



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Beleidsopties voor vermindering van de CO₂-uitstoot van het wegverkeer

Naar duurzaam wegverkeer in 2050, deel 2

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	10
1.1	Beleidsmatige context	10
1.2	Onderzoeksvraag en scope	11
1.4	Leeswijzer	13
2	Overheidsrollen en legitimatie van overheidsinterventies	15
2.1	Wat is het probleem?	15
2.2	Mogelijke overheidsrollen	17
2.3	Rolverdeling tussen overheidslagen; bevoegd gezag	18
2.4	Legitimatie van overheidsinterventies	18
3	Knelpunten bij duurzaam wegverkeer	22
3.1	Marktfasen van reductieopties	22
3.2	Knelpunten bij innovatie en diffusie in combinatie met milieuproblematiek	25
3.3	Knelpunten gekoppeld aan kostencurve (illustratief)	27
4	Beleidsopties voor duurzaam wegverkeer	31
4.1	Twee pijlers voor beleid: emissiereductie en innovatie	31
4.2	Huidig beleid	34
4.3	Beleidsopties binnen pijler ‘emissiereductie’	36
4.4	Beleidsopties binnen pijler ‘innovatie’	41
4.5	Koppeling met de 2050-ambitie	44
4.6	Effect in 2030 van enkele specifieke beleids- en reductieopties	45
	Summary	49
	Literatuur	54
	Bijlage A	59
	Bijlage B	62
	Bijlage C	64
	Bijlage D	66
	Colofon	79



Samenvatting

De ambitie van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) om de CO₂-uitstoot van het Nederlandse wegverkeer in 2050 terug te dringen tot 60 procent onder het niveau van 1990 is fors. Deze reductie zal niet 'vanzelf' in en door de markt (consumenten, bedrijven) tot stand komen. Inzet van beleidsmaatregelen is nodig om aanwezige belemmeringen weg te nemen of te verminderen. Belangrijk knelpunt is het feit dat emissies in de markt onbeprijsd zijn. Daarnaast vormen nieuwe voertuig- en brandstofconcepten met veel potentie voor emissiereductie nog geen volwaardige vervanging voor huidige voertuigen en fossiele brandstoffen. Ook zijn er belemmeringen op het vlak van kennisontwikkeling.

Effectief en efficiënt overheidsbeleid om deze knelpunten weg te nemen bouwt op twee pijlers. De eerste pijler richt zich op de realisatie van reductieopties die nu al ver ontwikkeld zijn en (bijna) geschikt zijn voor de massamarkt. Hiermee is het mogelijk om *direct* emissiereductie te bereiken. De tweede pijler richt zich op innovatie. Daarbij gaat het om de ontwikkeling van potentieel kansrijke reductieopties die nu nog niet geschikt zijn voor de massamarkt en het verbeteren van de prijs-prestatieverhouding van deze opties. Dit met het oog op hun inzet voor *toekomstige* efficiënte emissiereductie. Voor elk van de pijlers beschikt de overheid over verschillende beleidsopties. Met betrekking tot de eerste pijler zijn normering van emissies en emissiehandel voor verkeeremissies bijvoorbeeld mogelijkheden. In de tweede pijler kan het bijvoorbeeld gaan om specifieke R&D-subsidies en het aankondigen van toekomstige normaanscherpingen. Sommige beleidsopties liggen op het niveau van het Rijk, andere op het niveau van de EU of de decentrale overheden.

Ambities voor een duurzaam wegverkeer

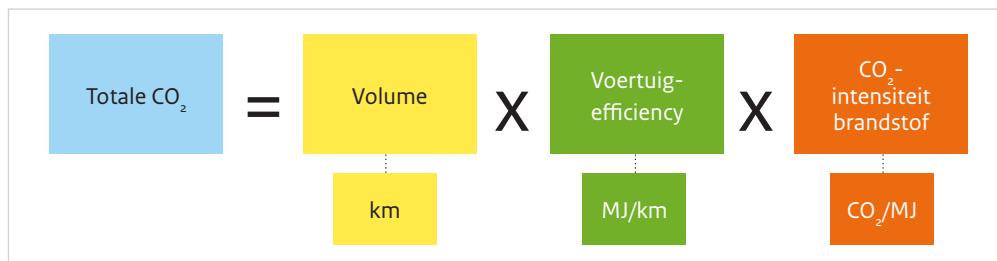
Het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) wil onderzoeken hoe, met welk beleid, de CO₂-uitstoot van het wegverkeer in 2050 ten opzichte van 1990 met 60 procent te verminderen is. De CO₂-uitstoot van het wegverkeer is nu één derde hoger dan in 1990. CO₂-emissiereductie in het wegverkeer is onderdeel van het bredere IenM beleid op het gebied van duurzame mobiliteit.

In 2011 heeft het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) onderzoek gedaan naar de *reductieopties*, de fysieke mogelijkheden, waarmee in het wegverkeer – met name personenauto's en vrachtauto's – een grote CO₂-reductie te halen is. De nu voorliggende studie is een vervolg hierop en gaat in op de *beleidsopties* die het Rijk, maar ook andere overheden (EU, decentraal), hebben om de mogelijkheden voor reductie van CO₂-uitstoot daadwerkelijk te benutten. Een belangrijke notie is dat de markt (consumenten, bedrijven) die mogelijkheden niet zelfstandig zal benutten, vanwege de aanwezigheid van *knelpunten*. Door de inzet van beleidsmaatregelen kunnen overheden deze knelpunten wegnemen of verkleinen.

Reductieopties om 60 procent emissiereductie in 2050 mee te halen

De fysieke mogelijkheden om in de periode tot 2050 een reductie van 60 procent in het wegverkeer te bereiken, zijn te verdelen drie categorieën, die samen de CO₂-uitstoot van het wegverkeer bepalen (zie figuur 5.1). Deze categorieën zijn te beschouwen als 'knoppen', waaraan gedraaid kan worden om de CO₂-uitstoot te beïnvloeden. Overigens betreft de ambitie van 60 procent, de emissies op voertuig-niveau (de *tank-to-wheel* emissies). Het is gebruikelijk om emissies die optreden bij de winning, productie en distributie van energiedragers voor het wegverkeer (de *well-to-tank* emissies) niet toe te rekenen aan verkeer en vervoer, maar aan andere sectoren, zoals de industrie en elektriciteitsproductiesector. Daarom gaat het bij de CO₂-intensiteit van de brandstof alleen om de CO₂-emissies die op voertuig-niveau worden uitgestoten.

Figuur S.1 Drie knoppen voor CO₂-reductie bij het wegverkeer.



De reductieopties met, voor zover nu bekend, de meeste potentie voor het halen van 60 procent emissiereductie in het wegverkeer bevinden zich binnen de categorieën 'voertuigefficiency' en 'CO₂-intensiteit van de brandstof'. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om elektrische voertuigen en brandstofcelvoertuigen, het toepassen van (geavanceerde) biobrandstoffen en het veel zuiniger maken van voertuigen met een verbrandingsmotor. Deze reductieopties zijn nu nog niet rijp voor grootschalige uitrol in het totale wagenpark. Ze bevinden zich in verschillende fases van ontwikkeling, variërend van het 'R&D-stadium' bij zeer zuinige voertuigen met verbrandingsmotor en geavanceerde biobrandstoffen, tot het 'prototypestadium' bij brandstofcelvoertuigen en 'toepassing in nichemarkten' bij elektrische voertuigen. Om emissies in het wegverkeer op een efficiënte manier terug te dringen, moeten deze reductieopties het innovatieproces eerst verder doorlopen. Vooral de prijs-kwaliteitverhouding van deze opties moet sterk verbeteren. Daarnaast is voor elektrische en brandstofcelvoertuigen een alternatieve laad/tankinfrastructuur een noodzakelijke voorwaarde voor grootschalige uitrol.

Een combinatie met volumereductie (inclusief verschuiving naar andere modaliteiten, zoals openbaar vervoer en fiets) kan ervoor zorgen dat enerzijds minder (alternatieve) voertuigen nodig zijn, omdat het wagenpark in omvang kleiner wordt of minder groeit, en er anderzijds kleinere hoeveelheden elektriciteit/waterstof/biobrandstof nodig zijn, omdat het wagenpark minder kilometers rijdt. Dit heeft bijkomende voordelen voor ruimtegebruik en bereikbaarheid.

Daarnaast zijn er ook reductieopties die wel nu al marktrijp zijn, bijvoorbeeld auto's met verbrandingsmotor die beperkt zuiniger zijn dan huidige auto's, zuinige banden, rijden met een lagere snelheid en dergelijke, maar deze opties hebben een kleiner reductiepotentieel; voor het halen van de 2050-ambitie is méér nodig.

Knelpunten belemmeren de implementatie van de reductieopties

De reductieopties die nu nog niet marktrijp zijn, maar wel veel potentie hebben voor emissiereductie, ondervinden hinder van knelpunten op het gebied van innovatie en diffusie. Dergelijke knelpunten treden altijd op bij nieuwe technieken die de hegemonie van bestaande technologie (in dit geval de *state-of-the-art* verbrandingsmotor en fossiele brandstoffen) willen doorbreken, maar bij nieuwe technieken die emissiereductie als doel hebben vormen ze een nog grotere belemmering dan normaal al het geval is. Dit komt omdat emissiereductie vooral een maatschappelijk belang is, terwijl voor de individuele gebruiker het nut vaak beperkt of afwezig is – denk bijvoorbeeld aan biobrandstoffen en elektrische auto's (lange oplaadtijd, *range anxiety*). Daarin verschillen reductieopties voor het wegverkeer van nieuwe technologieën die de individuele gebruiker wel voordelen biedt, zoals mobiele telefoons of airbags.

60 procent emissiereductie stapsgewijs, door combinatie van twee pijlers

De beleidsambitie om CO₂-emissies van het wegverkeer in 2050 met 60 procent te reduceren ten opzichte van 1990, kan op een efficiënte manier gehaald worden met beleid dat rust op twee pijlers:

- Pijler 'emissiereductie': inzet op *directe* emissiereductie;
- Pijler 'innovatie': inzet op innovatie, en dan vooral het verbeteren van de prijs-kwaliteitverhouding, bij de reductieopties die potentieel kansrijk zijn, maar die nu nog niet geschikt zijn voor de massamarkt. Het doel is dat deze reductieopties beschikbaar komen voor *toekomstige* efficiënte emissiereductie.

Een gecombineerde inzet van beide pijlers brengt de ambitie van 60 procent emissiereductie *stapsgewijs* en op een efficiënte wijze dichterbij. Via de emissiereductiepijler wordt direct al ingezet op diffusie van marktrijpe reductieopties. Dit levert - in verhouding tot de ambitie - in eerste instantie een relatief kleine emissiereductie op. Tegelijkertijd zorgt de innovatiepijler ervoor dat nog niet marktrijpe, maar potentieel effectieve reductieopties zich zo snel mogelijk verder ontwikkelen, vooral op het vlak van de prijs-kwaliteitverhouding. In een later stadium kunnen deze reductieopties dan grootschalig worden uitgerold - met een grote emissiereductie tot gevolg - via beleid in de emissiereductiepijler.

Keuzes voor specifieke beleidsopties in elk van beide pijlers zijn voornamelijk politiek-bestuurlijk, afhankelijk van voorkeuren en *span of control* (bijvoorbeeld voertuignormen zijn alleen op EU-niveau mogelijk, evenals kwaliteitseisen aan biobrandstoffen). Veel beleidsopties voor CO₂-reductie in het wegverkeer liggen op Europees niveau, enerzijds omdat de EU vaak het bevoegd gezag is, anderzijds vanwege de politiek-bestuurlijke wens van een Europees *level playing field*; het Rijk en decentrale overheden hebben vaak een meer faciliterende rol, bijvoorbeeld het geven van R&D- en uitrolsubsidies, het verlenen van vergunningen, het sluiten van convenanten met marktpartijen en dergelijke. Ook de vraag of er - naast de verduurzaming van het wegverkeer - andere belangen in het spel zijn, zoals een 'verdienpotentieel' voor de Nederlandse economie, kan een rol spelen bij de beleidskeuzes.

Emissiereductiepijler: gericht op directe CO₂-reductie

Effecten van beleidsopties in deze pijler zijn meetbaar in termen van tonnen CO₂. Ze richten zich met name op het knelpunt dat CO₂ geen prijs heeft in de markt en het knelpunt dat consumenten en bedrijven een (te) korte terugverdientijd hanteren: hierdoor prefereren ze voertuigen die goedkoop zijn in aanschaf maar duur in het gebruik, boven voertuigen die duurder zijn in aanschaf, maar goedkoper in het gebruik. Dit zet energiezuinige voertuigen op een achterstand ten opzichte van minder zuinige voertuigen, wat vanuit maatschappelijk oogpunt onwenselijk is.

Voorbeelden van beleid in deze pijler zijn:

- de (geleidelijke) aanscherping van voertuig- en brandstofnormen;
- emissiehandel (met een geleidelijke aanscherping van het plafond);
- emissie- of brandstofheffingen;
- vrijwillige afspraken met bedrijven over emissiereductie (convenanten);
- investeringen in fiets- en OV-infrastructuur.

Elk instrument heeft eigen kenmerken op het gebied van zekerheid over effect, efficiëntie, keuzevrijheid aan de markt, *span of control* van Nederland en transactiekosten (de kosten van de beleidsinterventie zelf). Instrumenten die zich gelijktijdig richten op zowel volume, voertuigefficiency en brandstofkeuze, zoals emissiehandel en emissieheffingen, leveren in principe de meeste keuzevrijheid aan de markt om de goedkoopste reductieopties als eerste te realiseren, wat leidt tot kostenefficiëntie.

Het specifiek inzetten op volumereductie in bepaalde marktsegmenten - zoals een verschuiving van de auto naar openbaar vervoer, fiets of e-fiets een hogere beladingsgraad in het vrachtverkeer, meer gebruik van deelauto's en dergelijke - is relatief lastig in verhouding tot de emissiereductie die ermee gehaald kan worden. Het emissiereductiepotentieel is vaak alleen met een grote beleidsinzet en/of tegen hoge kosten te bereiken, zonder dat er uitzicht is op een sterke verbetering in de toekomst. Hiervoor zijn diverse redenen, zoals:

- De fiets wordt in Nederland al veel gebruikt en vergroten van het aandeel vergt een grote (en dure) kwaliteitsslag aan de fietsinfrastructuur;
- Openbaar vervoer is voor veel verplaatsingen geen geschikt alternatief voor de auto, en spoor en rail niet voor de vrachtauto;
- Een hogere beladingsgraad bij vrachtwagens gaat in tegen huidige trends.

Volumereductie via deze routes kan mogelijk beter in samenhang met andere beleidsdoelen, zoals congestiebestrijding, verkeersveiligheid en sociale toegankelijkheid worden gestimuleerd, en niet (alleen) vanuit het doel van CO₂-emissiereductie.

Innovatiepijler: gericht op het mogelijk maken van toekomstige efficiënte emissiereductie

Effecten van beleidsopties in deze pijler zijn minder goed meetbaar; tonnen CO₂-reductie is hier geen goede maat. Ze hebben als doel het innovatieproces van kansrijke, maar nu nog niet marktrijpe reductie-opties sneller en soepeler te laten verlopen, en dan vooral de prijs-kwaliteitverhouding van deze reductieopties sterk te verbeteren. Dit gebeurt met het oog op efficiënte emissiereductie *in de toekomst*. Beleidsopties in deze pijler richten zich op het knelpunt dat bedrijven geneigd zijn tot 'onderproductie' van kennis en minder kennisuitwisseling dan maatschappelijk wenselijk is, omdat ze de kosten ervan niet of onvolledig kunnen terugverdienen. Er is een groot risico dat andere partijen gratis van hun kennis kunnen profiteren. Het kan gaan om kennis in de ontwikkeling (*learning by research*, R&D), bij het testen en uitproberen (*learning by doing*, prototypes) en bij het gebruik (*learning by using*, nichemarkten).

Voorbeelden van beleid in deze pijler zijn:

- specifieke R&D-subsidies voor schone technologie;
- het aankondigen van toekomstige aanscherping van heffingen/normen/emissieplafonds, zodat bedrijven die kennis ontwikkelen weten dat er in de toekomst een markt is voor innovatieve producten;
- uitrolsubsidies en/of tijdelijk fiscaal voordeel in nichemarkten;
- het verbeteren van (juridische) randvoorwaarden die nodig zijn voor toekomstige grootschalige inzet;
- de overheid als *launching customer*.

Beleid in deze pijler is maatwerk dat is aangepast aan de ontwikkelfasen waarin kansrijke reductieopties zich bevinden (R&D, prototype, eerste introductie in nichemarkten). Een legitimatie voor gerichte R&D-subsidies voor schone technologie, in plaats van generieke stimulering van alle R&D, is bijvoorbeeld te vinden in het feit dat kennis meestal voortborduurde op bestaande kennis. Vervuilende technologie heeft daardoor een kennisvoorsprong ten opzichte van schone technologie; zonder overheidsinterventie is er het risico dat die blijft bestaan of zelfs groter wordt.



1 Inleiding

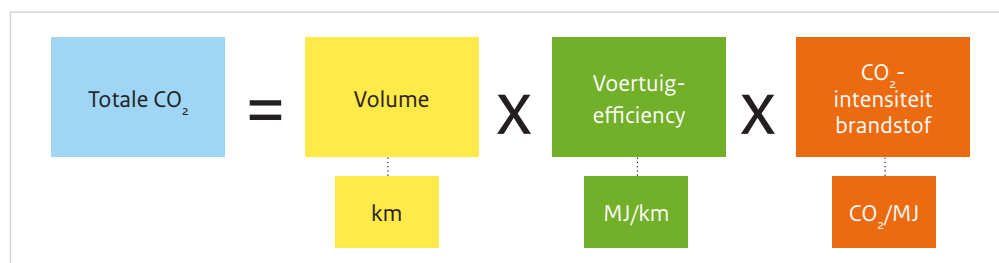
1.1 Beleidsmatige context

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) is bezig met de ontwikkeling van beleid voor duurzame mobiliteit. De ambitie is dat CO₂-emissies van de sector verkeer en vervoer in 2050 60 procent lager zijn dan in 1990. Deze ambitie is gebaseerd op de *Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050* van de Europese Commissie (EC, 2011).¹ IenM heeft de 'min 60 procent'-ambitie voor de sector verkeer en vervoer (nog) niet nader verdeeld over de verschillende modaliteiten. Het wegverkeer is de belangrijkste bron van CO₂-emissies binnen de sector verkeer en vervoer. Het gaat bij de CO₂-reductie-ambities in het wegverkeer om de emissies op voertuigniveau (*tank-to-wheel*).

Binnen IenM is het Directoraat-Generaal Bereikbaarheid (DGB) verantwoordelijk voor duurzame mobiliteit en dus ook voor CO₂-emissiereductie voor verkeer en vervoer. Daarnaast is de directie Klimaat, Luchtkwaliteit en Geluid (KLG) van het Directoraat-Generaal Milieu en Internationaal (DGMI) verantwoordelijk voor het bronbeleid (voertuigemissies per voertuigkilometer). Onder het bronbeleid vallen zowel de energie-efficiency van voertuigen als de milieukwaliteit/CO₂-intensiteit van brandstoffen die in de sector verkeer en vervoer worden gebruikt. DGB geeft invulling aan het volumebeleid. Hiermee wordt niet sec het verminderen van het aantal voertuigkilometers bedoeld, maar ook de verbetering van de efficiency van het vervoersysteem: hetzelfde doen met minder voertuigkilometers, en verschuiving naar andere modaliteiten, zoals openbaar vervoer en fiets.

Het vermenigvuldigen van de drie factoren – volume, voertuigefficiency en CO₂-intensiteit van brandstof – resulteert in de totale CO₂-uitstoot van verkeer en vervoer. Daarmee zijn het 'knoppen' waaraan gedraaid kan worden om de totale CO₂-uitstoot te beïnvloeden. Zie figuur 1.1.

Figuur 1.1 Drie knoppen voor CO₂-reductie bij het wegverkeer.



¹ Deze heeft als doel om de Europese broeikasgasemissies in 2050 met 80 à 95 procent te reduceren ten opzichte van 1990. Nederland heeft zich aan deze *overall* doelstelling gecommitteerd.

1.2 Onderzoeksvraag en scope

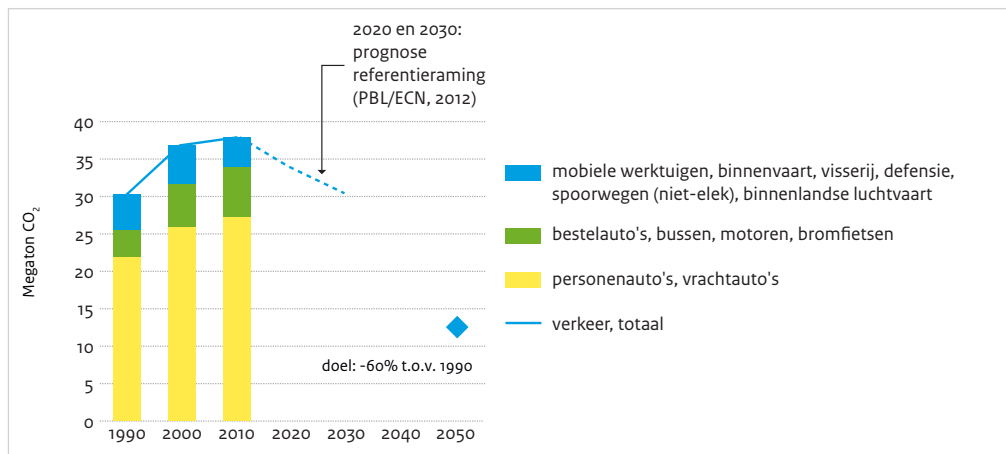
Deze studie van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) borduurt voort op een KiM-studie uit 2011 (Moorman en Kansen, 2011) naar de fysieke mogelijkheden voor CO₂-reductie in het wegverkeer, ofwel *reductieopties*. In vervolg hierop hebben DGB en DGMI aan het KiM gevraagd om inzicht te geven in mogelijke *beleidsopties* - beleidsmaatregelen die het Rijk, maar ook andere overheden (EU, decentraal) kunnen nemen - om knelpunten op te lossen waardoor reductieopties belemmerd worden. Beleidsopties zijn bijvoorbeeld emissieheffingen, emissiehandel, R&D-subsidies, ruimtelijke ordeningsbeleid en dergelijke. Deze kennis willen DGB en DGMI gebruiken bij het opstellen van beleid voor duurzame mobiliteit.

De scope van deze studie naar beleidsopties ligt, net als bij de vorige studie, bij het *wegverkeer*, met name personenauto's en vrachtauto's. Samen zijn ze momenteel verantwoordelijk voor meer dan 70 procent van de CO₂-emissies² van verkeer en vervoer in Nederland³. Sinds 1990 zijn hun emissies met een kwart⁴ gestegen. Voor deze studie geldt als beleidsambitie voor 2050 de 60 procent reductie ten opzichte van 1990, die ook voor de sector verkeer en vervoer als geheel geldt.

Anders dan bij de studie naar reductieopties richt deze studie zich niet op de emissies in de hele keten (*well-to-wheel*), maar alleen de emissies op voertuigniveau (*tank-to-wheel*). Dit omdat de ambitie van 60 procent minder CO₂, die de context is voor deze vervolgstudie, ook alleen de *tank-to-wheel* emissies betreft (zie verder paragraaf 1.3).

In onderstaande figuur zijn de *tank-to-wheel* CO₂-emissies van verkeer en vervoer in de periode 1990-2010 afgezet tegen prognoses voor 2020 en 2030 bij vastgesteld en voorgenomen beleid⁵ en het 'min 60 procent'-doel voor 2050. Zoals te zien in de figuur zijn de emissies bij vastgesteld en voorgenomen beleid in 2030 ongeveer terug op het niveau van 1990.

Figuur 1.2 CO₂-emissies (*tank-to-wheel*) van verkeer en vervoer in 1990-2010 (PBL, 2013), prognose voor 2020 en 2030 bij vastgesteld en voorgenomen beleid (PBL/ECN, 2012) en 2050-doel (-60%). Emissies berekend volgens IPCC-methode.⁶



² De sector verkeer stoot naast CO₂ ook nog in beperkte mate andere broeikasgassen uit, met name N₂O en methaan. De verhouding in CO₂-equivalenten is ongeveer 99% CO₂ en 1% overige broeikasgassen. Deze overige broeikasgassen hebben we voor het gemak weggelaten.

³ Verkeer en vervoer veroorzaken circa één vijfde van de totale CO₂-uitstoot in Nederland.

⁴ Van het totale wegverkeer, inclusief bestelauto's, zijn de emissies met één derde gestegen.

⁵ Inclusief de EU-verplichting van 10% hernieuwbare energie in verkeer en vervoer in 2020 en aanscherping van de CO₂-norm voor personenauto's en bestelauto's naar 95 respectievelijk 147 g/km in 2020.

⁶ Dit is de verplichte methode voor het rapporteren van CO₂-emissies in internationaal verband. Bij deze methode worden emissies van wegverkeerbrandstoffen, die in een bepaald land zijn getankt, aan dat land toegerekend. Concreet betekent het dat PBL is uitgegaan van een inschatting van de kilometers die voertuigen op Nederlands grondgebied hebben gereden, deze heeft vermenigvuldigd met berekende emissiefactoren (emissies per kilometer) per voertuigcategorie en daarna heeft opgeschaald zodat totale emissies overeenkomen met CBS-data voor de brandstofafzet in Nederland. Een deel van de brandstofafzet in Nederland leidt tot gereden kilometers in het buitenland; omgekeerd rijden er voertuigen in Nederland die hun brandstof in het buitenland hebben getankt. Hierdoor wijken de IPCC-emissies af van de feitelijke emissies op Nederlands grondgebied (die CBS apart registreert). Voor personenauto's en vrachtauto's waren de IPCC-emissies in 2011 respectievelijk 0,7 en 1,4 megaton hoger dan de feitelijke emissies van in Nederland gereden voertuigkilometers.

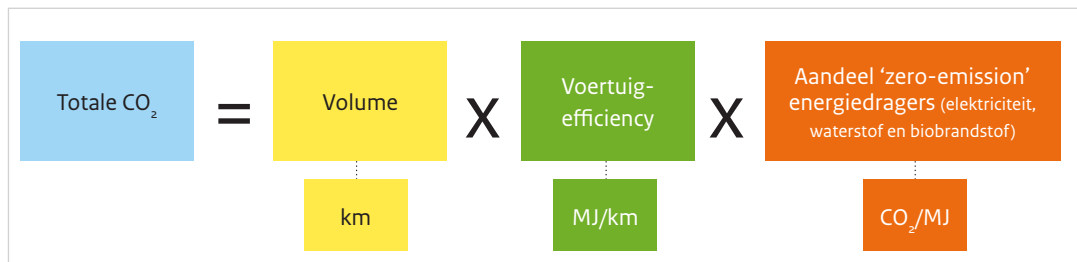
Emissies die worden toegerekend aan verkeer en vervoer

Aan verkeer en vervoer worden in het licht van de CO₂-reductiedoelstelling alleen de CO₂-emissies op voertuigniveau (*tank-to-wheel*) toegerekend en dan ook nog alleen de langcyclische emissies. Dat wil zeggen: de emissies uit fossiele brandstoffen wel, maar uit biobrandstof niet. Energiedragers die voor verkeer en vervoer als 'zero-emission' gelden zijn:

1. Elektriciteit. De emissies hiervan tellen binnen de elektriciteitsproductiesector.⁷
2. Waterstof. Als de waterstof wordt gemaakt uit aardgas (het momenteel gebruikelijke procedé) tellen de emissies binnen de industrie. Als de waterstof wordt gemaakt uit elektrolyse, vallen emissies onder de elektriciteitssector. Zowel industrie als elektriciteitssector vallen onder het Europese emissiehandelssysteem ETS.
3. Biobrandstof.⁸ De *tank-to-wheel* emissies zijn kortcyclisch en tellen dus niet. *Well-to-tank* emissies in bijvoorbeeld de landbouw voor de productie van ruwe biomassa, en in de energiesector/industrie voor de omzetting van ruwe biomassa in voor verkeer en vervoer bruikbare biobrandstof, tellen binnen die sectoren.

Voor deze studie zou de knop 'CO₂-intensiteit van de brandstof' in figuur 1.1 dus vervangen kunnen worden door een 'aandeel zero-emission energiedragers'-knop: hoe groter het aandeel hiervan, hoe meer reductie met deze knop binnen het wegverkeer geboekt wordt.⁹ Vermindering van de *well-to-tank* emissies van de 'zero-emission' energiedragers is de opgave van andere sectoren dan verkeer en vervoer. Daarbij betreft het met name de elektriciteitssector en de sector industrie, die beide onder het ETS vallen. Zie figuur 1.3.

Figuur 1.3 Drie knoppen voor CO₂-reductie bij het wegverkeer in de *tank-to-wheel* benadering.



De bijdrage van 'zero-emission' energiedragers aan het wegverkeer is nu nog klein tot zeer klein: het aandeel biobrandstof bedroeg in 2011 circa 3,5 procent¹⁰, het aandeel elektriciteit was in 2012 rond 0,1 procent¹¹ en het aandeel waterstof was verwaarloosbaar.

⁷ Uitzonderingen daargelaten, bijvoorbeeld wanneer iemand zijn auto oplaadt met eigen zonnepanelen.

⁸ Hoewel biobrandstof als 'zero-emission' telt, gelden er in huidige doelstellingen waar biobrandstof een rol speelt (met name *Fuel Quality Directive* en *Renewable Energy Directive*) wel drempelwaarden voor de werkelijke CO₂-reductie van de biobrandstof. Biobrandstof die slechter scoort dan deze drempelwaarde, doet niet mee als biobrandstof. Biobrandstof die minimaal de drempelwaarde haalt, telt als 'zero-emission'.

⁹ Hierbij verwaarlozen we voor het gemak de mogelijkheid van shifts binnen de fossiele brandstofmix, bijvoorbeeld van benzine naar diesel of LPG, waardoor *tank-to-wheel* CO₂-emissies ook zouden veranderen. Verwachte effecten hiervan zijn niet groot.

¹⁰ Berekend uit (NEa, 2012): inclusief dubbeltellende biobrandstoffen was het aandeel 4,31 procent; het aandeel dubbeltellend bedroeg 40 procent van het totaal.

¹¹ Eind 2012 reden in Nederland bijna 6.300 elektrische personenauto's (Agentschap NL, 2013) op een totaal wagenpark van 8 miljoen auto's.

Naar duurzaam wegverkeer in 2050, deel 1: Reductieopties waarmee de emissiereductiedoelstelling in potentie haalbaar is, volgens een well-to-wheel benadering

In 2011 onderzocht het KiM voor DGB en DGMI welke reductieopties (fysieke mogelijkheden) er zijn om CO₂-emissies van het wegverkeer *well-to-wheel* met 60 à 80 procent te reduceren. (Dit is overigens een fictief doel dat niet overeenkomt met de huidige ambitie op basis van de Europese *Roadmap*.) Dit leverde een indeling in drie 'knoppen' met reductieopties op, zie figuur 1.4.

