag naar warmte voor gebouwverwarming, koeling voor ruimteteoeling en elektriciteit. Aanbodtechnieken (zuiniger ketels, wkk) vallen hier niet onder energiebesparing, maar onder andere categorieën Vermindering van de warmtevraag vindt onder andere plaats door verbetering van de isolatiegraad van muren, dak, vloeren en ramen, en ook door terugwinning van warmte bij ventilatie, en door zongericht bouwen. In de gebouwde omgeving is er onder meer concurrentie met hernieuwbare warmte, maar soms is besparing ook nodig om hernieuwbare warmte goed toe te kunnen passen. In de bestaande bouw is de spreiding in de kosteneffectiviteit groot door onder meer variatie in het stookgedrag (Tigchelaar et al, 2011)

Eindbeelden, transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Gebouwen hebben een lange levensduur, en het aantal geschikte interventiemomenten is bij bestaande gebouwen gering. Om het volledige potentieel in 2050 te kunnen realiseren is het nodig om tijdig te beginnen. Bij nieuwe gebouwen is het het goedkoopst om meteen bij de bouw rekening te houden met de vereiste energieprestatie op lange termijn: retrofit in een later stadium is meestal veel duurder.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen

optie

Kosteneffectiviteit 2050	-420 - 210 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	9 - 17 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	2 – 8 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten, draagt bij aan minder importafhankelijkheid

Kanttekeningen

Bij verregaande besparingen wordt het relatief duurder om de resterende vraag in te vullen, maar soms kan de vraag helemaal wegvallen, of maakt vraagreductie andere aanbodtechnieken mogelijk. Bij zeer energiezuinige huizen is een gasaansluiting bijvoorbeeld niet meer nodig, en vervallen bij nieuwbouw dus ook de kosten van infrastructuur daarvan. Dergelijke interacties zijn niet in detail meegenomen in de analyses.

Energiebesparing industrie

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Energiegebruik in de industrie bestaat vooral uit warmte voor processen, en uit elektriciteit voor pompen en ventilatoren. Warmte is onder andere nodig voor chemische reacties en scheidingsprocessen, zoals destillatie en drogen. Besparingsmogelijkheden bestaan op korte termijn vooral uit optimalisatie van de bestaande processen, en bij herinvestering in een upgrade naar state-of-the-art installaties. Op de langere termijn bestaat het besparingspotentieel naar verwachting vooral uit de ontwikkeling en toepassing van nieuwe processen (bijvoorbeeld nieuwe synthese routes voor chemische producten), en procesintegratie. De mogelijkheden hangen sterk af van de specifieke industriële activiteit. De onzekerheden in het industriële besparingspotentieel zijn zeer groot. Vooral in de energie-intensieve industrie zijn de mogelijkheden nauw gekoppeld aan de kernactiviteiten van bedrijven. Belangrijke alternatieven zijn de inzet van biomassa en CCS.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Vanwege de lange levensduur van veel industriële installaties kunnen keuzes op de korte termijn al grote invloed hebben op de mogelijkheden en beperkingen in 2050.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-250 - 190 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	9 - 15 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	1 – 5 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten, draagt bij aan minder importafhankelijkheid

Kanttekeningen

Energiebesparing transport

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Energie besparing in de transport omvat hier maatregelen die de stroomlijn verbeteren en rolweerstand verlagen, en die de efficiency van de motor verbeteren (efficiëntere motoren en hybrides), en die transportbewegingen vermijden. Nieuwe motortechnieken die een (gedeeltelijke) overgang naar een andere energiedrager betekenen (waterstof, elektrische auto's, plug-in hybrides), vallen hier niet onder. Het besparingspotentieel in de transportsector is onzeker, en de kosten zijn vaak lastig te definiëren. Technische maatregelen om een auto van een bepaalde categorie zuiniger te maken kunnen relatief duur zijn, maar verdergaande besparing kan bijvoorbeeld ook samengaan met de keuze voor kleinere, zuiniger auto's. Deze zijn meestal juist goedkoper, maar worden qua functionaliteit of belevingswaarde gezien als een stap achteruit.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Auto's hebben een beperkte levensduur (10-15 jaar), en de overgang naar een veel zuiniger wagenpark kan in principe in een vrij korte tijd plaatsvinden. Het ontwikkelen van de vereiste technieken kost meer tijd. Bij maatregelen gericht op het vermijden van mobiliteit zijn naast technische ook institutionele aanpassingen vereist.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-70 - 270 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	2 - 7 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	0,2 – 0,9 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten, draagt bij aan minder importafhankelijkheid, vooral die van olie.

Kanttekeningen

In de berekeningen zijn de besparingspotentiëlen afgeleid van de input van e-design, maar de precieze invulling daarvan (efficiency, vermeden mobiliteit) is onduidelijk.

CO₂-vrije elektriciteitsopwekking algemeen: Kernenergie, hernieuwbare elektriciteit

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

CO₂-vrije elektriciteitsopwekking omvat de elektriciteitsproductie uit stromingsbronnen en uit kernenergie. De kosten van CO₂-vrije elektriciteitsopwekking zijn relatief laag, en het potentieel is waarschijnlijk meer dan toereikend om in de Nederlandse vraag naar elektriciteit te voorzien. Er is dus waarschijnlijk een potentieel overschot, dat – via elektrificatie en waterstofproductie – ook ingezet zou kunnen worden om te voorzien in de vraag naar warmte in de gebouwde omgeving en energie voor transport. Omdat de technieken die daarvoor nodig zijn relatief duur zijn, blijft – afhankelijk van de aannames - een deel van het potentieel nog onbenut. Een mogelijkheid is om het resterende overschot in te zetten voor de export van elektriciteit.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Zie subcategorieën

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Gunstige externe effecten op luchtverontreiniging, draagt bij aan minder importafhankelijkheid.

Kanttekeningen

Voor elektriciteit is naast de gevraagde en geproduceerde hoeveelheid ook het moment van vraag en aanbod zeer belangrijk. De diverse mogelijkheden voor elektriciteitsopwekking verschillen onderling sterk in hun aanbodpatroon en het vermogen om fluctuaties in de vraag op te vangen. De berekeningen houden slechts op een zeer basale manier rekening met deze regelbaarheid en intermittency. Daarnaast is bij elektriciteit de interactie met het buitenland zeer belangrijk. Dit geldt zowel voor het opvangen van vraag- en aanbodfluctuaties als voor de internationale verdeling van het aanbod. De berekeningen houden geen rekening met deze interactie met het buitenland.

