



Planbureau voor de Leefomgeving

ELEKTRISCH RIJDEN IN 2050: GEVOLGEN VOOR DE LEEFOMGEVING

BELEIDSSTUDIES

Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving

Hans Nijland et al.

Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving

© Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2012

ISBN: 978-94-91506-19-2
PBL-publicatienummer: 500226002

Eindverantwoordelijkheid

Planbureau voor de Leefomgeving

Auteurs

Hans Nijland, Anco Hoen, Daniëlle Snellen en Barry
Zondag

Contact

Hans Nijland, hans.nijland@pbl.nl

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Simone Langeweg, Tekst- en communicatieadvies
Uitgeverij PBL, Den Haag

Opmaak

Martin Middelburg, VijfKeerBlauw

U kunt de publicatie downloaden. Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Nijland, H. et al. (2012), *Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en altijd wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Bevindingen

Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving 6

Samenvatting 6

Inleiding 8

Elektrische personenautomobiliteit 9

Elektrische stadsdistributie 10

Implicaties voor beleid 10

Verdieping

1 Langetermijntrends in de transportsector 14

Mobiliteit neemt toe 14

Ambities voor minder fossielebrandstofgebruik en minder CO₂-uitstoot 15

Mogelijkheden transportsector om die ambities te realiseren 15

Elektrisch rijden vooral voor personenauto's en stadsdistributie 16

2 Onderzoeksaanpak en uitgangspunten 18

2.1 Onderzoeksaanpak 18

2.2 Uitgangspunten voor elektrisch autorijden 19

2.3 Uitgangspunten elektrische stadsdistributie 20

3 Gevolgen van elektrische automobiliteit 22

3.1 Inleiding 22

3.2 Effecten op autobezit en -gebruik 22

3.3 Effecten op bereikbaarheid en congestie 24

3.4 Effect op autoverplaatsingsgedrag 24

3.5 Effecten op weginfrastructuur 25

3.6 Gevolgen voor de capaciteit van het elektriciteitsnet 25

3.7 Uitstoot van CO₂ en luchtverontreinigende stoffen 26

3.8 Geluidsbelasting 26

3.9 Verkeersveiligheid 27

3.10 Ruimtelijke aspecten van elektrisch rijden 28

3.11 Gevolgen voor overheidsinkomsten en eindgebruikerskosten 29

4 Gevolgen van elektrische stadsdistributie 32

4.1 Inleiding 32

4.2 Invloed op de omvang van het vrachtvervoer 33

4.3 Gevolgen voor logistiek systeem, distributie en overslagplaatsen 34

4.4 Ruimtelijke effecten 35

4.5 Gevolgen voor de leefomgeving en verkeersveiligheid 35

4.6 Gevolgen voor overheidsinkomsten 36

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving

Samenvatting

Elektrisch rijden staat volop in de belangstelling vanwege de verwachte voordelen ervan voor het klimaat en de lokale leefomgevingskwaliteit. De ambitie van het kabinet-Rutte was dat er in 2025 een miljoen auto's op elektriciteit rijden in Nederland. Hiermee wilde het kabinet de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen verminderen en een bijdrage leveren aan de in Europees verband afgesproken doelen rondom de uitstoot van de CO₂-emissies door transport in 2050. Deze uitstoot moet met 60 procent verminderen ten opzichte van 1990. Om de klimaatdoelen te halen, wil de EU bovendien auto's met verbrandingsmotoren weren uit de Europese steden. Een volledige omschakeling naar elektrisch rijden van personenauto's kan een belangrijke bijdrage leveren aan deze doelen. Het PBL heeft daarom de gevolgen verkend van zo'n volledige omschakeling naar elektrische personenautomobiliteit. Een volledige transitie naar elektrisch rijden voor vrachtverkeer en vervoer door de lucht en over het water is vooralsnog lastiger te realiseren. Daarom beperken we ons voor goederenvervoer in deze studie tot de mogelijke gevolgen van de EU-ambitie om vrachtwagens met verbrandingsmotoren uit de stad te weren.

Het PBL concludeert dat volledig elektrisch rijden inderdaad een forse bijdrage aan de klimaatdoelen zal leveren en het milieu in de steden positief zal beïnvloeden. De overstap op elektrische auto's maakt het mogelijk om ongeveer de helft van de langetermijn-

klimaatambities voor de sector verkeer en vervoer te verwezenlijken. Het milieu, in het bijzonder in de steden, profiteert van een transitie naar elektrisch rijden omdat hierdoor zowel de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen als de geluidsbelasting vermindert. Op het hoofdwegennet en het regionale wegennet leidt elektrisch rijden overigens niet tot een afname van de geluidsbelasting. Verder blijkt dat elektrisch rijden vermoedelijk tot meer congestie zal leiden, tot een toename van logistieke centra en tot een verschuiving van economische activiteiten naar de stadsranden. Het elektriciteitsnet zal moeten worden aangepast om aan de toenemende vraag te kunnen voldoen.

Een dergelijke transitie gaat gepaard met grote kosten. Bij ongewijzigd beleid zullen de overheidsinkomsten jaarlijks 5 tot 7 miljard euro lager zijn dan nu. Doordat elektrische auto's naar verwachting relatief duur blijven, zal het autobezit dalen en zullen de opbrengsten uit de aanschafbelasting afnemen. Verder is de energieheffing op elektriciteit verhoudingsgewijs lager dan de accijns op benzine en diesel.

De transitie naar elektrisch rijden kost niet alleen de overheid veel geld, maar ook een groot deel van de automobilisten zal met stijgende kosten worden geconfronteerd. Alleen mensen die nu meer dan 20.000 kilometer per jaar in een benzineauto rijden, kunnen goedkoper uit zijn, zeker bij stijgende olieprijsen. Dieselrijders zullen in vrijwel alle omstandigheden duurder uit zijn.

De kosten voor de aanpassing van de energie-infrastructuur kunnen door verschillende partijen worden gedragen en zijn relatief gering in vergelijking tot de afnemende inkomsten voor de overheid en de extra kosten voor de automobilisten.

De Europese ambitie om op termijn koolstofvrij transport in de steden te hebben, stelt eisen aan de stedelijke inrichting en aan de mogelijkheden voor zowel elektrische auto's als elektrische stadsdistributie. Dit vraagt inspanningen van overheden én marktpartijen.

Toch is niets doen geen optie. Om de Europese klimaatdoelen binnen bereik te brengen, moet de personenautomobiliteit CO₂-neutraal worden. Elektrisch rijden is daarvoor op dit moment een van de meest kansrijke technologieën. Beleid gericht op het vergroten van het aandeel elektrisch rijden blijft dus zinvol. Wel zal moeten worden voorgesorteerd op de kosten die zich op termijn zullen voordoen. De uitdaging is om slimme manieren te vinden om de overheidsinkomsten op peil te houden, of de gevolgen daarvan anderszins te beheersen, en tegelijkertijd het elektrisch rijden aantrekkelijk te houden voor de gebruikers.

Inleiding

De transportsector is momenteel vrijwel volledig afhankelijk van fossiele brandstoffen. Om ook op de lange termijn de energievoorziening zeker te stellen, moet de samenleving minder afhankelijk worden van fossiele brandstoffen. Daarnaast nemen de CO₂-emissies toe doordat de verkeersomvang groeit en doordat het transport slechts zeer beperkt zuiniger is geworden. Dat conflicteert met de in EU-verband afgesproken tweegradendoelstelling.¹ Om die doelstelling te halen, moeten de CO₂-emissies juist worden teruggedrongen. De Europese Commissie heeft de ambitie uitgesproken om in 2050 de CO₂-emissies voor alle sectoren tezamen te beperken met 60 tot 80 procent (ten opzichte van het niveau van 1990; zie Europese Commissie 2011a).

Ook de transportsector, een van de belangrijkste consumenten van fossiele brandstoffen en daarmee een van de belangrijkste bronnen van CO₂, zal zijn bijdrage aan deze reductie moeten leveren. De Europese Commissie mikt voor de transportsector op een reductie van 60 procent in 2050 (ten opzichte van het niveau van 1990; zie Europese Commissie 2011b). Deze reductie kan in principe worden bereikt door zuiniger voertuigen, koolstofarmere brandstoffen, een zuiniger rij-, vlieg- en vaarstijl, en door beperking van de transportvraag. Niet alle transportmodaliteiten hebben dezelfde mogelijkheden. Zo zijn de opties voor het vliegverkeer, de scheepvaart en zware vrachtwagens beperkt. Weliswaar kunnen de transportmiddelen in beperkte mate zuiniger worden ontworpen, maar biobrandstoffen zullen altijd een grote rol spelen bij het voor deze modaliteiten realiseren van koolstofarm transport. Omdat de voorraad biobrandstoffen beperkt is en omdat er voor personenauto's ook alternatieven voor koolstofarme brandstof bestaan (bijvoorbeeld CO₂-vrij opgewekte elektriciteit en waterstof), is het verstandig op termijn de biobrandstoffen te reserveren voor die vervoersmodaliteiten waarvoor weinig andere brandstofmogelijkheden bestaan.

Vanuit deze achtergrond hebben verschillende maatschappelijke sectoren en de overheid de laatste jaren aandacht voor het elektrisch rijden. Zo zien de ministeries van EL&I, IenM en BZK in hun gezamenlijke *Plan van Aanpak voor het elektrisch rijden* (2011) drie redenen om te werken aan de elektrificatie van het wegvervoer. Ten eerste draagt elektrificatie van het wegvervoer bij aan een sterkere economische positie van Nederland. Elektrisch rijden kan een belangrijke impuls vormen voor de economie en de werkgelegenheid in de toeleverende industrie, de ontwikkeling van batterijen, de dienstverlening en de ICT, evenals de aan deze sectoren gelieerde kennisinstututen in Nederland. Omdat

omringende landen ook hard werken aan een grootscheepse innovatie op dit terrein, vraagt deze ambitie snel en doortastend optreden van zowel de overheid als het bedrijfsleven. Het voordeel dat Nederland heeft ten opzichte van de omringende landen, is dat het vanwege de korte afstanden, het vlakke land en de dichtbevolkte Randstad heel goed als proeftuin voor innovaties kan dienen, aldus het Plan van Aanpak. Ten tweede draagt elektrificatie bij aan de energievoorzieningszekerheid van Nederland. Elektrische auto's bevorderen een transitie van fossiele brandstoffen naar (duurzame) elektriciteit. Het wegvervoer in Nederland is momenteel goed voor 32 procent van de nationale oliebehoefte. Elektrificatie van het wegvervoer zorgt voor de ontkoppeling van aan aardolie gerelateerde energiedragers zoals benzine en diesel. Ten derde draagt elektrificatie van het wegvervoer bij aan de klimaatdoelen doordat zij de reductie van CO₂ mogelijk maakt. Doordat elektrisch rijden bijdraagt aan de versterking van de economische positie en de verbetering van de energievoorzieningszekerheid van Nederland, paste dit plan van aanpak goed bij het regeerakkoord van het kabinet-Rutte I. Ook andere Europese landen hebben ambities om het aantal elektrische auto's binnen afzienbare termijn fors te verhogen (zie bijlage 2).