Figuur 1.4 Reductieopties die zijn onderzocht in Moorman en Kansen (2011).



De potentie van de reductieopties verschilt zowel tussen knoppen als binnen een knop. Voor de knop 'volume' schatten we de totale potentie in op 10 à 20 procent (met verschillen tussen personen- en vrachtauto's). Het meeste effect moet komen van de knoppen voertuigefficiëncy en brandstof; volumereductie maakt de opgave binnen deze twee knoppen minder groot. Drie routes die als kansrijk naar voren kwamen voor het halen van het fictieve doel van 60 à 80 procent *well-to-wheel* emissiereductie (zo veel mogelijk in combinatie met volumereductie) zijn:

- Route 1: CO₂-arme biobrandstof in combinatie met zeer zuinige voertuigen met verbrandingsmotor (*internal combustion engine*, ICE);
- Route 2: waterstof uit CO₂-arme bron in brandstofcelvoertuigen;
- Route 3: elektriciteit uit CO₂-arme bron in elektrische voertuigen.

Eén van de conclusies uit de studie was dat deze routes niet vanzelf in de markt tot stand komen. De reductieopties en routes ondervinden zowel generieke als specifieke knelpunten. Er is nu nog niet te zeggen welke bijdrage deze drie routes in 2050 kunnen leveren. Mogelijk zullen niet alle routes tot wasdom komen, ook kunnen er nog nieuwe routes bijkomen die nu nog niet bekend zijn.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 en 3 zijn de meer theoretische hoofdstukken. Een snelle lezer kan deze overslaan en meteen doorgaan naar de kern in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 2 gaan we in op de vraag welke overheidsrollen en motivaties er zijn om knelpunten bij emissiereductie in het wegverkeer aan te pakken. Hoofdstuk 3 schept overzicht in de diversiteit aan knelpunten en ordent ze in drie groepen. In hoofdstuk 4 staan de beleidsopties centraal. We maken onderscheid tussen enerzijds beleidsopties die *direct* emissiereductie tot doel hebben en anderzijds beleidsopties die *eerst* innovatie en kostenverlaging tot doel hebben, met het oog op emissiereductie *in de toekomst*.

In bijlage A staat een lijst met knelpunten voor de verschillende innovatiesporen/routes in het wegverkeer. Bijlage B gaat in op de huidige marktpositie van enkele belangrijke reductieopties. Bijlage C geeft een nadere uitleg bij enkele relevante marktimperfecties. In bijlage D gaan we dieper in op beleids- en reductieopties voor het jaar 2030, als tussenstation voor het eindjaar 2050.



2

Overheidsrollen en legitimatie van overheidsinterventies

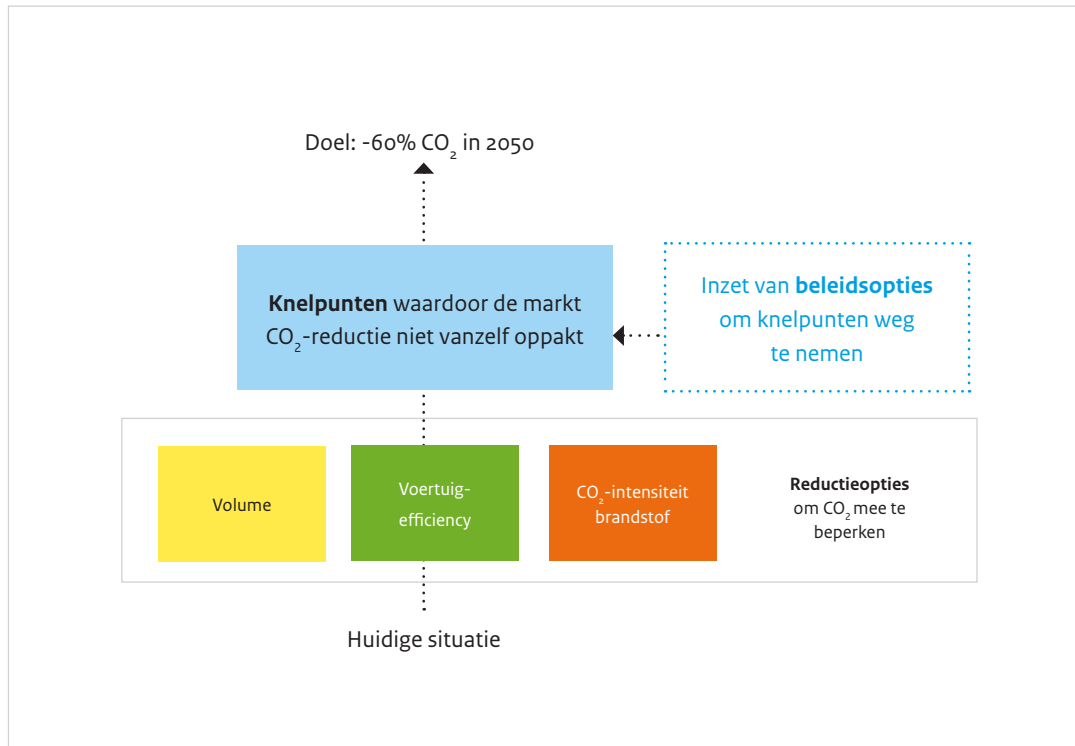
- Om de diverse knelpunten voor emissiereductie in het wegverkeer aan te pakken zijn meerdere overheidsrollen mogelijk, die kunnen verschillen per beleidslaag (EU, Rijk, decentraal).
- Welke overheidsrol in de praktijk gekozen wordt en welk knelpunt daarbij aangepakt wordt is een politiek-bestuurlijke keuze.
- De economische theorie geeft als hulpmiddel dat een overheidsinterventie legitiem is wanneer het aangepakte knelpunt een 'marktperfectie' is (mits het overheidsingrijpen niet op zichzelf leidt tot hoge transactiekosten).
- Daarnaast kunnen er andere legitimaties zijn voor overheidsingrijpen.

2.1 Wat is het probleem?

Sinds 1990 is de CO₂-uitstoot van de sector verkeer en vervoer, en daarbinnen ook van personen- en vrachtauto's, met ongeveer een kwart gestegen.¹² Daling van de emissies in 2050 tot het ambitieniveau van min 60 procent ten opzichte van 1990 betekent een trendbreuk. In theorie zijn er reductieopties met voldoende potentie om deze trendbreuk te helpen realiseren, maar deze zijn nog niet marktrijp. Ontwikkeling en grootschalige uitrol (diffusie) van deze kansrijke reductieopties, ter vervanging van bestaande vervuilende technologie, komt niet vanzelf in de markt tot stand (Moorman en Kansen, 2011). Hierbij is sprake van meerdere knelpunten, waarvan de belangrijkste zijn: de kostprijs en nadelen in het comfort ten opzichte van bestaande technologie. Figuur 2.1 geeft aan hoe de knelpunten zich verhouden tot de reductieopties (uit de 2011-studie) en de beleidsopties, de scope van de huidige studie. Bijlage A geeft een meer gedetailleerde lijst van knelpunten.

¹² De emissiestijging van het totale wegverkeer, inclusief bestelauto's, bedraagt één derde.

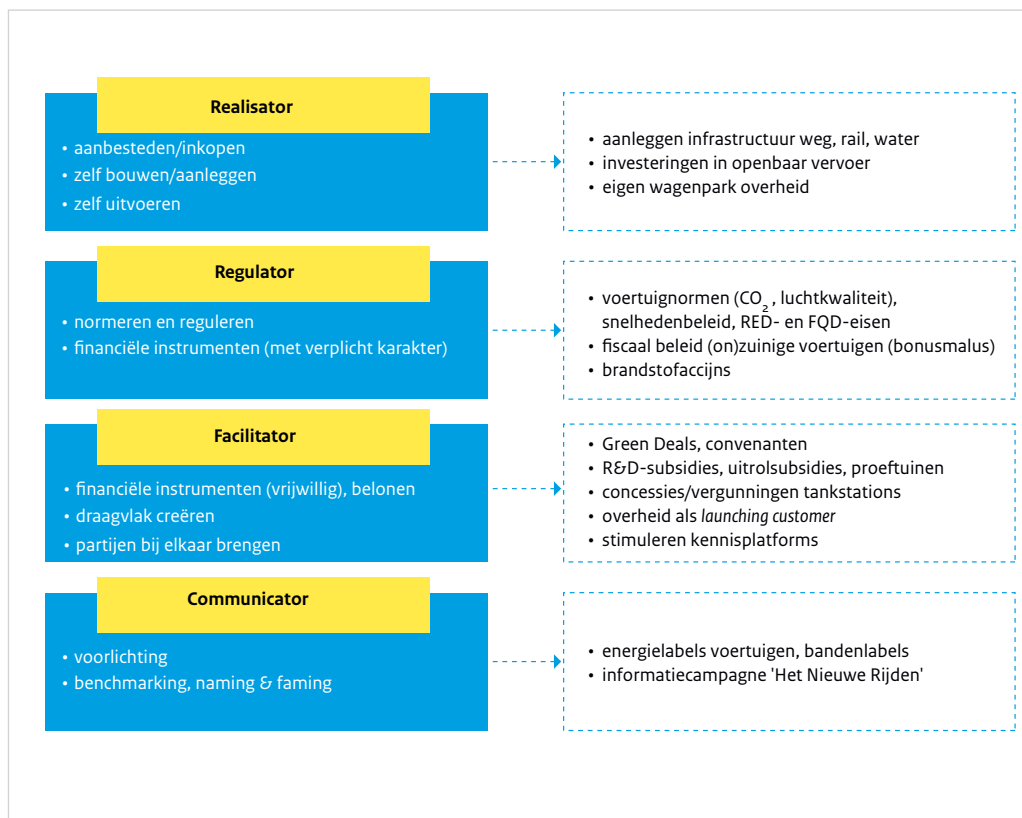
Figuur 2.1 Tussen reductieopties en de ambitie voor het jaar 2050 zitten knelpunten in de weg. Beleidsopties richten zich op het wegnemen van knelpunten.



2.2 Mogelijke overheidsrollen

Om knelpunten aan te pakken kan de overheid in zijn algemeenheid verschillende rollen op zich nemen. We onderscheiden er vier: realisator, regulator, facilitator en communicator. Bij elke rol past in principe een andere inzet van beleidsmaatregelen en budget. Zie figuur 2.2.

Figuur 2.2 Mogelijke overheidsrollen, bijpassende beleidsopties en voorbeelden ter verduidelijking.



De uiteindelijke keuze voor een type rol is vooral politiek-bestuurlijk gedreven. Daarbij speelt een afweging tussen meerdere criteria, zoals effectiviteit en efficiëntie aan de ene kant versus een eerlijke verdeling van de lasten en lusten en maatschappelijk draagvlak aan de andere kant. Ook de vraag of er - naast de verduurzaming van het wegverkeer - andere belangen in het spel zijn, zoals een 'verdienpotentieel' voor de Nederlandse economie, kan een rol spelen bij de beleidskeuzes. Een win-win situatie op alle criteria is vaak niet mogelijk.

2.3 Rolverdeling tussen overheidslagen; bevoegd gezag

Drie overheidslagen zijn relevant: de Europese Unie, de Nederlandse rijkoverheid en decentrale overheden (gemeenten, provincies). In de praktijk vullen rollen op de verschillende niveaus elkaar vaak aan. Naast het gegeven dat de keuze voor een bepaald type rol vooral een politiek-bestuurlijk keuze is, is ook van belang dat niet elke rol door elke beleidslaag gespeeld kan worden. Dit hangt af van de *span of control* van elke beleidslaag en van de vraag wie waarvoor het bevoegd gezag is. Normstelling op het gebied van voertuigen is bijvoorbeeld voorbehouden aan de EU. Als Nederland zou willen dat voertuigen die in Nederland verkocht worden aan scherpere CO₂-eisen voldoen, moet daarvoor een beleids optie uit de eigen *span of control*, bijvoorbeeld fiscaal beleid, worden ingezet. In tabel 2.1 geven we aan wie bevoegd gezag is voor een aantal specifieke beleids opties.

Het Rijk kiest in de praktijk vaak voor een mix van de facilitator- en regulatorrol: zowel subsidieverlening en het maken van vrijwillige afspraken met marktpartijen zijn daarbij aan de orde, als maatregelen op het gebied van de autofiscaliteit (MRB, BPM) en brandstofaccijnzen. Bij de accijnzen is overigens duurzaamheid niet het enige doel, maar ook en vooral het innen van belastingen. Decentrale overheden hebben vaak vooral een faciliterende rol, maar meer in de zin dat zij concrete projecten helpen realiseren, bijvoorbeeld via vergunningenbeleid.

Tabel 2.1 Bevoegd gezag voor specifieke beleidsopties (voorbeelden).

Terrein	Bevoegd gezag
Voertuignorm (CO ₂)	EU
Brandstofnorm, kwalitatief (brandstofkwaliteit)	EU
Brandstofnorm, kwantitatief (bijv. biobrandstofbijmengverplichting of verplicht aandeel duurzame energie)	EU en/of NL ¹³
Emissieheffing (fiscaal)	NL
Emissiehandel (cap-and-trade)	EU en/of NL
Brandstofaccijns	NL
Regels voor ruimtelijke ordening (RO)	Lokale overheden
Snelhedenbeleid	NL (rijkswegen)/andere overheden (regionale en lokale wegen)
Parkeerbeleid	Lokale overheden

2.4 Legitimatie van overheidsinterventies

Sommige belemmeringen die duurzaam wegverkeer in de weg staan, zijn meer de moeite waard om aan te pakken dan andere. Niet alle knelpunten zijn even nijpend en ook niet altijd is het aan de overheid om het knelpunt weg te nemen.

Economen maken vaak onderscheid tussen ‘gewone’ knelpunten en marktimperfecties: zie het tekstkader hieronder. Bij marktimperfecties is er een legitimatie voor overheidsingrijpen. Dit komt omdat het oplossen van de marktimperfectie leidt tot verhoging van de maatschappelijke welvaart (efficiëntie). Volgens de economische theorie kan het efficiënt zijn om verschillende marktimperfecties ook met verschillende beleidsinstrumenten aan te pakken¹⁴ (o.a. Gillingham en Sweeney, 2010; Goulder en Parry, 2008; Vollebergh, 2012; CPB, 2010).

Naast verhogen van de maatschappelijke welvaart kunnen er uiteraard andere motieven zijn voor overheidsingrijpen. *Sociale redenen* kunnen dat ingrijpen bijvoorbeeld motiveren. Op het terrein van verkeer en vervoer laat zich dit bijvoorbeeld vertalen naar de zorg dat iedere burger toegang heeft tot bepaalde locaties en activiteiten. Maar ingrijpen kan ook gemotiveerd zijn door redenen die liggen op het vlak van *overheidsfinanciën*: het innen van belastinggeld (Van Wee, 2009). Ook het vergroten van het draagvlak voor (milieu)beleid, een uitruil van (politieke) belangen, compromissen en dergelijke, zijn belangrijke motieven voor overheidsinterventies. Tegelijk is de economische ‘vuistregel’ van één beleidsoptie per marktimperfectie politiek-bestuurlijk lang niet altijd wenselijk, omdat het leidt tot een stapeling van beleid (Vollebergh, 2012). Dit laat onverlet dat het zinvol is om marktimperfecties, als aparte groep van knelpunten, in het vizier te houden, omdat dit behulpzaam kan zijn bij het onderbouwen (legitimeren) van beleidskeuzes.

¹³ Nederland mag alleen besluiten tot een stringenter kwantitatief doel. De EU bepaalt de ondergrens.

¹⁴ Dit wordt soms ook wel de ‘Tinbergenregel’ genoemd, naar de Nederlandse econoom Jan Tinbergen. Het idee hierachter is dat er geen silver bullet beleidsoptie is waarmee alle marktimperfecties in één keer (efficiënt) zijn op te lossen, zeker niet wanneer de marktimperfecties onderling sterk verschillen. Deze Tinbergenregel is overigens geen ‘wet van Meden en Perzen’, die altijd toegepast moet worden. Er zitten in de praktijk ook nadelen aan, bijvoorbeeld dat de stapeling van beleid leidt tot hoge transactiekosten (Vollebergh, 2012). Er moet daarom vaak een afweging worden gemaakt tussen de Tinbergenregel en wat praktisch haalbaar is. Gillingham en Sweeney (2010) noemen de mogelijkheid dat marktimperfecties die onderling gerelateerd zijn, soms wel met één instrument zijn op te lossen.

Marktimperfectie of 'gewoon' knelpunt?

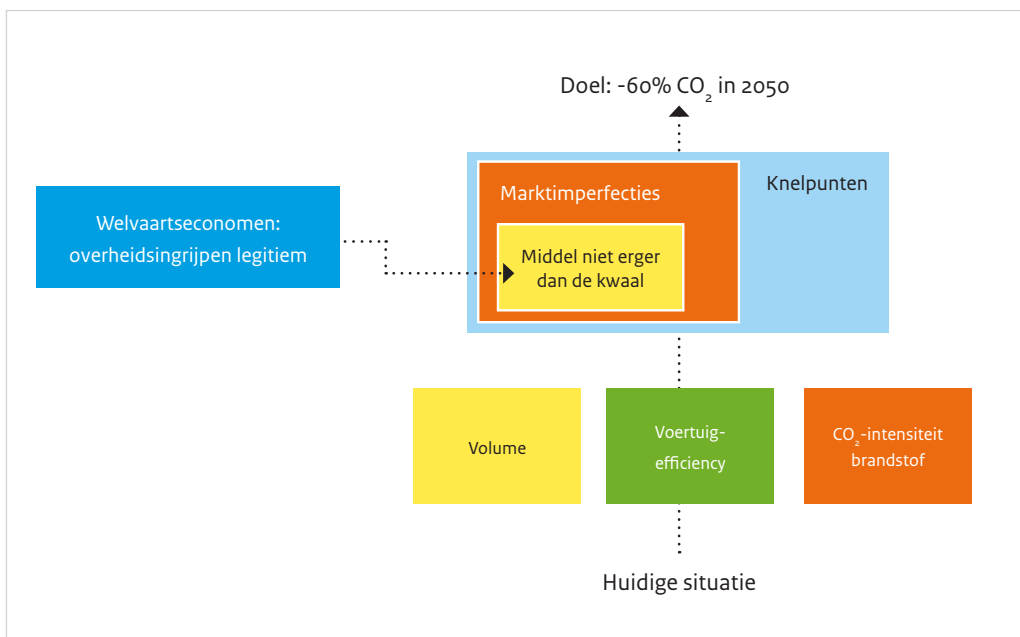
De marktimperfectie is een concept uit de economische theorie. Marktimperfecties zijn 'fouten' in de vrije markt, zoals monopolies en informatie-asymmetrie, waardoor geen maatschappelijk optimale situatie tot stand komt. Een specifiek product of dienst wordt suboptimaal ingezet, er is vanuit maatschappelijk oogpunt overproductie van of juist onderproductie. Een bekende fout in de markt zijn externe effecten, het feit dat negatieve of positieve effecten niet in de prijs van een product of dienst zijn verwerkt, zoals milieuschade (negatief) of kennisontwikkeling (positief). De veroorzaker ervan veroorzaakt schade of baten bij anderen zonder daarvoor een vergoeding te betalen, respectievelijk te krijgen. CO₂-uitstoot is een duidelijk voorbeeld van een negatief extern effect: het heeft in de markt geen prijs (of een te lage, zoals in het Europese emissiehandelssysteem ETS). Bedrijven en consumenten kunnen CO₂-uitstoot veroorzaken zonder de nadelige gevolgen te dragen. 'Schone' producten ondervinden in de markt een concurrentienadeel ten opzichte van 'vervuilende' producten.

Voorbeelden van 'gewone' knelpunten die geen marktimperfectie zijn: de *range anxiety* die gebruikers van een elektrische auto ervaren, de lange oplaadtijd voor accu's van elektrische auto's, een complex en duur productieproces om een bepaalde brandstof te maken, dure grondstoffen (bijvoorbeeld schaarse metalen voor een elektrische auto of algen voor biobrandstoffen die ook in trek zijn bij de cosmetica-industrie), een accijnsderving bij de overheid als voertuigen op andere brandstoffen gaan rijden et cetera.

De grens tussen marktimperfectie en gewoon knelpunt is overigens niet haarscherp te trekken, maar hangt ook af van de invalshoek van waaruit men kijkt. Als consumenten een heel zuinige auto niet aantrekkelijk vinden vanwege het kostenplaatje (hoge aanschafkosten – lage brandstofkosten), wijt een econoom dat aan de 'hoge private discontoet' en ziet de socioloog 'gewoontegedrag' als probleem.

Niet elke overheidsinterventie om een marktimperfectie op te heffen, leidt automatisch tot efficiëntie. De overheidsinterventie leidt namelijk tot 'transactiekosten' (kosten van onder meer inning, handhaving en monitoren) en dit is op zichzelf een inefficiëntie. Deze transactiekosten kunnen hoog zijn en verschillen sterk per beleids optie. Er is alleen een welvaartsverhogend effect als de kosten van ingrijpen niet hoger zijn dan de welvaartswinst, dus als het middel niet erger is dan de kwaal. Zie figuur 2.3.

Figuur 2.3 Marktimperfecties vormen een aparte groep van knelpunten (zie fig. 2.1).



Behalve marktimperfecties kan er ook sprake zijn van overheidsimperfecties. Daarbij kan het bijvoorbeeld gaan om juridische belemmeringen (het gevolg van overheidswetgeving) waardoor een reductie-optie niet realiseerbaar is, hoewel dat vanuit maatschappelijk oogpunt wel wenselijk is. Het kan ook gaan om een verkeerde of inefficiënte beleidskeuze onder invloed van krachtige belangengroepen uit het bedrijfsleven (Goulder en Parry, 2008). Voorbeelden zijn de cabotageregels voor het vervoer van vracht binnen Europa, het verbod op Lange en Zware Vrachtwagens (LZV's) in een groot aantal EU-landen en de harmonisatie van technische standaarden op Europees niveau, waar EU-lidstaten soms hardnekkig vasthouden aan een eigen standaard. Ook dit type imperfecties verdient het vanuit efficiencyoogpunt om opgelost te worden, mits – wederom – het middel niet erger is dan de kwaal.



3

Knelpunten bij duurzaam wegverkeer

- Reductieopties voor het halen van 60 procent emissiereductie in het wegverkeer in 2050 bevinden zich op dit moment in verschillende marktfases.
- De reductieopties met de meeste potentie om 60 procent emissiereductie mee te kunnen halen, zijn nog niet rijp voor de massamarkt; reductieopties die al wel marktrijp zijn hebben over het algemeen een kleiner reductiepotentieel.
- Nog niet marktrijpe reductieopties ondervinden knelpunten op het gebied van innovatie en diffusie, zoals normaal is voor nieuwe technieken die een bestaande hegemonie (hier van verbrandingsmotor en fossiele brandstof) willen doorbreken.
- De milieudimensie maakt de knelpunten op het gebied van innovatie en diffusie die zich in het algemeen bij alle nieuwe technieken voordoen, nog pregnanter.
- Inzet van beleidsmaatregelen kan eraan bijdragen dat innovatie en diffusie van reductieopties soepeler verlopen en/of versneld plaatsvinden.

3.1 Marktfasen van reductieopties

We onderscheiden binnen deze studie drie typen reductieopties:

- Technisch, nu nog niet marktrijp, groot potentieel;
- Technisch, nu al marktrijp, klein potentieel;
- Niet-technisch.

Technisch, nu nog niet marktrijp, groot potentieel

De reductieopties met de grootste potentie voor emissiereductie - zeer zuinige verbrandingsmotorvoertuigen¹⁵, elektrische voertuigen, brandstofcelvoertuigen en geavanceerde biobrandstoffen¹⁶ - zijn op dit moment nog niet rijp voor grootschalige toepassing in de markt. Dit komt met name omdat ze veel te

¹⁵ Bijvoorbeeld personenauto's met een uitstoot van minder dan 60 gram CO₂ per km; vrachtauto's met een CO₂-reductie van meer dan 25 procent ten opzichte van de huidige situatie.

¹⁶ Om aan de biobrandstofkwaliteitseisen te kunnen voldoen.

duur zijn in aanschaf in vergelijking tot het geboden nut en comfort. De prijs-kwaliteitverhouding is voor grote groepen gebruikers onvoldoende. Zelfs als de maatschappelijke CO₂-kosten (van tenminste 80 euro per ton¹⁷) zouden zijn verdisconteerd, is het huidige prijs-kwaliteitverschil met bestaande voertuigtechnologie (verbrandingsmotor) en brandstof (fossiel) niet te overbruggen. Hooguit kunnen ze nu al een rol spelen in nichemarkten, maar daar bereiken ze per definitie een geringe emissiereductie. Vanuit maatschappelijk oogpunt is grootschalige inzet van deze reductieopties *nu nog niet* opportuun (efficiënt). Er is eerst innovatie nodig, voordat dit überhaupt mogelijk is. Het kader op de volgende pagina beschrijft de fasen in het ontwikkelproces.

De reductieopties met de grootste potentie voor emissiereductie bevinden zich momenteel in de volgende fasen. Bijlage C geeft meer details.

- Zeer zuinig verbrandingsmotorvoertuig: R&D (alhoewel 'zeer zuinig' meestal bestaat uit een pakket van maatregelen waarvan sommige al verder kunnen zijn ontwikkeld);
- Elektrische voertuigen: nichemarkten;
- Brandstofcelvoertuigen: prototype, demonstratie, kleine nichemarkten;
- Geavanceerde biobrandstoffen: R&D, prototype, nichemarkten.

Fasen in de ontwikkeling van nog niet marktrijpe reductieopties

We onderscheiden twee fasen in de ontwikkeling van een reductieoptie: innovatie en diffusie. Innovatie houdt het proces in dat een nieuwe vinding - een inventie - wordt gecommercialiseerd en rijp gemaakt voor de markt (EEA, 2011). Bij diffusie gaat het om adoptie en grootschalige toepassing van een innovatie; dus breder dan alleen in nichemarkten en demonstratieprojecten. Ten opzichte van de innovatiefase is sprake van verdere opschaling.

De innovatiefase is onder te verdelen in drie subfasen, die elkaar opvolgen: R&D, prototype, nichemarkt¹⁸. Sleutelbegrip in de innovatiefase is leren, waarbij het in elke deelfase om een ander soort leren gaat: *learning-by-research* (R&D), *learning-by-doing* (prototypes, demonstratieprojecten) en *learning-by-using* (nichemarkten). In het innovatieproces wordt duidelijk waar verbeteringen nodig zijn, welke randvoorwaarden (bijvoorbeeld juridisch) nog niet goed vervuld zijn. In deze fase leren fabrikanten ook waar in het productieproces kostenbesparing mogelijk is et cetera. Een deel van het leren komt voort uit opschaling (*upsizing*) en schaalvoordelen door massaproductie (*economies of scale*) (Junginger et al., 2006).^{19,20} Ook leerervaringen van gebruikers zijn een noodzakelijke voorbereiding op de massamarkt: de eerste gebruikers laten aan toekomstige gebruikers zien wat je met het product kunt. Idealiter wordt in de innovatiefase de prijs-prestatieverhouding van de reductieoptie sterk verbeterd, zodat het van een imperfect substituum van bestaande technologie verandert in een gelijkwaardige of zelfs sterkere concurrent. Empirische data laten zien dat kosten van producten die een innovatieproces doorlopen vaak afnemen met de cumulatieve productiehoeveelheid (zie bijvoorbeeld Junginger et al., 2006).

Vaak is sprake van meerdere innovatieprocessen tegelijk. Een voorbeeld is de elektrische auto, waar innovatieprocessen op het gebied van het voertuig (accu), het opladen, de elektriciteitsproductie en de distributie van elektriciteit aan de orde zijn (zie ook Junginger et al., 2006).

¹⁷ Gebaseerd op twee bronnen: 1) Proost (2008) geeft CO₂-schadekosten à 80 euro per ton; 2) IEA (2012, tabel 1.5) geeft voor de huidige Europese ETS-sectoren (energiesector, industrie, luchtvaart) voor 2035 CO₂-preventiekosten van 120 dollar per ton CO₂ (prijspeil 2011) om het twee-graden-pad te volgen; omgerekend bij een gemiddelde wisselkoers in 2011 van €1=\$1,40 komt dit overeen met 85 euro.

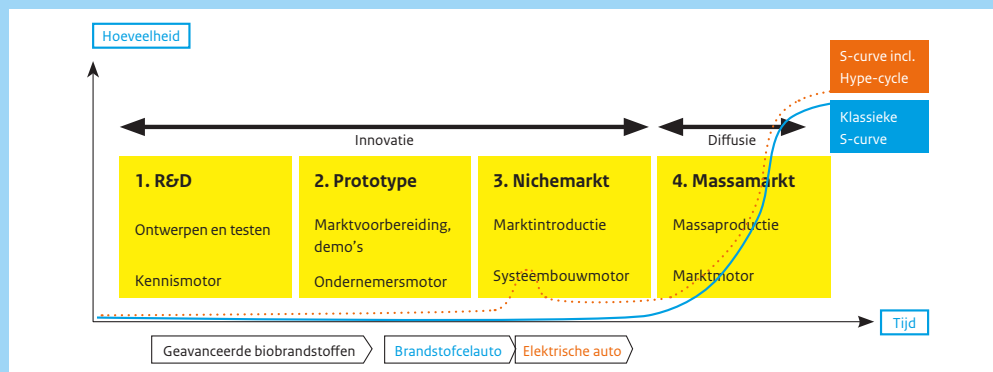
¹⁸ Nichemarkten zijn specifieke deelmarkten, waar gebruikers andere wensen en eisen hebben dan een gemiddelde gebruiker, waardoor deze markt als het ware is afgeschermd van de massamarkt en de competitie tussen merken en soorten op andere gronden gebeurt. Bij elektrische auto's zijn nichemarkten bijvoorbeeld recreatieve voertuigen zoals golfkarretjes, lichtgewicht stadsauto's, het sportautosegment (waar vooral belangrijk is dat een auto snel kan optrekken, de auto vooral een statussymbool is en kosten een minder grote rol spelen).

¹⁹ Sommige wetenschappers zien *upsizing* en *economies of scale* als aparte effecten naast *learning-by-research*, *learning-by-doing* en *learning-by-using* (Junginger et al., 2006).

²⁰ Kampman et al. (2006) suggereren dat bij grootschalige technieken, zoals een grootschalige warmtekrachtinstallatie, vooral schaal-effecten (*upsizing* en *economies of scale*) zorgen voor kostenreductie en bij kleinschalige technieken, zoals een lokale biogasinstallatie, vooral *learning-by-doing*.