Kernenergie

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Kernenergie omvat hier de opwekking van elektriciteit uit energie die vrijkomt bij kernsplijting. Kernenergie is een van de goedkopere manieren om elektriciteit op te wekken, hoewel er over de precieze kosten veel discussie is, vooral ten aanzien van de waardering van de kosten van de kans op ongevallen. Ook bij substantieel hogere kosten blijft kernenergie echter een qua kosten relatief aantrekkelijke optie. Kernenergie is niet aan bepaalde locaties gebonden, maar Nederland is, vanwege de beschikbaarheid van koelwater, wel een relatief aantrekkelijke vestigingsplaats. Alternatieven voor kernenergie zijn onder meer hernieuwbare elektriciteit of fossiele elektriciteit met CCS, of besparing op de elektriciteitsvraag. Toepassing van kernenergie is beperkt tot de energiesector.

In tegenstelling tot stromingsenergiebronnen als wind en zon is kernenergie wel regelbaar, en kan dus fluctuaties in vraag en aanbod opvangen. Bedrijfseconomisch is dit niet aantrekkelijk omdat de operationele kosten laag zijn en de investeringen hoog. Kernenergie wordt daardoor veel duurder bij een lager aantal draaiuren.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Kernenergie past goed in het 2050 pakket. De bouwtijd van individuele eenheden, inclusief voorbereidingstraject is vrij lang, maar er zijn geen grote aanpassingen nodig aan de infrastructuur. Kernenergie is een optie die veel discussie oproept. Het recente ongeluk met de centrale in Fukushima lijkt in een aantal Europese landen het draagvlak voor kernenergie te hebben aangetast.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-120 - 80 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	18 - 37 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	3 – 5 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

De externe effecten zoals berekend omvatten alleen die van luchtverontreiniging, niet die van de waardering van kernongevallen. Kernenergie scoort gunstig qua luchtverontreiniging, en ook op importafhankelijkheid.

Kanttekeningen

Hernieuwbare elektriciteit

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Hernieuwbare elektriciteit omvat hier de opwekking van elektriciteit uit windenergie, zonne-energie en waterkracht. Productie uit biomassa is hier in een andere categorie ondergebracht. Wind en zon zijn niet regelbaar, en dat betekent dat er bij een groot aanbod van deze bronnen elders in het systeem maatregelen moeten worden genomen om fluctuaties in het aanbod op te vangen. Uitbreiding van de capaciteit van het internationale netwerk kan hierbij een belangrijke rol spelen: op een groter schaalniveau middelen de lokale fluctuaties deels uit, bovendien heeft het buitenland in een aantal gevallen mogelijkheden om fluctuaties op te vangen die Nederland niet heeft, zoals pump-storage.

Eindbeeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Individuele windmolens en PV-systemen zijn snel te plaatsen, maar aanpassingen aan infrastructuur, onder meer voor de opvang van niet regelbaar aanbod, vergt een langere periode.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-130 - 160 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	9 - 41 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	0,4 miljard € tot niet haalbaar

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Scoort gunstig qua luchtverontreiniging, en ook op importafhankelijkheid.

Kanttekeningen

De kosten van inpassing van niet regelbaar vermogen zijn globaal berekend, maar kunnen niet aan de individuele opties toegerekend worden. Om de inpassingskosten omlaag te brengen kan internationale afstemming (interconnectiecapaciteit) een belangrijke rol spelen.

CCS algemeen

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

CCS omvat de afvang en (ondergrondse) opslag van CO₂ die vrij komt bij industriële processen, de verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa voor de productie van warmte, elektriciteit, en de productie van gas en vloeibare brandstoffen uit biomassa. CCS kan dus met veel andere technieken gecombineerd worden. Bij vergaande emissiereducties is CCS vrijwel altijd kosteneffectief; de bijdrage wordt in de eerste plaats beperkt door de beschikbare opslagcapaciteit. CCS ligt voor de hand bij grootschalige toepassingen, en is daarmee voornamelijk beperkt tot de energiesector en de industrie.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Het ingroeitraject van CCS hangt sterk af van de uiteindelijke rol die CCS zal krijgen. Als de opslagcapaciteit beperkt is, ligt toepassing van CCS voor een paar (zeer) grote bronnen of clusters van bronnen het meest voor de hand. Er is dan waarschijnlijk geen uitgebreide infrastructuur nodig. Bij een grotere opslagcapaciteit is een uitgebreider netwerk van CO₂-pijpleidingen denkbaar, waarop ook wat kleinere bronnen kunnen aansluiten.

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Doordat CCS tot extra energiegebruik leidt, neemt de energiegerelateerde uitstoot van luchtverontreinigende stoffen toe. Ook neemt de importafhankelijkheid toe. Wel kan CCS het mogelijk maken om bij vergaande emissiereducties toch een bredere range aan fossiele brandstoffen te handhaven, wat gunstig kan zijn voor de voorzieningszekerheid en prijsgevoeligheid.

Kanttekeningen

De analyses houden geen rekening met de invloed op de kosten van ruimtelijke factoren binnen Nederland. Naarmate de afstanden korter zijn, en de hoeveelheid CO₂ die door pijpleiding gaat groter is, zijn de kosten van transport lager. Maar opslag die verder weg gelegen is, bijvoorbeeld in onderzeese gasvelden of aquifers, zal minder tot draagvlakproblemen leiden.

CCS elektriciteitsopwekking (fossiel)

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

CCS in de elektriciteitsopwekking omvat de afvang en opslag van CO₂ bij de grootschalige opwekking van elektriciteit in gas- en kolencentrales, al dan niet gecombineerd met bijstook van biomassa. Voor de afvang van CO₂ zijn verschillende mogelijkheden. Afvang kan plaatsvinden na de verbranding (post-combustion), voor de verbranding in een vergassingsproces (pre-combustion), of door zuivere zuurstof in plaats van lucht te gebruiken waardoor de verbrandingsgassen voor een veel groter deel uit CO₂-bestaan (oxy-fuelcombustion). Momenteel is nog niet duidelijk welke manier de beste kansen heeft op de langere termijn. CO₂-afvang en opslag kost extra energie, Een hoger afvangpercentage leidt tot hogere kosten en extra energiegebruik. Afhankelijk van de totale gewenste emissiereductie zal het optimale afvangpercentage daarmee anders kunnen liggen.