De Europese Commissie onderkent het belang van koolstofarm transport, vooral met het oog op het halen van de klimaatdoelstellingen. Met haar *Roadmap for moving to a competitive low-carbon economy in 2050* zet de Europese Commissie (2011a) een route uit die voor alle sectoren in 2050 moet leiden tot een reductie van de CO₂-emissies met 80 tot 95 procent. Onderdeel van deze route is onder andere dat er in 2050 in de Europese steden geen auto's meer rijden met verbrandingsmotoren (Europese Commissie 2011b). De stadsdistributie zou volgens de Commissie al rond 2030 koolstofvrij moeten plaatsvinden.

In dit rapport beschrijven we de mogelijke gevolgen van een overstap op elektrische personenautomobiliteit. Welke veranderingen zullen zich naar verwachting voordoen in de mobiliteitssector en de (ruimtelijke inpassing in de) leefomgeving als elektrisch rijden grootschalig wordt geïntroduceerd en als bovengenoemde ambities worden bewaarheid? En wat hebben de veranderende kostenverhoudingen van de personenautomobiliteit voor gevolgen voor de overheid en de autogebruikers? We gaan er daarbij van uit dat in 2050 het personenwegverkeer en de stadsdistributie volledig elektrisch plaatsvinden, conform de ambities van de Europese Commissie. We gaan in dit rapport *niet* in op het transitiepad, en doen evenmin uitspraken over de waarschijnlijkheid van elektrisch rijden in 2050 en de ontwikkelingen op het gebied van de voertuigtechniek

(batterijtechnologie, laadsystemen, actieradius enzovoort) die daarop van invloed zijn.

Elektrische personenautomobiliteit

Gevolgen voor autobezit en mobiliteit

- Elektrische auto's zullen ook in de toekomst substantieel duurder blijven dan conventionele auto's, ook als de vrijstelling van de belasting van personenauto's en motorrijwielen (bpm) blijft gehandhaafd en ook als de kosten van de (dure) accu's met een factor drie dalen. Het autobezit, vooral het bezit van een tweede of derde auto, zal hierdoor afnemen. Deze afname is vooral groot (10 tot 20 procent) indien de autokoper de hogere aanschafkosten (veroorzaakt door de kostbare accu's) in één keer bij de aanschaf van het voertuig moet betalen. Maar ook wanneer de accukosten door middel van lease- of huurconstructies in de tijd worden gespreid, kan het autobezit met 0 tot 10 procent afnemen.
- Of het aantal afgelegde autokilometers bij volledig elektrisch rijden in 2050 hoger of lager zal zijn dan dat bij conventioneel blijven rijden, hangt af van de mate waarin de aanschafkosten voor de auto stijgen en de gebruikskosten ervan dalen. De overheid heeft hierop een grote invloed door de manier waarop zij het autobezit en het autogebruik belast.
- Het gebruik van andere vervoerswijzen (trein, fiets, lopen) voor de dagelijkse verplaatsingen kan toenemen. Dit is het gevolg van het feit dat minder mensen een (tweede) auto hebben. Te verwachten valt dat *lange* verplaatsingen vaker per vliegtuig en trein zullen worden gemaakt.
- Een overgang op volledig elektrisch rijden zal zeker gevolgen hebben voor het vakantieverkeer. Mensen zullen er minder met de caravan op uitgaan en naar verwachting veel meer dan nu het vliegtuig en de trein voor hun vakanties gebruiken.

Gevolgen voor milieu en verkeersveiligheid

- Bij een volledig elektrisch wagenpark is de uitstoot van CO₂ door personenauto's nihil, als de elektriciteit CO₂-vrij wordt opgewekt. Dat levert in 2050, afhankelijk van het gehanteerde omgevingsscenario, een jaarlijkse reductie op van tussen de 14 en 27 megaton CO₂. Hiermee zou ongeveer de helft van de klimaatambitie voor de transportsector worden gerealiseerd.
- Afgezien van slijtage-emissies, veroorzaken elektrische auto's geen lokale luchtverontreiniging. Toch zal het additionele effect van elektrisch rijden op de luchtkwaliteit gering zijn. Immers, ook conventionele auto's met verbrandingsmotoren zijn in 2050 naar

verwachting veel schoner dan de huidige conventionele auto's.

- Elektrisch rijden zal binnenstedelijk de geluidshinder met ongeveer een derde doen verminderen en mogelijk leiden tot besparingen in de aanleg van binnenstedelijke geluidsmaatregelen. Doordat de geluidsbelasting op de snelwegen en de provinciale wegen voornamelijk ontstaat door het band-wegdekgeluid, zal een elektrisch wagenpark op deze wegen geen geluidsvoordelen opleveren. Hierdoor zijn er geen besparingen te verwachten op bijvoorbeeld de geluidsschermen langs de snelwegen.
- Er zijn tot nu toe geen aanwijzingen dat het stillere elektrische vervoer tot grotere ongevalsrisico's zal leiden.

Gevolgen voor infrastructuur en ruimte

- Bij een overstap op een volledig elektrische automobiliteit kan de congestie toenemen. Door de lagere gebruikskosten van een elektrische auto zal het autogebruik immers stijgen. Om de bereikbaarheid op peil te houden, is in dat geval meer infrastructuur nodig of zal het bestaande wegennet beter moeten worden benut door bijvoorbeeld het gebruik ervan te beprizen.
- Bij volledig elektrisch rijden neemt de energievraag toe. Het huidige elektriciteitsnet is alleen toegerust op deze grotere energievraag als wordt overgegaan op intelligente netten: de zogeheten smart-gridaanpak. Hiermee zijn investeringen gemoeid van 3 tot 4 miljard euro (een kleine 400 euro per auto).
- Snellaadstations zijn zonder zeer grote extra investeringen slechts op beperkte schaal mogelijk. Zonder die investeringen kan het distributienetwerk op wijkniveau, het zogeheten laagspanningsnet met de transformatorhuisjes, de energievraag voor het snelladen namelijk niet aan.
- Elektrisch rijden heeft geen extra positief effect op de mogelijkheden voor ruimtelijke planvorming. Omdat ook conventionele auto's dan zeer waarschijnlijk veel schoner zijn, zal de luchtkwaliteit de ruimtelijke planvorming in 2050 naar verwachting niet beperken.
- Het ruimtebeslag voor parkeren kan kleiner worden omdat bij elektrisch rijden het autobezit afneemt. Parkeervoorzieningen dienen wel over een oplaadfunctionaliteit te beschikken. In de bestaande bouw is het niet eenvoudig deze aan te passen op de veranderende parkeervraag; bij nieuwbouw is het uiteraard eenvoudiger om de eisen van een elektrisch wagenpark in te passen in de plannen. Afhankelijk van de arrangementen die worden ontwikkeld rondom laden en betalen, kan er mogelijk sprake zijn van een grote behoefte aan parkeren op het eigen terrein of voor de deur.

Financiële gevolgen

- De omschakeling naar elektrisch rijden kost geld, vooral voor de overheid maar ook voor een groot deel van de automobilisten.
- Bij een gelijkblijvend belastingregime zullen de overheidsinkomsten bij elektrisch rijden jaarlijks 5 tot 7 miljard lager zijn dan bij conventioneel rijden. Dit komt vooral omdat elektrische auto's zijn vrijgesteld van aanschafbelasting (bpm), waardoor die overheidsinkomsten wegvallen. Ook is de energieheffing op elektriciteit verhoudingsgewijs lager dan de accijns op benzine en diesel. Door het licht afnemende autobezit heeft de overheid bovendien lagere overheidsinkomsten uit de wegenbelasting (motorrijtuigenbelasting, mrb).
- Alleen mensen die nu meer dan 20.000 kilometer per jaar in een benzineauto rijden, kunnen goedkoper uit zijn bij een overstap op een elektrische auto, zeker wanneer de oliepijzen stijgen. Dieselrijders zullen in vrijwel alle omstandigheden duurder uit zijn.

Elektrische stadsdistributie

Gevolgen voor wagenpark en mobiliteit

- De samenstelling van het vrachtwagenpark zal wijzigen doordat een volledig elektrische aandrijving alleen haalbaar lijkt voor lichte vrachtwagens. Het aantal lichte vrachtwagens zal sterk toenemen en het aantal zware vrachtwagens zal dalen.
- Het aantal ritten met bestelauto's en kleine vrachtwagens zal met bijna een factor drie toenemen. Dit komt doordat de overstap op elektrische vrachtwagens de ritlengte beperkt en doordat het vervoer van en naar de stad niet langer plaatsvindt met grote maar met kleine vrachtwagens. Het aantal ritten met grotere vrachtwagens neemt af. Per saldo neemt het totale aantal door het vrachtverkeer afgelegde voertuigkilometers licht toe.

Gevolgen voor milieu

- De milieubelasting door het vrachtverkeer neemt af. In 2050 zou deze afname, afhankelijk van het gehanteerde omgevingsscenario, een reductie van 1 à 2 megaton CO₂ opleveren.

Gevolgen voor infrastructuur en ruimte

- Een belangrijk logistiek effect is dat de overslag van goederen naar verwachting zal toenemen. Het aantal regionale distributie- en transfercentra zal hierdoor sterk stijgen.
- Vanuit ruimtelijk oogpunt is aandacht nodig voor de mogelijke verschuiving van activiteiten naar de stadsrand (om additionele logistieke kosten te vermijden). Andere aandachtspunten zijn de inpassing

van ruimte voor logistieke overslagpunten en de mogelijkheden voor clustering van logistieke activiteiten.

Financiële en organisatorische gevolgen

- De kosten² voor logistieke bedrijven stijgen mogelijk doordat de voertuiggerelateerde kilometerkosten en de additionele kosten door extra overslag iets hoger uitvallen. De geringe toename van de voertuigkosten is het resultaat van twee tegengestelde effecten. Enerzijds neemt het aantal afgelegde voertuigkilometers licht toe, anderzijds wordt een groter deel van de voertuigkilometers uitgevoerd met kleine (en dus goedkopere) vrachtwagens. In de voertuigkosten zijn de brandstofkosten, afschrijvingskosten en personeelskosten meegenomen.
- Voor de Rijksoverheid valt een lichte stijging van de inkomsten te verwachten. Deze hogere inkomsten ontstaan door de verschuiving van diesel naar elektriciteit als brandstof en de hierbij behorende hogere belastinginkomsten.
- Elektrische stadsdistributie heeft ook organisatorische consequenties in de logistieke keten. De overstap op elektrische stadsdistributie brengt naar verwachting een verschuiving met zich mee van particulier (bedrijfsspecifiek) transport naar publiek toegankelijke aanbieders van goederenvervoer in de stad (commerciële partijen).