Als het innovatieproces goed verloopt, wordt de reductieoptie rijp voor de diffusiefase, waarin het de massamarkt kan bereiken (grootschalige penetratie; verdringing van bestaande technologie). Bij voertuigen gaat het dan bijvoorbeeld om toepassing in omvangrijke voertuigklassen, zoals 'compact' en 'middenklasse'. Zie figuur 3.1 met de opeenvolgende fasen en de groei in omvang.

Figuur 3.1 Marktfases van nieuwe producten in relatie tot S-curve (blauwe lijn), hypecurve (rode stippellijn), waarin een innovatie tijdelijk in de lift zit, een 'hype' is, en daarna weer inzakt, en de huidige positie van enkele reductieopties (de pijlen onder de tijdsas). De typen innovatiemotoren zijn afkomstig uit Hekkert en Ossebaard (2010).



Knelpunten in één of meer deelfasen kunnen ervoor zorgen dat de reductieoptie zich niet verder ontwikkelt en onderweg blijft steken. Ook kan de reductieoptie een 'hype' doormaken, waarin het lijkt alsof de stap naar massamarkt al wordt gezet, maar er bijvoorbeeld tegenvallers of te hooggespannen verwachtingen zijn, waardoor dit (nog) niet lukt. Het innovatieproces is een samenspel van veel actoren. Hoe (snel) het proces verloopt is bovendien afhankelijk van veel factoren en niet goed voorspelbaar. Beleidsmaatregelen kunnen helpen om het innovatieproces soepeler te laten lopen en/of te versnellen.

Technisch, nu al marktrijp, klein potentieel

Naast niet-marktrijpe mogelijkheden om CO₂ te reduceren, bestaan er ook reductieopties die al wel technisch rijp en uitontwikkeld zijn, maar die door hun specifieke kenmerken beperkt zijn tot nichemarkten of bepaalde marktsegmenten. Hun reductiepotentieel is beperkt, zowel door de niet-grootschalige toepassing als door een kleine CO₂-reductie per 'eenheid'. Dit geldt bijvoorbeeld voor zeer zuinige auto's die nu al op de markt zijn, maar die zuinig zijn omdat ze zo klein en compact zijn (boodschappenauto's, 45 km/u-autootjes en dergelijke) en daardoor maar voor bepaalde gebruikersgroepen interessant zijn. Andere reductieopties die marktrijp zijn, zijn zuinige banden bij vrachtwagens; lange en zware vrachtwagens (LZV's) en dergelijke. Hoewel deze voor de gebruiker kostenbesparing kunnen opleveren, worden dergelijke opties om een of andere reden toch (nog) niet op grote schaal benut. Hierop komen we terug in paragraaf 3.2.

Niet-technisch

Naast technische reductieopties onderscheiden we reductieopties waar (technische) innovatie niet aan de orde is, zoals de meeste reductieopties onder de knop 'volume'. Bij deze gaat het vaak niet om een nieuwe techniek waar nog innovatie voor nodig is, maar een gedragsverandering. Een andere modaliteitskeuze of thuiswerken zijn hier voorbeelden van. Onder de knop 'efficiency' gaat het bijvoorbeeld om Het Nieuwe Rijden (sneller doorschakelen naar een hogere versnelling), langzamer rijden et cetera. Uitzonderingen waarbij wel technologische ontwikkeling in het spel is, liggen bijvoorbeeld op het vlak van ICT die nodig is voor e-activiteiten, logistieke planning en dergelijke. Ook een zeer grote verschuiving van de auto naar het openbaar vervoer die alleen met hoogwaardig, wijdvertakt en snel openbaar vervoer gerealiseerd kan worden, vraagt om technologische ontwikkeling. Eventueel kunnen hier ook de begrippen nichemarkt en massamarkt worden toegepast, om aan te geven of ze alleen voor kleine groepen gebruikers of voor de grote massa een geschikt alternatief zijn voor huidig gedrag.

3.2 Knelpunten bij innovatie en diffusie in combinatie met milieuproblematiek

Innovatie en diffusie zijn moeilijke processen voor alle nieuwe technieken die een marktpositie willen veroveren. Niet voor niets bereiken de meeste inventies nooit de markt, maar blijven onderweg steken. Een bekend knelpunt dat algemeen optreedt bij innovatie is de moeite die bedrijven hebben om ontwikkelkosten terug te verdienen, onder meer omdat andere bedrijven gratis kunnen profiteren van hun kennis.²¹ Deze bedrijven zien er daarom vaak vanaf om kennis te ontwikkelen of houden kennis geheim. Dit terwijl kennisontwikkeling juist de sleutel is voor het succesvol doorlopen van het innovatieproces en kennisdelen bijdraagt aan succesvol innoveren.

Bij diffusie speelt bijvoorbeeld het probleem dat consumenten en bedrijven hogere aanschafkosten van een (willekeurig) product snel willen terugverdienen via lagere gebruikskosten. Ze hanteren dus een korte terugverdientijd, hun discontovoet is hoog. Een product dat op de lange termijn kosten bespaart vinden ze minder aantrekkelijk dan een product dat snel voordeel oplevert. Dit is in het nadeel van zeer zuinige verbrandingsmotorvoertuigen, elektrische voertuigen en brandstofcelvoertuigen, die duur zijn in aanschaf maar over het algemeen lage gebruikskosten hebben.

Beide hierboven genoemde knelpunten worden in de economische theorie gezien als marktimperfecties; daarmee gaat het om belemmeringen waarvoor overheidsingrijpen legitiem is.

In elk innovatie- en diffusieproces is sprake van knelpunten. In het geval van milieu-inventies die zijn ontwikkeld als oplossing voor een milieuprobleem, is het doorlopen van deze processen echter nog moeilijker. Milieu-inventies hebben namelijk vaak het kenmerk dat ze vooral vanuit *maatschappelijk* oogpunt voordeel bieden ten opzichte van bestaande technieken, en niet of minder voor de *individuele gebruiker*. Een goed voorbeeld zijn biobrandstoffen. Deze bieden de meeste gebruikers geen voordeel ten opzichte van bestaande brandstoffen, maar zijn wel duurder in aanschaf. Hun belangrijkste *asset*, milieuverbetering, wordt in de markt niet 'gewaardeerd', want milieuvuiling heeft geen prijs. Milieu-inventies hebben daardoor in het algemeen meer moeite om door te dringen tot de markt dan inventies die wel private voordelen met zich meebrengen, zoals de airbag die de veiligheid voor de automobilist vergroot. CO₂ heeft dit probleem nog meer dan andere milieuproblemen, omdat klimaatverandering een wereldwijd probleem is. Daardoor speelt een zogeheten *prisoner's dilemma*.²² Daarom benadrukken fabrikanten in PR-uitingen vaak vooral de private voordelen van hun producten, bijvoorbeeld dat een elektrische auto stil is en comfortabel en de gebruiker benzinekosten bespaart. Een milieu-inventie heeft ook meer moeite dan een 'gewone' inventie om kapitaal aan te trekken voor de nodige opschaling tot nichemarkt en massamarkt. Dit vanwege een grotere onzekerheid of er wel een toekomstige marktvraag is. Dit is des te meer een probleem omdat ontwikkeling van milieu-inventies vaak kapitaalintensief is (Biermans et al., 2009).

De optredende knelpunten zijn vanuit verschillende invalshoeken te bekijken. Hieronder noemen we er twee: de economische invalshoek van marktimperfecties, waarbij een overheidsinterventie wordt gerechtvaardigd met het oog op het verhogen van de maatschappelijke welvaart (mits de transactiekosten laag zijn) en de sociologische invalshoek. Deze vullen elkaar aan.

Marktimperfecties

Onderstaande tabel geeft een overzicht van marktimperfecties die in de economische literatuur over emissiereductie of over milieutechnologie vaak worden genoemd. We hebben ze geordend in drie categorieën: milieu, innovatie en diffusie. De categorie 'milieu' bevat knelpunten die algemeen gelden, ongeacht de marktfase. Een nadere omschrijving en bronvermelding is te vinden in bijlage B.

²¹ Met andere woorden de kennisbaten zijn extern, net zoals de milieukosten extern zijn. Dit probleem wordt ook wel kennis-externaliteit, *first mover disadvantage* of kennis-*spillover* genoemd.

²² Het dilemma dat voordelen van de CO₂-reductie aan iedereen ten goede komen, terwijl het individu dat CO₂ reduceert de lasten (kosten) heeft. Waarom zou je dan in actie komen?

Tabel 3.1 Marktimperfecties per categorie en marktphase waarin ze optreden.

Categorie	Marktimperfecties	Marktphase(overgang)
Milieu	<ul style="list-style-type: none"> Milieukosten zijn extern, d.w.z. niet in prijzen verwerkt <i>Prisoner's dilemma</i>; door individueel keuzegedrag ontstaat een maatschappelijk suboptimaal resultaat 	Alle fasen
Innovatie	<ul style="list-style-type: none"> Kennisbaten zijn extern, d.w.z. niet (volledig) terug te verdienen door de kennisontwikkelende partij (innovator); <i>first mover disadvantage</i> Kapitaalmarkt werkt niet goed voor (kapitaalintensieve) opschaling van milieu-innovaties 	R&D, prototype, nichemarkt Overgang van prototype naar nichemarkt
Diffusie	<ul style="list-style-type: none"> Eis van korte terugverdiëntijd door gebruikers (hogere private discontovoet dan maatschappelijke discontovoet) <i>Split incentive</i>: kosten en baten liggen bij verschillende actoren Onvolledige informatie bij gebruikers over voordelen van nieuw product Bij producten die gebruik moeten maken van een nieuwe (energie)infrastructuur of netwerk: kip-ei probleem of coördinatieprobleem: zolang er geen netwerk is, zijn er geen gebruikers, zolang er geen gebruikers zijn, is er geen netwerk; voor individuele bedrijven zijn de risico's en kapitaalslasten te groot Kapitaalmarkt werkt niet goed voor (kapitaalintensieve) opschaling van milieu-innovaties, onder andere door meer onzekerheden 	Overgang van nichemarkt naar massamarkt

Sociologische visie op knelpunten bij innovatie en diffusie

Deze invalshoek zoekt de oorzaak van knelpunten in psychologische en sociale factoren, zoals weerstand, angst voor verandering, behoefte aan veiligheid, blikvernauwing en moeite om *out-of-the-box* te denken. Een bekend voorbeeld is dat mensen uit gewoontegedrag altijd hetzelfde merk of type auto kopen. Hekkert en Ossebaard (2010, p.29 e.v.) noemen drie specifieke sociale redenen bij (radicale) innovaties:

- Innoveren is in grote mate padafhankelijk, incrementeel ten opzichte van bestaande kennis. Als mensen gebruiken we niet onze maximale denkkracht voor het bedenken van nieuwe oplossingen, maar zijn geneigd in de hokjes van bestaande oplossingsrichtingen te denken.
- Mensen beoordelen nieuwe innovatieve techniek vaak op hun huidige prestatie (die nog vol mankementen is) en niet op verwachtingen in de toekomst. De innovatie is te kenmerken als een '*hopeful monstrosity*' en is daardoor sterk in het nadeel ten opzichte van het bestaande aanbod, dat door grote productieaantallen al een lange leercurve heeft kunnen doorlopen.
- Radical innovaties, die sterk afwijken van de huidige technologie, zijn meestal ontwikkeld door bedrijven die nieuw zijn op de betreffende markt. Deze nieuwkomers zijn zeer bedreigend voor gevestigde bedrijven, omdat ze hen dwingen zich ook met de nieuwe technologie te verdiepen en bestaande kennis door de radicale vernieuwing in een keer irrelevant (verouderd) kan worden. Bestaande bedrijven zullen zich over het algemeen dan ook hevig verzetten tegen nieuwkomers, de negatieve kanten van de nieuwe techniek uitvergrooten en proberen beleidsmakers op een voor hen gunstige wijze te beïnvloeden. (Een bekende benaming van het proces dat innovatie nieuwe mogelijkheden opent en oude vernietigt is de term '*creative destruction*' van de Oostenrijkse econoom Schumpeter).

Een goede illustratie van padafhankelijkheid (punt 1 hierboven) op het terrein van duurzaam wegverkeer is dat het aantal patenten op het gebied van efficiency-verbetering van verbrandingsmotorvoertuigen veel hoger is dan het aantal patenten voor alle alternatieve voertuigtechnologieën, zoals elektrische en brandstofcel-voertuigen, samen; in 2006 3 à 4 keer hoger (OECD, 2011). Autofabrikanten gaan eerder door op de huidige weg met de verbrandingsmotor dan met de elektromotor. Ook is er in het algemeen een sterke gerichtheid op fossiele brandstoffen en is er veel kennisontwikkeling om verdere inzet hiervan mogelijk te maken; zie de 'schaliegas-revolutie' in de VS²³ en kennisontwikkeling op het gebied van ondergrondse CO₂-opslag, waar veel oliemaatschappijen mee bezig zijn (o.a. Statoil, BP, Shell, Exxon).

²³ De Amerikaanse overheid heeft veel subsidie gestoken in kennisontwikkeling m.b.t. winning van schaliegas (Stevens, 2012). De winningsmethode is ook bruikbaar gebleken voor winning van olie uit schalie.

De elektrische auto met zijn lange oplaadtijd en *range anxiety* lijkt een goed voorbeeld te zijn van de 'hopeful monstrosity' (punt 2), ofwel het lelijke jonge eendje. De andere drie kansrijke reductieopties - zeer zuinige verbrandingsmotorvoertuigen, brandstofcelvoertuigen en geavanceerde biobrandstoffen - wijken veel minder sterk af van de bestaande situatie, waarin je met een auto binnen een paar minuten hebt getankt bij een tankstation en dan weer veel kilometers kunt rijden. Als het gaat om de radicaliteit van de verandering (punt 3) gooien zowel de elektrische als de brandstofcelauto hoge ogen, omdat ze gebaseerd zijn op een elektromotor in plaats van verbrandingsmotor. Sierzchula et al. (2012) geven voor elektrische auto's een interessante beschrijving van het proces dat vanaf 2004 eerst nieuwe toetreders aanbod gingen ontwikkelen, waarna bestaande grote autofabrikanten (*incumbents*) met een vertraging volgden.

3.3 Knelpunten gekoppeld aan kostencurve (illustratief)

In de literatuur zijn diverse reductiekostencurves voor emissiereductie in verkeer en vervoer te vinden. Kenmerkend is dat ze reductieopties rangschikken naar kosteneffectiviteit ten opzichte van een referentie (berekend in euro's per vermeden ton CO₂) en tevens aangeven hoeveel CO₂-emissie met elke reductieoptie bespaard wordt. In de Engelstalige literatuur worden deze curves *Marginal Abatement Cost Curves* (MACCs) genoemd.²⁴

Ze verschillen vaak in de uitgangspunten en perspectief van waaruit naar emissiereductie gekeken wordt, waardoor ze onderling moeilijk te vergelijken zijn. De kostencurves zijn per definitie momentopnames, ze gelden op een specifiek moment. De kosten zijn sterk afhankelijk van aannamen bij de berekening, bijvoorbeeld de olieprijs.²⁵ Er is dan ook voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van MACCs. Een sterke waarschuwing om geen verkeerde conclusies te trekken is bijvoorbeeld te vinden in (Ekins et al., 2011).²⁶ De kostencurves houden over het algemeen geen rekening met transactiekosten. Dat wil zeggen dat de kosten van (eventuele) beleidsinterventies om de reductieopties tot stand te brengen vaak niet worden meegenomen.

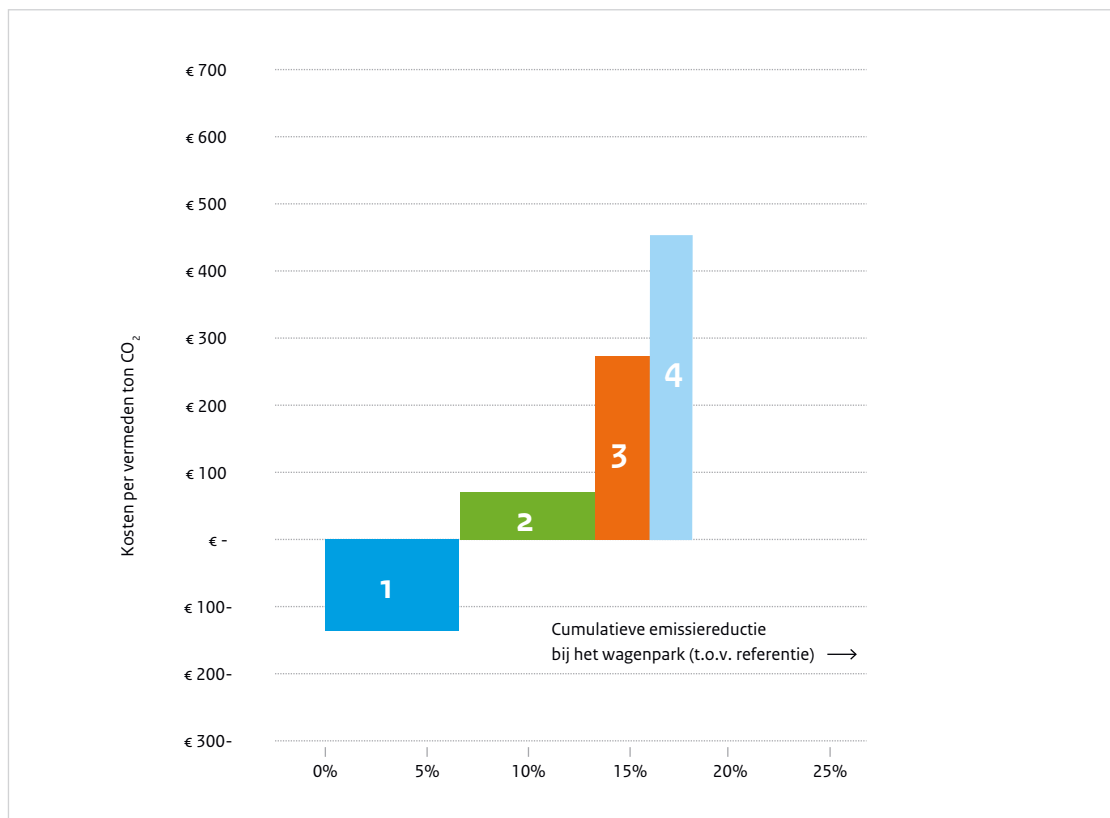
Voor deze studie zien we het concept van de kostencurve als een *hulpmiddel* om reductieopties onderling te vergelijken en inzichtelijk te maken welke knelpunten mogelijk een rol spelen. Figuur 3.2 geeft een gestilleerde kostencurve voor de huidige reductieopties in het wegverkeer, dat wil zeggen in het marktstadium waarin ze zich nu bevinden. Deze bestaat uit grofweg vier blokken, waarbij elk blok staat voor een set reductieopties, waarvan de reductiekosten (de afstand tot de x-as) in dezelfde range liggen. De breedte van een blok staat voor de omvang van de bijbehorende emissiereductie, als percentage van de huidige emissies van het totale wagenpark. Het oppervlak van elk blok (hoogte maal breedte) staat voor de totale kosten van de emissiereductie die ermee geboekt kan worden. Het blok dat onder de x-as ligt (blok 1) heeft negatieve kosten, dat wil zeggen dat ten opzichte van de referentie kosten worden bespaard. N.B. De breedtes en hoogtes in de figuur zijn enigszins willekeurig gekozen, ze moeten niet letterlijk worden opgevat!

²⁴ Voorbeelden in de literatuur: Smokers et al., 2009; Blom et al., 2007; Spencer, 2008; Schroten et al., 2012 (vrachtauto's); Flachsland et al., 2011; Kesicki, 2012.

²⁵ Dit geldt in het bijzonder voor het aspect van kosteneffectiviteit (kosten per vermeden ton CO₂), één van de belangrijkste ingrediënten van de kostencurve. Studies die ingaan op de verschillende manieren om kosteneffectiviteit te berekenen en de verschillende resultaten die dat oplevert zijn bijvoorbeeld Kampman et al. (2006), Smokers et al. (2009) en Kok et al. (2011b). Zij constateren een grote gevoeligheid voor de methode waarmee, en aannamen waaronder, de kosteneffectiviteit is berekend.

²⁶ Zie bijvoorbeeld p. 12, waar wordt ingegaan op de gevoeligheid van de kostenberekeningen voor aannames over kosten van de referentie, verschil in energie-efficiency ten opzichte van referentie, discount rate en voertuiglevensduur. Onder verschillende aannamen kan de reductieoptie zowel goedkoper als duurder zijn dan de referentie.

Figuur 3.2 Gestileerde kostencurve van reductieopties in het wegverkeer, in hun huidige marktstadium. Verhoudingen (breedte, hoogte) zijn enigszins arbitrair. Exclusief transactiekosten van eventuele beleidsinterventies die nodig zijn om de reductieopties te realiseren.



De reductiekosten (y-as) worden uitgedrukt als kosten per vermeden eenheid CO₂; het gaat om kosten ten opzichte van de referentiesituatie waarin geen emissiereductie plaatsvindt. Transactiekosten voor eventuele beleidsalternatieven om de reductieopties af te dwingen of te stimuleren (bijvoorbeeld handhavingskosten) zijn buiten beschouwing gelaten.

De reductieopties met het grootste potentieel voor emissiereductie, zoals de elektrische auto, bevinden zich in hun huidige marktstadium in blok 3. Het aanbod van en de vraag naar deze reductieopties is in deze fase nog maar klein: ze zijn mede door hun huidige hoge kosten hooguit geschikt voor nichemarkten, met een beperkt marktaandeel. Vanwege de kleine aantallen is ook de bereikte emissiereductie maar klein.

Deze kostencurve is een sterke versimpeling: het gaat alleen om out-of-pocketkosten, en niet de eventuele (verborgen) kosten of baten van reductieopties, zoals (dis)comfort, kwaliteitsverlies, optrek-snelheid, imago, die voor de gebruiker wel degelijk meetellen. Als we die wel meenemen, zou blok 1 waarschijnlijk stijgen in kosten. Het is namelijk waarschijnlijk dat verborgen kosten tenminste een deel van de reden zijn waarom deze reductieopties – hoewel ze op het eerste oog rendabel lijken – toch niet worden toegepast. Ook *split incentives* kunnen in blok 1 een rol spelen: de reductieopties zijn dan alleen *netto* rendabel, waarbij sommige actoren vooral de baten en andere de kosten hebben. De actor die geen baten heeft, blokkeert dan vaak het überhaupt toepassen van de optie. Ook is in de kostencurve geen rekening gehouden met subsidies, fiscale voordelen, kosten voor handhaving en monitoring (transactiekosten van beleidsinstrumentarium) en dergelijke.

In tabel 3.2 geven we karakteristieken per blok en voorbeelden van reductieopties die erin vallen. Bijlage D gaat voor een aantal reductieopties dieper in op de (huidige) plek op de kostencurve, zowel qua kosten als emissiereductie.

Tabel 3.2 Beschrijving van de vier blokken met reductieopties.

Blok →	1	2	3	4
Belangrijkste kenmerk	Nu al rendabel wat betreft out-of-pocketkosten	Meerkosten (out-of-pocket) ten opzichte van referentiesituatie beperkt	Dure reductieopties met groot verbeterpotentieel	Dure reductieopties met beperkt verbeterpotentieel
Voorbeelden van reductieopties	Compacte zuinige auto's die nu al op de markt zijn; Zuinige banden; LZV's; Andere rijstijl (à la Het Nieuwe Rijden) en langzamer rijden; E-activiteiten zoals thuiswerken; Automatic Cruise Control voor vrachtwagens; Verschuiving vracht over de weg naar spoor/water	Sommige eerste generatie biobrandstoffen (=op basis van voedselgewassen) en sommige technische maatregelen aan auto's ²⁷	Innovatieve, nog niet-marktrijpe voertuigtypen: zeer zuinige auto's met verbrandingsmotor (<60 g/km); elektrisch voertuig en plug-in hybrides; brandstofcelvoertuig. Geavanceerde biobrandstoffen (op basis van afval, niet-voedselgewassen)	Verschuiving van auto naar OV via kwaliteitverbetering (frequentie, bereikbare bestemmingen); Verschuiving van auto naar fiets/e-fiets via kwaliteitverbetering fietspadennetwerk; ITS platooning
Meest pregnante markt-imperfecties	Informatiegebrek; Split incentive; Hoge private discontovoet	Milieu-externaliteit; Kennisexternaliteit; Informatiegebrek; Split incentive; Hoge private discontovoet	Milieu-externaliteit; Kennisexternaliteit; Kip-ei probleem met infrastructuur; Informatiegebrek (onzekerheden)	
Overheids-imperfecties	Juridische belemmeringen voor inzet LZV's, venstertijden		Complex proces van EU-harmonisatie van technische standaarden (bijv. voor laadstekker elektrische auto)	Wensdenken, gevoeligheid voor lobbygroepen
Andere knelpunten	Verborgene kosten, zoals: disnut van kleine voertuigen en langzaam rijden, disnut van verschuiving naar andere modaliteiten (o.a. kwaliteitsverlies bij overladen, niet overal kunnen komen), kosten van training en scholing	Verborgene kosten. Eerste generatie biobrandstoffen: inzet niet wenselijk vanuit andere milieuaspecten (bijv. luchtvervuiling) en/of concurrentie met voedsel, geringe beschikbaarheid	Verborgene kosten, bijv. lange oplaadtijd, <i>range anxiety</i> , onzekerheid over restwaarde voertuig (accu), onzekerheid over levensduur accu ²⁸ , (gepercipieerde) veiligheid van waterstof	Ze zijn inherent (te) duur om in te zetten met als (enig) doel emissiereductie

²⁷ Zie bijvoorbeeld Kampman et al. (2006) en literatuurverwijzingen hierin.

²⁸ Oplossingen die de markt hiervoor heeft bedacht: voorfinancieren van auto, in maandelijkse termijnen betalen (leasemarkt); onzekerheid over restwaarde accu wegnemen door klanten accu te laten leasen in plaats van kopen; klanten proefritten laten maken.



4

Beleidsopties voor duurzaam wegverkeer

- Efficiënt beleid voor het halen van het 2050-doel voor CO₂-emissiereductie in het wegverkeer steunt op twee pijlers:
 - Eén pijler gericht op *directe* CO₂-emissiereductie;
 - Eén pijler gericht op innovatie/kostenverlaging nu met het oog op *toekomstige* CO₂-emissiereductie.
- Er zijn per pijler verschillende beleidsmaatregelen mogelijk, afhankelijk van politiek-bestuurlijke voorkeuren (op het gebied van bijvoorbeeld rolkeuze, en de vraag welke marktimperfecties/knelpunten opgelost moeten worden).
- Reductieopties die inherent duur zijn, kunnen beter in samenhang met of vanuit andere doelen worden opgepakt, zoals het verminderen van congestie of het verbeteren van de verkeersveiligheid, dan dat ze alleen vanuit het doel van CO₂-reductie gestimuleerd worden.

4.1 Twee pijlers voor beleid: emissiereductie en innovatie

Er is geen *silver bullet* beleidsoptie die alle optredende marktimperfecties (zie tabel 3.1) en knelpunten in één keer oplost. De reductieopties bevinden zich in verschillende marktfasen, waardoor er op hetzelfde moment sprake is van verschillende knelpunten. Dit alleen al vraagt om verschillende beleidsopties, sommige permanent, sommige tijdelijk.

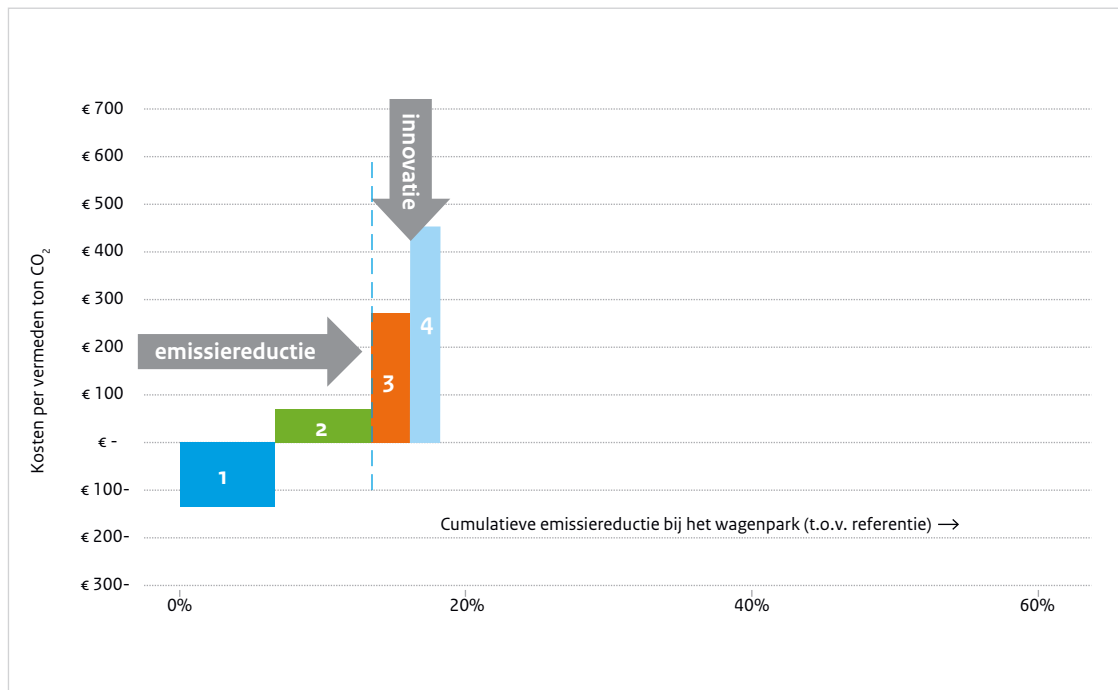
Efficiënt beleid voor het halen van het 2050-doel voor CO₂-emissiereductie in het wegverkeer rust op twee pijlers:

- De pijler ‘emissiereductie’: zet in op directe CO₂-emissiereductie via diffusie van al (bijna) beschikbare en (bijna) marktrijpe reductieopties;
- De pijler ‘innovatie’: zet nu in op innovatie bij reductieopties die potentieel kansrijk zijn en verbeterpotentieel hebben, maar die nu nog niet beschikbaar zijn voor de massamarkt, met het doel dat deze *in de toekomst* emissiereductie opleveren.

Beleid in de pijler ‘emissiereductie’ leidt letterlijk tot CO₂-emissiereductie; het effect is in principe meetbaar: een aantal ton CO₂ ten opzichte van een referentiesituatie.²⁹ Beleidsopties in deze pijler richten zich op het stimuleren van reductieopties die al (bijna) beschikbaar en marktrijp zijn. Dit doen ze door het internaliseren van milieukosten en het wegnemen van knelpunten op het gebied van diffusie, zodat de nieuwe technologie de mogelijkheid krijgt een bestaande technologie te verdringen. Als hierbij de goedkoopste reductieopties als eerste worden gerealiseerd, is het beleid behalve effectief ook efficiënt.