Waar CCS toegepast wordt hangt onder andere af van de beschikbare CO₂-opslagcapaciteit en van de restemissies. Gascentrales scoren wat restemissies en beslag op opslagcapaciteit betreft beter dan kolencentrales: Per hoeveelheid geproduceerde elektriciteit zijn de emissies lager en is het beslag op opslagcapaciteit kleiner. Kolencentrales hebben lagere brandstofkosten als voordeel.

CCS in de elektriciteitsopwekking concurreert op de elektriciteitsmarkt met hernieuwbare elektriciteit, kernenergie, en biomassa. Het concurreert met andere toepassingen van CCS om de schaarse opslagcapaciteit.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

CCS in de elektriciteitsopwekking kan kostenoptimaal zijn in het eindbeeld, maar past minder goed als alternatieven ruim voorradig zijn, en als opslagcapaciteit schaars is. In het traject naar 2050 past het in elk geval: CCS bij kolencentrales is een van de meest voor de hand liggende opties om de uitrol van CCS mee te beginnen.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	40-110
Emissiereductie 2050	7-20 Mton
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	0,5-1 miljard

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Doordat CCS tot extra energiegebruik leidt, neemt de energiegerelateerde uitstoot van luchtverontreinigende stoffen toe. Ook neemt de importafhankelijkheid toe. Wel kan CCS het mogelijk maken om een bredere portfolio aan brandstoffen te handhaven (naast aardgas ook kolen), wat gunstig kan zijn voor de voorzieningszekerheid en prijsgevoeligheid.

Kanttekeningen

De berekeningen zijn gebaseerd op vaste afvangstpercentages en dus vaste restemissies. Bij verdergaande emissiereducties kan het gunstig zijn om –tegen hogere kosten en energieinzet – het afvangpercentage te verhogen.

Als Nederland gebruik maakt van buitenlandse opslagcapaciteit zal dit leiden tot hogere kosten voor Nederland: niet alleen door de langere afstanden, maar ook omdat de eigenaar van de opslagcapaciteit een prijs zal vragen voor de opslag (die prijs zal waarschijnlijk gerelateerd zijn aan de CO₂-prijs en de schaarste aan opslagcapaciteit). Omgekeerd kan Nederland ook eigen opslagcapaciteit beschikbaar stellen voor buitenlandse bronnen, en daarmee inkomsten genereren.

CCS industrie

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

CCS in de industrie omvat de afvang en opslag van CO₂ die vrijkomt bij industriële verbrandingsprocessen (ketels en WKK), en bij een beperkt aantal chemische processen waarbij relatief zuivere CO₂ vrijkomt. Voorbeelden van de laatste zijn de productie van ammoniak, waterstof en etheen. CCS kan in de industrie gecombineerd worden met de inzet van biomassa. Binnen de industrie is energiebesparing een alternatief, maar het potentieel hiervan is ontoereikend om vergaande emissiereducties te realiseren.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

De industrie is een van de meest voor de hand liggende locaties voor CCS, omdat er vaak weinig alternatieven zijn voor de toegepaste verbrandingsprocessen. De industriële warmtevraag, en dan vooral de hogere temperatuurniveaus, blijft waarschijnlijk aangewezen op verbranding van fossiele brandstoffen of biomassa. De bronnen van zuivere CO₂ in de industrie zijn mogelijkheid om CCS te beginnen tegen lage kosten. Daarnaast is er een aantal zeer grote bronnen in de industrie waarvoor CCS aantrekkelijk is.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	20 - 120 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	9 - 17 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	2 – 8 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Doordat CCS tot extra energiegebruik leidt, neemt de energiegerelateerde uitstoot van luchtverontreinigende stoffen toe. Ook neemt de importafhankelijkheid toe. Wel kan CCS het mogelijk maken om bij vergaande emissreducties een bredere portfolio aan brandstoffen te handhaven (naast aardgas ook kolen), wat gunstig kan zijn voor de voorzieningszekerheid en prijsgevoeligheid.

Kanttekeningen

De analyses houden geen rekening met de invloed op de kosten van ruimtelijke factoren binnen Nederland, en beperkt met de invloed van schaalgrootte. In de industrie is de spreiding in schaalgrootte, en daarmee de spreiding in kosten, groot.

Biomassa & biomassa plus CCS algemeen

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Biomassa is zeer veelzijdig inzetbaar: het kan voor vrijwel alle toepassingen als vervanger van fossiele brandstoffen optreden. In combinatie met CCS zorgt biomassa voor negatieve netto emissies, omdat kort-cyclisch koolstof aan de koolstofkringloop onttrokken worden. De veelzijdige inzetbaarheid en de begrensde potentiële betekenissen ook dat er voor biomassa keuzes moeten worden gemaakt. Biomassa kan in ruwe vorm ingezet worden voor de meestal grootschalige productie van warmte en/of elektriciteit, maar kan ook bewerkt worden tot gas of vloeibare brandstoffen, die ingezet kunnen worden in de gebouwde omgeving en de transportsector. De totale bijdrage van biomassa aan de emissiereductie blijft daarbij ongeveer hetzelfde, alleen de plek waar die emissiereducties gerealiseerd worden verandert. De onzekerheid in de technische ontwikkelingen bij de productie van gas en vloeibare brandstoffen uit biomassa zijn groot, en daarmee ook de kosten. Wat de meest kosteneffectieve manieren zijn om in 2050 biomassa in te zetten is daarmee ook zeer onzeker. Met de goed ontwikkelde infrastructuur voor aardgas zijn de uitgangspunten voor de inzet van groen gas wel relatief gunstig in Nederland.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Hoewel het onzeker is wat de beste manier is om biomassa in te zetten, is wel duidelijk dat biomassa belangrijk is bij het kosteneffectief realiseren van forse emissiereducties. Het is daarom niet alleen van belang om de vereiste technieken te ontwikkelen, maar ook om er voor te zorgen dat er voldoende biomassa beschikbaar is, die aan de duurzaamheidscriteria voldoet. Verschillende opties, ook die niet in het 2050 beeld passen, kunnen een rol spelen bij de ontwikkeling van de vereiste logistiek en infrastructuur.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-300 - 360 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	6 - 11 Mton CO ₂ (zonder CCS), 35-67 Mton CO ₂ (met CCS)
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	Niet haalbaar

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Een groot deel van de biomassa zal uit het buitenland komen. Als deze biomassa ingezet wordt in plaats van eveneens buitenlandse fossiele brandstoffen, is er geen verandering van de importafhankelijkheid. De effecten op luchtverontreiniging hangen af van de manier waarop biomassa ingezet wordt. De meestal lagere omzettingsrendementen betekenen dat voor dezelfde hoeveelheid energie de uitstoot meestal hoger ligt dan bij fossiele brandstoffen.