Implicaties voor beleid

Een overstap op volledig elektrische automobility betekent dat ongeveer de helft van de langetermijnklimaatambities bij de sector verkeer en vervoer kunnen worden verwezenlijkt, tegen kosten van grofweg 200 tot 400 euro per vermeden ton CO₂. Hoewel het autobezit naar verwachting zal dalen, zullen elektrische auto's, die relatief goedkoop zijn in gebruik, wel intensief worden gebruikt. Het netto-effect van minder auto's maar meer gebruik per auto is naar verwachting een toename van het aantal autokilometers en een mogelijke toename van de congestie. De bereikbaarheid kan op peil worden gehouden door te investeren in infrastructuur: uitbreiding van de bestaande wegen en de aanleg van nieuwe wegen. Ook zou beprijzing kunnen worden ingezet om het bestaande wegennet optimaal te benutten. Om alle auto's van elektriciteit te voorzien, is het bovendien noodzakelijk te investeren in de aanleg van intelligente netten (smart grids) en, op beperkte schaal, snellaadstations. In totaal is daar in elk geval 3 tot 4 miljard euro mee gemoeid; een bedrag dat deels voor rekening komt van de overheid, en deels voor rekening van andere partijen.

Als de belastingen op het autobezit en het autogebruik en de heffingen op benzine, diesel en elektriciteit op hetzelfde peil blijven als de huidige belastingen en heffingen, loopt de overheid bij de overstap op elektrisch rijden jaarlijks 5 tot 7 miljard euro aan inkomsten mis. Het huidige beleid om het elektrisch rijden te stimuleren via belastingvrijstelling en lage energieheffingen zal, als het succesvol blijkt, op de lange termijn dus een forse aanslag op de begroting doen. Omdat de overheidsinkomsten flink afnemen terwijl daar gemiddeld genomen geen lagere kosten voor de autogebruiker tegenover staan, zijn de maatschappelijke kosten van een systeem van elektrisch rijden naar verwachting ook op de lange termijn hoger dan die van een systeem met conventionele auto's. Daarnaast zullen investeringen in wegen, openbaar vervoer en elektriciteitsinfrastructuur om het elektrisch rijden te faciliteren per saldo eerder toe- dan afnemen.

Ondanks de verwachte hoge kosten is het geen reële optie om te stoppen met het beleid gericht op het stimuleren van elektrisch rijden. Om de Europese klimaatdoelen hoe dan ook binnen bereik te brengen moet de personenautomobiliteit CO₂-neutraal worden en elektrisch rijden is daarvoor op dit moment een van de meest kansrijke technologieën. Wel moet worden voorgesorteerd op de kosten die zich op termijn zullen voordoen. Dat betekent niet dat het fiscale beleid nu al op de schop moet. Het betekent wel dat nu al moet worden nagedacht over hoe belastingvrijstellingen en energieheffingen op termijn kunnen worden omgevormd, dan wel over andere mogelijkheden om het voorziene gat in de begroting op te vullen, terwijl elektrisch rijden tegelijkertijd aantrekkelijk blijft voor de gebruikers. Dit laatste spreekt niet voor zich. Zo lijken een verhoging van de energieheffingen op elektriciteit en een vermindering van de belastingvoordelen voor elektrische auto's wellicht een voor de hand liggende manier om de consequenties voor de schatkist te beperken. Daar staat tegenover dat deze maatregelen ook kunnen leiden tot een reductie van de automobiliteit, met negatieve gevolgen voor de economische ontwikkeling en de mogelijkheden voor maatschappelijke participatie. Immers, wanneer autorijden duurder wordt, wordt het minder aantrekkelijk en kan het voor een deel van de mensen te duur worden.

Op het terrein van de stedelijke distributie kan de overheid de voorwaarden scheppen om tot een efficiënter logistiek systeem te komen. Het ruimtelijk beleid kan worden ingezet om de clustering van logistieke bedrijven, en hiermee de kans op samenwerking tussen deze bedrijven, te bevorderen. Samenwerking in de stedelijke distributie resulteert in een hogere beladingsgraad en minder 'last mile' voertuigkilometers. Daarnaast

heeft de overheid op verschillende schaalniveaus een rol bij de regulering van het stedelijke goederenvervoer, bijvoorbeeld via technologische eisen, venstertijden en milieuzones. Vermeden moet worden dat de regelgeving op een lokaal niveau de efficiëntie in routekeuzen beperkt, en zo resulteert in negatieve milieueffecten op een regionaal niveau. Meer regie om de diversiteit aan lokale regelingen voor venstertijden en milieuzones te stroomlijnen, heeft dan ook zowel op de korte als op de lange termijn positieve effecten op de logistieke efficiëntie. De overstap op een elektrische stadsdistributie biedt de kans voor een dergelijke stroomlijning.

Noten

- 1 De Europese Unie heeft als doelstelling dat de opwarming van de atmosfeer onder de 2 graden moet blijven, omdat dan de kans op catastrofes door klimaatverandering nog gering blijft.
- 2 De verandering in de kosten voor logistieke bedrijven is onzeker en sterk afhankelijk van de scenario's voor de olieprijs, de technologische ontwikkelingen, de batterijkosten en de kosten van duurzame energieopwekking.

VERDIEPING

VERDIEPING

Langetermijntrends in de transportsector

Mobiliteit neemt toe

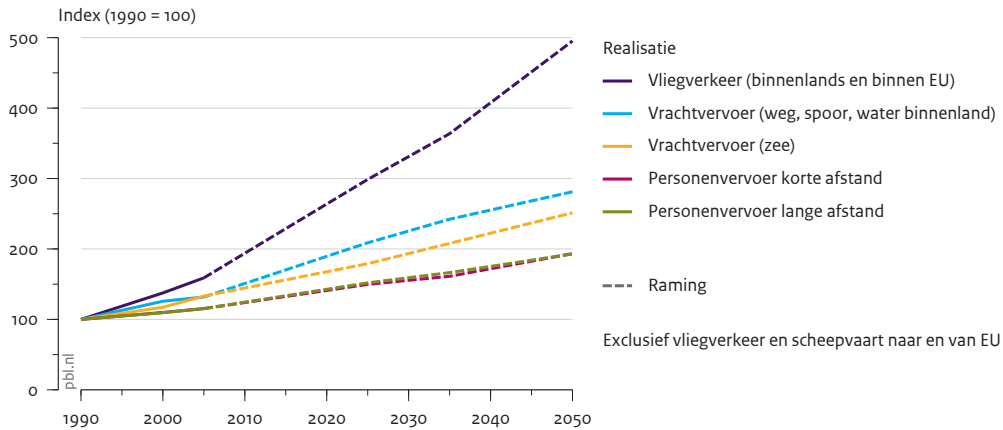
De Nederlandse bevolking is in de afgelopen decennia mobieler geworden, net als de bewoners van de overige lidstaten van de Europese Unie (figuur 1.1). Er worden steeds meer kilometers gemaakt, waarbij vooral steeds vaker wordt gekozen voor snelle vervoerswijzen als het vliegtuig (en in mindere mate de auto en de trein). De afstanden die met andere vervoermiddelen (fiets, brommer, bus en tram) worden afgelegd, blijven min of meer constant. Gemiddeld is de grootste dagelijkse verplaatsing die met de auto tussen huis en werk. De gemiddelde woon-werkafstand neemt toe en was in Nederland in 2008 17 kilometer, tegen 12 in 1985. Vooral de woon-werkafstand van autogebruikers steeg, van circa 15 kilometer medio jaren tachtig naar ongeveer 22 kilometer per enkele reis in 2008 (KiM 2010).

Het goederenvervoer in Europa verloopt steeds vaker via de zeescheepvaart, de luchtvaart (beperkt in volumes maar substantieel in waarde) en het wegtransport. Bij het wegtransport neemt het goederenvervoer over de lange afstand toe, ondanks de langdurige inzet van de EU om een overgang ('modal shift') te bewerkstelligen naar het railvervoer en de binnenvaart (zie Europese Commissie 2001, 2011b). Ook over de korte afstand nam het goederentransport over de weg sterk toe; het gaat hierbij om het zogenoemde 'last mile'-transport, waarbij veel goederen onder andere direct op het woonadres worden afgeleverd. Zo zorgt het steeds grotere aantal aankopen via het internet – e-commerce – voor een forse stijging

van het aantal ritten; een stijging die komt boven op de al voorziene stijging van het goederenvervoer voor de 'oude' economie (TLN 2000).

Voor Nederland worden soortgelijke ontwikkelingen verwacht (PBL 2011): in alle scenario's neemt de totale personenmobiliteit toe, evenals het aandeel van de auto daarin. De congestieontwikkeling houdt geen gelijke tred met de ontwikkeling van de automobilititeit. In een laag scenario, waarin de overheid blijft investeren in het hoofdwegennet en de personenmobiliteit bescheiden toeneemt, zal in 2040 de congestie (gemeten in het aantal voertuigverliesuren) dalen met ongeveer 50 procent ten opzichte van 2008. In het hoge scenario echter zal de congestie, ondanks de forse investeringen, blijven toenemen tot ongeveer 2,5 keer het niveau van 2008; dit niveau zal al in 2030 worden bereikt. Daarna treedt stabilisatie op. Regionaal zijn er echter duidelijke verschillen in deze trend. Zo zal de automobilititeit in bijvoorbeeld Flevoland en grote delen van de Randstad, Noord-Brabant, Oost- en Noord-Nederland vrijwel zeker toenemen, ook bij een laag scenario. Een stabilisatie wordt in veel regio's pas op langere termijn, na 2030, aannemelijk. Alleen in de meer stedelijke regio's zoals Amsterdam, Utrecht, Amersfoort, Arnhem/Nijmegen en Groningen, zal de automobilititeitsgroei zich tot 2040 voortzetten. En de meer perifere regio's, zoals Zeeland, Limburg, de Kop van Noord-Holland, de Achterhoek en Oost-Groningen zullen naar alle waarschijnlijkheid al na 2020 met een stabilisatie of zelfs afname van de automobilititeit te maken krijgen, vooral door de

Figuur 1.1
Verkeer en vervoer in Europa



Bron: PBL (2009a)

bevolkingsontwikkelingen in die gebieden. Niet alleen de automobiliteitsontwikkeling maar ook de congestieontwikkeling verschilt aanzienlijk per regio. De grootste congestieproblemen blijven zich concentreren in de Randstad en de wegen die naar de Randstad leiden (PBL 2011). Het vliegverkeer groeit in alle scenario's sterk (Significance 2008).