Het doel van beleid in de pijler ‘innovatie’ is het boeken van leereffecten, zodat de nu nog niet marktrijpe reductieopties in de toekomst efficiënt kunnen worden ingezet. Daarbij gaat het er in belangrijke mate om te bewerkstelligen dat deze reductieopties goedkoper worden danwel de prijs-kwaliteitverhouding verbetert. Bij dit beleid is emissiereductie nu geen hoofddoel, maar in dit stadium vooral bijvangst; doel is emissiereductie in de toekomst. De leereffecten die dit beleid beoogt zijn over het algemeen minder goed meetbaar en kwantificeerbaar dan rechtstreekse emissiereductie; CO₂-reductie in tonnen CO₂ is hier geen goede maat. Beleid in deze pijler richt zich met name op het knelpunt dat bedrijven geneigd zijn tot ‘onderproductie’ van kennis en minder kennisuitwisseling dan maatschappelijk wenselijk is. Reden hiervan is dat ze de kosten ervan moeilijk kunnen terugverdienen en hun kennis gratis bij andere partijen terechtkomt. Dit kan gaan om kennis in de ontwikkeling (*learning by research*, R&D), bij het testen en uitproberen (*learning by doing*, prototypes) en bij het gebruik (*learning by using*, nichemarkten). Beleidsopties binnen deze pijler zijn over het algemeen tijdelijk van aard – meebewegend met de verschillende fasen in het ontwikkelproces: R&D, prototype, nichemarkten et cetera – en vooral gericht op het soepeler en sneller laten verlopen van deze fasen. Figuur 4.1 illustreert de twee pijlers aan de hand van pijlen die zijn geplaatst in de (fictieve) kostencurve uit paragraaf 3.3.

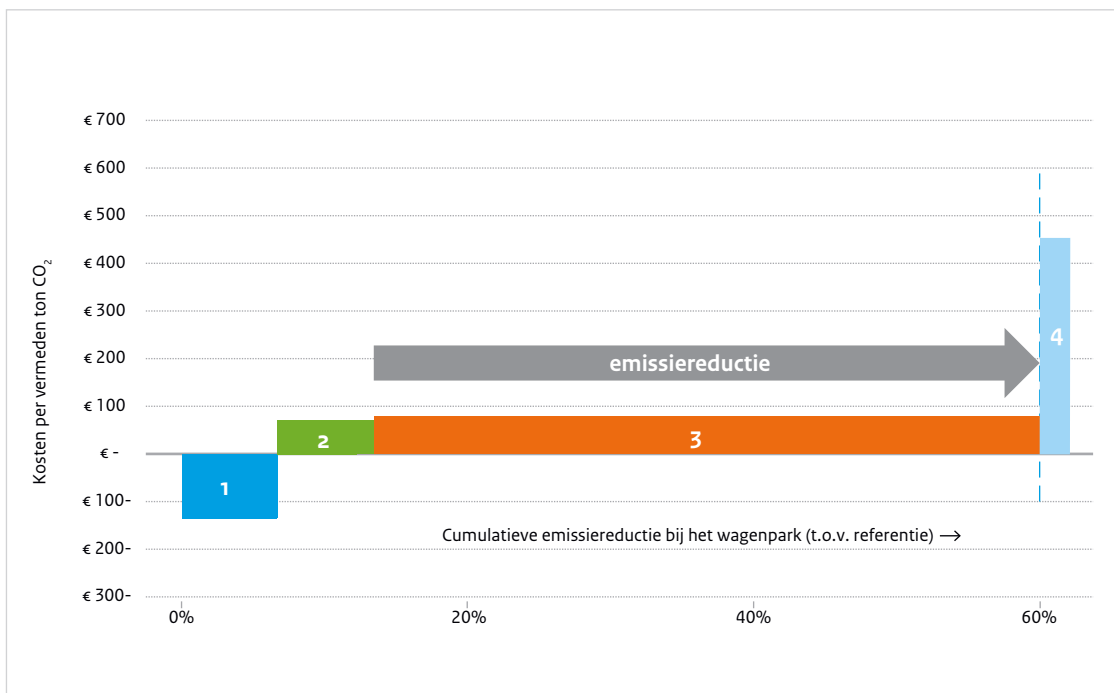
Figuur 4.1 Twee pijlers voor beleid om 2050-doel te halen, ingetekend in de fictieve kostencurve uit paragraaf 3.3.



²⁹ Zij het met de moeilijkheid dat de referentie niet met zekerheid is vast te stellen.

Reductieopties die met behulp van de innovatiepijler succesvol goedkoper zijn geworden en beschikbaar voor de massamarkt, kunnen vervolgens via beleid uit de emissiereductiepijler grootschalige emissiereductie gaan opleveren. In de kostencurve is dit uit te drukken door blok 3 zowel lager als breder te maken: de kosten per eenheid emissiereductie zijn verlaagd en de aantallen vergroot: nieuwe voertuigtypen en brandstoffen penetreren steeds verder in het wagenpark. Zie figuur 4.2.

Figuur 4.2 Als de innovatiepijler succesvol is geweest, komen ook opties uit blok 3 beschikbaar voor emissiereductie.



De grens tussen beide pijlers is overigens niet heel hard te trekken. Ook de emissiereductiepijler levert innovatie (kostenverlaging) op, omdat marktpartijen meestal blijven zoeken naar mogelijkheden om hun winst te maximaliseren en dus emissiereductie zo goedkoop mogelijk te realiseren.

Voor beide pijlers zijn veel verschillende beleidsopties vanuit verschillende overheidsrollen en bestuurslagen denkbaar (EU, Rijk, lokale overheden). De keuze is sterk afhankelijk van politiek-bestuurlijke voorkeuren. Bijvoorbeeld op het gebied van rolopvatting, het wegen van criteria, en als het gaat om de vraag welke marktimperfecties of knelpunten moeten worden opgelost. Ook bijvoorbeeld de vraag of er een 'verdienpotentieel' voor de Nederlandse economie aanwezig is, kan een rol spelen bij de beleidsinzet. Hier valt vanuit de wetenschap geen 'recept' voor te geven. Wel kan de wetenschap helpen om verschillen tussen beleidsopties te duiden en het ontwerp van specifieke beleidsopties aan te scherpen, zodat het beleidsmatig beoogde effect zo veel mogelijk wordt bereikt. Tabel 4.1 geeft een overzicht en voorbeelden van beleidsopties per pijler.

Tabel 4.1 Twee pijlers voor beleid.

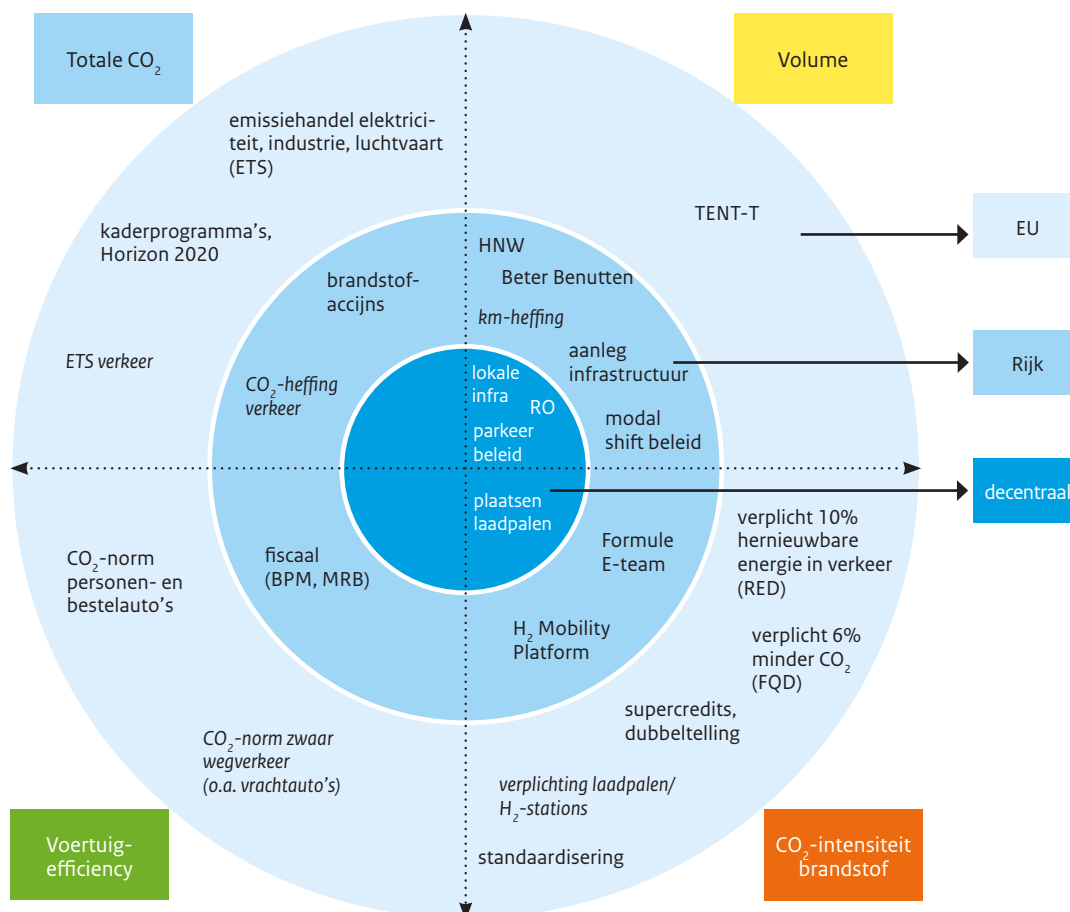
Pijler	Richt zich op	Voorbeelden van beleidsopties
Emissiereductie	Oplossen van de milieu-externaliteit (CO ₂ een prijs geven) en wegnemen van knelpunten bij diffusie van al (bijna) marktrijpe reductieopties. Voor emissiereductie op efficiënte wijze: zorgen dat de goedkoopste reductieopties als eerste worden gerealiseerd.	Financieel: CO ₂ -heffing, CO ₂ -handel, brandstofheffing (accijns), autofiscaliteit, kilometerbeprijzing Normering: CO ₂ -norm voor voertuigen, CO ₂ -norm voor brandstoffen, verplicht aandeel hernieuwbare energie in verkeer Vrijwillig: convenanten
Innovatie	Marktvoorbereiding. Verbeteren prijs-kwaliteitverhouding met het oog op toekomstige efficiënte emissiereductie. Wegnemen van knelpunten in het innovatieproces bij reductieopties die potentieel kansrijk zijn, maar die nu nog niet geschikt zijn voor grootschalige uitrol.	Aankondigen toekomstige aanscherping van beleidsopties uit pijler 'emissiereductie' (bijv. over 5 jaar scherpere CO ₂ -norm voor voertuigen) Extra waardering/stimulering van innovatieve opties binnen beleidsopties uit pijler 'emissiereductie', zoals 'supercredits' en verplicht aandeel 'zero-emission' voertuigen voor halen voertuignorm Gerichte R&D-stimulering: subsidies, fiscale voordelen, prijsvragen Uitrolsubsidies (Proeftuinen) en tijdelijk fiscaal voordeel in nichemarkten Randvoorwaarden verbeteren: standaarden ontwikkelen, juridische belemmeringen wegnemen Verplichte uitrol alternatieve infrastructuur (laadpalen, H ₂ -stations); voorwaarden verbinden aan concessies Overheid als <i>launching customer</i>

4.2 Huidig beleid

In figuur 4.3 zijn de beleidsopties die momenteel worden toegepast ingetekend in een cirkel met de drie beleidslagen (EU, Rijk, lokale overheden) en vier kwadranten: de drie bekende 'knoppen' plus één knop voor de totale emissies. Ook zijn *in cursief* enkele mogelijke *toekomstige* beleidsopties opgenomen. De beleidsopties kunnen zowel onder de emissiereductie- als de innovatiepijler vallen (niet uitgesplitst in de figuur).

In het ideale geval vullen beleidsopties binnen één kwadrant elkaar aan, om geen dubbeling van beleid te krijgen, wat inefficiënt is vanuit het oogpunt van transactiekosten. Bijvoorbeeld de één zich richt op directe emissiereductie (eerste pijler), de ander op innovatie (tweede pijler), of ze pakken elk een ander knelpunt/marktimperfectie aan. Ook beleidsopties in verschillende kwadranten kunnen elkaar onderling aanvullen. We geven onder de tabel drie voorbeelden van de wijze waarop beleidsopties elkaar aanvullen.

Figuur 4.3 Beleidsopties voor CO₂-emissiereductie in het wegverkeer, verdeeld naar knop (de vier kwadranten) en naar beleidslaag (de drie cirkels). Cursief betekent: *Mogelijk in de toekomst*.



Voorbeelden van aanvullingen binnen/tussen kwadranten:

1. In het kwadrant rechtsonder geven zowel de supercredits³⁰ als de verplichting voor laadpalen en H₂-stations³¹ een stimulans aan elektrische auto's en brandstofcelauto's. Het verschil is dat de eerste dit doet door het belonen van autofabrikanten voor kennisontwikkeling en marktintroductie van deze voertuigen, terwijl de tweede beoogt de 'kip-ei' marktimperctie op het gebied van infrastructuur op te lossen. Beide vallen onder de pijler 'innovatie', maar ze zijn gericht op verschillende marktimpercties.
2. In het kwadrant linksonder is het de vraag in hoeverre de Europese CO₂-norm voor personen- en bestelauto's en het Nederlandse fiscale beleid³² elkaar aanvullen of overlappen. Beide vallen onder de pijler 'emissiereductie' en richten zich op grootschalige diffusie van energiezuinige voertuigen. Verschil tussen beide is dat de Europese norm leidt tot emissiereductie in het totale Europese wagenpark, terwijl het Nederlands fiscaal beleid leidt tot *extra* emissiereductie in het Nederlandse wagenpark

³⁰ Een innovatieprikkel binnen de Europese CO₂-norm voor auto's: een auto die minder uitstoot dan 50 g/km telt tot 2016 een aantal keer mee voor het halen van de 130 g/km-norm (2012 en 2013 : x 3,5 , 2014: x 2,5; 2015: x 1,5).

³¹ EU-lidstaten moeten in 2020 een minimaal aantal laadpalen en waterstof-tankstations beschikbaar hebben, conform de Richtlijn betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen COM(2013) 18 final.

³² Zoals de CO₂-differentiatie van de BPM en de MRB-vrijstelling voor zeer zuinige auto's.

- overigens zonder extra emissiereductie in het Europese wagenpark³³. Deze laatste levert zo een kleine extra bijdrage³⁴ aan de verplichting van 16 procent emissiereductie in 2020 voor Nederlandse non-ETS-sectoren, zoals aan Nederland is toebedeeld in de *effort sharing decision*³⁵. Beide vallen *niet* onder de innovatiepijler, omdat ze vooral zorgen voor diffusie van een al marktrijpe technologie, die alleen nog een laatste zetje nodig had: autofabrikanten haalden de 130 g/km-norm, die geldt voor 2015, gemiddeld genomen al in 2012, terwijl sterke kostprijsstijgingen van auto's zijn uitgebleven; ook bieden autofabrikanten al ruimschoots auto's aan die voor de Nederlandse BPM-vrijstelling in aanmerking komen³⁶.
3. De CO₂-norm voor voertuigen in het kwadrant linksonder is een aanvulling op de brandstofaccijns³⁷ in het kwadrant linksboven. Deze combinatie van norm en brandstofheffing wordt onder meer bepleit door het International Transport Forum (OECD/ITF, 2008). Beide vallen onder de pijler 'emissiereductie', maar er kan beargumenteerd worden dat ze zich richten op een andere marktimperfectie:
 - a. De brandstofheffing speelt een rol bij het internaliseren van externe milieukosten;
 - b. De CO₂-norm voor voertuigen richt zich op de marktimperfectie dat consumenten en bedrijven een korte terugverdientijd hanteren (hoge discontovoet), waardoor ze een zuinig voertuig dat duurder is in aanschaf, maar wel *in de toekomst* lagere brandstofkosten met zich meebrengt, minder positief waarderen dan vanuit maatschappelijk oogpunt optimaal zou zijn. Door de norm wordt de keuze van consumenten vanzelf in de maatschappelijk optimale richting 'geduwd'.

4.3 Beleidsopties binnen pijler 'emissiereductie'

Beleid in deze pijler richt zich op de aanpak van marktimperfecties³⁸ op het gebied van milieu en diffusie uit tabel 3.1. De grootste marktimperfecties is de zogeheten milieu-externaliteit: het feit dat CO₂ in de markt geen prijs heeft en CO₂-reductie daarmee niet wordt gewaardeerd. Deze imperfectie kan op verschillende manieren worden opgelost. In de literatuur worden – met de overheid in de rol van regulator – de volgende opties vaak genoemd:

- emissieheffing;
- emissiehandel (cap-and-trade);
- kilometerbeprijzing;
- normen.
- En met de overheid in de rol van facilitator:
- vrijwillige afspraken met marktpartijen (convenanten).

Een tweede mogelijke marktimperfectie is de hoge private discontovoet. Zelfs als externe milieukosten al zijn geïnternaliseerd, kan dit een belemmering blijven vormen. Dit knelpunt kan ook op meerdere manieren worden opgelost.

³³ De EU-norm geldt voor de gemiddelde verkopen van autofabrikanten binnen de EU. Autofabrikanten mogen de verkoop van zuinige auto's in Nederland (gestimuleerd door Nederlands fiscaal beleid) 'compenseren' met de verkoop van minder zuinige auto's elders in de EU. Het fiscaal beleid zuigt als het ware zuinige auto's aan naar Nederland, zonder dat fabrikanten in zijn totaliteit méér zuinige auto's produceren. Dit wordt ook wel een 'waterbedeffect' genoemd.

³⁴ Kok et al. (2011a) geven als effect van het fiscale stimuleringsbeleid in de periode 2007-2011 dat nieuwverkopten jaarlijks 1,3 procent extra zuiniger zijn geworden. In het laatste onderzochte jaar, 2010, was de extra emissiereductie die dit Nederland opleverde circa 0,06 megaton.

³⁵ http://ec.europa.eu/clima/policies/effort/index_en.htm

³⁶ De BPM-vrijstellingsgrens ligt in 2013 bij 95 g/km (benzine) en 88 g/km (diesel). Sinds 2011 wordt de grens in jaarlijkse stappen aangescherpt, tot 83 g/km in 2015, omdat het aantal vrijgestelde auto's dreigde op te lopen van 30 procent in 2011 naar 62 procent in 2015, ten koste van 600 miljoen euro belastinginkomsten (MinFin, 2011). De MRB-vrijstelling voor zuinige auto's vervalft in 2014.

³⁷ Maar ook een eventuele toekomstige emissieheffing danwel ETS voor verkeer in dit kwadrant. Bijvoorbeeld Creutzig et al. (2011) geven argumenten voor het combineren van voertuignormen met een cap-and-trade systeem.

³⁸ In deze en de volgende paragraaf kiezen we de economische invalshoek, die gefocust is op het oplossen van marktimperfecties (zie paragraaf 3.2).

Een optie is het stellen van een voertuignorm; zie ook het derde voorbeeld in de vorige paragraaf. Hierdoor past het marktaanbod zich vanzelf aan zonder dat autofabrikanten zich hoeven af te vragen of er wel een marktvraag is, er wordt dus een markt gecreëerd. Hier zitten wel grenzen aan: het is niet efficiënt om normen zo strak te stellen dat de norm leidt tot een duur voertuig, dat ook vanuit maatschappelijk oogpunt³⁹ niet kostenoptimaal is. En het is evenmin efficiënt wanneer een automobilist er financieel zo veel op vooruit gaat - doordat de aanschafkosten worden overgecompenseerd met lagere brandstofkosten - dat er een stimulans ontstaat om veel meer te gaan rijden, wat het beoogde effect weer teniet zou doen. Het gaat dus om maatwerk.

Andere manieren zijn het geven van voorlichting over terugverdienen, het spreiden van aanschafkosten (bijvoorbeeld via een maandelijks huur- of leasebedrag) of een belastingmaatregel die de aanschafkosten omlaag brengt.

Daarnaast kunnen ook informatiegebrek in de markt en de aanwezigheid van *split incentives* de oorzaak zijn dat niet voor kosteneffectieve reductieopties wordt gekozen, zelfs als CO₂-kosten zijn geïnternaliseerd. Als de kosten van interveniëren opwegen tegen de baten, is het efficiënt om partijen te informeren en *split incentives*⁴⁰ weg te nemen. Het laatste kan bijvoorbeeld door de partij die geen voordeel heeft bij de reductieoptie te verplichten mee te werken, fiscaal te belonen of subsidie te geven als hij meewerkt.

De opties in de rol van regulator bieden over het algemeen iets meer zekerheid over het te bereiken effect dan in de rol van facilitator, in samenhang met de aard van de rol – dwingend versus stimulerend. Veel hangt echter ook nog af van het specifieke ontwerp, de mate van handhaving, mogelijkheid tot bijsturen en dergelijke. Zijn bijvoorbeeld in een convenant sancties opgenomen voor het geval de afgesproken doelen niet worden gehaald? En ook binnen de regulatorrol zijn er grote verschillen in de kans op effect. Zo kunnen partijen bij een emissieheffing ervoor kiezen de emissieheffing gewoon betalen, zonder emissiereducerende maatregelen te nemen. Dat is dan wel efficiënt, maar niet effectief.

Hieronder gaan we nader in op de belangrijkste opties binnen deze pijler.

Emissieheffing/brandstofheffing

Een emissieheffing draagt bij aan het internaliseren van maatschappelijke CO₂-kosten. Wanneer dit volledig gebeurt zou het gaan om minstens 80 euro per ton CO₂ (Proost, 2008 en IEA, 2012)⁴¹. Omgerekend komt dit neer op een accijnsverhoging van minstens 19 cent per liter benzine, 21 cent per liter diesel en 24 cent per kg LPG.⁴²

Met het internaliseren van CO₂-kosten snijdt het mes aan twee kanten. Het gebruik van fossiele brandstoffen wordt duurder gemaakt en daarmee ontmoedigd. Tegelijkertijd worden alle reductieopties (inclusief minder rijden) met meerkosten die lager zijn dan de CO₂-prijs gestimuleerd, omdat ze rendabel worden. Deze reductieopties zullen door de partijen die de CO₂-kosten ervaren zo veel mogelijk worden ingevoerd. De markt voor fossiele opties wordt dus verkleind, die voor CO₂-reductieopties vergroot. De markt selecteert zelf welke reductieopties wel en niet rendabel zijn en houdt daarin automatisch rekening met verborgen kosten, zoals disnut, kwaliteitsverlies, et cetera.

³⁹ Dat wil zeggen: bij de maatschappelijke discontovoet, bijvoorbeeld de 2,5 procent die in Nederland vaak voor MKBA's wordt gehanteerd (MinFin, 2007).

⁴⁰ Een voorbeeld is de leaseautorijder met een plug-in elektrische auto, die ook op benzine kan rijden, die er geen baat bij heeft deze auto zo veel mogelijk in de elektrische modus te laten rijden.

⁴¹ Deze bronnen geven respectievelijk schadekosten en preventiekosten; zie ook voetnoot 17.

⁴² Eigen berekening KiM. Ter vergelijking: de huidige accijns bedraagt 73-81 ct/l (benzine ongelood-gelood), 43-44 ct/l (diesel zwavelvrij-niet-zwavelvrij) en 17 ct/kg (LPG).

Als de externe kosten (van orde grootte 80 euro per ton) nu zouden worden geïnternaliseerd, levert dit een bepaalde hoeveelheid emissiereductie op, maar nog zeker geen 60 procent emissiereductie ten opzichte van 1990, zoals het beleidsdoel is. Vergelijk: hooguit worden de reductieopties uit blok 1 en 2 van de kostencurve uit paragraaf 3.3 gerealiseerd, maar waarschijnlijk zelfs die niet volledig, omdat de kosten in werkelijkheid toch hoger blijken te liggen (verborgen kosten), door informatiegebrek of andere knelpunten. Hoe sterk partijen reageren op een prijsverhoging, hangt onder meer ook af van de elasticiteit van hun vraag en van het al of niet voorhanden zijn van een alternatief. In principe geldt: hoe hoger de heffing, hoe hoger de emissiereductie. 60 procent emissiereductie zou met een heel hoge emissieheffing wellicht te forceren zijn, maar dan vooral via de route van vraaguitval (minder mobiliteit), aangezien potentiële andere reductieopties niet grootschalig beschikbaar zijn. Dit is economisch uiteraard niet efficiënt.

Emissiehandel (cap-and-trade)

Het principe van emissiehandel is dat partijen die emissies uitstoten moeten beschikken over emissierechten, waarvan er te weinig beschikbaar zijn in verhouding tot de vraag - er is een plafond -, zodat er schaarste is en er een prijs voor emissierechten tot stand komt. Dit is ook een vorm van internaliseren van CO₂-kosten. Het verschil met een emissieheffing is dat op voorhand niet bekend is wat de CO₂-prijs wordt en of deze de maatschappelijke kosten geheel of gedeeltelijk internaliseert. De mogelijkheid bestaat zelfs dat er teveel maatschappelijke kosten worden verrekend. Emissiehandel geeft echter wel zekerheid over het effect, namelijk dat de emissies binnen het plafond blijven. Emissiehandel kent veel ontwerpknoppen, zoals het plafond, het veilen of gratis weggeven van rechten en dergelijke. Zie hiervoor ook onderstaand kader.

Net als bij de emissieheffing geldt dat het niet efficiënt is om het CO₂-emissieplafond nu al te stellen op 60 procent reductie ten opzichte van 1990, omdat er nu nog geen kosteneffectieve reductieopties beschikbaar zijn.

Overeenkomsten en verschillen emissieheffing en emissiehandel

Overeenkomsten: Beide geven CO₂ een prijs in de markt. Beide zorgen voor een prikkel tot emissiereductie bij alle drie de knoppen: volume, voertuigefficiëntie en brandstof. De reductieopties die het goedkoopste zijn zullen als eerste worden gerealiseerd.

Het politieke draagvlak is voor beide meestal niet groot, maar kan door het specifieke ontwerp wel groeien (heffing/plafond minder streng, inkomsten uit heffing/veiling terugsluizen, emissierechten (deels) gratis weggeven en dergelijke), maar dit heeft wel zijn weerslag op de effectiviteit en efficiëntie van de maatregel. Omdat CO₂ ontstaat door de verbranding van fossiele brandstoffen, ligt het voor de hand om de heffing/emissiehandel toe te passen in de brandstofketen. Dit kan op verschillende niveaus, bijvoorbeeld bij producenten (oliemaatschappijen), leveranciers, distributeurs of gebruikers (automobilisten) van fossiele brandstoffen. Bij de keuze kunnen overwegingen van effectiviteit (een zo groot mogelijk deel van de brandstofketen meenemen), efficiëntie (zo veel mogelijk reductieopties stimuleren, bijvoorbeeld ook *well-to-tank* bij brandstofleveranciers) en transactiekosten (zo laag mogelijk, bijvoorbeeld zo min mogelijk belastingplichtigen) een rol spelen. De CO₂-prijs levert uiteindelijk een brandstofprijsstijging aan de pomp op. Dit geeft automobilisten een prikkel voor emissiereductie via 'volume' (minder (ver) rijden), 'voertuigefficiëntie' (gaspedaal, aanschaf zuiniger voertuig) en 'CO₂-intensiteit brandstof' (aanschaf voertuig dat rijdt op een alternatieve (CO₂-armere) energiedrager, bijvoorbeeld een elektrisch voertuig).

Verschillen: Bij een systeem van emissiehandel kunnen partijen onderling handelen. Sommige partijen voeren emissiereducties uit, waardoor ze het kopen van emissierechten uitsparen of, bij gratis verstrekte emissierechten, rechten overhouden die ze kunnen verkopen aan andere deelnemers. Bij een emissieheffing betaalt een partij de CO₂-prijs of spaart die uit door CO₂-reductieopties te treffen; er is dus geen sprake van overdracht tussen partijen, behalve naar de heffende instantie. De transactiekosten onder beide systemen zijn dus verschillend evenals de mogelijkheden om onder betaling van de CO₂-prijs uit te komen. Dit heeft ook gevolgen voor het draagvlak voor het instrument bij partijen.

Een ander belangrijk verschil tussen een emissieheffing en emissiehandel is dat bij een heffing op voorhand niet duidelijk is hoeveel emissiereductie zal plaatsvinden, maar wel hoe hoog de CO₂-prijs (=de emissieheffing) is. De kosten voor de partijen die de heffing moeten betalen zijn gemaximeerd. Bij emissiehandel, waar in het systeem ingebakken zit dat er een plafond is aan het aantal rechten, is de emissiereductie wel op voorhand duidelijk, maar de CO₂-prijs (=emissierechtenprijs) niet. Daardoor kunnen de kosten voor bedrijven mee- of tegenvallen. Om efficiënt te zijn, moet de overheid het emissieplafond zo afstellen dat de prijs van emissierechten uitkomt op of rond het efficiënte niveau van 80 euro per ton CO₂. Dit is echter geen sinecure, omdat daarvoor kennis nodig is over de kosten van reductieopties. (Zie ook de huidige problemen rond het EU-ETS, waar wel het emissiereductiedoel wordt gehaald, maar dit eigenlijk komt door een tegenvallende economische groei met vraaguitval als gevolg, en niet door benutting van reductieopties. Was de prijs van emissierechten die bij aanvang van het ETS werd verwacht, vastgelegd in een emissieheffing, dan zou de bereikte emissiereductie nu veel hoger zijn.)

Er is veel discussie onder economen⁴³ of het efficiënter is met een emissieheffing of met emissiehandel te reguleren (*price versus quantity regulation*). Dit blijkt sterk af te hangen van de omstandigheden, zoals de steilte van kostencurves: er is meer dan één antwoord mogelijk.

Normen

Ook een norm is een mogelijke beleids optie om CO₂-kosten te internaliseren. Deze werkt alleen niet direct op de prijs van emissies, maar indirect doordat aan een product (een voertuig of de brandstof) bepaalde CO₂-eisen worden gesteld, die op hun beurt (kunnen) leiden tot kosten. Ten opzichte van emissiehandel en een emissieheffing, is een norm sterker voorschrijvend. Dit is mede de reden waarom een voertuignorm ook werkt om de marktperfectione van een hoge private discontvoet op te lossen: consumenten en bedrijven hebben geen andere keus dan deze voertuigen die pas in de toekomst baten opleveren toch aan te schaffen. In de economische theorie geldt een norm op de milieuprestatie (bijvoorbeeld x gram per kilometer) als efficiënter, dus meer welvaartsverhogend, dan een norm die een specifieke technologie voorschrijft, zoals gebruik van lichtgewichtmaterialen, vanwege de grotere keuzevrijheid. Of de kosten van CO₂ worden geïnternaliseerd, hangt bij een voertuignorm af van de vraag hoe streng deze norm is. Als de voertuignorm zorgt voor een nettobesparing voor de automobilist (lagere brandstofkosten compenseren de hogere aanschafprijs), gaan zijn kosten juist omlaag en zou je kunnen zeggen dat CO₂-kosten niet zijn geïnternaliseerd. Er ontstaat zelfs een stimulans om meer te rijden. Dit wordt ook wel een *reboudeffect* genoemd. Hoe groot dit effect is hangt af van de vraagelasticiteit van de betreffende bestuurder.