Kanttekeningen

Biomassaprijzen zijn onzeker, en zullen bovendien afhangen van de kwaliteit van de biomassa. Voor de berekeningen is er van uit gegaan dat de marginale prijs van biomassa bepaald wordt door de substitutiewaarde ten opzichte van fossiele brandstoffen, de waarde van de vermeden CO₂-emissies (gegeven een internationale CO₂-prijs), en de extra handlingskosten en rendementsverliezen ten opzichte van fossiele brandstoffen.

Elektriciteitsopwekking met biomassa/biomassa CCS

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Biomassa kan ingezet worden voor de productie van elektriciteit, al dan niet in combinatie met CCS. De rol hiervan lijkt echter zeer beperkt: voor elektriciteitsopwekking zijn er relatief veel goedkope alternatieven, en voor biomassa zijn er veel andere toepassingen waarvoor juist minder alternatieven zijn. Inzet in warmteproductie of voor de productie van gas of vloeibare brandstoffen lijkt daarom meer voor de hand te liggen. Wel biedt biomassa de mogelijkheid voor regelbare CO₂-vrije opwekking, die een rol kan spelen voor het opvangen van fluctuaties in aanbod van zon en wind.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Gegevens de kosten van biomassa, en gegeven de inzetbaarheid op plaatsen waarvoor minder alternatieven zijn ligt inzet van biomassa in de elektriciteitsopwekking minder voor de hand. Wel is het een optie die een rol kan spelen bij het creëren van een goede biomassa logistiek. In het pad naar 2050 is er daarom mogelijk wel een rol.

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Een groot deel van de biomassa zal uit het buitenland komen. Als deze biomassa ingezet wordt in plaats van eveneens buitenlandse fossiele brandstoffen, is er geen verandering van de importafhankelijkheid. De effecten op luchtverontreiniging zijn relatief ongunstig. De meestal lagere omzettingsrendementen betekenen dat voor dezelfde hoeveelheid energie de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen meestal hoger ligt.

Kanttekeningen

Warmteproductie/WKK met biomassa/biomassa CCS

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Biomassa kan ingezet worden voor de productie van warmte in ketels of WKK-installaties, al dan niet in combinatie met CCS. Gezien de schaalvoordelen ligt grootschalige inzet in de industrie vanuit kosten oogpunt het meest voor de hand, zeker bij toepassing van CCS. Voor industriële warmteproductie zijn niet zoveel alternatieven: energiebesparing kan de vraag enigszins beperken, en mogelijk kan met warmtepompen een beperkt deel van de vraag ingevuld worden. Bij beperkte beschikbaarheid van biomassa concurreert dit met de inzet van biomassa voor andere toepassingen. Het belangrijkste alternatief is daarbij de productie van groen gas, biobrandstoffen en feedstock uit biomassa. Wat op termijn het aantrekkelijkst is hangt sterk af van de technische ontwikkelingen.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Grootschalige inzet van biomassa voor warmteproductie vereist geen grote technische ontwikkelingen, maar wel de opzet van een functionerende logistiek voor biomassa.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	90-150 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	28-31 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	0,5-3,5 miljard €

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Bij verdringing van fossiele brandstoffen waarschijnlijk een geringe toename van de uitstoot van verontreinigende stoffen. Omdat zowel biomassa als fossiele brandstoffen grotendeels geïmporteerd worden niet per se invloed op de importafhankelijkheid. Het effect op de voorzieningszekerheid hangt wel af van de herkomst van de biomassa, ook kan diversificatie van de energiebronnen gunstig zijn.

Kanttekeningen

Productie groen gas, biobrandstoffen en feedstock uit biomassa/biomassa CCS

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Biomassa kan gebruikt worden om biogene alternatieven voor aardgas, vloeibare fossiele brandstoffen en petrochemische producten te maken. Bij de productie kan CCS toegepast worden. Biogene brandstoffen kunnen zonder ingezet worden in sectoren zoals de gebouwde omgeving en transportsector zonder dat daar meestal aanpassingen in de sector zelf voor nodig zijn. Omdat goedkopere alternatieven in deze sectoren niet toereikend zijn kunnen biogene brandstoffen een belangrijke rol spelen. Een alternatief is om dezelfde biomassa elders in te zetten, zoals voor warmteproductie in de industrie, en de extra emissiereductie aldaar te gebruiken als compensatie. Wat op termijn het aantrekkelijkst is hangt sterk af van de technische ontwikkelingen.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Een groot deel van de biomassa zal uit het buitenland komen. Als deze biomassa ingezet wordt in plaats van eveneens buitenlandse fossiele brandstoffen, is er geen verandering van de importafhankelijkheid. De productie van biogene brandstoffen vereist extra omzettingsprocessen, die mogelijk tot extra uitstoot van luchtverontreinigende stoffen leiden. De uitstoot bij de verbranding van de biogene brandstoffen zelf verschilt niet sterk van die bij de fossiele alternatieven.

Kanttekeningen

De onzekerheden ten aanzien van de beste manier om biomassa in te zetten zijn zeer groot, onder meer omdat de vereiste technologische ontwikkeling vooral bij de productie van biogene brandstoffen nog zeer groot is.