Voor het goederenvervoer verwachten CPB et al. (2006) een stabilisatie (het zogeheten RC-scenario) tot sterke groei (alle andere scenario's). In alle scenario's vindt een sterke toename plaats van het containervervoer en een afname van het bulktransport. Daardoor zal vooral het goederenvervoer over de weg en het spoor toenemen.

Ambities voor minder fossielebrandstofgebruik en minder CO₂-uitstoot

De toename van de mobiliteit heeft ook gevolgen voor het energiegebruik (fossiele brandstoffen) en het milieu (uitstoot van CO₂ en andere schadelijke stoffen). De transportsector is momenteel vrijwel volledig afhankelijk van fossiele brandstoffen. Om de energievoorziening ook op de langere termijn zeker te stellen, is het gewenst die afhankelijkheid terug te brengen. Bovendien neemt de CO₂-emissie door het verkeer nog steeds toe, door de voortgaande mobiliteitsgroei en doordat de transportmiddelen slechts zeer beperkt zuiniger zijn geworden, terwijl de CO₂-emissie juist aanzienlijk teruggedrongen moet worden om de tweegradendoelstelling van de EU te halen. Om deze langetermijndoelstelling te realiseren, wil

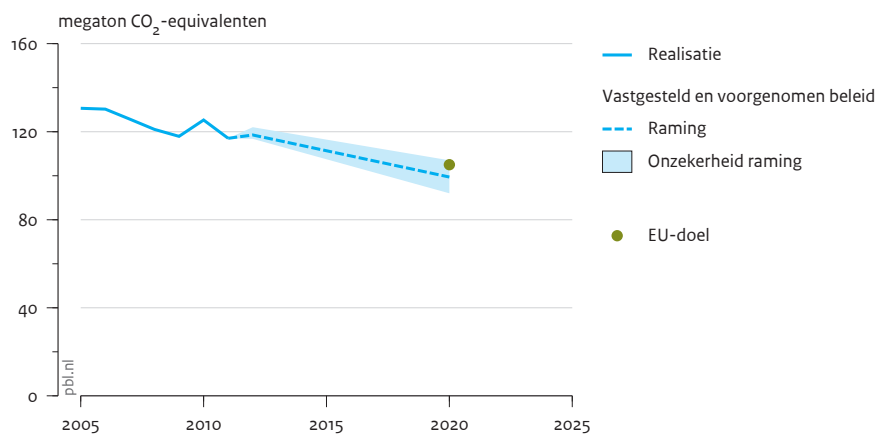
de Europese Commissie de CO₂-emissie voor alle sectoren in 2050 hebben teruggebracht met 60 tot 80 procent (zie Europese Commissie 2011a). Ook de transportsector zal daaraan zijn bijdrage moeten leveren. Zo moeten de niet-ETS-sectoren (waaronder het verkeer; met uitzondering van de luchtvaart, die vanaf 2012 onder het emissiehandelssysteem valt) hun broeikasgasemissies hebben teruggebracht met 20 procent ten opzichte van 1990. Voor Nederland is deze EU-doelstelling voor de niet-ETS-sectoren geoperationaliseerd in een reductie in 2020 van 16 procent ten opzichte van 2005. Het lijkt waarschijnlijk dat Nederland dit doel haalt (zie figuur 1.2). Verder streeft de EU naar een aandeel hernieuwbare energie in 2020 van 20 procent. Voor Nederland betekent deze doelstelling een aandeel hernieuwbare energie van 14 procent (anno 2009 was dat 4 procent). Specifiek voor de transportsector is in de EU de doelstelling geformuleerd van een aandeel hernieuwbare biobrandstof van 10 procent in 2020 (anno 2010 was dat 4 procent voor Nederland).

Mogelijkheden transportsector om die ambities te realiseren

In dit rapport gaan we er, in lijn met de Europese ambities, van uit dat de transportsector een reductie van het fossielebrandstofgebruik realiseert van 60 procent ten opzichte van 1990. Niet alle modaliteiten hebben dezelfde mogelijkheden om deze reductie te halen.

Voor personenauto's zijn er verschillende opties om het gebruik van fossiele brandstoffen en de CO₂-emissie

Figuur 1.2
Emissie broeikasgassen door niet-ETS-sectoren



Bron: PBL (2010)

terug te dringen. Ten eerste kunnen de brandstoffen CO₂-armer worden; denk aan biobrandstoffen, waterstof of elektriciteit. Daarnaast kunnen de voertuigen zuiniger worden, kunnen autobestuurders zuiniger rijden en kunnen zij minder met onzuinige voertuigen rijden (en meer met zuinige voertuigen).

Bij het goederenvervoer over de weg is er een onderscheid tussen langeafstandstransport en stedelijk transport. Om de CO₂-uitstoot van het langeafstandstransport over de weg te beperken kan worden gedacht aan zuiniger voertuigen in combinatie met biobrandstoffen. Daarnaast zijn er beperkte mogelijkheden om het langeafstandstransport over de weg te vervangen door transport over het water en het spoor ('modal shift'). Voor het goederenvervoer over de korte afstand zijn er meer opties, zoals elektrische of hybride voertuigen. Voor deze beide typen voertuigen geldt dat hun beladingsgraden laag zijn, onder de 50 procent, en dat hier nog substantiële efficiëntiewinsten te behalen zijn door een verdergaande logistieke samenwerking tussen vervoerders. Zo zal de gemiddelde beladingsgraad van een voertuig naar verwachting toenemen. Bijvoorbeeld door de verwachte stijging in personeelskosten (door personeelsschaarste), de stijgende brandstofkosten en de striktere regulering. Daar staat echter tegenover dat de verdere integratie van het goederenvervoer in het bedrijfsproces de logistieke efficiëntie ondergeschikt kan maken aan bijvoorbeeld de personeelsplanning in de winkel of de leveringszekerheid.

Daarentegen hebben het vliegverkeer en de scheepvaart slechts beperkte opties om hun fossielebrandstofgebruik te reduceren. Weliswaar kunnen de vlieg- en vaartuigen

in beperkte mate zuiniger ontworpen worden, toch zullen vooral biobrandstoffen nodig zijn om deze daadwerkelijk koolstofarm te maken.

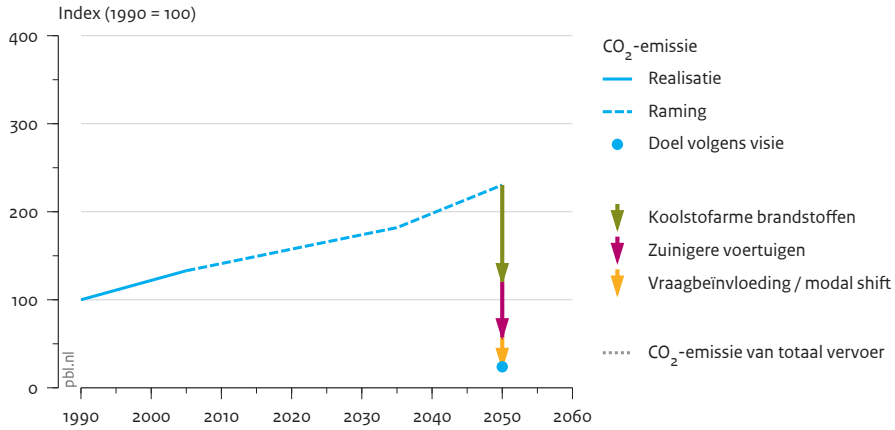
Uit figuur 1.3 blijkt dat verhoudingsgewijs de grootste reducties mogelijk zijn bij personenauto's: deze zijn goed voor ongeveer de helft van alle CO₂-emissies in de transportsector. De inzet van koolstofarme brandstoffen levert de grootste CO₂-reductie bij personenauto's op. Koolstofarme brandstoffen zijn er in vele soorten en maten: het kunnen biobrandstoffen zijn, of bijvoorbeeld waterstof (als energiedrager), maar het kan ook gaan om (CO₂-arm opgewekte) elektriciteit. Omdat de voorraad biobrandstoffen beperkt is en personenauto's ook andere mogelijkheden hebben om CO₂-arm te rijden, is het verstandig de biobrandstoffen te reserveren voor die vervoersmodaliteiten die de beschikking hebben over weinig andere mogelijkheden, namelijk de scheepvaart en de luchtvaart.

Elektrisch rijden vooral voor personenauto's en stadsdistributie

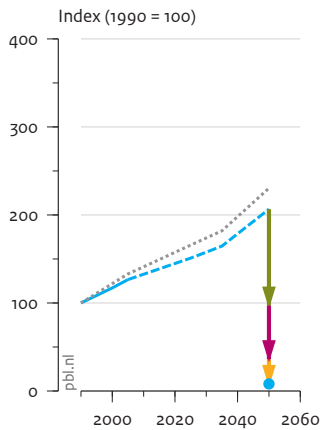
In dit rapport werkt het PBL nader uit wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van grootschalig elektrisch rijden, als vorm van koolstofarme brandstof, in 2050 in Nederland. Daarbij gaan we ervan uit dat zowel personen- en bestelauto's als de stadsdistributie in 2050 elektrisch zijn. Deze aanname sluit goed aan op de ambitie van de Europese Commissie, om tegen die tijd in de stad personenauto's met fossiele brandstoffen te

Figuur 1.3
Route naar koolstofarm vervoerssysteem in Europa in 2050

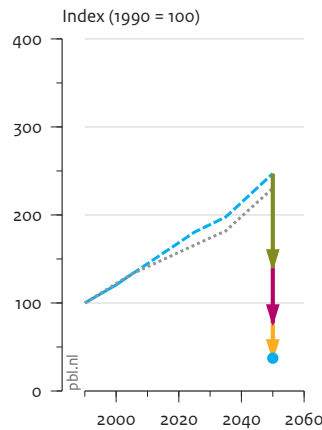
Totale vervoer



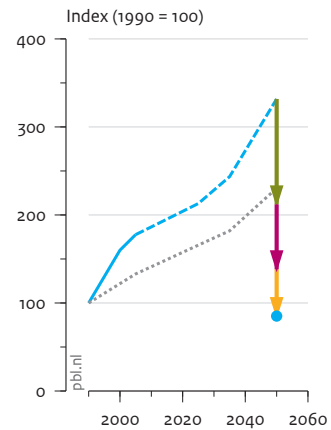
Personenvervoer (weg, spoor)



Vrachtvervoer (weg, spoor, water)



Vliegverkeer (binnenlands en binnen EU)



Bron: PBL (2009)

verbieden en om de stadsdistributie al in 2030 grotendeels CO₂-vrij te maken. We gaan er verder van uit dat de elektriciteit voor personenauto's koolstofarm opgewekt wordt, dus door kolencentrales waarvan de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen (CCS), door hernieuwbare energie als wind of zon, of door kernenergie. Voor binnenstedelijk vervoer is niet alleen een overgang denkbaar naar elektrisch autorijden maar ook naar de (elektrische) fiets of het openbaar vervoer.