In Europa bestaat momenteel al een CO₂-voertuignorm voor nieuwe personenauto's en bestelauto's (respectievelijk 130 g/km in 2015 en 147 g/km in 2017). Autofabrikanten kunnen zelf bepalen (keuzevrijheid) hoe ze aan deze norm voldoen, bijvoorbeeld via aerodynamica, zuinigere motor, hybrides et cetera. Voor zwaar wegverkeer, zoals vrachtauto's en bussen, is een Europese CO₂-norm in ontwikkeling. De mate van emissiereductie is afhankelijk van de strengheid van de norm en de mate van handhaving. Een eventueel reboudeffect maakt het uiteindelijke effect onzekerder.

⁴³ Zie bijvoorbeeld Hepburn (2006), De Mooij et al. (2012), McKibbin en Wilcoxon (2002).

Verder bestaan er Europese normen op het gebied van brandstof. Deze sturen op het aandeel hernieuwbare energie en CO₂-reductie in de brandstofmix voor verkeer en vervoer (de *Fuel Quality Directive* en de *Renewable Energy Directive, RED*). In figuur 4.3 zijn deze normen in het kwadrant 'CO₂-intensiteit van de brandstof' geplaatst. Omdat een brandstofnorm, zeker naarmate hij scherper wordt gesteld, ook een prijsstijging van brandstof veroorzaakt, kan indirect ook een effect ontstaan op de andere twee knoppen: volume en voertuigefficiëntie.

Het ontwerpen van een goede norm is complex. Voor een maatschappelijk efficiënte norm moeten bij voorkeur de marginale kosten voor bedrijven die de norm krijgen opgelegd onderling niet te zeer uiteenlopen (Goulder en Parry, 2008). Dit vereist bij de overheid kennis over kosten die bedrijven moeten maken voor verschillende niveaus van emissiereductie. Dit is kennis die vooral bij bedrijven aanwezig is, zodat de overheid in een afhankelijke positie verkeert, waarbij het risico van beïnvloeding bestaat. Andere mogelijke problemen zijn: handhaafbaarheid, kosten voor monitoring, fraudegevoeligheid en de vindingsrijkheid van bedrijven om de normstelling anders uit te leggen dan bedoeld is. Dit laatste wordt goed geïllustreerd door het huidige verschil tussen praktijk- en testwaarden voor nieuwe voertuigen. De conclusie is dat de transactiekosten van een norm een serieus punt van aandacht zijn.

Kilometerbeprijzing versus verplichting/normering op het gebied van volume

Ook kilometerbeprijzing is een mogelijke beleidsmaatregel. Deze richt zich primair op de volumeknop, maar als differentiatie naar milieukeurmerken van voertuigen wordt toegepast, is er ook een effect op de andere twee knoppen. In de onder een vorig kabinet ontwikkelde plannen voor kilometerbeprijzing (Anders Betalen voor Mobiliteit) was niet zozeer volumereductie het doel, als wel het oplossen van congestie. Pas in de tweede plaats was de CO₂/milieuproblematiek aan de orde.

Kilometerbeprijzing laat de markt keuzevrijheid ten aanzien van de vraag of en hoe volumereductie wordt bereikt. Dit geldt daarom als efficiënter dan beleidsopties die minder keuzevrijheid laten, zoals het verplichten van een hogere beladingsgraad bij vrachtwagens of een verplichte verschuiving van transport over de weg naar spoor en water. Dit laatste nog afgezien van de vraag of dit leidt tot CO₂-reductie: dit is afhankelijk van de vervangende modaliteit. Bij kilometerbeprijzing is het vrachtverkeer vrij in de keuze om de kilometerheffing gewoon te betalen, als dat efficiënter is. Als een hogere beladingsgraad of verschuiving naar andere modaliteiten wel kosteneffectief is, komt deze automatisch 'bovendrijven' als reactie van de markt op kilometerbeprijzing.⁴⁴

Vrijwillige afspraken met marktpartijen, waaronder convenanten

Convenanten zijn afspraken waarin deelnemers zich vrijwillig committeren aan het bereiken van doelen die in het convenant zijn afgesproken. Enkele bekende convenanten op het gebied van CO₂-reductie bij verkeer en vervoer zijn:

- het sectorakkoord 'Duurzaamheid in beweging' in het kader van het beleidsprogramma Schoon en Zuinig (2008);
 - het convenant tussen Europese Commissie en ACEA, de brancheorganisatie van autofabrikanten, over een gemiddelde efficiëntie van nieuwverkochte voertuigen van 140 g/km in 2008 (EC, 1998);
- en van recenter datum:
- de Lean & Green afspraken: individuele bedrijven beloven om op bedrijfsniveau in vijf jaar tijd 20 procent emissiereductie te realiseren;
 - de Green Deal zero-emissie busvervoer: vanaf 2025 rijden alle OV-bussen emissievrij.

⁴⁴ Tenzij er sprake is van *split incentives*.

Het valt niet binnen de scope van deze studie om deze convenanten te evalueren. In het algemeen valt te zeggen dat de effectiviteit van convenanten onzeker is. Een empirische studie van de Erasmus-universiteit over convenanten op het gebied van energiebesparing, concludeert zelfs dat er geen tot weinig bewijs is dat convenanten effectief zijn (Dijkgraaf et al., 2009). Effecten hangen sterk af van het ontwerp en het type afspraken dat is gemaakt over monitoring, handhaving en dergelijke.⁴⁵ De vormgeving van de convenanten is dus cruciaal. Het mislukken van het convenant tussen de Europese Commissie en ACEA (over 140 g/km in 2008) vormde de aanleiding voor de 'harde' 130 g/km-norm die in 2008 is afgesproken.

Specifiek overheidsbeleid om CO₂ te reduceren via andere modaliteitskeuzes?

Een verandering van modaliteit in het vrachtverkeer (van weg naar spoor en water) om volumereductie in het wegverkeer te bewerkstelligen geldt als moeilijk te realiseren. Volgens onderzoek zou een zeer zwaar beleidspakket nodig zijn (dat bovendien als risico heeft dat vooral vraaguitval wordt bereikt in plaats van een andere modaliteitskeuze) voor een relatief gering effect op het aantal vrachtautokilometers en daarmee ook een gering effect op de CO₂-uitstoot (PRC, 2007).

Bij personenauto's is een verschuiving van de auto naar openbaar vervoer en (elektrische) fiets eveneens beleidsmatig moeilijk te realiseren. Deze modaliteiten zijn maar voor een beperkt aantal autokilometers een werkelijk alternatief voor de auto. Emissiereductie via deze route is erg duur omdat kostbare kwaliteitsverbeteringen aan OV en fiets-infrastructuur nodig zijn. Ook het verbeterpotentieel is gering: er is geen vooruitzicht dat CO₂-reductie door verschuiving van auto naar OV en (e-)fiets in de toekomst veel goedkoper te bereiken is. Vanwege deze overwegingen – lage kosteneffectiviteit voor CO₂-reductie en weinig verbeterpotentieel – zouden andere modaliteitskeuzes daarom beter in samenhang met andere beleidsterreinen, zoals verkeersveiligheid, congestiebestrijding en toegankelijkheid, kunnen worden aangestuurd, en niet (alleen) vanuit CO₂-beleid. Zie bijlage D voor een nadere analyse van het potentieel van deze opties voor (vracht)autokilometerreductie.

4.4 Beleidsopties binnen pijler 'innovatie'

Beleid in deze pijler richt zich op de aanpak van marktperfectionering op het gebied van innovatie uit tabel 3.1. Omdat de knelpunten in de loop der tijd kunnen veranderen, bijvoorbeeld doordat reductieopties in een andere marktphase belanden (zoals van prototype naar nichemarkt, zie figuur 3.1), zullen veel beleidsmaatregelen in deze groep een tijdelijk karakter hebben en in de tijd in kracht kunnen afnemen, of op een kleinere groep reductieopties van toepassing worden. Een fiscaal voordeel dat eerst geldt voor voertuigen met een emissie lager dan 50 g/km, kan bijvoorbeeld worden ingeperkt tot een fiscaal voordeel voor voertuigen met een emissie lager dan 25 g/km.

Het effect van dit type beleid is vaak moeilijk meetbaar, zodat het ook moeilijk is om goede, meetbare beleidsdoelen te stellen en te evalueren of deze gehaald worden (Jaffe et al., 2005). Voorbeelden van beleidsopties waarbij de overheid meestal de rol van facilitator vervult, zijn in deze categorie:

1. Aankondigen van toekomstige aanscherping van heffingen, normen, emissieplafonds (de beleidsopties uit de emissiereductiepijler);
2. Specifieke R&D-stimulering;
3. Extra waardering/stimulering van innovatieve opties binnen beleidsopties uit de emissiereductiepijler;
4. Uitrolsubsidies ('Proeftuinen') en/of tijdelijk fiscaal voordeel (in nichemarkten);
5. Randvoorwaarden verbeteren;
6. De overheid als *launching customer*.

⁴⁵ Dijkgraaf et al. geven ook aanwijzingen hoe convenanten effectiever te maken zijn.

Hieronder gaan we nader op deze opties in.

Aankondigen van toekomstige aanscherping van heffingen, normen, emissieplafonds

Van het aankondigen van toekomstige aanscherping van beleidsmaatregelen gaat een innoverende werking uit. Voertuig- en brandstoffabrikanten en andere partijen in de sector weten daardoor dat er een toekomstige markt is voor voertuigen en brandstoffen die aan de scherpere niveaus kunnen voldoen. Ze hebben het vooruitzicht dat hun inspanningen voor innovatie en kostprijsreductie van reductieopties in de toekomst kunnen gaan lonen. (Hekkert en Ossebaard (2010) spreken in dit kader van ‘richting geven aan het zoekproces’.)

Specifieke R&D-stimulering

Het stimuleren van R&D door de overheid komt tegemoet aan de marktperfectionen op het gebied van kennis (externe kennisbaten, *first mover disadvantage*). De stimulering kan zowel generiek als specifiek zijn. Generieke vormen zijn bijvoorbeeld patentbescherming en de Nederlandse WBSO⁴⁶ -regeling, waarvoor iedere ondernemer in Nederland die R&D verricht in aanmerking kan komen. Voorbeelden van specifieke stimulering zijn subsidies aan kennisinstituten voor specifieke R&D-programma's, prijsvragen voor bedrijven, cofinanciering van specifieke R&D-voorstellen van bedrijven, het oprichten van kennisplatforms op een specifiek gebied.

Er valt veel voor te zeggen om in dit geval specifieke R&D te stimuleren. Over het algemeen geldt dat overheden voorzichtig moeten zijn met het aanwijzen van ‘winnaars’ en ‘verliezers’, die wel of juist niet voor overheidssteun in aanmerking komen, vanwege het risico om op het verkeerde paard te wedden of te veel voort te borduren op wat er al is.⁴⁷ Dit betekent echter niet dat elke innovatie even sterk gestimuleerd moet worden. Een middenweg is om te focussen op een beperkt aantal veelbelovende reductieopties en binnen die groep zo neutraal mogelijk te zijn (Jaffe et al., 2005).

De *legitimatie* om specifiek te stimuleren is ten eerste een beperkt overheidsbudget, waardoor er keuzes gemaakt moeten worden. Bovendien zijn er aanwijzingen dat bestaande, vuile technologie evenveel of zelfs meer profiteert van generieke R&D-stimulering dan schone technologie. Dit komt doordat nieuwe kennis meestal voortborduurde op bestaande kennis: innovatoren ‘staan op de schouders van reuzen’ (Aalbers et al., 2012), innoveren is ‘padafhankelijk’ (Hekkert en Ossebaard, 2010, p. 29). Doordat in het verleden al veel kennis is opgebouwd over vervuilende technologie, blijft deze zonder overheidsinterventie een voorsprong houden op alternatieve schone technologie, of wordt de voorsprong zelfs groter. Dit legitimeert gericht R&D-beleid op het gebied van alternatieve voertuigen en brandstoffen.

Jaffe et al. (2005) concluderen uit beschikbare praktijkvoorbeelden dat R&D-stimulering door de overheid de grootste kans van slagen heeft als bedrijven uit de betreffende sector zelf participeren, bij voorkeur in de vorm van samenwerkingsverbanden en consortia.

Ook binnen een specifiek R&D-beleid staan nog veel keuzes open. In het buitenland is bijvoorbeeld ook sprake van R&D op het gebied van schone voertuigtechnologie en brandstoffen. De vraag is dan, waar Nederlandse R&D zich mee bezig zou moeten houden? Deze vraag is niet vanuit de wetenschap te beantwoorden. In het algemeen geldt dat er een voorkeur is voor terreinen waar leereffecten groot kunnen zijn. Het veelgehoorde argument dat Nederland geografisch te klein is om een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van nieuwe technologie, gaat volgens het CPB in ieder geval niet op: ‘De markt voor schone technologie is immers zeer heterogeen, wat betekent dat Nederland op een beperkt aantal deelmarkten wel degelijk een rol zou kunnen spelen’ (CPB, 2010).

⁴⁶ Wet bevordering speur- en ontwikkelingswerk.

⁴⁷ Zie ook de passage over padafhankelijkheid in paragraaf 3.2.

Volgens het CPB zou ‘de relatieve stand van kennis rondom een bepaalde technologie in een land vergeleken met andere landen een reden kunnen zijn om vooral onderzoek op een bepaald terrein te stimuleren.’

Uitrolsubsidie en/of tijdelijk fiscaal voordeel voor innovatieve reductieopties

Het opzetten van een uitrolsubsidierегeling en/of het tijdelijk gunnen van fiscaal voordeel aan innovatieve reductieopties levert een bijdrage aan het wegnemen van marktperfecties op het gebied van learning-by-doing (nichemarkten). Nederland kent nu al een fiscaal voordeel voor zuinige voertuigen, maar het innovatieve effect hiervan is beperkt, omdat er al veel voertuigen onder vallen.⁴⁸ Om meer leereffecten te bereiken zou de grens om voor BPM-vrijstelling in aanmerking te komen veel scherper dan nu getrokken kunnen worden. Voorbeelden van uitrolsubsidies zijn het subsidieprogramma Truck van de Toekomst en de Proeftuin Hybride en Elektrisch rijden. Idealiter worden uitrolsubsidies zo ingericht dat leereffecten maximaal zijn (aan de hand van vooraf opgestelde indicatoren) en *freeriders* zo veel mogelijk worden voorkomen.

Extra waardering innovatieve opties binnen heffing/emissiehandel/norm

Binnen het huidige beleid bestaan al voorbeelden van het extra waarderen van innovatieve opties. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de ‘supercredits’ in de EU CO₂-norm voor auto’s met een CO₂-uitstoot van minder dan 50 g/km en de dubbeltelling van innovatieve brandstoffen in de richtlijn voor hernieuwbare energie (*Renewable Energy Directive, RED*). Deze extra stimulering leidt over het algemeen niet tot emissiereductie, soms zelfs juist tot minder CO₂-reductie, maar heeft als doel om innovatie te stimuleren. Een bijkomend risico is dat bestaande regelgeving door allerlei uitzonderingen en aparte rekenregels zeer complex en ondoorzichtig kan worden en mogelijk ook een complex en duur systeem van monitoring vereist. Een buitenlands voorbeeld is de verplichting in Californië dat autofabrikanten een minimumaandeel ‘zero-emission’ voertuigen (eventueel gecombineerd met plug-in hybrides) op de markt moeten brengen: in 2018 moet elke fabrikant 4,5 procent ZEVs verkopen, in 2025 moet dit op 22 procent liggen (US DOE, 2013). Deze komt bovenop een generieke CO₂-norm voor voertuigen, vergelijkbaar met de Europese voertuignorm.⁴⁹ Hiermee zet Californië geleidelijk de overgang in van marktintroductie naar grootschalige diffusie van elektrische voertuigen. Een verplichting zoals in Californië zou Nederland overigens niet zelf kunnen invoeren. Hiervoor is de EU het bevoegd gezag.

Randvoorwaarden verbeteren

Bij het verbeteren van randvoorwaarden gaat het om opties zoals in Europees verband ontwikkelen van standaarden voor vul- en laadstations voor alternatieve brandstoffen, stekkernormen. Ook betreft het het wegnemen van juridische belemmeringen, zoals het verbod op Lange en Zware Vrachtwagens (LZV’s) in landen buiten Nederland en Scandinavië, of op het gebied van veiligheidsvoorschriften voor vervoer van brandstof over de weg en dergelijke.

Overheid als launching customer

De overheid heeft via haar eigen wagenpark een groot inkoopkracht om een eerste afzetmarkt voor nieuwe voertuigtypen en brandstoffen te creëren, bijvoorbeeld voor elektrische voertuigen. Soms kan zelfs (op lokaal niveau) een eigen nichemarkt worden gecreëerd; een voorbeeld vormen de bussen in Amsterdam die op waterstof rijden en waarvoor een eigen tankstation is gebouwd. Dit tankstation wordt in de nabije toekomst ook toegankelijk voor andere gebruikers. Ook kan de overheid als *launching customer* de zichtbaarheid van nieuwe voertuigtypen in het straatbeeld vergroten en nuttige leereffecten genereren over het gebruik van de nieuwe technologie (*learning-by-using*).

⁴⁸ Zie ook het tweede voorbeeld in paragraaf 4.2.

⁴⁹ In 2025 mag het brandstofverbruik van nieuwe voertuigen in de VS niet hoger zijn dan 54,5 mijl per gallon (mpg) (CAFE Standard). Omgerekend is dit ca 23 kilometer per liter.

4.5 Koppeling met de 2050-ambitie

Mits goed vormgegeven is in theorie zowel met normen, emissiehandel, een emissieheffing als met een convenant de ambitie van 60 procent emissiereductie in 2050 te realiseren. Elk van deze beleidsopties heeft eigen kenmerken op het gebied van zekerheid over effect, efficiëntie, keuzevrijheid aan de markt, ‘span of control’ van Nederland, et cetera. Hieruit ontstaat dan eventueel de noodzaak tot combinatie met andere beleidsmaatregelen om relevante overblijvende problemen op te lossen.

Om de emissiereductiedoelstelling op een kosteneffectieve manier te halen, moeten er wel voldoende kosteneffectieve reductieopties in de markt beschikbaar zijn. Op dit moment is dat nog niet zo. Om kosteneffectieve opties beschikbaar te krijgen, is (innovatie)beleid nodig waarmee de kansrijke, maar nu nog niet marktrijpe, reductieopties worden voorbereid op toekomstige grootschalige inzet. Voor dit innovatiebeleid staan meerdere beleidsopties open, elk ook weer met zijn eigen merites, waarbij de keuze mede zal afhangen van de specifieke marktfase (R&D, prototype, nichemarkten) waarin de kansrijke reductieopties zich bevinden. Het gaat dus om een stap-voor-stapbeleid.

In de emissiereductiepijler gaat het om ‘geleidelijkheid’, dat wil zeggen een continu proces van aanscherping, zodat de kansrijke reductieopties naarmate ze - mede door het innovatiebeleid - kosteneffectiever worden in steeds grotere aantallen in kunnen stromen in het wagenpark.

- Als wordt gekozen voor emissiehandel kan in de periode tussen nu en 2050 het plafond steeds worden aangescherpt (tot uiteindelijk 60 procent emissiereductie). Reductieopties uit blok 3 - die dan intussen in kosten zijn gedaald door de beleidsopties uit de innovatiepijler - vallen dan uiteindelijk ook binnen het emissieplafond. Het plafond zorgt voor zekerheid dat emissiereductie wordt gerealiseerd. Bij de alternatieve voertuigen - een zeer zuinig voertuig met verbrandingsmotor, elektrisch voertuig of brandstofcelvoertuig - gaat het in alle gevallen om nieuwe voertuigen, dus geen ‘retrofit’. Daarom moet bij het bepalen van het tempo van aanscherping van het plafond rekening worden gehouden met de natuurlijke vervangingsgraad van het wagenpark. Het huidige personenautopark telt ongeveer 8 miljoen auto’s, terwijl er jaarlijks circa een half miljoen nieuw zijn. Een volledige vervanging duurt dus circa 16 jaar.
- Bij een emissieheffing worden reductieopties naarmate ze goedkoper worden automatisch aantrekkelijker voor de markt, omdat ze op een gegeven moment goedkoper worden dan de heffing. Hier moet vooral gelet worden op andere knelpunten waardoor partijen de emissieheffing liever gewoon betalen dan dat ze emissiereductie realiseren (c.q. een lage elasticiteit hebben). Hier kan bijvoorbeeld een combinatie met voertuignormen behulpzaam zijn.
- Een brandstof- en voertuignorm kunnen in de periode tussen nu en 2050 steeds verder worden aangescherpt. Een voertuignorm combineert ook goed met een meer generiek systeem van emissiehandel en emissieheffing. Dit omdat het beter dan die twee in staat is de marktimperfectie van de hoge private discontovoet op te lossen.
- Bij de keuze voor een convenant worden bijvoorbeeld met de autobranche afspraken gemaakt over een steeds hoger aanbod van alternatieve voertuigen, met brandstofleveranciers bijvoorbeeld over een toenemend aandeel biobrandstoffen in de brandstoffen die zij leveren. Daarbij is de dekking van het convenant - welke partijen vallen eronder, zijn er geen *freeriders*, gelden de afspraken ook voor nieuwe markttoetreders en dergelijke - een belangrijk punt, evenals de handhaving van de afspraken.

4.6 Effect in 2030 van enkele specifieke beleids- en reductieopties

Deze studie richt zich op 2050, maar veel beleid moet al vanaf nu in gang worden gezet om te zorgen dat het geleidelijke proces van steeds meer emissies reduceren, op tijd voldoende resultaat sorteert. Op verzoek van IenM is daarom gekeken naar het CO₂-effect in 2030 van een aantal door IenM aangedragen reductieopties en beleidsopties.⁵⁰ Het gaat om beleidsopties in de emissiereductiepijler. IenM wil de resultaten gebruiken om een keuze te maken voor een realistisch nationaal tussendoel voor CO₂-reductie in de sector verkeer en vervoer.

Deze analyse van effecten in 2030 is te vinden in bijlage D. Hieronder geven we enkele algemene conclusies.

Reductiepotentieel in 2030

In theorie is het potentieel voor emissiereductie in 2030 100 procent. Dit wordt bereikt als de 'zero-emission' voertuigen (elektrisch, brandstofcel) en/of 'zero-emission' brandstof (biobrandstof) de markt volledig overnemen. Een combinatie met volumereductie (inclusief een verschuiving naar andere modaliteiten, zoals openbaar vervoer en fiets) is daarbij niet perse nodig, maar kan er wel voor zorgen dat:

- enerzijds, in absolute aantallen, minder 'zero-emission' voertuigen nodig zijn omdat het wagenpark kleiner wordt, met bijkomende voordelen voor ruimte en bereikbaarheid;
- anderzijds de absolute hoeveelheid benodigde elektriciteit/waterstof/biobrandstof minder wordt, omdat het wagenpark minder kilometers rijdt.

Dit theoretisch maximum is niet haalbaar voor 2030. Reden daarvan is dat er zowel sprake is van knelpunten die eerst opgelost moeten worden, zoals we eerder in dit rapport zagen, als van het praktische feit dat vervanging van het bestaande wagenpark en opschaling van productiefaciliteiten voor biobrandstof en dergelijke tijd kosten.

De wél mogelijke emissiereductie in 2030 zal sterk afhangen van de beleidsinzet en het specifieke ontwerp van instrumenten (handhaving, ontwijkmogelijkheden, controle, monitoring en dergelijke). Deze bepalen hoeveel er aan de drie knoppen – volume, voertuigefficiëntie en aandeel 'zero-emission' energiedragers – gedraaid gaat worden.

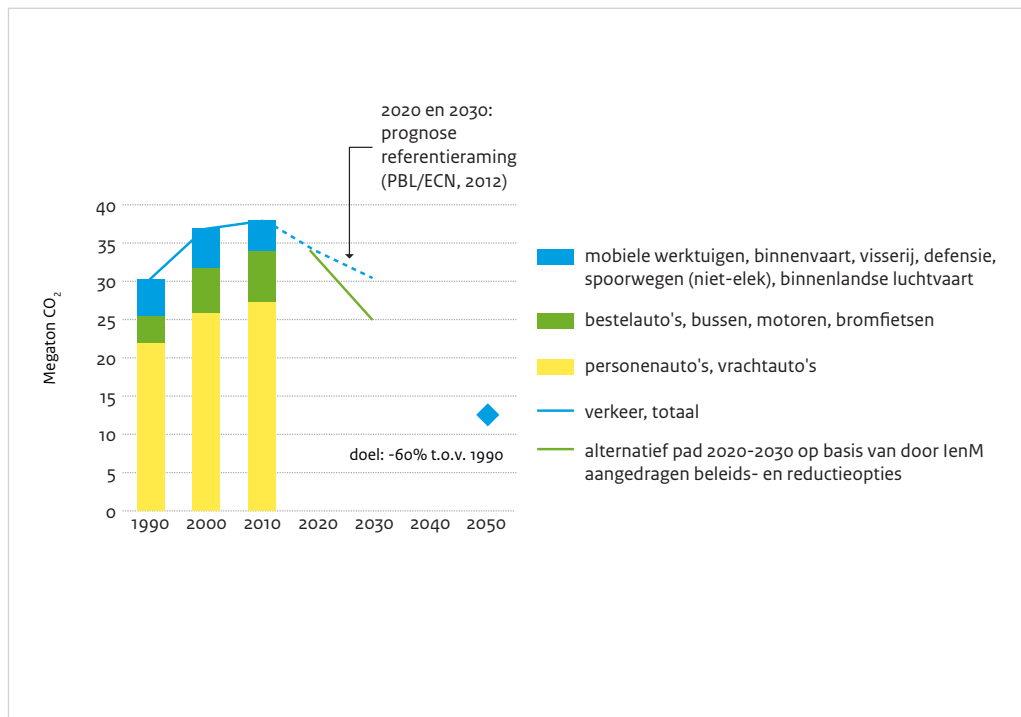
Onder een aantal specifieke aannamen over het niveau van voertuig- en brandstofnormen, schatten we voor 2030 een potentieel van circa 6 megaton emissiereductie in. Deze 6 megaton is een optelsom van:

- 1 megaton emissiereductie onder de knop 'volume', te bereiken via tenminste een zware beleidsinzet (nog nader in te vullen door IenM);
- 5 megaton emissiereductie onder de knop 'voertuigefficiëntie' en 'aandeel zero-emission energiedragers', waarvan 3 megaton via zuinigere voertuigen met verbrandingsmotor en (deels) elektrische en brandstofcelvoertuigen en 2 megaton via inzet van biobrandstoffen; voertuig- en brandstofnormen zijn de bijbehorende beleidsopties.

In onderstaande figuur is dit in het perspectief geplaatst van de referentieraming voor 2030 van PBL en ECN (PBL/ECN, 2012) en het 60 procent reductiedoel.

⁵⁰ Uiteraard zijn beleidsopties en reductieopties twee verschillende dimensies, zodat effecten in principe niet bij elkaar op te tellen zijn: beleidsopties hebben in het algemeen als doel om reductieopties uit te lokken en te stimuleren. De potentie van reductieopties vormt als het ware de begrenzing voor de potentie van beleidsopties. Beleidsopties kunnen ook meerdere reductieopties tegelijk stimuleren.

Figuur 4.4 Reductiepotentieel in 2030 van door lenM aangedragen beleids- en reductieopties (alternatief pad).



Maximaal 1 megaton emissiereductie onder de knop 'volume'

lenM heeft binnen deze knop een aantal reductieopties naar voren gebracht, zoals toepassing van deelauto's, de e-fiets, verschuiving van auto naar openbaar vervoer en fiets, thuiswerken, e-conferencing, verhogen van de beladingsgraad van vrachtwagens en dergelijke. lenM heeft niet gespecificeerd welke beleidsopties ze hiervoor wil inzetten, met uitzondering van het uitbreiden van Lean & Green afspraken met bedrijven.

De potentie van bovengenoemde reductieopties is over het algemeen relatief beperkt. De fiets wordt in Nederland bijvoorbeeld al veel gebruikt; het laaghangend fruit is geplukt. Een nog groter aandeel vergt *push- en pull* beleid: enerzijds (dure) verbeteringen aan de fietsinfrastructuur, anderzijds het onaantrekkelijker maken van het alternatief, de auto. Iets soortgelijks geldt voor het openbaar vervoer (als alternatief voor de auto) en spoor en binnenvaart (als alternatief voor vrachtverkeer over de weg). Het resulterend effect is niet altijd een reductie van kilometers, soms worden ook nieuwe kilometers gegenereerd (bijvoorbeeld bij de deelauto) of vervangt de modaliteit niet de auto maar een andere modaliteit (bijvoorbeeld e-fiets versus gewone fiets, deelauto versus trein/bus) of levert nieuwe kilometers op (de e-fiets voor recreatie).

Bij een zware beleidsinzet kunnen sommige van bovengenoemde reductieopties het verkeersvolume in 2030 met enkele procenten verminderen. Voor andere geldt een maximaal effect op het verkeersvolume van enkele tienden van procenten. Dit is minder dan een halve megaton CO₂ per reductieoptie. Afzonderlijke effecten zijn meestal niet optelbaar, omdat ze op dezelfde doelgroep mikken. Bij sommige reductieopties is er zelfs kans dat verkeersvolumes toenemen in plaats van afnemen. De totale potentie in 2030 van de onderzochte reductieopties onder de volumeknop is bij een zware beleidsinzet naar schatting maximaal 1 megaton emissiereductie ten opzichte van de referentiesituatie.

5 megaton via de knoppen ‘voertuigefficiency’ en ‘aandeel zero-emission energiedragers’

IenM heeft verschillende beleidsopties aangedragen die effect hebben op de knoppen ‘voertuigefficiency’ en ‘aandeel zero-emission energiedragers’: enerzijds (aangescherpte) voertuignormen voor auto’s, bestelauto’s en vrachtauto’s en anderzijds een brandstofnorm, die bijmenging van een bepaald percentage biobrandstoffen verplicht stelt. Voor de voertuignorm geldt dat er onzekerheid is over (tijdige) invoering, omdat de *span of control* van de maatregel in Europa ligt. Een hoger verplicht bijmengpercentage van biobrandstoffen (of als alternatief: een hoger verplicht aandeel hernieuwbare energie in het verkeer) ligt wel binnen de eigen mogelijkheden van IenM. Ook een nationaal emissiehandelssysteem, waarmee aan alle drie de knoppen tegelijk gedraaid word, valt binnen de eigen *span of control*.