Elektrificatie/waterstof

Algemene beschrijving, onzekerheden, kanttekeningen, rol binnen systeem

Elektrificatie/waterstof omvat een aantal opties waarbij elektriciteit of waterstof ingezet worden als alternatief voor fossiele brandstoffen, voor warmte of transportenergie. De elektriciteit of waterstof moeten daarvoor uiteraard eerst CO₂-arm geproduceerd zijn. De inzet van elektriciteit en waterstof vereist vaak fundamenteel andere technieken in de betreffende sectoren: bijvoorbeeld elektrische auto's of brandstofcelauto's in plaats van auto's met verbrandingsmotoren. Verder vereisen deze opties vaak grote aanpassingen van de infrastructuur of zelf nieuwe infrastructuur, zoals netverzwaringen of een waterstofnet. Elektrificatie/waterstof kan mogelijk een belangrijke rol spelen bij het opvangen van fluctuaties in het elektriciteitsaanbod, zoals bij de productie van waterstof door elektrolyse, of het opladen van elektrische auto's. De opties kunnen ook in hybride concepten voorkomen, zoals plug-in hybride auto's, waarbij dan ook nog biobrandstof ingezet kan worden. Ondanks de vaak hoge kosten kan elektrificatie/waterstof een belangrijke rol spelen voor het beter benutten van het – relatief goedkope - potentieel van CO₂-vrije elektriciteit. Mede daardoor speelt het een belangrijke rol in het halen van grote emissiereducties tegen minimale kosten. Sommige andere opties zorgen per saldo ook voor een gedeeltelijke elektrificatie: een voorbeeld zijn elektrische warmtepompen.

Eind beeld en transitieaspecten, toepassing in kostenoptimale pakketten, reductieniveau, groeipad

Bij deze opties is er vanwege de betrokkenheid van veel partijen een mogelijk kip-ei probleem. Waterstofauto's zijn pas aantrekkelijk als er ook een waterstof infrastructuur is, en die is pas aantrekkelijk als er voldoende waterstofauto's rondrijden. Bij elektrische auto's gelden dergelijke issues ook, maar in minder sterke mate. Centrale regie van de overheid kan hierbij van groot belang zijn. Voor transporttoepassingen geldt bovendien een sterke internationale verwevenheid: ook in het buitenland moet reizen mogelijk zijn. Het vereist daarmee ook afstemming op minimaal Europees niveau.

Kosteneffectiviteit (range), consequenties voor kosten en haalbaarheid reducties bij wegvallen optie

Kosteneffectiviteit 2050	-40-370 €/ton CO ₂
Emissiereductie 2050	5-9 Mton CO ₂
Toename kosten 2050 bij niet toepassen	0,5 – 9 miljard

Externe effecten luchtverontreiniging, score op importafhankelijkheid en prijsgevoeligheid

Vanwege de relatief hoge uitstoot van luchtverontreiniging in de transportsector zal vooral daar het effect gunstig zijn. Waar aardgas en/of olie door lokaal geproduceerde elektriciteit of waterstof verdrongen worden is het effect op importafhankelijk gunstig.

Kanttekeningen

Elektrificatie en waterstof kunnen ook een belangrijke rol spelen bij de inpassing van niet regelbaar hernieuwbaar vermogen zoals wind en zon. In de berekeningen is hier op een vrij grove manier rekening mee gehouden.

Bijlage J. Directe kosten en effecten per optie

Toelichting bij de tabel:

Kolommen

- Getallen hebben betrekking op 2050, doorrekening van Blue map, 80% emissiereductie
- Opties zijn geordend naar sector en categorie
- Varianten zijn additioneel, en geven weer dat er binnen een bepaalde optie spreiding in de kosteneffectiviteit is
- De kolom "In pakket" geeft weer welke fractie van een optie toegepast is in het kostenoptimale pakket. De kolom "Emissiereductie bij 100% toepassing" geeft weer wat de emissiereductie zou zijn bij volledige toepassing. Voor opties die niet of deels toegepast worden in het kostenoptimale pakket is deze waarde indicatief.
- Bij een deel van de opties is de toepassing op het niveau van de afzonderlijke optie niet gelimiteerd, maar komen beperkingen voort uit de in te vullen vraag of de beschikbare inputs, bijvoorbeeld biomassa. Dit betreft in alle gevallen aanbodopties die elektriciteit of brandstoffen produceren. De "Emissiereductie bij 100% toepassing" heeft voor deze opties geen betekenis. Dit is aangegeven met #.
- Kosteneffectiviteit is voor alle opties genoemd, maar de data voor totale netto kosten, opgesteld kapitaal, operationele kosten en energiebatens zijn alleen gespecificeerd voor de opties die in het Blue map 80% reductiepakket zijn toegepast.

Opties

- De kosten en effecten van opties zijn altijd ten opzichte van de referentietechnieken in de baseline: kosten en effecten van bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp zijn dus het gevolg van het toepassen van die warmtepomp in plaats van een HR-ketel.
- REF opties zijn de referentietechnieken die toegepast worden in de baseline, en die verdrongen worden bij verdergaande emissiereductie. De kolom "Toepassing" heeft hier dus betrekking op het verdringen van de optie, in plaats van meer toepassing. Investerings- en operationele kosten hebben daarom een omgekeerd teken, en hebben betrekking op desinvestering. Voor deze REF opties zijn geen emissiereductie, kosteneffectiviteit, netto kosten en energiebatens berekend, omdat deze al verrekend worden met de opties die tot verdringing van deze opties leiden.
- Bij de meeste regelbare elektriciteitsaanbodopties zijn twee typen onderscheiden, met 3000 en 7000 draaiuren. Aan de hand hiervan is in te schatten hoe de kosteneffectiviteit verandert als door een fluctuerende vraag of door meer hernieuwbare energie het gemiddelde aantal draaiuren lager komt te liggen.

In een aantal gevallen leveren opties volgens de gehanteerde rekenmethode bij vergelijking met de referenties geen netto reducties (zie onderstaande tabel). In dat geval is geen kosteneffectiviteit gespecificeerd. Dit is aangegeven met #.