Onderzoeksaanpak en uitgangspunten

2.1 Onderzoeksaanpak

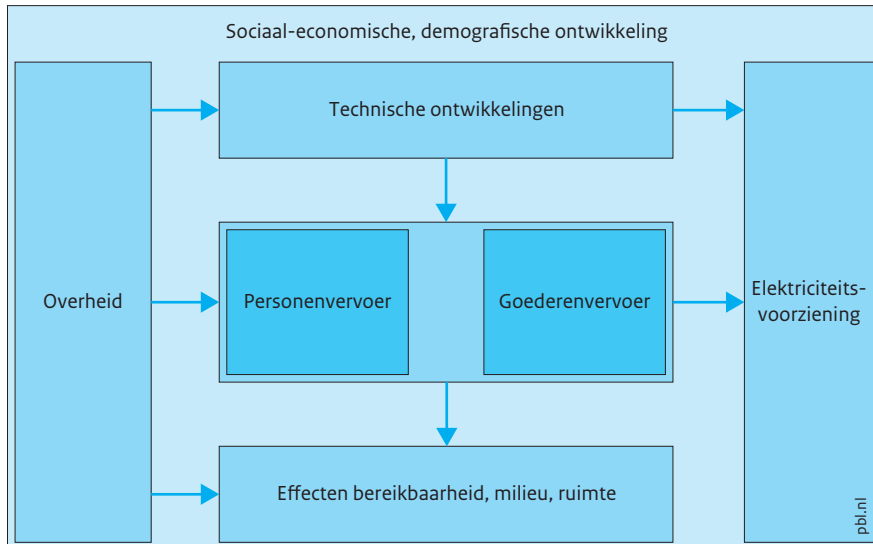
Om de effecten van volledig elektrisch autorijden en een volledige elektrische stadsdistributie in kaart te brengen, zijn veronderstellingen nodig over hoe de wereld er in 2050 uit ziet. Uiteraard zijn vele eindbeelden mogelijk. Zo is het denkbaar dat de elektrische auto in 2050 vooral thuis langzaam wordt opgeladen, maar ook dat er vooral batterijwisselstations komen. Verder kan, meer op macroschaal, de economische groei en de daaraan gekoppelde inkomensgroei tot 2050 laag, maar ook hoog zijn. In een scenario met hoge inkomens zouden de relatief dure elektrische auto's minder snel leiden tot een kleiner wagenpark. Een lage of een hoge bevolkingsgroei is vanzelfsprekend ook van invloed op de effecten die elektrische mobiliteit met zich brengt. Hetzelfde geldt voor de olieprijs. Hoge olieprijzen leiden tot een eveneens hoge prijs in 2050 voor benzine en diesel, terwijl de elektriciteitsprijs relatief laag is, waardoor het gunstig wordt om in een elektrische auto te rijden. Maar of elektriciteit inderdaad zo goedkoop blijft wanneer er alleen nog elektrische auto's rijden, is maar de vraag. Dat zou namelijk leiden tot veel minder inkomsten voor de overheid.

Dat we veel mogelijke toekomstbeelden kunnen construeren, illustreert dat het werkelijke eindbeeld erg onzeker is. In dit onderzoek willen we niet de effecten van al die verschillende mogelijke toekomstbeelden in kaart brengen. Ook is het niet de bedoeling om aan te geven wat het meest waarschijnlijke toekomstbeeld is. Dat is

ook niet zinvol omdat het, zoals gezegd, vooralsnog zeer onzeker is hoe een systeem van elektrisch rijden er uit komt te zien. In dit rapport stellen we daarom één denkbaar toekomstbeeld centraal. De uitgangspunten van dit toekomstbeeld beschrijven we in dit hoofdstuk. In hoofdstuk 3 en 4 staan de effecten centraal die verwacht kunnen worden indien de personenautomobiliteit en de stadsdistributie volledig elektrisch worden. In hoofdstuk 6 gaan we na hoe deze orde-grootte-effecten veranderen als we een aantal uitgangspunten van het centrale toekomstbeeld aanpassen. De conclusies in dit rapport moeten worden gezien als 'what-if statements': *als* het systeem van elektrisch rijden voldoet aan deze criteria, *dan* zullen we deze gevolgen mogen verwachten.

De onderzoeksaanpak is schematisch weergegeven in figuur 2.1. De figuur laat de belangrijkste elementen van het onderzoek in samenhang zien. Het autogebruik heeft een directe relatie met de elektriciteitsvoorziening, en zowel het autobezit als het autogebruik heeft externe effecten zoals geluidshinder, uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en CO₂, ongevallen en congestie; deze effecten zijn alle onderwerp van deze studie. Een aantal van deze effecten kan een ruimtelijke impact hebben (zoals bouwrestricties doordat lucht- of geluidsnormen worden overschreden), evenals het autobezit en het autogebruik zelf. Alle analyses zijn gedaan tegen de achtergrond van twee WLO-scenario's (CPB et al. 2006): Global Economy (GE) en Regional Communities (RC). Voor één centraal toekomstbeeld hebben we een aantal uitgangspunten vastgesteld ten

Figuur 2.1
Onderzoeksaanpak



Bron: PBL

aanzien van de aanschafkosten van voertuigen, het fiscale stelsel (autobelastingen en accijnzen), de benodigde investeringen voor de oplaadinfrastructuur en de elektriciteits- en brandstofprijzen. Een korte beschrijving van deze uitgangspunten voor personenauto's en stadsdistributie volgt in paragraaf 2.2 en 2.3.

De analyses leiden vervolgens tot veranderingen ten opzichte van een referentiesituatie in 2050, waarin de personenautomobiliteit en de stadsdistributie niet elektrisch plaatsvinden. Deze veranderingen, ofwel de effecten van elektrisch rijden, zijn beschreven in hoofdstuk 3.

De uitgangspunten voor ons toekomstbeeld komen overeen met de verwachtingen die op dit moment gangbaar zijn in de beleids- en onderzoekswereld. In hoofdstuk 6 bekijken we of de conclusies fundamenteel veranderen als we op een aantal cruciale onderdelen andere aannames hadden gedaan.

2.2 Uitgangspunten voor elektrisch autorijden

Zoals gezegd veronderstellen we dat alle personenauto's in 2050 elektrisch zijn. In bijlage 1 is een uitvoeriger beschrijving van de uitgangspunten gegeven.

Autobelastingen en energieheffing

We veronderstellen dat het huidige beleid van kracht blijft. Dat houdt in dat er in 2050 voor elektrische auto's geen aanschafbelasting (bpm) wordt betaald maar wel wegenbelasting (mrb)¹. We nemen aan dat de heffing op elektriciteit gelijk zal zijn aan de huidige situatie en dat huishoudens het laagtarief betalen voor hun volledige elektriciteitsgebruik (11 eurocent per kilowattuur).

Elektriciteitsprijs en brandstofkosten

We veronderstellen dat de variabele autokosten van elektrische auto's circa 30 tot 50 procent lager zijn dan die van benzineauto's, en 0 tot 35 procent lager dan die van dieselauto's. Daarbij is verondersteld dat benzine- en dieselauto's tot 2050 autonoom 40 procent zuiniger worden. Verder is aangenomen dat de gebruikte elektriciteit CO₂-neutraal wordt opgewekt.

Aanschafprijs en actieradius

We nemen aan dat de gemiddelde elektrische auto in 2050 een actieradius heeft van circa 250 kilometer. De meerkosten van een elektrische auto ten opzichte van een benzine- of dieselauto bedragen ongeveer 15.000 tot 20.000 euro. Daarbij is verondersteld dat de kosten van de accu's met circa een factor drie dalen ten opzichte van nu. We nemen aan dat de autokoper deze kosten bij aanschaf in één keer moet betalen. We veronderstellen verder dat de levensduur van accu's vergelijkbaar is met de levensduur van huidige benzine- en dieselauto's.

Opladen

We veronderstellen dat langzaam opladen aan huis de belangrijkste vorm van opladen wordt. Het volledig opladen van een elektrische auto duurt daarbij circa 8 uur. Dit betekent wel dat de oplaadtechniek verbetert ten opzichte van nu, omdat een elektrische auto met een actieradius van 250 kilometer ruim twee keer zo lang moet opladen als een elektrische auto met een actieradius van 100 kilometer.

2.3 Uitgangspunten elektrische stadsdistributie

Alle bestelauto's en lichte vrachtwagens (tot maximaal 10 ton bruto voertuiggewicht) zijn in 2050 elektrisch. In steden mogen alleen nog elektrische voertuigen rijden. Dit houdt in dat zwaardere vrachtwagens (meer dan 10 ton bruto voertuiggewicht) de stad niet meer in mogen. In bijlage 1 staat een uitvoerige beschrijving van de algemene uitgangspunten voor de elektrische stadsdistributie. Voor meer detail over de specifieke uitgangspunten voor het goederenvervoer wordt verwezen naar Significance (2012).

Opladen

We veronderstellen dat langzaam opladen de belangrijkste vorm van opladen wordt. Het volledig opladen van een elektrische bestelauto of lichte vrachtauto duurt circa 8 uur. Net als bij personenauto's veronderstelt dit impliciet dat de oplaadtechniek verbetert ten opzichte van nu. Het opladen vindt plaats op de distributielocaties net buiten de stad.

Voertuigbelastingen en energieheffing

Over bestelauto's en vrachtwagens wordt geen bpm betaald. Slechts een klein gedeelte van de bestelautogebruikers betaalt wegenbelasting (mrb). We veronderstellen dat dit zo blijft in 2050 en ook geldt voor de elektrische vrachtvoertuigen die zullen worden ingezet. We veronderstellen verder dat de energieheffing op elektriciteit gelijk blijft en dat vervoerders dezelfde

heffing betalen als gebruikers van personenauto's. Als vrachtvervoerders als grootgebruikers worden aangemerkt, zouden zij een lagere heffing kunnen betalen.