Bij de aanname dat de brandstofnorm ervoor zorgt dat het aandeel biobrandstof in het Nederlandse wegverkeer in 2030 16 procent⁵¹ bedraagt, daalt de CO₂-emissie in 2030 ten opzichte van de referentie met circa 2 megaton. Met de voertuignormen voor personen-, bestel- en vrachtwagens is onder de gestelde aannamen over niveau en ingangsdatum van de normen in 2030 een emissiereductie van circa 3 megaton te realiseren. Deze voertuignormen zullen fabrikanten grotendeels halen met zuinige voertuigen met verbrandingsmotoren en deels met elektrische en brandstofcelvoertuigen, ofwel voertuigen die op ‘zero-emission’ energiedragers rijden. Voertuignormen hebben als zodanig effect op zowel de knop ‘voertuigefficiency’ als de knop ‘aandeel zero-emission energiedragers’. Wil Nederland de toename van het aandeel ‘zero-emission’ versnellen (bovenop wat fabrikanten zelf doen om de norm te halen), dan moet Nederland hier apart beleid op zetten, bijvoorbeeld fiscaal beleid.

⁵¹ Dit is het percentage dat de IEA haalbaar acht voor het wegverkeer in de EU in 2035 zonder concurrentie met de voedselvoorziening (IEA, 2012).



Summary

The Ministry of Infrastructure and the Environment wants to reduce CO₂ emissions from Dutch road transport by 60% from the 1990 level by 2050. This presents a considerable challenge. The market (consumers, industry) will not bring about this reduction 'by itself'; policy measures will be needed to remove or reduce the existing obstacles. A major obstacle is the fact that emissions have no price in the market. Another obstacle is that new vehicle and fuel concepts with much potential for reducing emissions are not yet full substitutes for current vehicles and fossil fuels. Developing new knowledge and technologies also poses problems.

To overcome these difficulties effectively and efficiently, government policies must pursue two strategies. The first focuses on implementing reduction options that are already well developed and almost suitable for introduction into the mass market. These will make it possible to achieve *direct* emissions reductions. The second strategy focuses on innovation, in which potentially promising reduction options that are not yet suitable for introduction into the mass market are further developed and their price/performance ratio improved. The aim is to develop options for efficient emissions reductions *in the future*. Various policy options are available for each of these strategies. For example, possible policy options for the first strategy include setting emission standards and establishing an emissions trading scheme for road transport emissions. Policy options for the second strategy include specific R&D subsidies and announcing a tightening of emission standards in the future. Some policy options are within the domain of national government, while others would be within the remit of the EU or regional and local government.

Ambitions for sustainable road transport

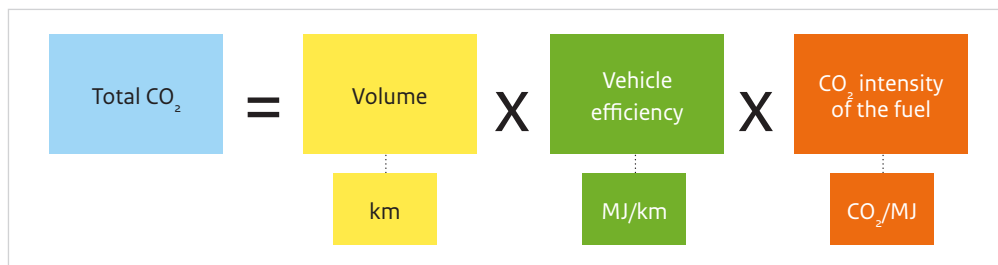
The Ministry of Infrastructure and the Environment wants to establish which policy options can be used to reduce CO₂ emissions from Dutch road transport by 60% from the 1990 level by 2050. CO₂ emissions from road transport are now a third higher than they were in 1990. Reducing CO₂ emissions from road transport is part of the ministry's broader policies for sustainable mobility.

In 2011 the Netherlands Institute for Transport Policy Analysis (KiM) carried out research into the *reduction options*, the physical possibilities, for achieving major reductions in emissions from road transport, especially from private cars and goods vehicles. This present study is a follow-up to the previous research and examines the *policy options* available to the government and other authorities (EU, regional/local) for making real reductions in CO₂ emissions. An important assumption is that the market (consumers, industry) will not take up these options on its own, because various *obstacles* stand in their way. Government can remove or reduce these obstacles by introducing policy measures.

Options for achieving a 60% emissions reduction by 2050

The physical possibilities for reducing road transport emissions by 60% in the period to 2050 can be divided into three categories, which together determine CO₂ emissions from road transport (see Figure S.1). These categories can be thought of as 'levers' which can be pulled to influence CO₂ emissions. This 60% reduction target concerns only the emissions from the vehicles themselves, the 'tank-to-wheel emissions'. Emissions from the extraction, production and distribution of energy carriers for road transport, the 'well-to-tank emissions', are usually not included in road transport emissions, but are allocated to other sectors, such as industry and electricity generation. For this reason, the CO₂ intensity of the fuels here relates only to the CO₂ emissions from the vehicles themselves.

Figure S.1 Three levers for reducing CO₂ emissions from road transport



The reduction options with (as far as we know) the greatest potential for achieving the 60% reduction target for road transport emissions are in the categories 'vehicle efficiency' and 'CO₂ intensity of the fuel'. These include options like electric vehicles and fuel cell vehicles, the use of advanced biofuels and making internal combustion (IC) engine vehicles much more efficient. These reduction options are not yet ripe for large-scale rollout in the national vehicle fleet, but are in various stages of development, varying from the 'R&D stage' for highly efficient IC engine vehicles and advanced biofuels to the 'prototype stage' for fuel cell vehicles and 'niche market applications' for electric vehicles. Efficient reduction of road transport emissions will first require further innovations in these reduction options, especially to considerably improve their price/quality ratios. In addition, an alternative charging/filling infrastructure is an essential requirement for the large-scale rollout of electric and fuel cell vehicles.

Combining these options with volume reduction measures (including a shift to other transport modes, such as public transport and bicycles) can reduce the total number of vehicles needed (conventional or alternative), because the national fleet will grow less quickly or be reduced in size, as well as reduce the amounts of electricity/hydrogen/biofuels needed, because fewer kilometres will be travelled in total. This volume reduction also brings additional benefits for land use and accessibility.

There are also reduction options that are already ripe for market introduction, such as cars with slightly more efficient IC engines, fuel-efficient tyres, driving at slower speeds, etc., but these options have a smaller reduction potential; on their own these will not be enough to meet the 2050 target.

Obstacles hold up implementation of the reduction options

The reduction options that are not yet ripe for market introduction, but which hold great potential for reducing emissions, are being held up by obstacles to innovation and diffusion. Such obstacles always arise when new technologies threaten to break the hegemony of existing technologies (in this case the state-of-the-art IC engine and fossil fuels), but they present even greater obstacles than usual to new technologies designed to reduce emissions. This is because reducing emissions is mainly of value to society as a whole, but often is of little or no direct interest or benefit to the individual transport user,

examples being the use of biofuels and electric cars (long charging times and range anxiety). This is what distinguishes various reduction options for road transport from new technologies that do offer benefits to individual users, such as mobile telephones and airbags.

An incremental 60% emissions reduction by combining the two strategies

The policy ambition of reducing CO₂ emissions from road transport by 60% from the 1990 level by 2050 can be achieved efficiently by pursuing policies based on two strategies:

- Emissions reduction: a focus on *direct* emissions reduction.
- Innovation: a focus on innovation, especially to improve the price/quality ratio, in reduction options that hold promise but which are not yet suitable for the mass market. The goal is to make these reduction options suitable for efficient emissions reduction *in future*.

Combining both strategies will bring the 60% emissions reduction target within reach *incrementally* and efficiently. Under the emissions reduction strategy, efforts will be made immediately for the dissemination of reduction options that are market ready. In the first instance, this will deliver a relatively small reduction in emissions in relation to the target. At the same time, the innovation strategy will ensure that potentially effective reduction options that are not yet ready for market introduction are developed as quickly as possible, especially to improve their price/quality ratios. These reduction options can then be rolled out on a large scale at a later stage – bringing about a major reduction in emissions – under policies for the emissions reduction strategy.

The choice of specific policy options for each of the strategies will be based mainly on political and administrative considerations, depending on preferences and ‘span of control’ (for example, vehicle standards and quality standards for biofuels can only be set at the EU level). Many policy options for CO₂ reduction in road transport can only be pursued at the European level because the EU is often the relevant competent authority and because of the political and administrative desire to create and maintain a European level playing field. National, regional and local governments often have a more facilitating role, for example by providing subsidies for R&D and subsequent rollout of new technologies, issuing permits, making agreements with market actors, etc. The question of whether other interests than making road transport more sustainable are involved, such as an ‘earning potential’ for the Dutch economy, may also be a consideration when deciding on specific policy options.

Emissions reduction strategy: focus on direct CO₂ reduction

The effects of policy options in this strategy are measurable in tonnes of CO₂. The options are geared especially to addressing the problem of the lack of a price for CO₂ in the market and the short payback times observed by both companies and consumers: they prefer vehicles that are cheaper to buy, but more expensive to run, rather than vehicles that are more expensive to buy, but which are cheaper to run. This puts energy-efficient vehicles at a disadvantage compared with less efficient vehicles, which is undesirable from the point of view of society as a whole.

Examples of policies for this strategy are:

- the (gradual) tightening of vehicle and fuel standards;
- emissions trading (with a gradual lowering of the emissions cap);
- emission taxes and fuel duties;
- voluntary agreements with companies on emissions reductions (covenants);
- investments in bicycle and public transport infrastructure.

Each instrument has its own profile regarding certainty of effect, efficiency, market choice, ‘span of control’ for the Netherlands and transaction costs (the costs of the policy intervention itself). Instruments which are directed simultaneously at volume, vehicle efficiency and fuel choice, such as emissions trading and emission taxes, in principle give the market the greatest freedom to adopt the cheapest reduction options first, which leads to cost efficiency.

Focusing on volume reduction in specific market segments – such as a shift from the car to public transport, bicycle or electric bicycle, higher load factors in freight transport, greater use of car shares, etc. – is relatively difficult in relation to the emissions reductions which can be achieved by such measures. The emissions reduction potential can often only be achieved by major policy interventions and/or at high cost, without any prospect of significant improvement in future. There are various reasons for this, such as:

- The bicycle is already a widely used form of transport in the Netherlands and increasing bicycle use would require a major (and expensive) increase in the quality of the cycle infrastructure.
- For many trips, public transport is not a suitable alternative to the car, and rail and inland shipping are not a suitable alternative to the lorry.
- A higher load factor for goods vehicles goes against current trends.

It may be better to stimulate these routes to volume reduction as part of a wider set of policies with objectives like congestion reduction, traffic safety and social accessibility, and not just as a means to reduce CO₂ emissions.

Innovation strategy: focus on enabling efficient emissions reductions in future

The effects of policy options in this strategy are less measurable; the policy outcomes cannot be measured in tonnes of CO₂. Their goal is to facilitate and speed up the innovation process for promising reduction options that are not yet ready for introduction into the market, primarily to obtain considerable improvements in the price/quality ratios of these reduction options. The aim is efficient emissions reduction *in the future*. Policy options in this strategy are directed at the tendency of companies to ‘underproduce’ knowledge and exchange less knowledge than is desirable for society as a whole. They are unable to recoup all or some of the costs of obtaining this knowledge and face a big risk that other parties will be able to profit from the knowledge they have generated. This knowledge may be in the form of learning by research (R&D), learning by doing (testing prototypes) and learning by using (use in niche markets).

Examples of policies for this strategy are:

- specific subsidies for R&D in clean technologies;
- announcing future tightening of taxes/standards/emission caps so that knowledge-creating companies know that in future there will be a market for innovative products;
- subsidies and/or temporary fiscal benefits for product development and rollout in niche markets;
- improving legal and other conditions necessary for large-scale implementation in future;
- the government as launching customer.

Policies in this strategy are tuned to the needs of the developmental stage where promising reduction options can be found (R&D, prototype, first introduction into niche markets). A justification for targeted R&D subsidies for clean technology instead of generic stimulation of all R&D is that new knowledge tends to be built on the foundations of existing knowledge, which gives polluting technologies a head start on clean technologies. Without government intervention there is a risk that this advantage will be perpetuated or even become bigger.



Literatuur

- Aalbers, R., Shestalova, V. & Kocsis, V. (2012). *Innovation policy for directing technical change in the power sector*. CPB Discussion Paper 223. Den Haag: Centraal Planbureau (CPB).
- Agentschap NL (2013). *Elektrisch vervoer in Nederland: highlights 2012*. Utrecht: Agentschap NL.
- Biermans, M., Grand, H. le, Kerste, M. & Weda, J. (2009). *De kapitaalmarkt voor duurzame projecten*. Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.
- Centraal Planbureau (CPB) (2010). *Innovatief klimaatbeleid*. CPB Notitie. Den Haag: CPB.
- Creutzig, F., McGlynn, E., Minx, J. & Edenhofer, O. (2011). Climate policies for road transport revisited (I): Evaluation of the current framework. *Energy Policy* 39 (2011) 2396-2406.
- Dijkgraaf, E., Jong, J.M. de, Spijkerman, M. & Tanis, O. (2009). *Effectiviteit convenanten energiebeleid*. Rotterdam: SEOR, Erasmus School of Economics, Erasmus Universiteit Rotterdam.
- European Environment Agency (EEA) (2011). *Environmental tax reform in Europe: opportunities for eco-innovation*. EEA Technical report no 17/2011. Kopenhagen: EEA.
- Europese Commissie (1998). Geraadpleegd via http://europa.eu/rapid/press-release_IP-98-734_nl.htm.
- Europese Commissie (2011). *A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. COM(2011) 112 final. Brussel: EC.
- Ekns, P., Kesicki, F. & Smith, A. (2011). *Marginal Abatement Cost Curves: A call for caution*. London: University College London Energy Institute.
- Fietsberaad (2013). *Feiten over de elektrische fiets*. Utrecht: Fietsberaad.
- Flachsland, C., Brunner, S., Edenhofer, O. & Creutzig, F. (2011). Climate policies for road transport revisited (II): Closing the policy gap with cap-and-trade. *Energy Policy* 39 (2011) 2100-2110.
- Gillingham, K. & Sweeney, J. (2010). *Market failure and the Structure of Externalities*. Chapter 5 in: *Harnessing Renewable Energy in Electric Power Systems*. B. Moselle, A.J. Padilla en R. Schmalensee (eds.). Washington: Earthscan LLC.
- Goede, M. de & Hoedemaeker, M. (2009). *Daadwerkelijk rijgedrag met Het Nieuwe Rijden*. Delft: Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO).
- Goulder, L.H. & Parry, I.W.H. (2008). Instrument Choice in Environmental Policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, volume 2, issue 2, summer 2008, pp. 152-174.
- Groot, W. (2007). *Geforceerde Modal Shift. Second opinion*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

- Hekkert, M. en Ossebaard M. (2010). *De innovatiemotor. Het versnellen van baanbrekende innovatie*. Assen: Van Gorcum.
- Hendriksen, I. et al. (2008). *Elektrisch Fietsen, Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden*. Leiden: TNO Kwaliteit van Leven.
- Hepburn, C. (2006). Regulations by prices, quantities, or both: a review of instrument choice. *Oxford review of economic policy*, vol. 22, no. 2 (2006).
- International Energy Agency (IEA) (2012). *World Energy Outlook 2012*. Parijs: IEA.
- Jaffe, A.B., Newell, R.G. & Stavins, R.N. (2005). A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological Economics* 54 (2005) 164–174.
- Junginger, M., Visser, E. de, Hjort-Gregersen, K., Koornneef, J., Raven, R., Faaij & A., Turkenburg, W. (2006). *Technological learning in bioenergy systems*. *Energy Policy* 34 (2006) 4024–4041.
- Kampman, B., Bruyn, S. de & Boer, E. den (2006). *Cost effectiveness of CO₂ mitigation in transport. An outlook and comparison to cost effectiveness of measures in other sectors*. Delft: CE Delft.
- Kemp, R. & Pontoglio, S. (2011). The innovation effect of environmental policy instruments – A typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics* 72 (2011) 28–36.
- Kesicki, F. (2012). Intertemporal issues and marginal abatement costs in the UK transport sector. *Transportation Research Part D* 17 (2012) 418–426.
- KiM/CPB (2009). *Het belang van Openbaar Vervoer: De maatschappelijke effecten op een rij*. Den Haag: KiM.
- KiM (2012). *Mobiliteitsbalans 2012*. Den Haag: KiM.
- KiM (2013). *Verkenning beladingsgraad goederenvervoer van 45 naar 65%*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Kok, R., Vervoort, K., Molemaker, R.J. & Volkering, B. (2011a). *Fiscale stimulering (zeer) zuinige voertuigen*. Rotterdam: Ecorys.
- Kok, R., Annema, J.A. & Wee, B. van (2011b). Cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation in transport: A review of methodological approaches and their impact. *Energy Policy* 39 (2011) 7776–7793.
- Ligterink, N.E. & Bos, B. (2010). *CO₂ uitstoot van personenwagens in norm en praktijk – analyse van gegevens van zakelijke rijders*. Delft: TNO.
- McKibbin, W. & Wilcoxon, P. (2002). The role of economics in climate change policy. *Journal of Economic Perspectives* 16, 2: 107–129.
- Ministerie van Financiën (2007). *Brief van de Minister van Financiën d.d. 8 maart 2007. Tweede-Kamerstuk 29 352, nr. 3*. Den Haag: MinFin.
- Ministerie van Financiën (2011). *Informatieblad Zuinige auto's (november 2011)*. Den Haag: MinFin.
- Mooij, R. de, Parry, I.W.H. & Keen, M. (2012). *Fiscal Policy to Mitigate Climate Change. A Guide for Policymakers*. Washington: IMF.

Moorman, S. & Kansen, M. (2011). *Naar duurzaam wegverkeer in 2050*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Nederlandse Emissieautoriteit (NEa) (2012). *Naleving jaarverplichting 2011 hernieuwbare energie vervoer en verplichting brandstoffen luchtverontreiniging*. Den Haag: NEa.

Nijland, H. (2009). Wat kan fietsbeleid betekenen voor het klimaatbeleid? *Tijdschrift Milieu* 3, Jaargang 15, 17-19.

OECD/ITF (2008). *The Cost and Effectiveness of Policies to Reduce Vehicle Emissions. Discussion Paper No. 2008-9, April 2008*. Parijs: OECD/ITF.

OECD (2011). *Innovation in Electric and Hybrid Vehicle Technologies: The Role of Prices, Standards and R&D*. Hoofdstuk 3 in: *Invention and Transfer of Environmental Technologies*. OECD Studies on Environmental Innovation. Parijs: OECD.

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)/Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) (2012). *Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012. Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030*. Den Haag: PBL.

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) (2013). *Spreadsheet IPCC-emissiedata per modaliteit, verstrekt door Gerben Geilenkirchen, maart 2013*. Den Haag: PBL.

Policy Research Corporation (PRC) (2007). *Onderzoek naar de effecten van een geforceerde modal shift. Eindrapport, maart 2007*. Te downloaden via <http://www.kimnet.nl/sites/kimnet.nl/files/filemanager/bijlagen/prc-geforceerde-modal-shift-eindrapport.pdf>.

Proost (2008). *Full Account of the Costs and Benefits of Reducing CO₂ Emissions in Transport. OECD/ITF Discussion Paper No. 2008-3, January 2008*. Parijs: OECD/ITF.

Schroten, A., Warringa, G. & Bles, M. (2012). *Marginal abatement cost curves for Heavy Duty Vehicles*. Background report. Delft: CE Delft.

Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K. & Wee, B. van (2012). The competitive environment of electric vehicles: an analysis of prototype and production models. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 2 (2012) 49-64.

SmartAgent (2011). *Utrechts autodelen: perceptie en praktijk. Een burgerpeiling naar kennis, houding en gebruik van autodelen in de provincie Utrecht*. Amersfoort: SmartAgent.

Smokers, R., Buck, A. de & Valkengoed, M. van (2009). *GHG reduction in transport: an expensive option? Marginal abatement costs for greenhouse gas emission reduction in transport compared with other sectors*. Delft: CE Delft.

Spencer, C. (2008). *Building a UK transport supply-side marginal abatement cost curve*. London: Committee on Climate Change secretariat.

US Department of Transportation (DOT) (2008). *Intelligent Transportation Systems. Benefits, Costs, Deployment, and Lessons Learned. 2008 Update*. Washington: US DOT, Research and Innovative Technology Administration.

US Department of Energy (DOE) (2013). Geraadpleegd 29 mei 2013 via http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2013_fotw771.html.

Vollebergh, H. (2012). *Milieubelastingen en Groene Groei. Verkenning van de mogelijkheden in het kader van het energie- en klimaatbeleid*. Den Haag: PBL.

Vermeulen, R.J. (2006). *The effects of a range of measures to reduce the tail pipe emissions and/or the fuel consumption of modern passenger cars on petrol and diesel*. Delft: TNO.

Waard, J. van der, & Draaijer G.J.A. (1998). *Evaluatie effecten van SVII instrumenten*. Rotterdam: Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Wee, B. van (2009). *Transport policy: what can it and what can't it do?* Proceedings European Transport Conference 2009.

Zuidema, T. (2013). Jaar van de waarheid voor cellulose-ethanol. *Technisch Weekblad*, 1 februari 2013.



Bijlage A

Knelpunten

Deze bijlage is gebaseerd op Moorman en Kansen (2011) en gesprekken/interviews met betrokkenen binnen IenM.

Knelpunten in de vier innovatiesporen van IenM-directie Klimaat, Lucht en Geluid, afdeling voertuigemissies en brandstoffen	Innovatiesporen			
	ICE zuinige verbrandingsmotor (personenauto < 60 g CO ₂ /km)	Duurzaam geproduceerde (vloeibare) biobrandstoffen	Elektrisch rijden (met batterij / accupakket)	Brandstofcel- elektrisch rijden (waterstof)
Knelpunten productie (aanbod- en ontwikkelkant voertuig en brandstof)	* betekent dat knelpunt voorkomt			
Investeringen: het gaat bij de R&D om hoge upfront-kosten met een onzeker resultaat voor bedrijven: verdienen investeringskosten zich wel terug? Wat wil de klant, nu en straks? Is het risico gelijk te delen over verschillende partijen aan de aanbodzijde?	*	*	*	*
Bij vrachtwagens: concurrentie met andere, commercieel interessantere nieuwe voertuigtechnologie/brandstof, zoals rijden op gas (LNG/CNG/biogas), daarom geen aanbodontwikkeling van vrachtwagens die op hoge blends vloeibare biobrandstof kunnen rijden.		*		
Verdienpotentieel: onduidelijk of er in Nederland een dragende thuismarkt mogelijk is voor de ontwikkeling van nieuwe technologieën.	*	*	*	*
WTT-emissies brandstof: huidige productie van elektriciteit en waterstof is niet emissievrij, 100% duurzame productie kan, maar is nog duur; 1 ^e generatie biobrandstof leidt tot weinig CO ₂ -reductie t.o.v. benzine en diesel en heeft duurzaamheidsproblemen.		*	*	*
Efficiëntie brandstof: het is energetisch efficiënter om biomassa rechtstreeks in elektriciteitscentrales in te zetten. Ook het gebruik van waterstof uit elektrolyse is in de keten minder efficiënt dan batterij-elektrisch rijden.		*		*
Beschikbaarheid grondstoffen: problemen om duurzame biobrandstof op grote schaal te produceren, concurrerend landgebruik, beperkte grondstoffen voor batterijen, accu's en brandstofcellen.		*	*	*
Knelpunten bezit/aanschaf (vraagkant)				
Prijs: hoge aanschafprijs alternatieve voertuigen. Ook biobrandstoffen zijn duurder dan fossiele alternatief. Consumentenmassa wil pas duurzaam indien gelijkwaardig product en vergelijkbare prijs.	*	*	*	*
Beschikbaarheid nieuwe voertuigen: beperkte keuze zeer zuinige ICE, H ₂ -auto's, trucks op biobrandstof, dual-fuel trucks.	*	*		*

Knelpunten in de vier innovatiesporen van IenM-directie Klimaat, Lucht en Geluid, afdeling voertuigemissies en brandstoffen	Innovatiesporen			
	ICE zuinige verbrandingsmotor (personenauto < 60 g CO ₂ /km)	Duurzaam geproduceerde (vloeibare) biobrandstoffen	Elektrisch rijden (met batterij / accupakket)	Brandstofeel- elektrisch rijden (waterstof)
Terugverdientijd: consumenten, maar zeker ook vervoerders en verladers (vracht) hanteren korte terugverdientijden, waardoor producten met hoge aanschafkosten en lage gebruiks- en onderhoudskosten minder goed uitkomen.	*	*	*	*
Knelpunten brandstof infrastructuur				
Kip-ei probleem alternatieve tankinfrastructuur: zonder afnemers geen aanbieders en vice versa.			*	*
Terugverdientijd aanbieders: aanloopverlies op alternatieve tankinfrastructuur door relatief lange tijd naar massamarkt en massagebruik van nieuwe technologie.			*	*
Opschaling distributie: grote upfront-investeringen gevraagd om op grote schaal nieuwe brandstof te distribueren (bijvoorbeeld <i>smart grids</i> voor elektrische auto's of pijpleidingen voor waterstof).			*	*
Harmonisering techniek: in EU moet overeenstemming worden bereikt over technische standaarden rond laadpalen, stekkers, H ₂ -vulnippels, ijken etc.			*	*
Knelpunten gebruik (consument)				
Nut en comfort: uitruil tussen comfort en zuinig voertuig (airco, gewicht, grootte, rij-prestatie et cetera)	*		*	
Norm versus werkelijk verbruik: testcyclus en CO ₂ -norm komen niet overeen met werkelijk gebruik. Gerealiseerde brandstofbesparing/emissiereductie kan tegenvallen.	*			
Veiligheid: nieuwe instructies nodig voor hulpdiensten, sleepdiensten, wegenwacht garage- en recyclebedrijven, etc. over hoe veilig om te gaan met nieuwe technologieën. Beleving veiligheid door consument?		*	*	*
Rebound-effecten: de lagere verbruikskosten van een zuinige auto stimuleren meer autogebruik. Geldt ook sterk voor vrachtvervoer.	*		*	*
Snelheidsbeperking: emissieoptimale snelheid (80 km/u) kent weinig maatschappelijk draagvlak, want reistijden nemen toe.	*			
Knelpunten overheid				
Houdbaarheid overheidsfinanciën op lange termijn: derving accijns door minder gebruik fossiele brandstoffen. Inkomsten uit energiebelasting op elektriciteit zijn relatief lager, voor waterstof nog geen belasting.	*	*	*	*
Autofiscaliteit op korte termijn (BPM-differentiatie, MRB-vrijstelling, bijtelling): kosten overheid versus noodzaak tot ondersteuning emissievrije voertuigen. Overlap met Europese CO ₂ -normen voor voertuigen?	*		*	*
Normstelling (1): weerstand vanuit conventionele autolobby: nieuwe normen kunnen niet te scherp zijn, want zijn niet haalbaar en reëel voor fabrikant (en auto's worden te duur voor de consument), maar ook niet te laag, want dan wordt weinig ambitie ingevuld en weinig vooruitgang geboekt.	*	*		

Knelpunten in de vier innovatiesporen van IenM-directie Klimaat, Lucht en Geluid, afdeling voertuigemissies en brandstoffen	Innovatiesporen			
	ICE zuinige verbrandingsmotor (personenauto < 60 g CO ₂ /km)	Duurzaam geproduceerde (vloeibare) biobrandstoffen	Elektrisch rijden (met batterij / accupakket)	Brandstofcel- elektrisch rijden (waterstof)
Normstelling (2): norm CO ₂ -uitstoot personenauto's na 2020 onbekend (bijv. 60-80 g/km in 2025?). Voor vrachtauto's bestaat nog geen norm. Voor bestelauto's lijkt de bestaande norm voor 2020 weinig ambitieus.	*	*	*	*
Normstelling (3): het is voor de overheid moeilijk om één norm te ontwerpen voor een grote verscheidenheid in de markt. In het vrachtverkeer worden acht deelsectoren onderscheiden met elk een zeer eigen gebruikersprofiel. Moeilijk om als overheid informatie over kosten en potentiële leereffecten te krijgen.	*		*	*
Normstelling (4): de huidige norm is geënt op voertuigen met verbrandingsmotor (ICE) in combinatie met benzine/diesel en heeft alleen betrekking op de TTW-emissies, waardoor alternatieve voertuigen en brandstoffen (bijv. E85) er alleen met kunst- en vliegwerk in kunnen worden ondergebracht.	*	*		
Tegenvallend effect van regelgeving: door creatief omgaan met testcyclus zuinige auto's, oneigenlijk gebruik hybrides (leaseauto's met tankpas), onduidelijkheid over en fraude met de kwaliteit van biobrandstoffen is de werkelijke emissie hoger dan op papier.	*	*		
Weerstand vanuit fossiele energielobby: vertraging bij innovatieprocessen, uitvergroten van problemen en onderbelichten van kansen.	*	*	*	*
Managen van verwachtingen: hype-cyclus nieuwe innovatieve producten niet laten volgen door een zogenoemde 'valley of death' en teleurstelling.		*	*	*

Bijlage B

Toelichting op marktimperfecties

Deze bijlage geeft een nadere toelichting op de marktimperfecties in tabel 3.1, gebaseerd op o.a. Gillingham en Sweeney (2010), De Mooij et al. (2012), Jaffe et al. (2005), CPB (2010) en andere bronnen (deze worden specifiek vermeld).

De marktimperfecties zijn net als in tabel 3.1 geordend naar drie categorieën: milieu, diffusie en innovatie. De volgorde binnen de categorieën is willekeurig gekozen. De twee belangrijkste marktimperfecties voor duurzaam wegverkeer zijn de externe effecten, zowel de externe kosten van CO₂ als de externe baten van kennisontwikkeling (nr. 1 en nr. 3 hieronder).

Milieu

1. De maatschappelijke kosten van CO₂-uitstoot zijn niet verwerkt in de marktprijzen (het zijn daarmee externe kosten), waardoor actoren er in hun acties te weinig rekening mee houden.
2. *Prisoner's dilemma*: voordelen van CO₂-reductie zijn voor iedereen, ongeacht de vraag of de betreffende actor zelf actie heeft ondernomen om emissies te reduceren of niet. Als een land bijvoorbeeld hoge kosten maakt voor CO₂-reductie profiteren andere landen ook en dat geeft een incentive om niets te doen, ondanks maatschappelijke voordelen om juist wel iets te doen; dit probleem speelt ook op microniveau, tussen individuen of organisaties.