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
Energie, Biobrandstoffen								
	Ethanol uit biomassa (hout)	1	1230	1.5				
	Ethanol uit biomassa (starch)	1	177	1.4	240	2056	675	648
	Ethanol uit biomassa (suiker)	1	86	2.5	217	1601	627	578
	FT diesel uit biomassa	1	3432	3.1				
Energie, Biobrandstoffen CCS								
	FT diesel uit biomassa met CCS	1	220	59.8				
Energie, Biomassa elektriciteit								
	Biomassavergassing 3000u	1	279	#				
	Biomassavergassing 7000u	1	231	#				
	Kleinschalige biomassaverbranding 3000u	1	185	0.8				
	Kleinschalige biomassaverbranding 7000u	1	44	0.8				
Energie, Biomassa elektriciteit CCS								
	Biomassavergassing met CCS 7000u	1	223	#				
	Biomassavergassing met CCS 3000u	1	372	#				
Energie,								

Sector, Categorie		Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
Brandstofsubstitutie Waterstofgebruik									
	Olieraffinage met H2	1							
Energie, CCS centrales									
	Kolenvergassing CCS 3000u	1		76	#				
	Kolenvergassing CCS 7000u	1		-1	#				
	Gasverbranding STEG CCS 3000u	1	0.06	70	#	492	5243	155	-255
	Gasverbranding STEG CCS 7000u	1		37	#				
	Biomassameestook CCS 7000u	1		73	#				
	Biomassameestook CCS 3000u	1		124	#				
Energie, CCS processen									
	CO ₂ -opslag waterstofplants raffinaderijen	1	1	23	0.6	13	18	7	-3
	CO ₂ -opslag waterstofplants raffinaderijen	2	1	34	0.1	3	9	2	-1
	CO ₂ -afvang raffinaderijen	1		132	4.4				
Energie, Fossiele centrales									
	Gasturbine 250u	1	1	#	-0.1	267	2489	5	-55
Energie, Groen gas									
	Groen aardgas elektriciteitsopwekking	1							

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
Energie, Groen gas CCS								
Groen gas uit vergassing van biomassa met CCS	1	0.85	167	1.6	222	391	41	-144
Groen gas uit vergassing van biomassa met CCS	2	0.85	146	4.1	505	598	74	-374
Groen gas uit vergassing van biomassa met CCS	3	0.85	136	10.0	1157	964	144	-922
Energie, Hernieuwbare elektriciteit								
Wind op Zee	1	1	50	5.3	265	8967	287	483
Wind op Zee	2	1	60	11.5	688	20233	667	1042
Wind op Zee	3	0.48	67	24.8	802	22140	691	1080
Wind op Land	1	1	-43	2.5	-107	1635	96	225
Wind op Land	2	1	-22	1.9	-41	1734	72	168
Wind op Land	3	1	7	0.3	2	379	11	26
Elektriciteit uit geothermie	1	1	160	6.4	1032	24151	46	583
Energie, Kernenergie								
Kernenergie 3000u	1	0.02	81	37.0	60	1877	15	67
Kernenergie 7000u	1	0.48	-29	37.0	-513	19308	363	1611
Energie, REFS								

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
	REF H2 uit SMR	1	1			-13	-1	
	REF Poederkool verbranding 7000u	1	1			-4875	-97	
	REF Poederkool verbranding 3000u	1	1			-125	-1	
	REF Gasverbranding STEG 7000u	1	1			-23	-1	
	REF Biomassameestook 7000u	1	1			-2517	-87	
	REF Biomassameestook 3000u	1	1			-145	-2	
	REF Gasverbranding STEG 3000u	1	1			-9770	-178	
Energie, Waterstofproductie biomassa								
	H2 uit biomassavergassing	1		443	#			
Energie, Waterstofproductie biomassa CCS								
	H2 uit biomassavergassing CCS	1		203	#			
Energie, Waterstofproductie CCS								
	H2 uit olievergassing met CCS	1		230	#			
	H2 uit kolenvergassing met CCS	1		41	#			
	H2 uit SMR met CCS	1		61	#			
Energie, Waterstofproductie								

Sector, Categorie		Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
elektriciteit									
	H2 elektrolyse	1		#	#				
	H2 uit HT elektrolyse	1		#	#				
Energie, Waterstofproductie geen CCS									
	H2 uit SMR	1							
Gebouwde omgeving, Besparing finaal elektriciteit									
	Besparing elektriciteitsvraag huishoudens	1		101	0.8				
	Besparing elektriciteitsvraag huishoudens	2		754	0.6				
	Besparing elektriciteitsvraag huishoudens	3		1897	0.8				
	Besparing elektriciteitsvraag huishoudens	4		9196	0.9				
Gebouwde omgeving, Besparing finaal warmte									
	Besparing warmtevraag bestaande bouw huishoudens	1	1	-128	1.7	-215	3525		256
	Besparing warmtevraag bestaande	2	1	21	1.8	38	7882		271

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
bouw huishoudens								
Besparing warmtevraag bestaande bouw huishoudens	3	1	206	1.8	368	13027		271
Besparing warmtevraag bestaande bouw huishoudens	4		668	1.9				
Besparing warmtevraag huishoudens nieuwbouw	1		5385	0.0				
Besparing warmtevraag huishoudens nieuwbouw	2		7831	0.1				
Besparing warmtevraag huishoudens nieuwbouw	3		20425	0.0				
Besparing warmtevraag huishoudens nieuwbouw	4		32890	0.1				
Besparing warmtevraag HDO bestaande en nieuwbouw	1	1	-145	1.5	-211	977		179
Besparing warmtevraag HDO bestaande en nieuwbouw	2	1	-56	3.4	-190	10274		540
Besparing warmtevraag HDO bestaande en nieuwbouw	3	1	95	5.8	549	26342		742
Besparing warmtevraag HDO bestaande en nieuwbouw	4		#	-2.3				
Zuinig stookgedrag huishoudens	1	1	-155	0.0	-3			3
Zuinig stookgedrag huishoudens	2	1	-148	0.2	-27			27
Gebouwde omgeving, Elektrificatie								

Sector, Categorie		Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
	Elektrische boiler WB nieuwbouw	1		#	-0.3				
	Elektrische boiler WB nieuwbouw	2		#	-0.3				
	Elektrische boiler WB nieuwbouw	3		#	-0.3				
	Elektrische boiler WB nieuwbouw	4		#	-0.3				
	Elektrische boiler WB bestaande bouw	1		#	-0.6				
	Elektrische boiler WB bestaande bouw	2		#	-0.6				
	Elektrische boiler WB bestaande bouw	3		#	-0.6				
	Elektrische boiler WB bestaande bouw	4		#	-0.6				
Gebouwde omgeving, Hernieuwbare elektriciteit									
	Zon-PV	1		184	9.3				
	Zon-PV	2		245	0.1				
Gebouwde omgeving, Hernieuwbare warmte									
	Geothermie Utiliteitsbouw	1	1	-100	0.8	-77	796	12	120
	Geothermie Utiliteitsbouw	2	1	-86	0.8	-66	884	12	120
	Geothermie Utiliteitsbouw	3		-15	0.8				
	Geothermie Utiliteitsbouw	4		56	0.8				