Aanschafprijs en actieradius

De maximale afstand die een volgeladen bestelbusje op een volle accu kan rijden, is 250 kilometer. Lichte vrachtwagens hebben een actieradius van maximaal 200 kilometer. De meerkosten voor een elektrische bestelauto bedragen 22.500 tot 30.000 euro (anderhalf keer zoveel als voor personenauto's). De meerkosten voor lichte vrachtwagens bedragen 36.000 tot 48.000 euro. De onderhoudskosten van een elektromotor zijn lager dan die van een dieselmotor. Hier staat tegenover dat de levensduur van batterijen korter is dan die van een dieselmotor. Verondersteld wordt dat de vaste kosten voor vervoerders alleen veranderen door de meerkosten van de accu's en dat de overige voertuigkosten kostenneutraal zijn.

Elektriciteitsprijs en brandstofkosten

De brandstofkosten voor elektrische bestelauto's en lichte vrachtwagens liggen 0 tot 35 procent lager dan die voor de dieselvarianten. We veronderstellen dat bestelauto's (net als personenauto's) tot 2050 autonoom 40 procent zuiniger worden en vrachtauto's 20 procent. Verder is aangenomen dat de gebruikte elektriciteit duurzaam (CO₂-neutraal) wordt opgewekt.

Inzettefficiëntie

Aangezien elektrische voertuigen minder efficiënt ingezet kunnen worden vanwege de tijd die nodig is om ze op te laden, leggen deze per jaar potentieel minder voertuigkilometers af dan niet-elektrische voertuigen. Voor bestelauto's lijkt dit echter een kleine rol te spelen, omdat hun gemiddelde afstand op een dag ruim onder de veronderstelde actieradius van 250 kilometer ligt. Voor lichte vrachtwagens is deze geringere efficiëntie wel belangrijk, omdat de veronderstelde actieradius van 200 kilometer weliswaar boven de huidige gemiddelde afstand ligt maar de spreiding in afstanden ervoor zal zorgen dat een beperkt deel van dit verkeer zijn dagelijkse afstanden moet aanpassen. Het effect op de kosten wordt hier enigszins beperkt doordat een lagere afstand per dag leidt tot minder slijtage van de auto. Omdat we alleen een substantieel effect veronderstellen voor een beperkt segment, gaan we bij de algemene berekeningen uit van geen effect.

Transportkosten

Bij de transportkosten voor vrachtwagens nemen we de brandstofkosten, afschrijvingskosten en personeelskosten mee. Hierbij dalen de brandstofkosten (zie boven). De afschrijving voor bestelauto's en lichte

vrachtwagens is 30 procent groter dan nu, omdat de aanschafprijs van de voertuigen hoger is. De personeelskosten blijven gelijk. Per saldo betekent dit dat daar waar elektrische voertuigen voldoende bereik hebben om het vervoer met een dieselbestelauto of -vrachtauto één op één te kunnen vervangen, er maar beperkte verschillen in de totale voertuiggerelateerde transportkosten ontstaan. Wel zal extra overslag nodig zijn, en daarmee overslagkosten, doordat gebruik wordt gemaakt van kleinere vrachtwagens dan nu.

Noot

- 1 Momenteel zijn elektrische auto's vrijgesteld van mrb. Die vrijstelling wordt na 2015 afgeschaft. We nemen aan dat die afschaffing ook na 2015 wordt gehandhaafd. Elektrische auto's hebben een vrijstelling van bpm tot 2018. We nemen aan dat die vrijstelling gehandhaafd blijft.

Gevolgen van elektrische automobilititeit

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we na wat in 2050 de gevolgen zijn van een overstap op elektrische personenauto's. We concentreren ons daarbij op de gevolgen voor:

- autobezit en autogebruik;
- bereikbaarheid en congestie;
- verplaatsingsgedrag;
- investeringen in de weginfrastructuur;
- investeringen in het elektriciteitsnet;
- ruimtelijke inpassing (onder andere voor parkeren);
- verkeersveiligheid;
- geluidsbelasting;
- milieu;
- overheidsinkomsten en kosten voor de gebruiker.

Zoals in het voorgaande hoofdstuk al is aangegeven, moet het eindbeeld dat we voor 2050 hanteren niet als het enige mogelijke of als het meest waarschijnlijke worden geïnterpreteerd. Het is een mogelijk toekomstbeeld dat elementen bevat die in de huidige discussie over elektrisch rijden veel aandacht krijgen. Wij brengen de gevolgen in kaart van dat mogelijke toekomstbeeld, waarbij een toekomst zonder elektrische auto's als referentie dient. In hoofdstuk 6 laten we zien hoe de gevolgen die we in dit hoofdstuk beschrijven, veranderen als we een aantal belangrijke aannames uit hoofdstuk 2 aanpassen.

3.2 Effecten op autobezit en -gebruik

De overstap op elektrisch rijden heeft in de eerste plaats effect op het autobezit en -gebruik. Deze effecten zijn bepaald met het personenautobezitsmodel Dynamo versie 2.2 (Muconsult 2010) en het Landelijk Modelsysteem (LMS) 2011 (DVS). Om een goed beeld te krijgen van de veranderingen en de onzekerheid rondom die veranderingen hebben we vier varianten doorgerekend met verschillende uitgangspunten. Deze zijn weergegeven in tabel 3.1. De varianten verschillen in de variabele kosten (brandstofprijs) en in de vaste kosten (aanschafprijs). Zij zijn doorgerekend met zowel het GE- en het RC-scenario als een achtergrondscenario.

Het was niet mogelijk om 2050 als zichtjaar door te rekenen met het LMS. De voor de berekeningen benodigde gegevens waren alleen beschikbaar voor het jaar 2030. Toch denken we dat de resultaten voor 2030 ook een goede indicatie geven van de mogelijke effecten in 2050. Ondanks de verschillen in macro-economische en sociaal-demografische grootheden (bbp, economische groei, bevolkingsomvang) tussen het RC- en GE-scenario zijn de richting en de omvang van de effecten die we voor 2030 hebben berekend, voor de vier varianten namelijk steeds zeer vergelijkbaar. Daarom gaan we ervan uit dat voor 2050 in ordegruote vergelijkbare effecten te verwachten zijn.

Tabel 3.1

Overzicht van de aannames voor de berekeningen met Dynamo en LMS

		benzine	diesel
Aanschafprijs (lage stijging)	< 951 kg	+50%	+50%
	951-1.150 kg	+40%	+40%
	1.151-1.350 kg	+40%	+40%
	> 1.350 kg	+40%	+40%
Aanschafprijs (hoge stijging)	< 951 kg	+100%	+100%
	951-1.150 kg	+80%	+80%
	1.151-1.350 kg	+80%	+80%
	> 1.350 kg	+80%	+80%
Brandstofprijs (lage daling)	brandstofprijs	-30%	0%
	accijns	-30%	0%
Brandstofprijs (hoge daling)	brandstofprijs	-50%	-35%
	accijns	-50%	-35%

Bron: PBL

3.2.1 Effect op autobezit

Afhankelijk van de aanschafprijs van elektrische auto's (zie tabel 3.1) neemt het autobezit af met 10 à 20 procent. Hoe hoger de aanschafprijs, hoe sterker de daling van het autobezit. Opvallend is dat het aantal huishoudens met twee of meer auto's flink (met meer dan de helft) daalt wanneer de aanschafprijzen het hoogst zijn. Maar ook in de variant met een lage stijging van de aanschafprijzen daalt het aantal huishoudens met meerdere auto's, met 20 à 30 procent. Bij hoge aanschafprijzen neemt het aantal huishoudens met 1 auto hierdoor toe met 30 tot 35 procent; bij lagere aanschafprijzen bedraagt deze toename circa 20 procent. Het aantal huishoudens zonder auto stijgt met zo'n 10 à 15 procent.

3.2.2 Effecten op autogebruik

Het dalende autobezit leidt samen met de veranderende variabele autokosten tot veranderingen in het autogebruik. Deze veranderingen zijn bepaald met het LMS. Uit onze berekeningen blijkt dat het totaal aantal elektrisch gereden kilometers varieert van 5 procent minder tot 10 procent meer dan bij conventionele auto's. Per saldo lijkt daarmee de kans het grootst dat het aantal gereden kilometers bij volledig elektrisch autorijden in 2050 iets hoger is dan in een toekomst zonder elektrisch rijden. Zou het autobezit niet afnemen, dan is de stijging van het totale aantal kilometers flink groter: het effect van de lagere brandstofkosten (of in dit geval elektriciteitskosten) wordt dus grotendeels gecompenseerd door het lagere autobezit.

De lengte van de gemiddelde autorit¹ neemt toe met zo'n 5 tot 10 procent. Door de lagere brandstofkosten is een verplaatsing met een elektrische auto goedkoper dan een verplaatsing met een conventionele auto. Het totaal aantal ritten van alle auto's samen neemt echter af met 5 tot 10 procent. Dit is een direct gevolg van het lagere autobezit.

In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, zal het aantal korte ritten bij volledig elektrisch autorijden naar verwachting niet sterk toenemen. Het aantal tweede auto's daalt immers sterk en juist deze auto's worden vaak voor de korte ritjes gebruikt. Het totaal aantal kilometers dat afzonderlijke auto's jaarlijks rijden, neemt bij een overgang op elektrische auto's aanzienlijk toe, met circa 25 procent. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de beperkte actieradius van elektrische auto's niet in de berekeningen kon worden meegenomen. Dit maakt voor de uitkomsten echter weinig uit. Uit de berekeningen blijkt dat de lengte van de verplaatsingen vooral groter wordt voor ritten korter dan 200 kilometer. De actieradius van 200 kilometer vormt in een situatie met volledig elektrisch autorijden dus nauwelijks een beperking.

Een deel van de autoverplaatsingen wordt overgenomen door andere vervoerswijzen. Zo is het ov-gebruik in 2050 bij volledig elektrisch autorijden circa 5 tot 10 procent hoger dan in een toekomst zonder elektrisch rijden. Hoe hoger de aanschafprijs van elektrische auto's, hoe hoger het ov-gebruik. Ook zien we dat het fietsgebruik met circa 5 procent toeneemt. Omdat het autobezit zo sterk

Tabel 3.2

Belangrijkste veranderingen in autobezit en -gebruik bij volledig elektrische automobilititeit

Autobezit (aantal auto's)	- 10 tot - 20%
Autokilometers	- 5 tot + 10%
Aantal autoverplaatsingen	0 tot - 10%
Lengte autoverplaatsingen	+ 5 tot + 15%
OV-gebruik (aantal verplaatsingen)	+ 5 tot + 10%
Fiets (aantal verplaatsingen)	0 tot + 10%

Bron: PBL

afneemt, neemt ook de bezettingsgraad van auto's toe. Het aantal autopassagierkilometers neemt toe met 5 tot 10 procent. In tabel 3.2 zijn de belangrijkste effecten op het autobezit en -gebruik samengevat.