Innovatie

3. De maatschappelijke baten van kennisontwikkeling zijn niet verwerkt in de marktprijzen (het zijn daarmee externe baten), waardoor bedrijven minder kennis ontwikkelen dan maatschappelijk wenselijk is.⁵² Andere bedrijven kunnen makkelijk profiteren van hun kennis zonder ervoor te betalen. Dit wordt ook wel *first mover disadvantage* of kennis-*spillover* genoemd (kennis stroomt gratis over van de ene partij naar de ander). Een gevolg is bijvoorbeeld ook dat bedrijven samenwerking met andere bedrijven, of participatie in kennisplatforms, uit de weg gaan en kennis strategisch geheim houden. Het *first mover disadvantage* kan optreden in verschillende marktfasen van een product: R&D, prototype, nichemarkten.
4. Er zijn imperfecties in de kapitaalmarkt, die onder meer voortkomen uit informatiegebrek bij investeerders die sceptisch of onzeker zijn over toekomstige baten en daarom een hoge risicopremie vragen of helemaal niet investeren (Biermans et al., 2009). Innovaties zijn vaak (technisch) complex en opschaling naar commercieel niveau vraagt juist om grote investeringen.

⁵² Deze bedrijven redeneren als volgt: op korte termijn levert innovatie in schone technologie weinig op, vanwege een kleine afzetmarkt voor de schone technologie. Op termijn, als de markt groter is geworden, levert het eveneens weinig op, omdat een eventueel patent verlopen is en de kennis niet meer te gelde kan worden gemaakt (CPB, 2010). Ook worden lang niet alle inventies gepatenteerd (EEA, 2011; Kemp en Pontoglio, 2011) en kunnen dan makkelijk worden nagemaakt.

Diffusie

5. Hoge private discontovoet versus lage maatschappelijke discontovoet: consumenten en bedrijven hanteren (soms onbewust) korte terugverdientijden waarbinnen een reductieoptie, bijvoorbeeld een zuinige auto die duurder is in aanschaf, maar goedkoper in het gebruik, rendabel moet zijn.⁵³ De discontovoet die consumenten in de praktijk (onbewust) hanteren kan wel oplopen tot 20 procent (Smokers, 2009, p. 12). De maatschappelijke discontovoet is veel lager: in Nederland is de afspraak om voor KBA's te rekenen met 2,5 procent (MinFin, 2007).
6. Kip-ei probleem van infrastructuur en/of netwerken. Dit speelt bijvoorbeeld bij elektrische auto's en auto's die rijden op waterstof waarvoor een compleet nieuwe tank- of oplaadinfrastructuur nodig is. Investeerders in deze infrastructuur weten niet of ze hun investeringen terugverdienen en lopen een groot investeringsrisico, omdat er nog geen afnemers zijn. Zonder infrastructuur zijn consumenten op hun beurt niet geneigd om voertuigen aan te schaffen die van deze infrastructuur afhankelijk zijn. Vaak zijn er meerdere partijen in het spel die onderling van elkaar afhankelijk zijn; bijvoorbeeld bouwers van vulstations, leveranciers van laadapparatuur, aanleggers van buizen en kabels, en autofabrikanten. Partijen kunnen niet zonder elkaar, maar iedereen wacht op een ander om de eerste stap te zetten: er is een coördinatieprobleem. Het risico is te groot voor individuele bedrijven. Dit kip-ei probleem speelt ook bij coöperatieve Intelligente Transportsystemen (ITS) waarbij voertuigen met elkaar moeten communiceren: dit werkt pas vanaf een groot aantal deelnemers; de eerste deelnemers weten niet of ze er slim aan doen om in te stappen.
7. *Principal-agent* probleem, ook wel *split incentive* genoemd: degene die in potentie kan zorgen voor emissiereductie (de *agent*) is niet degene die er voordeel bij heeft (de *principal*); een autofabrikant heeft bijvoorbeeld niet altijd baat bij verkoop van kleine zuinige auto's (kleinere winstmarges), de automobilist mogelijk wel; een leaseautorijder met een tankpasje van de zaak heeft geen baat bij zuinig rijden; iemand die thuiswerkt vermindert files voor anderen, maar mist zelf de contacten met collega's.
8. Informatiegebrek: niet alle informatie, bijvoorbeeld over energiebesparing, is bij iedereen even goed bekend, waardoor actoren niet altijd de beste keuze maken. Bij goederenvervoer speelt onder meer mee dat de goederenmarkt niet transparant is.

⁵³ In de Engelstalige literatuur wordt dit verschijnsel bij consumenten ook wel *consumer myopia* (bijiendheid) genoemd.

Bijlage C

Huidige marktpositie van kansrijke reductieopties

Elektrische auto's

In 2012 reden in Nederland bijna 6.300 elektrische personenauto's (Agentschap NL, 2013) op een totaal wagenpark van 8 miljoen auto's. Ten opzichte van een auto met verbrandingsmotor (*internal combustion engine*, ICE) die voldoet aan de 130 g/km-norm⁵⁴ die vanaf 2015 ingaat, bespaart een elektrisch voertuig over zijn levensduur circa 26 ton CO₂ op voertuigniveau.⁵⁵ Elektrische auto's zijn in aanschaf duurder dan een ICE-auto; dit wordt vooral veroorzaakt door het dure accupakket. De meerkosten van een elektrische auto worden momenteel niet gecompenseerd door lagere energiekosten voor de gebruiker; totale meerkosten ten opzichte van een ICE-voertuig zijn ongeveer €8.500 (aanschafkosten: +€20.000; energiekosten: -€1.100 jaarlijks). Als deze meerkosten worden gezien als kosten die gemaakt worden voor CO₂-reductie⁵⁶, zijn de CO₂-reductiekosten circa 300 €/ton CO₂ (berekening KiM). Daarnaast derft de overheid over de totale voertuiglevensduur ook nog circa €4.000 accijns.

Elektrische voertuigen zijn momenteel vooral te vinden in enkele nichemarkten met speciale fiscale voordelen, met name leaseauto's, en nichemarkten waar kosten geen grote rol spelen zoals sportwagens. Buiten het wagenpark komen elektrische voertuigen voor als golfkarretjes, vorkheftrucks e.d.

Uit recent empirisch onderzoek van Sierzchula et al. (2012) naar de aanbodmarkt voor elektrische auto's, blijkt dat nieuwe toetreders zich vooral richten op nichemarkten, nieuwe toepassingen en nieuwe gebruikers, terwijl bestaande grote automerken (*incumbents*) vooral proberen elektrische auto's te ontwikkelen voor hun huidige klanten en marktsegmenten. Sierzchula et al. speculeren er op dat juist in nichemarkten, waar de nieuwkomers sterk staan, de eerste commercialisatie zal plaatsvinden, terwijl elektrische voertuigen in de bestaande markten, met grote automerken, voorlopig vooral met verlies zullen worden verkocht.

⁵⁴ Dit is de emissie tijdens de testcyclus; de emissie in de praktijk bedraagt ca 170 g/km (Ligterink en Bos, 2010).

⁵⁵ Aannamen KiM: levensduur voertuigen is 12 jaar en gemiddelde jaarkilometrage is 13.000 kilometer.

⁵⁶ Een alternatieve zienswijze is dat de meerkosten ook deels zijn toe te rekenen aan comfortverbetering (stille auto) of aan het statusverhogend karakter voor de gebruiker.

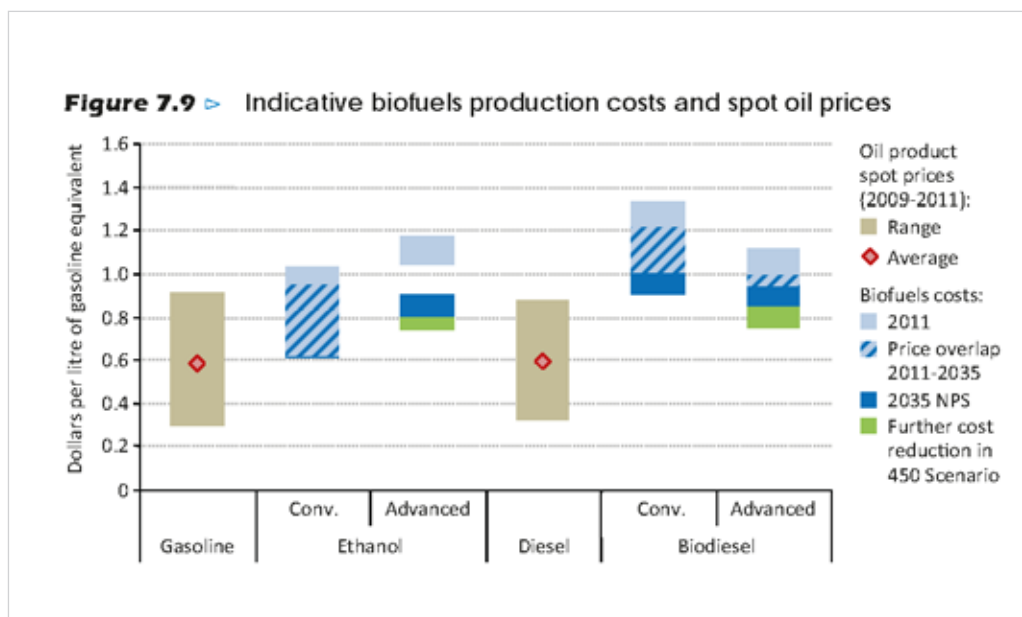
Brandstofcelauto's

Brandstofcelauto's hebben een brandstofcel aan boord die *in situ* waterstof omzet in elektriciteit. Het zijn feitelijk ook elektrische auto's, ze worden ook wel brandstofcel-elektrische auto's genoemd. Ten opzichte van een ICE-voertuig bespaart een brandstofcelauto, net als een elektrische auto, circa 26 megaton CO₂ over de totale levensduur (bij dezelfde aannamen als bij de elektrische auto: zie kader hierboven). Momenteel rijden er nauwelijks voertuigen op waterstof in Nederland. In Amsterdam rijden twee bussen van het gemeentelijke vervoersbedrijf op waterstof die een eigen tankstation hebben. Langs de A15 in Rotterdam zal begin 2014 een nieuw en openbaar waterstofstation worden geopend. Ook in Helmond komt een nieuw waterstofstation op het terrein van Automotive Campus NL, een onderdeel van de Brainport Eindhoven. Marktprijzen voor brandstofcel-elektrische voertuigen zijn momenteel nog niet bekend, omdat productieaantallen nog te laag zijn. Hyundai presenteerde in april 2013 de eerste brandstofcel-elektrische auto voor de Nederlandse markt en hoopt er in 2013 in Nederland 50 te verkopen tegen een leasebedrag van €2.000 per maand. De verwachting is dat er vanaf 2015 enkele duizenden brandstofcel-elektrische auto's op de wereldmarkt zullen komen van een beperkt aantal autofabrikanten.

Geavanceerde biobrandstoffen in vergelijking tot benzine/diesel

Bij geavanceerde biobrandstoffen gaat het om biobrandstoffen die worden gemaakt uit afval en uit niet-voedselgewassen, soms ook wel tweede generatie biobrandstoffen genoemd. Dit type brandstof bevindt zich momenteel in de fase van nichemarkten. In Nederland werd in 2012 bijvoorbeeld circa 3,5 procent biobrandstof bijgemengd, waarvan minder dan één derde deel uit geavanceerde biobrandstof bestond, dus minder dan 1 procent van het totaal (afgeleid uit NEa, 2012). In de luchtvaart past KLM momenteel op een aantal vluchten biokerosine uit frituurvet toe. In de VS produceerden alle proefinstallaties bij elkaar circa 100.000 liter ethanol uit landbouwafval en gelijkwaardige biomassa. (De doelen uit de Amerikaanse *Energy Independence and Security Act* uit 2007 dat in 2010, 2011 en 2012 respectievelijk 0,4, 2 en 4 miljard liter moest worden geproduceerd, werden daarmee bij lange na niet gehaald.) In 2013 lijkt de productie in de VS wel te gaan toenemen: er worden in 2013 vijf nieuwe commerciële fabrieken verwacht voor cellulose-ethanol en in 2014 start een nieuwe fabriek van DuPont en Chemtex voor 0,12 miljard liter cellulose-ethanol uit landbouwafval; verwachte kostprijs: twee keer zo hoog als van benzine (Zuidema, 2013).

Voor geavanceerde (2^e generatie) biofuels schat de IEA (2012) de kostprijs in 2035 in op ongeveer anderhalf keer de huidige prijs van een liter benzine of diesel. Zie de figuur hieronder (uit IEA, 2012).



Bijlage D

Nadere analyse beleids- en reductieopties voor 2030

In deze bijlage gaan we nader in op de potentiële effecten in 2030 van een aantal beleids- en reductieopties die door DGB en DGMI aan het KiM zijn voorgelegd in het kader van de lopende discussies over een Energieakkoord in SER-verband.

In de referentieraming van PBL en ECN (PBL/ECN, 2012) is de emissie van de totale sector verkeer en vervoer in **2030**, bij vastgesteld en voorgenomen beleid, geraamd op circa 31 megaton in 2030 (zie ook figuur 1.4). PBL en ECN zijn ervan uitgegaan dat het wegverkeer tussen 2020 en 2030 met circa 5 à 10 procent⁵⁷ groeit.

Een ruwe inschatting van het KiM is dat het wegverkeer van de voor het totale verkeer en vervoer geraamde 31 megaton in 2030 90 procent⁵⁸ voor zijn rekening neemt, dus rond 27 megaton. Het doel voor 2050, een reductie van 60 procent in 2050 ten opzichte van 1990, betekent dat emissies van de hele sector in 2050 nog maar 12 megaton mogen bedragen.

De opties die het KiM heeft onderzocht zijn:

Reductieopties:

- Verschuiving van personenauto naar fiets, e-fiets en OV
- Verschuiving van goederenvervoer over de weg naar water en spoor
- Het Nieuwe Werken
- E-conferencing
- Deelauto's
- (Uitvoering van de tips van) Het Nieuwe Rijden
- Elektrische auto's
- Brandstofcelauto's op waterstof (uit aardgas)
- ITS Automatic Cruise Control (ACC)
- Verhogen beladingsgraad vrachtwagens

⁵⁷ Persoonlijke communicatie Anco Hoen, PBL.

⁵⁸ Dit was in 2010 het aandeel van het wegverkeer (PBL, 2013).

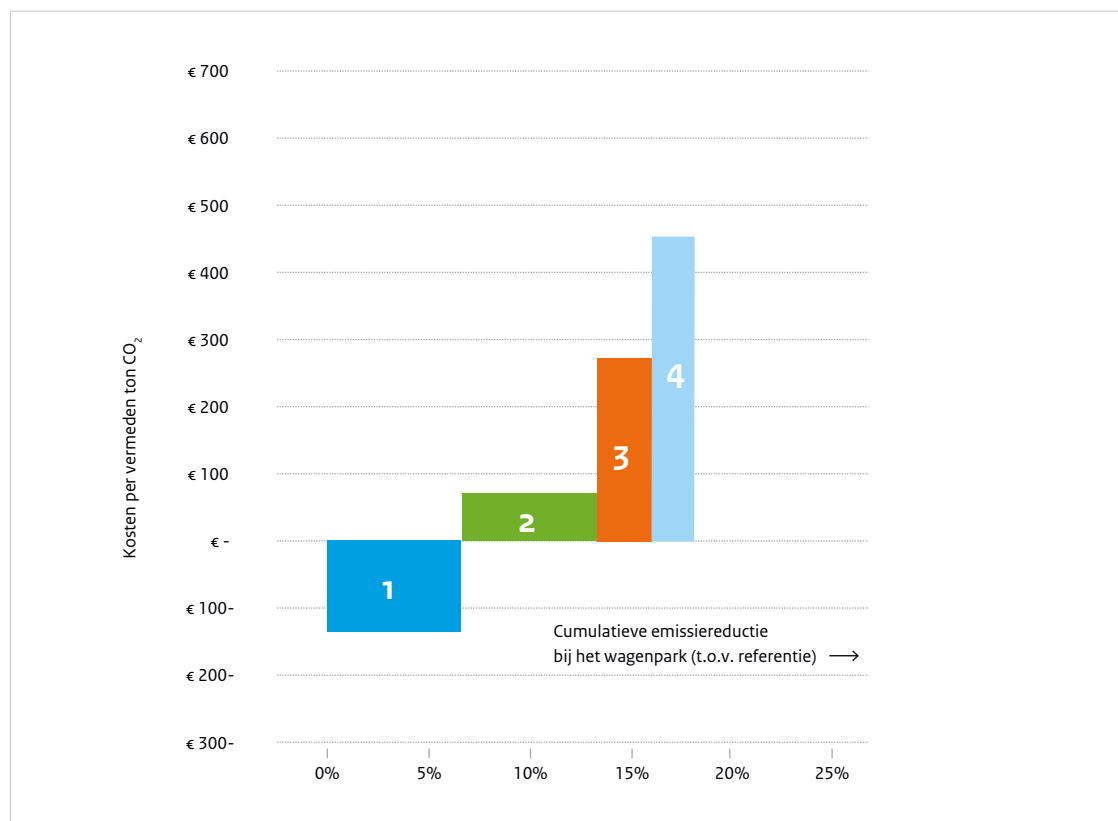
Beleidsopties:

- Logistieke bedrijven: uitbreiding Lean & Green (over vijf jaar 20% minder CO₂)
- Bedrijven: uitbreiding Lean & Green Personal Mobility Award (over vijf jaar 20% minder CO₂)
- In 2025 aanscherping CO₂-norm van 95 naar 60 g/km voor personenauto's en van 147 naar 120 g/km voor bestelauto's
- In 2025 CO₂-norm voor vrachtwagens die 30% efficiencyverbetering inhoudt
- Een (Europees) ETS voor de brandstoffen van alle landgebonden modaliteiten (wegverkeer, spoor, binnenvaart)
- Verplicht aandeel biobrandstoffen in het wegverkeer
- Beter testcycli voor CO₂-normen personenauto's vanaf 2020

Een deel van de reductieopties is ook al aan bod gekomen in Moorman en Kansen (2011). Voor die reductieopties geven we hier een actualisatie.

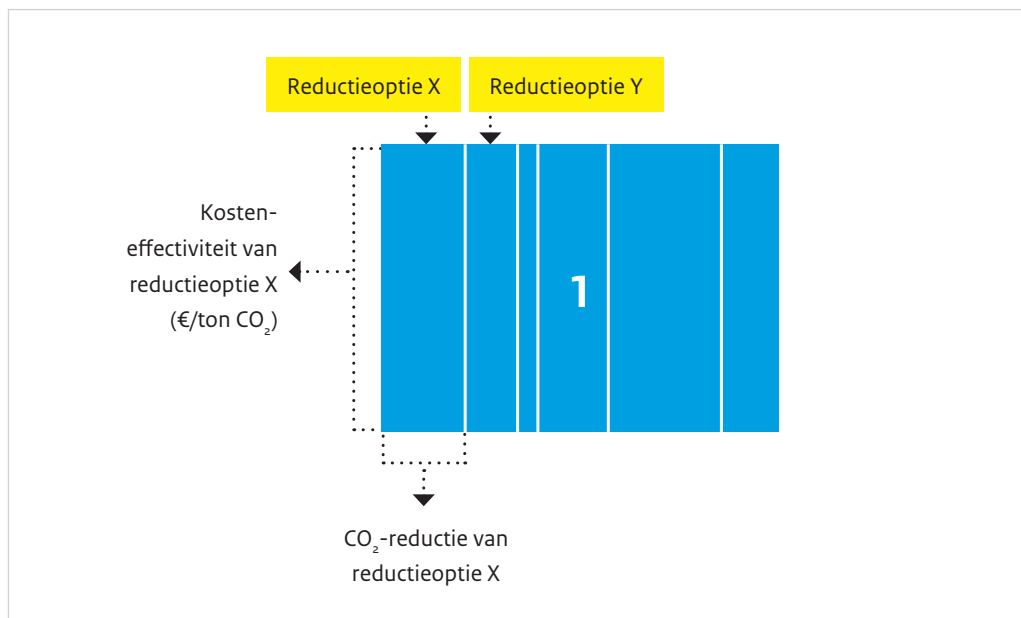
Onderdeel van de analyse is dat we de aangedragen opties plaatsen in (één van de vier blokken van) de fictieve kostencurve uit paragraaf 3.3, die in figuur D.1 nogmaals is weergegeven.

Figuur D.1 Gestileerde kostencurve van reductieopties in het wegverkeer, in hun huidige marktstadium.



Eén blok kan bestaan uit meerdere reductieopties. Deze reductieopties vallen in dezelfde kostencategorie (hoogte van het blok), maar kunnen elk een ander reductie-effect hebben. In onderstaande figuur is fictief voor blok 1 aangegeven hoe zo'n samenstelling uit reductieopties eruit kan zien.

Figuur D.2 Een blok kan bestaan uit meerdere reductieopties, elk met een eigen reductie-effect.



D.1 Overzichtstabel

In onderstaande tabel geven we een inschatting van het CO₂-reductiepotentieel per reductiemaatregel, ofwel de breedte van elke reductieoptie op de x-as van de kostencurve, ten opzichte van een referentiewagenpark in 2020/2030.⁵⁹ We gaan ervan uit dat het verkeersvolume (gereden kilometers) in de referentie tussen 2020 en 2030 gelijk blijft. Bij reductieopties die een volume-effect hebben geven we ook dit effect, in procenten ten opzichte van de referentie. Het CO₂-reductie-effect is bij deze reductieopties een afgeleid effect van het volume-effect. Als het aantal gereden kilometers van het referentiewagenpark, in tegenstelling tot onze aanname, zou krimpen of dalen, veranderen de procentuele volume-effecten niet. Het CO₂-effect, dat in een absolute maat (megaton) gegeven wordt, verandert dan wel: bij een groeiend verkeersvolume worden de absolute CO₂-reducties groter, bij een krimpend verkeersvolume kleiner. Bij de aanname van een groei tussen 2020 en 2030 van 5 à 10 procent (zoals in de referentieraming), waren de CO₂-effecten 5 à 10 procent groter geweest dan in de tabel is weergegeven.

Verder schatten we per maatregel in in welk van de vier blokken de maatregel past qua kosteneffectiviteit: de afstand van het blok tot de x-as is hier een maat voor. Bij de beleidsopties zijn transactiekosten buiten beschouwing gelaten; het gaat alleen om de kosten van de uitgelokte reductieopties.

⁵⁹ Voor *personenauto's*: 8 miljoen voertuigen (=omvang huidige park; CBS) x 13.000 km per jaar (=huidige gemiddelde jaarkilometrage per auto; CBS) x 170 g/km (werkelijke uitstoot bij CO₂-norm van 130 g/km in 2015 (Ligterink, 2010)). CO₂-uitstoot van dit referentiewagenpark is bijna 18 megaton per jaar. Voor *vrachtauto's* rekenen we met 7,2 miljard kilometers per jaar (=huidige aantal kilometers dat vrachtwagens afleggen in Nederland; CBS) x 850 g/km (=huidige gemiddelde emissiefactor van vrachtwagens, deze ligt al jaren op hetzelfde niveau; CBS). CO₂-uitstoot van dit referentievrachtwagenpark is 6 megaton per jaar. De jaarkilometrage op Nederlands grondgebied bedraagt per voertuig 40.000 km (CBS). Voor *bestelauto's* hebben we (ten behoeve van biobrandstofoptie) niet gerekend met een referentiewagenpark, maar met de huidige feitelijke CO₂-uitstoot van 4 megaton (CBS). De totale emissie van dit vereenvoudigde referentiewagenpark bedraagt dus 18+6+4=28 megaton.

Het gaat om effecten *per afzonderlijke maatregel*. Effecten kunnen vaak niet bij elkaar worden opgeteld. Beleids- en reductieopties zijn van een andere dimensie, waarbij beleidsopties vaak als effect dat ze reductieopties bevorderen of uitlokken. De optie 'aanscherping CO₂-normen in 2025' zal bijvoorbeeld een groter aandeel elektrische auto's tot effect hebben, omdat autofabrikanten een deel van de norm zullen invullen met elektrische voertuigen. Effecten van aanscherping van de normen en elektrische voertuigen zijn dus niet optelbaar. Maar ook voor reductieopties en beleidsopties onderling is optellen lang niet altijd mogelijk. De drie opties met een verschuiving van de personenauto naar andere modaliteiten (1,2,3) hebben bijvoorbeeld veel onderlinge uitwisseling en er is ook uitwisseling met deelauto's (7): iemand kan niet meerdere modaliteitskeuzes tegelijk maken. Effecten van reductieopties zijn vaak moeilijk of niet los aan te geven, zonder dat bekend is in welke beleidscontext, met welke beleidsmaatregel, de reductieoptie wordt gestimuleerd: gaat het bijvoorbeeld om verplichtende wetgeving, of om een vrijblijvend convenant?

De aangegeven bovengrens van CO₂-reductie is te zien als een effect dat alleen bereikt kan worden met een zeer zware beleidsinzet.

Tabel D.1 CO₂-effect en kosteneffectiviteit van enkele reductieopties in hun huidige marktphase, en beleidsopties.

	Grootteorde van volume-effect in 2020/2030	Grootteorde van CO ₂ -reductie-effect in 2020/2030	Kosteneffectiviteit: Plaatsing in blok 1, 2, 3 of 4
		<i>De bovengrens is alleen te bereiken met een zeer zware beleidsinzet!</i>	<i>Bij de beleidsopties gaat het alleen om kosteneffectiviteit van de uitgelokte/gestimuleerde reductieopties en niet de transactie-kosten</i>
	Kilometerreductie (% t.o.v. referentie) pak = personenautokm's vak = vrachtautokm's	Megaton per jaar t.o.v. referentie	
Reductieopties			
1. Verschuiving van personenauto naar fiets	0 à 2% pak	0 à 0,4	4
2. Verschuiving van personenauto naar e-fiets	0 à 0,5% pak	0 à 0,1	4
3. Verschuiving van personenauto naar OV	0 à 3% pak	0 à 0,5 (exclusief toename emissies bij (niet-elektrisch) OV)	4
4. Verschuiving van goederenvervoer over de weg (vrachtwagens) naar water en spoor	0 à 5% vak	0 à 0,3 (exclusief toename emissies bij water en (niet-elektrisch) spoor)	1 maar waarschijnlijk blok 2, 3 of 4 door verborgen kosten (o.a. kwaliteitsverlies)
5. Het Nieuwe Werken	-2 à +2% pak	-0,4 à +0,4	1 (of verborgen kosten?)
6. E-conferencing	-1 à +1% pak	-0,2 à +0,2	1
7. Deelauto's	-1 à +1% pak	-0,2 à +0,2	1
8. (Uitvoering van de tips van) Het Nieuwe Rijden	n.v.t.	0 à 0,4	1
9. Elektrische auto's	n.v.t.	Afhankelijk van de penetratiegraad. Bij 100% penetratie: Full electric: 17,5 Plug-in hybride: 11,5	3

	Grootteorde van volume-effect in 2020/2030	Grootteorde van CO ₂ -reductie-effect in 2020/2030	Kosteneffectiviteit: Plaatsing in blok 1, 2, 3 of 4
		<i>De bovengrens is alleen te bereiken met een zeer zware beleidsinzet!</i>	<i>Bij de beleidsopties gaat het alleen om kosteneffectiviteit van de uitgelokte/gestimuleerde reductieopties en niet de transactie-kosten</i>
	Kilometerreductie (% t.o.v. referentie) pak = personenautokm's vak = vrachtautokm's	Megaton per jaar t.o.v. referentie	
10. Brandstofcelauto's	n.v.t.	Afhankelijk van de penetratiegraad. Bij 100% penetratie: 17,5	3
11. ITS Automatic Cruise Control	n.v.t.	Afhankelijk van de penetratiegraad. Bij 100% penetratie: 0 à 0,3 (vrachtauto's) 0 à 0,9 (personenauto's) (exclusief reboundeffect van betere doorstroming)	1 (vrachtauto's) 4 (personenauto's)
Beleidsopties			
12. Logistieke bedrijven: uitbreiding Lean & Green (over vijf jaar 20% minder CO ₂)	? (deels via km-reductie, deels zuinig wagenpark)	0 à 1,2 (bovengrens komt overeen met 20% lagere emissies bij vrachtauto's, dus 100% deelname en 100% resultaat)	?
13. Bedrijven: uitbreiding Lean & Green Personal Mobility Award (over vijf jaar 20% minder CO ₂)	0 à 4% pak	0 à 0,7 (bovengrens komt overeen met 20% lagere emissies woon-werkverkeer en zakelijke reizen bij bedrijven, dus 100% deelname en 100% resultaat)	?
14. Aanscherping CO ₂ -norm van 95 naar 60 g/km voor personenauto's en van 147 naar 120 g/km voor bestelauto's	n.v.t.	0,4 jaar-op-jaar (vanwege ingroei in wagenpark) (bevoegd gezag: EU)	2
15. CO ₂ -norm voor vrachtwagens die 30% efficiencyverbetering inhoudt	n.v.t.	0,2 jaar-op-jaar (vanwege ingroei in wagenpark) (bevoegd gezag: EU)	1
16. Verplichte toename biobrandstof in het wegverkeer van 9% naar 16%	n.v.t.	0 à 2 (personen-, bestel- en vrachtauto's)	3
17. Een (Europees) ETS voor de brandstoffen van alle landgebonden modaliteiten (wegverkeer, spoor, binnenvaart)	Afhankelijk van hoogte ETS-plafond		Hangt ervan af
18. Betere testcycli	n.v.t.	0,1 jaar-op-jaar (vanwege ingroei in wagenpark) (bevoegd gezag: EU)	1

D.2 Beschrijving van opties en globale redenerlijn

1. Verschuiving van personenauto naar fiets

Er wordt in Nederland al veel gefietst, vooral op de korte afstanden: voor afstanden van 1 tot 2,5 kilometer wordt in bijna de helft van de gevallen de fiets gebruikt, maar boven de 15 kilometer is dit 3 procent of minder. Bijna 4 procent van alle fietsritten wordt gemaakt als onderdeel van een verplaatsing per trein (voor- of natransport naar of van het station). Dit aandeel is door de jaren geleidelijk toegenomen; in 2000 was dit nog ongeveer 2,5 procent.

Tussen 2000 en 2011 nam het aantal fietskilometers met 14 procent toe door een aantal oorzaken:

- meer ouderen die fietsen (gaat vooral om recreatie en winkelen);
- vaker fietsritten voor onderwijs (vanwege groei onderwijsdeelname), vrije tijd en werk (vooral toegenomen arbeidsparticipatie vrouwen);
- langere ritten voor woon-werkverkeer en onderwijs door onder meer schaalvergroting.