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
Zonneboiler Utiliteitsbouw	1		468	0.7				
Zonneboiler Utiliteitsbouw	2		547	0.7				
Zonneboiler Utiliteitsbouw	3		943	0.7				
Zonneboiler Utiliteitsbouw	4		1338	0.7				
WP bodem Utiliteitsbouw	1	1						
WP bodem Utiliteitsbouw	2	1						
WP bodem Utiliteitsbouw	3							
WP bodem Utiliteitsbouw	4							
WP grondwater ketel Utiliteitsbouw	1	1	457	0.4	201	2742		85
WP grondwater ketel Utiliteitsbouw	2	0.88	543	0.4	210	2681		75
WP grondwater ketel Utiliteitsbouw	3		970	0.4				
WP grondwater ketel Utiliteitsbouw	4		1396	0.4				
Hybride WP ketel Utiliteitsbouw	1		1785	0.3				
Hybride WP ketel Utiliteitsbouw	2		2026	0.3				
Hybride WP ketel Utiliteitsbouw	3		3231	0.3				
Hybride WP ketel Utiliteitsbouw	4		4436	0.3				
Geothermie WB nieuwbouw	1	1	-135	0.6	-86	959	12	100
Geothermie WB nieuwbouw	2	0.45	-115	0.6	-33	479	6	45
Geothermie WB nieuwbouw	3		-12	0.6				
Geothermie WB nieuwbouw	4		91	0.6				

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
Zonneboiler WB nieuwbouw	1		680	0.3				
Zonneboiler WB nieuwbouw	2		789	0.3				
Zonneboiler WB nieuwbouw	3		1333	0.3				
Zonneboiler WB nieuwbouw	4		1878	0.3				
WP bodem (WB nieuwbouw)	1							
WP bodem (WB nieuwbouw)	2							
WP bodem (WB nieuwbouw)	3							
WP bodem (WB nieuwbouw)	4							
WP grondwater (WB nieuwbouw)	1		17310	0.0				
WP grondwater (WB nieuwbouw)	2		19480	0.0				
WP grondwater (WB nieuwbouw)	3		30337	0.0				
WP grondwater (WB nieuwbouw)	4		41190	0.0				
Hybride WP ketel (WB nieuwbouw)	1		7993	0.0				
Hybride WP ketel (WB nieuwbouw)	2		9070	0.0				
Hybride WP ketel (WB nieuwbouw)	3		14463	0.0				
Hybride WP ketel (WB nieuwbouw)	4		19853	0.0				
WP bodem (WB bestaande bouw)	1		2381	0.2				
WP bodem (WB bestaande bouw)	2		2694	0.2				
WP bodem (WB bestaande bouw)	3		4259	0.2				
WP bodem (WB bestaande bouw)	4		5823	0.2				

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
WP grondwater (WB bestaande bouw)	1		2023	0.3				
WP grondwater (WB bestaande bouw)	2		2291	0.3				
WP grondwater (WB bestaande bouw)	3		3633	0.3				
WP grondwater (WB bestaande bouw)	4		4974	0.3				
Hybride WP ketel (WB bestaande bouw)	1		1624	0.2				
Hybride WP ketel (WB bestaande bouw)	2		1855	0.2				
Hybride WP ketel (WB bestaande bouw)	3		3010	0.2				
Hybride WP ketel (WB bestaande bouw)	4		4165	0.2				
Zonneboiler WB bestaande bouw	1		819	0.6				
Zonneboiler WB bestaande bouw	2		940	0.6				
Zonneboiler WB bestaande bouw	3		1541	0.6				
Zonneboiler WB bestaande bouw	4		2143	0.6				
Gebouwde omgeving, REFS								
REF HR-107 Utiliteitsbouw	1	1				-2651		
REF HR-107 Utiliteitsbouw	2	0.66				-1749		
REF HR-107 Utiliteitsbouw	3	0.66				-1749		
REF HR-107 Utiliteitsbouw	4	0.66				-1749		
REF HR-107 (WB bestaande bouw)	1	0.93				-2350		
REF HR-107 (WB bestaande bouw)	2	0.93				-2350		

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
	REF HR-107 (WB bestaande bouw)	3						
	REF HR-107 (WB bestaande bouw)	4						
	REF HR-107 (WB nieuwbouw)	1	1			-921		
	REF HR-107 (WB nieuwbouw)	2	0.54			-497		
	REF HR-107 (WB nieuwbouw)	3						
	REF HR-107 (WB nieuwbouw)	4						
Gebouwde omgeving, Waterstofgebruik								
	Micro-WKK Brandstofcel (WB nieuwbouw)	1		#	-0.4			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB nieuwbouw)	2		#	-0.1			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB nieuwbouw)	3		#	-0.1			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB nieuwbouw)	4		#	-0.1			
	Micro-WKK Brandstofcel (Utiliteitsbouw bestaand+nieuw)	1		2395	0.0			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB bestaande bouw)	1		#	-0.4			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB bestaande bouw)	2		#	0.0			
	Micro-WKK Brandstofcel (WB bestaande bouw)	3		#	0.0			

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
Micro-WKK Brandstofcel (WB bestaande bouw)	4		#	0.0				
Micro WKK brandstofcel Utiliteitsbouw	1		#	-0.5				
Micro WKK brandstofcel Utiliteitsbouw	2		#	-0.5				
Micro WKK brandstofcel Utiliteitsbouw	3		#	-0.5				
Micro WKK brandstofcel Utiliteitsbouw	4		#	-0.5				
Gebouwde omgeving, WKK fossiel								
Micro WKK (WB nieuwbouw)	1		880	0.0				
Micro WKK (WB nieuwbouw)	2		1020	0.0				
Micro WKK (WB nieuwbouw)	3		1680	0.0				
Micro WKK (WB nieuwbouw)	4		2350	0.0				
Micro-WKK (WB bestaande bouw)	1		640	0.0				
Micro-WKK (WB bestaande bouw)	2		740	0.0				
Micro-WKK (WB bestaande bouw)	3		1230	0.0				
Micro-WKK (WB bestaande bouw)	4		1730	0.0				
Gebouwde omgeving, WKK waterstof								
Micro WKK Utiliteitsbouw	1							
Micro WKK Utiliteitsbouw	2							