3.3 Effecten op bereikbaarheid en congestie

Bij volledig elektrisch autorijden, zo bleek uit de vorige paragraaf, is in 2050 het autobezit lager terwijl elke afzonderlijke auto meer rijdt. Deze ontwikkeling heeft ook invloed op de bereikbaarheid en het aantal files. De effecten van elektrisch rijden op de bereikbaarheid en de congestie zijn met het LMS in kaart gebracht. Omdat de filevorming erg gevoelig is voor veranderingen in het autobezit en het aantal afgelegde kilometers, zijn de effecten op de bereikbaarheid en de congestie onzekerder dan die op het autobezit en het autogebruik. De berekeningen geven aan dat, bij relatief lage meerkosten van een elektrische auto en bij lage brandstofkosten, het aantal voertuigverliesuren flink hoger kan zijn (20 à 30 procent) dan in een situatie met benzine- en dieselauto's. In dit geval neemt het autobezit relatief weinig af terwijl het wel relatief goedkoop is om met de elektrische auto te rijden. In het andere uiterste geval, waar zowel de aanschafprijs als de brandstofkosten van elektrische auto's relatief hoog zijn, neemt het aantal voertuigverliesuren met 15 à 20 procent af. In de gevallen tussen deze uitersten in (hoge meerkosten/lage brandstofkosten en lage meerkosten/hoge brandstofkosten) verandert het aantal voertuigverliesuren met 0 tot 10 procent. Per saldo is de voorzichtige conclusie dat er een grotere kans is dat de congestie toeneemt dan dat deze afneemt. De spreiding in de uitkomsten is echter groot.

Bij de berekeningen is overigens alleen rekening gehouden met kostenveranderingen bij de personenauto's. De effecten van een elektrische stadsdistributie op de bereikbaarheid en de congestie zijn hierin niet meegenomen.

3.4 Effect op autoverplaatsingsgedrag

Uit onderzoek naar het huidige autoverplaatsingsgedrag van Nederlandse huishoudens blijkt dat zo'n 10 tot 25 procent van de huishoudens hun autoverplaatsingsgedrag moet aanpassen als ze in een elektrische in plaats van een conventionele auto gaan rijden. Deze percentages gelden indien de actieradius van elektrische auto's circa 250 kilometer bedraagt en accu's thuis en op het werk langzaam kunnen worden opgeladen (Van Meerkerk et al. 2011). Vergelijkbaar onderzoek uit Californië laat zien dat met plug-in hybrides 70-80 procent van de kilometers volledig elektrisch zou kunnen worden gereden indien gebruikers de accu thuis zouden kunnen opladen en de elektrische actieradius van de plug-in hybride 60 mile (circa 100 kilometer) zou bedragen (Kang & Recker 2009). Meerkerk et al. (2011) laten ook zien dat een kleinere actieradius de mogelijkheid om alle autoverplaatsingen met een elektrische auto te maken, flink verkleint. Het vergroten van de actieradius helpt dus om de mate te beperken waarin mensen hun verplaatsingsgedrag moeten aanpassen. Opvallend is dat de oplaadtijd nauwelijks een factor is die het autoverplaatsingsgedrag belemmert, en dat oplaadmogelijkheden op het werk weinig toevoegen. Overigens is niet onderzocht wat de invloed is van snel laden op locaties anders dan thuis of op het werk. Het is goed mogelijk dat hierdoor een deel van de 10-25 procent van de huishoudens die hun autoverplaatsingsgedrag moet aanpassen, dit toch niet zou hoeven doen. Kang en Recker (2009) laten inderdaad zien dat het aandeel kilometers dat volledig elektrisch kan worden gereden, toeneemt wanneer laadvoorzieningen op de publieke parkeervoorzieningen worden geplaatst.

Het is niet alleen nuttig te kijken naar het huidige verplaatsingsgedrag van huishoudens, zoals Meerkerk et al. (2011) en Kang en Recker (2009) doen. Het is ook interessant en relevant om na te gaan of mensen hun verplaatsingsgedrag gaan veranderen *doordat* ze in een elektrische auto rijden. Uit paragraaf 3.2 bleek dat de lengte van de autoverplaatsingen gemiddeld toeneemt

en dat het totaal aantal verplaatsingen afneemt. Het onderzoek van Haefeli et al. (2003) geeft aanwijzingen dat huishoudens juist minder kilometers afleggen als ze hun verplaatsingen met een elektrische twee- of vierwieler gaan maken. Ook laat de studie zien dat met name meer woon-werkkilometers met de elektrische voertuigen worden afgelegd, ten koste van de conventionele auto.

Voorlopig moeten we genoeg nemen met de conclusie dat er aanwijzingen zijn dat (een deel van de) mensen hun verplaatsingsgedrag moeten aanpassen bij een overstap op elektrisch rijden. Hoeveel, voor welke activiteiten en wat daarvan de gevolgen zijn moet nader worden onderzocht.

3.5 Effecten op weginfrastructuur

Doordat, ondanks het afgenomen autobezit, het aantal afgelegde kilometers per saldo licht toeneemt, is er een grotere kans dat de congestie toeneemt dan dat deze afneemt. De spreiding in de uitkomsten is echter groot, zo bleek uit paragraaf 3.3. Bij een fors hogere aanschafprijs en een beperkte daling van de gebruikskosten zal de congestie afnemen. Is de aanschafprijs echter slechts beperkt hoger terwijl de gebruikskosten wel fors afnemen, dan wordt druk op het wegennet het grootst. Deze druk doet zich in sterkere mate voor op het hoofdwegennet dan op het onderliggend wegennet. Om de bereikbaarheid op peil te houden zal meer infrastructuur nodig zijn, of zal het bestaande wegennet beter benut moeten worden door deze te beprijzen.

3.6 Gevolgen voor de capaciteit van het elektriciteitsnet

De behoefte aan elektriciteit zal toenemen als conventionele auto's worden vervangen door elektrische auto's. Een vraag die dan opkomt, is of de capaciteit van de huidige elektriciteitsproductie en het huidige elektriciteitsnet toereikend is, en zo niet, hoeveel investeringen er zijn vereist.

In Nederland is er momenteel sprake van een overcapaciteit aan elektriciteitsproductie. Deze overcapaciteit is noodzakelijk omdat elektriciteit niet goed kan worden opgeslagen. Energiebedrijven monitoren de energievraag daarom continu en passen de elektriciteitsproductie daarop aan. Het geïnstalleerde vermogen in elektriciteitscentrales (circa 25 gigawatt) is er in de eerste plaats op gericht om de piekvraag op te vangen die in de vroege avond plaatsvindt. Deze

piekvraag bedraagt ongeveer 15 gigawatt (Nagelhout & Ros 2009). Om eventuele calamiteiten te kunnen opvangen is het geïnstalleerde vermogen flink hoger dan de piekvraag. Voor de overige delen van de dag is de vraag naar elektriciteit lager, ruim 14 gigawatt tussen 8:30 en 20:00 uur; daarna zakt deze gestaag naar een minimum van ruim 8 gigawatt tussen 4:00 en 6:00 uur. In de daluren is er dus ruimte voor extra elektriciteitsvraag.

KEMA et al. (2010 - WP3) hebben voor een voorbeeldsituatie (de Meekspolder) bestudeerd wat het effect is op de belasting van het elektriciteitsnet wanneer het aandeel elektrische auto's toeneemt. De studie gaat uit van plug-in hybrides met een maximaal geïnstalleerd vermogen van 15 kilowattuur (dat wil zeggen, met een actieradius van circa 70 kilometer). Onder deze aanname blijkt dat de toenemende vraag naar elektriciteit alleen geaccomodeerd kan worden als het energiebedrijf de elektriciteitsvraag op afstand controleert. Dit wordt ook wel de smart-gridaanpak genoemd. Met de smart-gridaanpak kunnen alle auto's worden vervangen door een plug-in hybride zonder de capaciteit van het net te overschrijden. Zonder die aanpak zou slechts 20 procent van de conventionele auto's door plug-in hybrides kunnen worden vervangen (KEMA et al. 2010 - WP3). Iedereen zou bij thuiskomst van het werk immers zijn auto opladen. En dat is juist het tijdstip met de piekbelasting van het elektriciteitsnet. Zou iedereen een volledig elektrische auto (circa 9 miljoen auto's die opladen met 2-3 kilowatt) hebben, dan zou er nog eens circa 20 tot 25 gigawatt bovenop de piekvraag komen. De resulterende elektriciteitsvraag heeft dezelfde orde grootte als het huidige geïnstalleerde vermogen.

Bij het bovenstaande moet worden bedacht dat de capaciteit van een volledig elektrische auto op de lange termijn rond de 40 kilowattuur zal liggen. Dit betekent dat de energievraag nog een factor 1,5 tot 3 keer zo groot kan zijn als KEMA et al. (2010) berekenden. Mogelijk zou daarmee toch de grens van het elektriciteitsstelsel worden overschreden.

CE (2011) concludeert echter dat de elektriciteitsvraag met zo'n 10 tot 15 procent zal toenemen als alle auto's in Europa elektrisch worden. Daarmee zou de elektriciteitsproductie geen belemmerende factor zijn voor de overgang naar elektrisch rijden. De kosten voor de smart-gridaanpak, waarbij het stroomverbruik alleen op afstand wordt geregeld, bedraagt 370 euro per voertuig (KEMA et al. 2010). De totale investeringskosten voor de oplaadinfrastructuur zouden dan ergens tussen 3 en 4 miljard euro bedragen; daarbij is rekening gehouden met het lagere autobezit (zie paragraaf 3.2).

Bovenstaande conclusies gelden voor langzaam laden. Het snel laden zal het systeem onder zeer grote druk

zetten, omdat hiervoor een vermogen nodig is van zo'n 200 kilowatt per auto. Zonder additionele investeringen zullen dan snel problemen ontstaan met de stroomvoorziening op wijkniveau, het zogenaamde laagspanningsnet. De transformatorhuisjes vormen het grootste knelpunt (Gerkenmeyer et al. 2010). Tenzij er zeer forse investeringen tegenover staan, kunnen snellaadstations dus alleen op relatief beperkte schaal worden ingezet, op speciaal daarvoor toegeruste locaties.