Van de verplaatsingen onder de 7,5 km wordt 35 procent met de fiets gemaakt, evenveel als met de auto. De overige 30 procent van deze verplaatsingen vindt lopend en/of met het OV plaats. Het gaat bij deze korte ritten in totaal om minder dan 20 procent⁶⁰ van alle afgelegde kilometers (KiM, 2012, p.23). In fietsstad Groningen ligt het percentage fietsen bij verplaatsingen korter dan 7,5 km op 45 procent (Nijland, 2009). Stel dat alle steden op het niveau van Groningen zouden komen, ten koste van de auto, dan zou dit maximaal 2 procent (10 procent van (minder dan) 20 procent) vermindering van het aantal autokilometers opleveren. Om dit potentieel te realiseren zal een uitgekende combinatie van *push*- and *pull*-beleid nodig zijn: zowel de fiets aantrekkelijker maken, als het alternatief minder aantrekkelijk maken. Om dit potentieel te realiseren zijn hoge investeringen in fietsinfrastructuur nodig. Dat leidt ertoe dat dit een dure maatregel is. Deze kosten zijn niet via innovatie sterk te verlagen, vandaar dat deze optie in blok 4 is geplaatst.

2. Verschuiving van personenauto naar e-fiets

Op dit moment heeft 5 procent van de Nederlandse bevolking een e-fiets (Fietsberaad, 2013). Van de mensen jonger dan 46 jaar heeft 1 procent een e-fiets, in de leeftijd 46-60 jaar en boven de 60 jaar heeft 10 procent een e-fiets, waarbij vooral in de groep 46-60 jaar het aandeel de laatste tijd hard is gegroeid. De potentie van de e-fiets voor autokilometerreductie schatten we laag in, maximaal 0,5 procent. Bestaand onderzoek wijst erop dat de e-fiets vaker de fiets vervangt dan de auto en daarnaast vooral nieuwe verplaatsingen oplevert, bijvoorbeeld voor recreatie (Hendriksen et al., 2008). In het woon-werkverkeer rijden mensen met een e-fiets gemiddeld langere afstanden dan mensen met een gewone fiets, maar dit tikt niet heel zwaar aan, omdat het nog steeds om relatief korte verplaatsingen gaat: op de gewone fiets rond 6 km versus 10 km op de e-fiets (Hendriksen et al., 2008). Het potentieel aantal te vervangen autokilometers is dan ook klein (alleen de kortere verplaatsingen). De kosteneffectiviteit is hetzelfde als bij de gewone fiets (zie hierboven).

3. Verschuiving van personenauto naar openbaar vervoer (OV)

Op dit moment wordt 13 procent van alle kilometers in Nederland met het OV gemaakt (10 procent trein en 3 procent bus/tram/metro; KiM, 2012). In Moorman en Kansen (2011) is op basis van diverse bronnen ingeschat dat een verschuiving van de personenauto naar het OV in 2050 bij een zware beleidsinspanning maximaal 5 procent autokilometerreductie kan opleveren. Dit zou betekenen dat het OV alleen al hierdoor, dus nog afgezien van de autonome groei, met 40 procent zou moeten groeien ten opzichte van de huidige situatie (van 13 procent naar 18 procent van alle kilometers). Dit is een zeer sterke groei. Voor 2030 schatten we het potentieel in op ten hoogste 2 à 3 procent autokilometerreductie (expert judgment KiM). Het OV zou dan met 15 à 25 procent moeten groeien, bovenop de autonome groei. Ook dit is zeer fors.

Dit beperkte potentieel voor autokilometerreductie heeft te maken met het feit dat het OV en de personenauto twee verschillende markten zijn, waar maar weinig uitwisseling tussen plaatsvindt (zie kader hieronder).

⁶⁰ Het percentage van 20 geldt voor het totaal van verplaatsingen korter dan 10 km (KiM, 2012). Verplaatsingen korter dan 7,5 km zullen dus zeker minder dan 20 procent van de afgelegde kilometers realiseren.

Tegelijk vindt tussen het OV en de fiets wel veel uitwisseling plaats: verbetering van het OV betekent vaak een afname van het aantal fietskilometers (denk aan OV-studentenkaart, experimenten met gratis OV).

De emissiereductie die vermindering van het aantal autokilometers oplevert, moet worden verrekend met een eventuele toename van de emissies van de vervangende modaliteit. In de praktijk gaat het alleen om emissies van de bus: emissies van tram, metro en trein vallen niet onder de verkeerssector maar onder de elektriciteitssector (waar de emissies zijn gelimiteerd door het Europese ETS).

Uitwisseling auto – OV

Auto- en OV-reizen voorzien voor een belangrijk deel in gescheiden mobiliteitswerelden (zie Van der Waard en Draaijer, 1998 en KiM/CPB, 2009). Uit de praktijk blijkt dat verbetering van het OV veelal leidt tot generatie van OV-verplaatsingen in plaats van de overstap van auto naar OV. Bij het OV in de steden treedt bovendien het effect op dat ook fietsers de overstap maken naar het OV.

Voor een groot aantal verplaatsingen is OV een minder geschikt alternatief en de kans op een overstap naar OV dus klein. Het gaat dan met name om:

- korte verplaatsingen (50% autoverplaatsingen < 7,5 km). De fiets is hiervoor een geschikter alternatief dan het OV;
- verplaatsingen met meer personen (10% autoverplaatsingen 3 of meer personen);
- verplaatsingen tussen 23:00 en 6:00 uur (3% autoverplaatsingen);
- verplaatsingen op het platteland (15% autoverplaatsingen in totaal niet-stedelijk gebied);
- verplaatsingen door mensen met mobiliteitsbeperking, m.n. de jongeren daarvan gebruiken openbaar vervoer minder en de auto meer;
- verplaatsingen door mensen met sterke preferentie voor de auto.

De kleine groep van verplaatsingen waarbij de kans op een overstap naar OV iets groter is, bestaat bijvoorbeeld uit:

- verplaatsingen van, naar of in de vier grote steden (gebieden met een hoge adresdichtheid);
- verplaatsingen met herkomst of bestemming in gebieden met parkeerproblemen of hoge parkeertarieven;
- verplaatsingen op relaties met een gunstige reistijdverhouding OV/auto.

4. Verschuiving van goederenvervoer over de weg naar water en spoor

In Moorman en Kansen (2011) is ingeschat dat het potentieel voor kilometerreductie van deze optie maximaal (dat wil zeggen met veel moeite) 5 procent bedraagt. De potentie is laag omdat maar een zeer klein deel van de vervoersmarkt prijsgevoelig is, en dus de overstap naar een andere modaliteit zou willen overwegen als deze qua prijs gunstig scoort. Om de 5 procent te halen zou volgens de literatuur (PRC, 2007; Groot, 2007) een zeer zwaar beleidspakket uit de kast gehaald moeten worden. Op de rest van de markt is de prijsongevoeligheid te groot, zodat prijsstijgingen in het goederenvervoer over de weg geen zin hebben (en vooral zouden leiden tot vraaguitval). Dit komt neer op een CO₂-reductie van vrachtwagens van ongeveer 0,3 megaton. Hier tegenover staat een mogelijke toename van CO₂-emissies bij de vervangende modaliteiten (met uitzondering van elektrisch spoorvervoer, omdat de emissies daarvan onder het ETS vallen).

5. Het Nieuwe Werken (HNW)

Uit recent KiM-onderzoek (KiM, 2012) komt naar voren dat HNW verschillende, tegengestelde effecten op de mobiliteit heeft. Over de netto-impact van HNW op de mobiliteit is nog weinig bekend. We schatten het maximumpotentieel daarom nu lager in dan in Moorman en Kansen (2011)⁶¹ en houden ook rekening met de mogelijkheid dat de mobiliteit juist groeit in plaats van afneemt.

⁶¹ Daar is gerekend met een effect van maximaal 5 procent minder autokilometers, ervan uitgaande dat tegengestelde mobiliteitseffecten (generatie van nieuwe of verdere autoverplaatsingen e.d.) beperkt is.

6. E-conferencing

Wat geldt voor Het Nieuwe Werken (hierboven), geldt ook voor e-conferencing: ook hier zijn tegengestelde effecten mogelijk, bijvoorbeeld omdat iemand de gesprekspartner die hij kent van skype ook in het echt wil ontmoeten. De potentie van e-conferencing in 2050 hadden we in Moorman en Kansen (2011) ingeschat op maximaal 2 procent. Op basis van recente inzichten schatten we de potentie nog iets lager in, maximaal 1 procent, terwijl we ook rekening houden met de mogelijkheid dat de mobiliteit juist groeit in plaats van afneemt.

7. Deelauto's

We hanteren als definitie van deelauto's: auto's van organisaties of particulieren die door mensen uit verschillende huishoudens worden gedeeld, met uitsluiting van huurauto's.

Het CO₂-effect van deelauto's hangt sterk af van het motief voor het delen van een auto. Uit onderzoek van SmartAgent (SmartAgent, 2011) blijkt dat de keuze voor een deelauto in plaats van de eigen auto aantrekkelijker wordt gevonden door huishoudens die de auto toch al relatief weinig gebruiken en daarom hun eigen auto willen 'inruilen' voor een deelauto. Het motief is dan vaak kostenbesparing. Ook huishoudens die zich geen eigen auto kunnen veroorloven, zien een deelauto als optie, ook uit kosten oogpunt. Hun automobilititeit wordt door de deelauto groter. Al met al zijn er vier effecten van autodelen te onderscheiden:

- De deelauto zorgt voor minder verplaatsingen (per auto), doordat men bewustere keuzes maakt om zich te verplaatsen. Bijvoorbeeld wanneer een huishouden de eigen auto heeft weggedaan en er daarna toch een zekere drempel is om een deelauto te nemen doordat het gemak van 'een auto voor de deur' er niet meer is. Dit leidt tot afname van de CO₂-uitstoot.
- De deelauto zorgt voor meer verplaatsingen per auto die zonder deelauto niet zouden zijn gemaakt. Bijvoorbeeld omdat men geen eigen auto kan betalen, en de deelauto een goedkoper alternatief is. De automobilititeit van een huishouden neemt daardoor juist toe en de CO₂-uitstoot neemt toe.
- De deelauto zorgt voor een vervanging van een verplaatsing met een andere modaliteit. Bijvoorbeeld wanneer de deelauto een treinreis of fietsrit vervangt omdat de deelauto comfortabeler is (van-deur-tot-deur vervoer, mogelijkheid om bagage mee te nemen etc.). De CO₂-uitstoot neemt toe.
- De deelauto zorgt voor een vervanging van een verplaatsing met een andere auto. Het CO₂-reductie-effect is dan afhankelijk van de auto die wordt vervangen, bijvoorbeeld de (voormalige) eigen auto, een lease- of huurauto. Met name bij de deelauto's van professionele organisaties bestaat de kans dat het deelwagenveld relatief jong en zuinig is – mede vanwege de hoge vervangingsgraad door intensief gebruik: de CO₂-uitstoot neemt dan af.

Er is dus sprake van tegengestelde effecten. Het netto-effect is zeer ongewis. Op basis van de beperkt beschikbare literatuur komen we op een inschatting van een maximale afname van autokilometers met één procent, en een mogelijk even grote toename.

8. (Uitvoering van de tips van) Het Nieuwe Rijden

De literatuur geeft hiervoor een theoretisch potentieel van 7 à 10 procent emissiereductie (Vermeulen, 2006). Toegepast op het hele personenautopark zou dit een CO₂-reductie van 1,2 à 1,8 megaton per jaar kunnen opleveren. Een deel van dit potentieel wordt waarschijnlijk verzilverd doordat HNR sinds enige jaren verplichte examenstof is voor het rijexamen. Ook elektronica in de auto, zoals schakelindicatoren, helpen mee een deel van het potentieel te verzilveren. Het overige deel, de automobilisten die niet met HNR zijn 'opgevoed' en hiervoor geen instrumenten in de auto hebben, lijkt moeilijk bereikbaar doordat er een verschil blijkt te bestaan tussen 'denken' en 'doen': volgens onderzoek van TNO rijden automobilisten die denken HNR toe te passen niet zuiniger dan automobilisten die zeggen niet aan HNR mee te doen (De Goede en Hoedemaeker, 2009). Een verplichting voor automobilisten om de bandenspanning op peil te houden, heeft het risico dat het beoogde effect niet wordt bereikt, omdat hiervoor een grote handhavingsinspanning nodig is (bijvoorbeeld vergelijkbaar met alcoholcontroles). We schatten het extra besparingseffect dat via voorlichting en dergelijke bereikt zou kunnen worden in op minder dan 2 procent. Dit komt neer op maximaal 0,4 megaton per jaar.

9. Elektrische auto's

Als het personenwagenpark volledig uit 100% elektrische voertuigen zou bestaan, is de CO₂-uitstoot van personenauto's tot nul gereduceerd, omdat op voertuigniveau geen emissies meer plaatsvinden.⁶² Dit betekent een CO₂-reductie van 17,5 megaton reductie. Dit is gelijk aan het totaal aan emissies van het referentiepersonenwagenpark. Bij een personenwagenpark dat volledig uit plug-in hybrides bestaat is de CO₂-reductie ten opzichte van het referentiepark circa 11,5 megaton per jaar. Aanname daarbij is dat plug-ins twee derde van hun kilometers in elektrische modus afleggen.

In de praktijk moet uiteraard rekening worden gehouden met een langzame ingroei in het wagenpark, zodat deze maximale effecten pas na een flink aantal jaar kunnen worden bereikt.⁶³

Bij de huidige meerkosten van een 100% elektrisch voertuig van circa 20.000 euro, ligt de kosteneffectiviteit rond 300 euro per vermeden ton CO₂ (eigen berekening KiM). Voor plug-in hybrides is de kosteneffectiviteit circa 150 euro per vermeden ton CO₂.

10. Brandstofcelauto's

Een brandstofcelvoertuig dat op waterstof rijdt is op voertuigniveau emissieloos. De productie van waterstof vindt *upstream* plaats. Bekendste productieprocessen van waterstof zijn:

1. Uit aardgas, middels een beproefd industrieel proces dat aardgasreforming heet (*Steam Methane Reforming, SMR*);
2. Uit elektriciteit, middels elektrolyse van water.

Bij beide processen komen de ontstane CO₂-emissies voor rekening van een andere sector dan de verkeerssector, namelijk bij (1) de industrie en (2) de elektriciteitssector.⁶⁴

In het uiterste geval waarin het volledige personenwagenpark uit deze voertuigen zou bestaan, dus bij 100 procent marktpenetratie, is de CO₂-reductie 17,5 megaton per jaar (het totaal aan emissies van het referentiewagenpark). In de praktijk moet uiteraard rekening worden gehouden met een langzame 'ingroei' in het wagenpark, zodat dit maximale effect pas na een flink aantal jaren kan worden bereikt.

Omdat brandstofcelvoertuigen nog niet in de commerciële fase zijn beland, is de prijs van een voertuig niet bekend en is de kosteneffectiviteit niet goed te berekenen. Op dit moment zijn de kosten hoger dan van elektrische voertuigen, en de kosteneffectiviteit is dus slechter (i.e. kosten hoger dan 300 euro per ton; zie ook bijlage C).

11. ITS Automatic Cruise Control (ACC)

In het kader van het Moorman en Kansen (2011) hebben we uitgebreid gezocht naar Intelligente Transportsystemen (ITS) die een CO₂-effect zouden kunnen hebben. Er zijn heel veel verschillende ITS-toepassingen, maar deze zijn merendeels gericht op veiligheid en comfort voor de automobilist. Brandstofbesparing is over het algemeen maar bijzaak en treedt vaak helemaal niet op. Automatic Cruise Control (ACC) is één van de weinige ITS-toepassingen die wel een positief effect op het brandstofgebruik kan hebben, zowel voor personenauto's als vrachtwagens. Naar onze inschatting bedraagt dit effect circa 5 procent. Om ACC te kunnen toepassen moeten de voertuigen wel zijn uitgerust met een automatische versnellingsbak ('automaat'). ACC zal daarom vooral in nieuwe voertuigen toegepast worden (geen retrofit). Volgens een Amerikaanse studie uit 2008 zijn de kosten van ACC bij personenauto's 3000 dollar (2300 euro) en voor vrachtauto's 2300 dollar (1800 euro) (US DOT, 2008). In het fictieve geval dat alle personenauto's en alle vrachtauto's ACC hebben, is de potentiële emissiereductie maximaal 0,9 respectievelijk 0,3 megaton per jaar. Het effect in de praktijk is waarschijnlijk lager, doordat bij volledige penetratie van ACC verkeer dichter op elkaar kan rijden, wat de wegcapaciteit en doorstroming vergroot, wat kan leiden tot mobiliteitsgroei. Dit reboundeffect is niet meegenomen.

⁶² Maar ook in de elektriciteitssector ontstaan in principe geen extra CO₂-emissies, omdat de uitstoot van deze sector begrensd is via het Europese ETS.

⁶³ Ter vergelijking: de Green Deal elektrisch rijden mikt op 15.000 à 20.000 elektrisch aangedreven auto's in 2020. Het effect daarvan is circa 0,04 megaton CO₂-reductie per jaar.

⁶⁴ Beide vallen onder het ETS. Emissies zijn dus begrensd met een emissieplafond.

12. Logistieke bedrijven: uitbreiding Lean & Green (over vijf jaar 20% minder CO₂) onder andere via verhogen beladingsgraad

Logistieke bedrijven kunnen in principe op twee manieren CO₂ reduceren:

- via een zuiniger wagenpark, dus met efficiëntere voertuigen (zuinigere motor en dergelijke);
- via een efficiëntere logistiek,⁶⁵ dat wil zeggen door een betere planning en organisatie en technische aanpassingen aan vrachtwagens, waardoor met minder voertuigkilometers dezelfde hoeveelheid goederen over de weg vervoerd kan worden.

De invulling van de eerste mogelijkheid (a) heeft een sterke overlap met de invulling van de beleidsopties (14) en (15), waar een CO₂-norm voor bestelauto's en vrachtwagens aan de orde is. Effecten kunnen dus niet bij elkaar worden opgeteld. Bij de tweede mogelijkheid (b) valt concreet te denken aan meer samenwerking tussen vervoerders en verladings, efficiëntere belading en verpakking, betere routeplanning, gebruik van transportbedrijven in plaats van eigen vervoer, beter op elkaar afgestemde regels op het gebied van beleving binnensteden, venstertijden, inzet van langere en zwaardere vrachtwagens (LZV's), betere 'deelbaarheid' tussen de trekkende eenheid en het laadgedeelte, het instellen van stedelijke distributiecentra en dergelijke. In Moorman en Kansen (2011) vonden we hiervoor een theoretisch CO₂-reductiepotentieel van 0 tot 10 procent. We constateerden ook dat er in de praktijk veel belemmeringen zijn om dit potentieel te verzilveren.

Uit recent onderzoek van het KiM (KiM, 2013) blijkt dat de benuttingsgraad van de Nederlandse wegvervoerders is gedaald van 46 procent in 2000 naar 32 procent in 2009; een trend in ongewenste richting. Deze daling in de benuttingsgraad kan voor ongeveer de helft worden toegeschreven aan de verschuiving naar zwaardere vrachtwagens (meer trekkers met oplegger in plaats van enkele vrachtwagens), waardoor het laadvermogen bij de Nederlandse wegvervoerders met 15 procent is gegroeid. Andere oorzaken zijn: een verschuiving in het vervoer van bulkgoederen naar lichtere (volumineuzere) halfabrikaten en eindproducten; een verschuiving van lange naar middellange afstandsritten, terwijl de beladingsgraad op kortere ritten over het algemeen lager is dan bij langere afstanden.

Lean & Green is een vrijwillige afspraak tussen overheid en bedrijven. Dit trekt momenteel vooral koplopers aan. Gesteld dat het zou lukken deze afspraak uit te breiden tot alle logistieke bedrijven, dan zouden *in theorie* de emissies van vrachtverkeer over de weg 20 procent kunnen dalen. Bij een uitstoot van vrachtwagens van 6 megaton per jaar, gaat het dan in theorie om 1,2 megaton per jaar. De vraag is of het realistisch is om uit te gaan van zowel 100% deelname als 100% succes bij het reduceren van emissies. Aangezien de afspraak wordt gemaakt op basis van vrijwilligheid geldt *It takes two to tango*. Het risico is daarom groot dat het met deze maatregel niet lukt om 20 procent minder CO₂ te realiseren.

13. Bedrijven: uitbreiding Lean & Green Personal Mobility Award (over vijf jaar 20% minder CO₂)

De maatregel 'uitbreiding Lean & Green Personal Mobility Award' richt zich op CO₂-reductie voor mobiliteit van werknemers van bedrijven: zowel woon-werkverkeer als zakelijke reizen. Een ruwe inschatting is dat de doelgroep van deze maatregel maximaal 20 procent van de autokilometers in Nederland rijdt.⁶⁶ Bij een maximale deelnamebereidheid en maximaal resultaat voor de deelnemers zou dit met 4 procentpunt kunnen verminderen (20 procent van 20 procent). Hiervoor geldt dezelfde kanttekening als bij de logistieke bedrijven (hierboven), namelijk dat het type maatregel het risico in zich heeft dat de beoogde CO₂-reductie niet wordt bereikt.

14. Aanscherping CO₂-norm van 95 naar 60 g/km voor personenauto's en van 147 naar 120 g/km voor bestelauto's

Volgens de huidige regelgeving moeten nieuwe personenauto's in 2015 voldoen aan de (Europese) CO₂-norm van 130 g/km; voor nieuwe bestelauto's geldt vanaf 2017 een CO₂-norm van 175 g/km; voor 2020 is een aanscherping gepland naar 95 g/km voor personenauto's en 147 g/km voor bestelauto's. Deze CO₂-normen gelden alleen voor *nieuwe* voertuigen.

⁶⁵ Onder logistiek verstaan we de manier waarop en de procesorganisatie waarmee goederen worden vervoerd.

⁶⁶ Zakelijk autoverkeer neemt ongeveer 10 procent van de autokilometers voor zijn rekening (Moorman en Kansen, 2011), woonwerkverkeer circa 35 procent, maar niet alle woon-werkverkeer gaat naar bedrijven.

Dit betekent dat het enige tijd duurt voordat een nieuwe norm is gepenetreerd in het totale wagenpark.⁶⁷ De norm moet als het ware ‘ingroeien’, waarbij nieuwe voertuigen die aan de norm voldoen, oudere voertuigen met een hogere CO₂-uitstoot per kilometer vervangen. Uit de Referentieraming van PBL en ECN (PBL/ECN, 2012) is af te leiden dat de voor 2020 geplande aanscherping in 2030 meer dan 3 megaton reductie oplevert.⁶⁸ De reductie tussen 2020 en 2030 is daarmee circa 0,4 megaton jaar-op-jaar.⁶⁹

Een aanscherping van de 2020-norm tot 60 g/km bij personenauto's en 120 g/km bij bestelauto's heeft hetzelfde effect: dus 0,4 megaton jaar-op-jaar. Dit komt omdat de aanscherping in grammen per kilometer identiek is aan de aanscherping tussen 2015/17 en 2020. Gesteld dat de nieuwe norm in 2025 ingaat is de reductie in 2030, dus vijf jaar later, dan circa 2,0 megaton (5 x 0,4 megaton) ten opzichte van de referentie, het huidige wagenpark. De EU is het bevoegd gezag voor zo'n normaanscherping.

15. CO₂-norm voor vrachtwagens die 30% efficiencyverbetering inhoudt

Een mogelijke maatregel is het invoeren van een efficiëncynorm voor vrachtwagens. Verbetering van de efficiency is mogelijk door optimalisatie van voertuig- en motorontwerp (aerodynamica, zuinige motor), zuinige banden en dergelijke. Het effect van deze maatregel hangt uiteraard af van de hoogte van de norm en is dus niet eenduidig te bepalen. Om toch een indicatie te geven, hebben we gekeken naar het kosteneffectieve reductiepotentieel voor vrachtauto's, dat wil zeggen de emissiereductie die bereikbaar is met maatregelen die zichzelf binnen de levensduur terugverdienen. Een norm die zich hierop richt zal maatschappelijk op minder weerstand stuiten dan een norm die ook het treffen van niet-rendabele maatregelen vergt. De literatuur geeft hiervoor een potentieel van circa 30 procent aan (Schroten et al., 2012). Dit komt overeen met circa 1,8 megaton reductie (30 procent van 6 megaton). Dit maximale effect wordt pas bereikt als de nieuwe norm voor 100% is gepenetreerd in het vrachtwagenpark. Bij de inschatting dat een vrachtwagen gemiddeld na acht jaar wordt vervangen, duurt het, nadat de norm is ingegaan, acht jaar voordat de 1,8 megaton reductie bereikt is; de jaar-op-jaar emissiereductie is dus 0,2 megaton (1,8 megaton gedeeld door 8 jaar). Als de vrachtwagennorm bijvoorbeeld in 2025 ingaat is de reductie in 2030, dus vijf jaar later, circa 1,0 megaton (5 x 0,2 megaton) ten opzichte van de referentie, het huidige wagenpark.

Ook hier geldt dat de EU het bevoegd gezag is.

16. Verplichte toename biobrandstof in het wegverkeer van 9% naar 16%

Bijmengen van biobrandstof wordt gestimuleerd met twee Europese richtlijnen: de *Renewable Energy Directive* (RED) en de *Fuel Quality Directive* (FQD). Als gevolg van deze richtlijnen verwachten we dat het aandeel biobrandstof in het wegverkeer in 2020 circa 9 procent zal bedragen. Het Internationaal Energieagentschap (IEA) hanteert als potentie van biobrandstof in het EU wegverkeer een percentage van 16 procent in 2035 (IEA, 2012, p. 221). De potentiële bronnen voor biomassa zouden in dat geval groot genoeg zijn om de vraag naar biomassa voor energietoepassingen te dekken zonder concurrentie met de voedselvoorziening (IEA, 2012, p. 222). 16 procent in 2035 betekent een groei van ongeveer 7 procentpunt ten opzichte van 2020. Ten opzichte van de referentie daalt de CO₂-emissie met circa 2 megaton.⁷⁰

In het *theoretische* geval van 100% penetratie van biobrandstof in het wegverkeer, levert deze maatregel 100% emissiereductie op.⁷¹ Deze bovengrens is niet haalbaar om redenen van fysieke beschikbaarheid van grondstoffen (de hoeveelheid beschikbare biomassa is begrensd, zowel qua benodigd landoppervlak

⁶⁷ Het aantal nieuwverkochte auto's bedraagt jaarlijks circa een half miljoen (vuistregel), terwijl het totale personenautopark ongeveer acht miljoen auto's telt. Het duurt met deze cijfers zo'n 16 jaar voordat een nieuwe voertuignorm in het totale wagenpark is gepenetreerd.

⁶⁸ 3 megaton is het netto-effect van de CO₂-norm en een veronderstelde groei van het (bestel)autoverkeer met 5 à 10 procent in de periode 2020-2030 (persoonlijke communicatie Anco Hoen, PBL). Het effect van de norm is dus hoger.

⁶⁹ In 2021 is de reductie ten opzichte van de referentie 0,4 megaton, in 2022 0,8 megaton, in 2023 1,2 megaton etc. Dus de CO₂-uitstoot in de situatie met de norm en zonder de norm (=de referentiesituatie) lopen steeds verder uit elkaar.

⁷⁰ Als het aandeel biobrandstof bij alle wegmodaliteiten toeneemt van 9 naar 16 procent levert dit een CO₂-reductie van circa 1,2 megaton bij personenauto's, 0,4 megaton bij vrachtauto's en 0,3 megaton bij bestelauto's (t.o.v. referentiewagenpark); uiteraard kan ook voor een andere verdeelsleutel worden gekozen, bijvoorbeeld dat in het vrachtverkeer het aandeel biobrandstof veel hoger is dan bij personenauto's.

⁷¹ Conform de IPCC-rekenregels geldt biobrandstof als 'zero-emission'.

als qua concurrentie met voedselgewassen), raffinagecapaciteit en dergelijke. 100% toepassing vergt bovendien aanpassing van voertuigmotoren. Productiefaciliteiten voor geavanceerde biobrandstoffen die aan stringente duurzaamheidseisen kunnen voldoen, zijn nog niet aanwezig.

17. Een (Europees) ETS voor de brandstoffen van alle landgebonden modaliteiten (wegverkeer, spoor, binnenvaart)

Het effect van een Europees ETS is afhankelijk van het gestelde emissieplafond. In theorie zullen de goedkoopste opties eerst gerealiseerd worden (dus eerst de opties in blok 1, dan 2, en zo verder). De kosten van de hiermee geboekte CO₂-reductie zijn in principe gelijk aan het oppervlak onder de kosten-curve tot het vereiste niveau van emissiereductie, vermeerderd met de transactiekosten van het systeem. De kosteneffectiviteit hangt dus af van de kosten van beschikbare emissiereductieopties en zijn niet eenvoudig in te schatten. De kosten zijn *maximaal* gelijk aan de prijs van de emissierechten die binnen het systeem tot stand komt maal de hoeveelheid emissiereductie.

18. Betere testcycli

Als de testwaarde een goede indicator zou zijn van de praktijkwaarde zouden auto's die voldoen aan de 130 g/km-norm zo'n 30 procent zuiniger zijn dan bij de huidige testcyclus (Ligterink en Bos, 2010). Een goede testcyclus versterkt het effect van de normering dus met 30 procent ten opzichte van de huidige situatie. Waarschijnlijk is het corrigerend effect van een betere testcyclus in de praktijk minder groot, omdat niet het volledige verschil tussen testwaarde en praktijk is weg te poetsen. Aangezien het effect van de aangekondigde aangescherpte normen jaar-op-jaar ca 0,4 megaton is (zie de effecten van de normaanscherping), is het additionele effect van betere testcycli naar schatting minder dan 0,1 megaton per jaar, bijvoorbeeld 0,05 megaton per jaar. Gesteld dat de nieuwe testcyclus in 2020 ingaat, is het effect in 2030 circa 0,5 megaton.



Colofon

Dit is een uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Oktober 2013
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

ISBN: 978-90-8902-112-0
KiM-13-A05

Auteurs:
Saeda Moorman,
Pieter Wouters,
Sascha Hoogendoorn-Lanser

Review:
Prof. dr. B. van Wee (Technische Universiteit Delft).

De verantwoordelijkheid voor de inhoud en de conclusies van deze publicatie ligt volledig bij het KiM.

Vormgeving en opmaak:
VijfKeerBlauw

Ordernummer:
V76-619559

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Telefoon: 070-4561965
Fax: 070-4567576

Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Publicaties van het KiM zijn aan te vragen bij het KiM (via info@kimnet.nl) of als PDF te downloaden van onze website www.kimnet.nl. U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.



Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) maakt analyses van mobiliteit die doorwerken in het beleid. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) maakt het KiM strategische verkenningen en beleidsanalyses. De inhoud van de publicaties van het KiM behoeft niet het standpunt van de minister en/ of de staatssecretaris van IenM weer te geven.



Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Dit is een uitgave van het

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Postbus 20901 | 2500 EX Den Haag
www.rijksoverheid.nl/ienm

www.kimnet.nl

ISBN: 978-90-8902-112-0 | KiM-13-A05

Oktober 2013