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)	
	Micro WKK Utiliteitsbouw	3							
	Micro WKK Utiliteitsbouw	4							
Industrie, Besparing finaal elektriciteit									
	Finale besparing elektriciteit industrie	1	1	-1	1.7	-1	1809	37	150
	Finale besparing elektriciteit industrie	2	1	83	3.4	277	6031	119	304
	Finale besparing elektriciteit industrie	3		152	1.7				
	Finale besparing elektriciteit industrie	4		229	1.7				
Industrie, Besparing finaal warmte									
	Finale besparing warmte industrie	1	1	-61	1.9	-118	2245	45	366
	Finale besparing warmte industrie	2	1	32	3.9	125	7486	150	729
	Finale besparing warmte industrie	3	1	105	1.9	203	4879	100	366
	Finale besparing warmte industrie	4	1	192	1.9	369	6346	125	363
	Hlsarna	1	0.05	-93	0.5	-2	9	0	3
	Hlsarna	2	0.05	-98	0.5	-2	10	-1	3
	Hlsarna	3	0.05	-86	1.0	-4	25	-1	6
	Hlsarna	4	0.05	-74	1.2	-4	40	-1	7
Industrie, Biomassa feedstock									
	Plastics via FT uit biomassa	1		#	-4.1				

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
	Etheen uit Suikers	1	#	-6.4				
	Etheen uit hout	1	7598	2.7				
	Etheen uit Zetmeel	1	#	-6.4				
Industrie, Biomassa feedstock CCS								
	Plastics via FT uit biomassa CCS	1	471	#				
Industrie, Biomassa warmte								
	WKK biomassa (vloeibaar)	1	151	20.9				
	WKK biomassa (vloeibaar)	2	155	20.9				
	WKK biomassa (vloeibaar)	3	171	20.9				
	WKK biomassa (vloeibaar)	4	187	20.9				
	Ketels biomassa LT	1	354	1.5				
	Ketels biomassa LT	2	359	1.5				
	Ketels biomassa LT	3	384	1.5				
	Ketels biomassa LT	4	409	1.5				
	Ketels biomassa HT	1	312	1.1				
	Ketels biomassa HT	2	315	1.1				
	Ketels biomassa HT	3	333	1.1				
	Ketels biomassa HT	4	352	1.1				
	Ketels biomassa SHT	1	1487	1.1				

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)	
	Ketels biomassa SHT	2		1579	1.1				
	Ketels biomassa SHT	3		2037	1.1				
	Ketels biomassa SHT	4		2495	1.1				
Industrie, Biomassa warmte CCS									
	Ketels LT biomassa CCS	1		134	5.4				
	Ketels LT biomassa CCS	2		136	5.4				
	Ketels LT biomassa CCS	3		143	5.4				
	Ketels LT biomassa CCS	4		150	5.4				
	Ketels HT biomassa CCS	1		128	4.0				
	Ketels HT biomassa CCS	2		129	4.0				
	Ketels HT biomassa CCS	3		134	4.0				
	Ketels HT biomassa CCS	4		139	4.0				
	Ketels SHT biomassa CCS	1		441	3.5				
	Ketels SHT biomassa CCS	2		463	3.5				
	Ketels SHT biomassa CCS	3		570	3.5				
	Ketels SHT biomassa CCS	4		678	3.5				
Industrie, CCS processen									
	CO ₂ -afvang (bio) ethanol	1	1	25	0.3	8	15	5	-2
	CO ₂ -afvang ammoniakproductie	1	1	22	0.8	17	21	10	-4

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
CO ₂ -afvang ammoniakproductie	2	1	24	0.5	11	17	6	-2
CO ₂ -afvang etheenoxide productie	1	1	30	0.1	4	10	2	-1
CO ₂ -afvang etheenoxide productie	2	1	33	0.1	2	7	1	0
CO ₂ -afvang waterstof plants (high purity H2)	1	1	78	0.7	52	25	21	-27
CO ₂ -afvang primaire ijzer- en staalindustrie	1	0.99	65	5.3	342	309	90	-153
Industrie, Elektrificatie								
Warmte uit elektriciteit industrie	1		#	-6.3				
Warmte uit elektriciteit industrie	2		#	-6.3				
Warmte uit elektriciteit industrie	3		#	-6.3				
Warmte uit elektriciteit industrie	4		#	-6.3				
Industrie, Fossiel feedstock								
REF Plastics uit olie	1	1				-5315	-266	
Industrie, Fossiel feedstock CCS								
Plastics uit olie CCS	1	1	55	6.9	376	5473	578	-52
Industrie, Groen gas								
Groen aardgas industrie	1							
Industrie, Hernieuwbare								

Sector, Categorie		Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, - kosten)
warmte									
	Elektrische warmtepomp industrie	1	0.76	823	0.9	569	3684	506	337
	Elektrische warmtepomp industrie	2		879	0.9				
	Elektrische warmtepomp industrie	3		1156	0.9				
	Elektrische warmtepomp industrie	4		1433	0.9				
	Gasgestookte warmtepomp industrie	1		799	1.2				
	Gasgestookte warmtepomp industrie	2		861	1.2				
	Gasgestookte warmtepomp industrie	3		1169	1.2				
	Gasgestookte warmtepomp industrie	4		1477	1.2				
Industrie, OBG-opties									
	Reducties bij het gebruik van F-gassen	1	1		0.2				
	Reducties bij het gebruik van F-gassen	2	1	10	0.3	3		3	
Industrie, REFS									
	REF Ketels aardgas industrie	1	1				-170	-16	
	REF Ketels aardgas industrie	2	1				-170	-16	
	REF Ketels aardgas industrie	3	1				-170	-16	
	REF Ketels aardgas industrie	4	1				-170	-16	
	REF WKK gas	1	1				-785	-28	
	REF WKK gas	2	1				-785	-28	

Sector, Categorie	Variant	In pakket BM	€/ton CO ₂ -eq	Emissiereductie bij 100% toepassing	Netto kosten mln € in Blue map (+kosten, - baten)	Investerings in Blue Map 80%(+kosten, - baten)	Operationele kosten (+kosten, -baten)	Energiebaten (+baten, -kosten)
REF WKK gas	3	1				-785	-28	
REF WKK gas	4	1				-785	-28	



ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 LG Petten

Tel 088 515 49 49
info@ecn.nl
www.ecn.nl