Tot slot bespreken we hier het Vehicle-to-Gridconcept (V2G). V2G is voornamelijk een theoretisch concept dat uitgaat van de elektrische auto als opslagbuffer voor elektriciteit. In de accu's van een auto kan (tijdelijk) stroom worden opgeslagen en zodra de auto aan het elektriciteitsnet wordt gekoppeld, kan deze ook stroom leveren. Dit principe maakt het mogelijk het grillige energieaanbod van hernieuwbare bronnen als zonne-energie en windenergie toe te passen zonder het gevaar van 'dips' in het elektriciteitsaanbod als de vraag hoog is. Met de stroom die bezitters van elektrische auto's op gezette tijden aan het net leveren, kunnen ze geld verdienen. In piekuren leveren de accu's tegen een hoog tarief stroom aan het net; in de daluren worden diezelfde accu's tegen een laag tarief weer opgeladen voor het gebruik van de volgende dag². De kosten van V2G bedragen circa 2600 euro per voertuig (KEMA et al. 2010). De totale investeringskosten voor de oplaadinfrastructuur zouden dan, rekening houdend met het lagere autobezit (zie paragraaf 3.2), rond de 25 miljard euro bedragen. Een investering waar ook baten tegenover staan. Doordat minder productiecapaciteit nodig is, levert dit ruim 1.000 euro per voertuig op. Daarbovenop komen nog de kosten van laadvoorzieningen en de (softwarematige) aanpassingen aan de auto zelf. Momenteel bedragen die ruim 1.500 euro per voertuig (KEMA et al. 2010). Per saldo is V2G daarmee per auto ongeveer 20 procent duurder dan de simpeler smart-gridaanpak.

3.7 Uitstoot van CO₂ en luchtverontreinigende stoffen

Anders dan de huidige benzine- en dieselauto's stoten elektrische voertuigen geen CO₂, NO_x, SO₂, en NMVOS uit. Ervan uitgaand dat de gebruikte elektriciteit volledig CO₂-neutraal wordt opgewekt, (zie hoofdstuk 2), produceren elektrische auto's alleen fijn stof, door de slijtage van banden, remmen en wegdek (Klein et al. 2012). Alhoewel er aanwijzingen zijn dat vooral fijn stof uit verbrandingsprocessen schadelijk is voor de gezondheid (PBL 2009b) tellen de slijtage-emissies voornamelijk wel mee voor de Europese luchtkwaliteitsrichtlijnen.

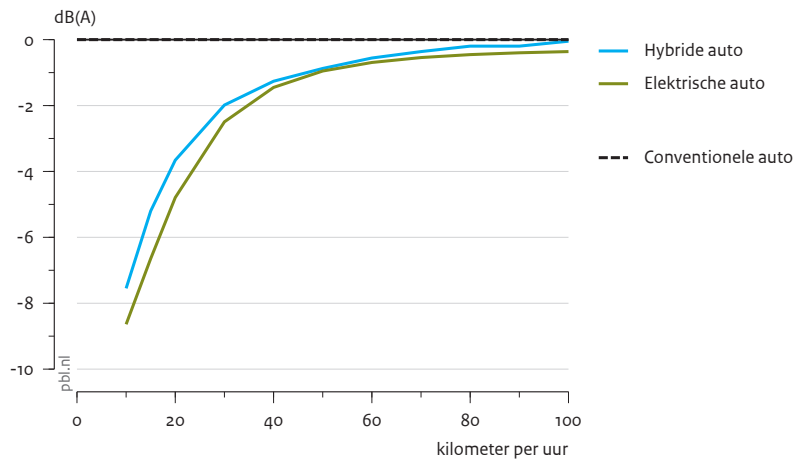
Zo bezien lijkt het niet alleen vanuit het oogpunt van fossiele brandstoffen maar ook vanuit het oogpunt van luchtkwaliteit wenselijk om volledig elektrisch auto te gaan rijden. De overheid voert dit ook als reden op om elektrisch rijden te stimuleren (EL&I et al. 2011). Er moet echter wel worden bedacht dat tot 2050 ook de huidige benzine- en dieselmotoren veel schoner kunnen worden. TNO verwacht dat het mogelijk is om de katalysatoren verder te verbeteren, en daarmee de uitstoot van NO_x, NMVOS en fijn stof (met uitzondering van de slijtage-emissies) met circa 85 tot 95 procent voor benzineauto's en met circa 75 tot 90 procent voor dieselauto's te verminderen ten opzichte van de zogeheten Euro3-auto's (Rijkeboer et al. 2003). Daarmee zijn benzine- en dieselauto's op de lange termijn, als het om luchtverontreiniging gaat, bijna net zo schoon als elektrische auto's. Sinds Euro3 zijn er overigens ook Euro4-, Euro5- en Euro6-normen voor personenauto's vastgesteld. Hierdoor is al een deel van de potentiële uitstootreductie voor personenauto's verwezenlijkt.

De elektrische auto levert dus nauwelijks voordelen op voor de luchtkwaliteit, omdat conventionele auto's op de lange termijn praktisch net zo schoon kunnen zijn en dat tegen (veel) lagere meerkosten dan voor elektrische auto's. In vergelijking met conventionele auto's scoort de elektrische auto vooral goed op het verminderen van de CO₂-uitstoot. De CO₂-uitstoot van conventionele auto's zal (zolang deze op fossiele brandstoffen blijven rijden) niet even sterk kunnen dalen als de uitstoot van andere luchtvervuilende stoffen. Verwacht wordt dat personenauto's die geen gebruik maken van andere brandstoffen en autotechnologie, maximaal 30 tot 40 procent minder CO₂ kunnen uitstoten als de gemiddelde auto die in 2010 werd verkocht. Elektrische automobilititeit daarentegen kan in 2050 goed zijn voor ruim de helft van de CO₂-reductie die de sector verkeer en vervoer³ in dat jaar volgens de EU-doelstellingen (zie hoofdstuk 1) moet realiseren. In 2050 zou dit een reductie opleveren van 14 tot 27 megaton CO₂ (afhankelijk van het achtergrondscenario).

3.8 Geluidsbelasting

In het stadsverkeer zijn auto's met elektromotoren niet alleen schoner en zuiniger, maar ook stiller dan auto's met conventionele verbrandingsmotoren. Vooral bij snelheden tot 20 kilometer per uur is het geluidsverschil substantieel. Een volledig elektrisch wagenpark zal in een stedelijke omgeving gemiddeld 3 tot 4 decibel minder geluid veroorzaken ten opzichte van de huidige situatie met een wagenpark bestaande uit auto's met verbrandingsmotoren (Verheijen 2008; Verheijen & Jabben 2010). In vergelijking met hybride auto's, die naast

Figuur 3.1
Geluidsniveau ten opzichte van conventionele auto naar snelheid



Bron: Verheijen & Jabben (2010)

een elektromotor ook een verbrandingsmotor hebben, zijn volledig elektrische auto's 1 tot 2 decibel stiller (Van Blokland & Peeters 2009). Figuur 3.1 laat de emissiereductie (in dB(A)) zien voor zowel elektrische als hybride auto's bij verschillende snelheden. Uit de figuur blijkt dat bij snelheden boven 50 kilometer per uur de geluidsreductie verwaarloosbaar klein wordt. Dat komt doordat het band-wegdekgeluid met de snelheid toeneemt.

Op snelwegen en provinciale wegen zullen dus geen geluidseffecten te merken zijn van een elektrisch wagenpark. Daarmee zijn dus ook geen besparingen op bijvoorbeeld geluidsschermen langs snelwegen te verwachten. Wel zal het binnen de stad, waar de meeste geluidsoverlast is, stiller worden. Op basis van een extrapolatie van een doorrekening voor de stad Utrecht komen Verheijen en Jabben (2010) tot de conclusie dat elektrisch rijden de binnenstedelijke geluidshinder met ongeveer een derde zal doen verminderen. Daardoor zal elektrisch rijden mogelijk leiden tot besparingen in de aanleg van binnenstedelijke geluidsmaatregelen, met name wanneer het gaat om de aanleg van (duurdere) soorten stil wegdek.

3.9 Verkeersveiligheid

Het stille rijden van elektrische auto's brengt mogelijk extra risico's met zich mee in het verkeer, vooral voor blinden en slechtzienden (Schoon & Huijskens 2011). Doordat hybride of elektrische auto's minder hoorbaar zijn, kan dit in het verkeer gevaarlijke situaties opleveren.

In de Verenigde Staten heeft een analyse van ongevallenregistraties uitgewezen dat hybride auto's relatief vaak betrokken zijn bij aanrijdingen met voetgangers en fietsers (Hanna 2009). Het gaat hierbij alleen om situaties waarin langzaam gereden wordt, zoals bij achteruitrijden en parkeer manoeuvres. De analyse is niet geheel onomstreden, omdat zij geen rekening houdt met het feit dat eigenaren van hybride auto's zo'n 25 procent meer rijden en bovendien vaker in stedelijk gebied wonen, waar de kans op een ongeval sowieso groter is (<http://www.qualityplanning.com/news/2009-articles/hybrids-is-a-little-of-the-green-rubbing-off-.aspx>.)

In Nederland en Japan zijn tot nu toe geen statistische aanwijzingen gevonden voor een verhoogde kans op een aanrijding met een stille hybride auto. Of hierbij een rol speelt dat Nederlanders al gewend zijn aan stille verkeersdeelnemers, namelijk fietsers, bleek niet uit de beschikbare gegevens. Bij elektrische auto's is de ongevalskans nog niet onderzocht omdat deze nog zo weinig worden gebruikt dat er nog geen statistisch significante resultaten verwacht mogen worden.

Vanwege de mogelijke risico's wordt in de Verenigde Staten en Japan (Jasic 2009) gewerkt aan voorstellen om minimumgeluidseisen voor motorvoertuigen te verplichten. Langzaam rijdende stille motorvoertuigen zouden dan – permanent – kunstmatige geluiden moeten voortbrengen om aan de regels te voldoen. Als zulke eisen voor de Europese markt verplicht worden gesteld, zal dit de vooruitzichten op minder geluidshinder inperken.

3.10 Ruimtelijke aspecten van elektrisch rijden

Er zijn drie manieren waarop elektrisch rijden gevolgen kan hebben voor de kwaliteit en de inrichting van de ruimte, namelijk door de techniek, door de eisen die gesteld worden aan de infrastructuur en door gedragsveranderingen.

3.10.1 Ruimtelijke effecten als gevolg van technische specificaties van vervoermiddelen

Elektrische voertuigen stoten, zowel lokaal als globaal, minder luchtvervuilende stoffen uit dan de huidige conventionele voertuigen. Naar verwachting echter zullen technische verbeteringen aan conventionele auto's ook zorgen voor een sterke reductie van de uitstoot van vervuilende stoffen. Dit betekent dat, zowel bij een overstap op volledig elektrisch rijden, als bij een verdere ontwikkeling van de conventionele voertuigen, de belemmeringen voor stedelijke ontwikkeling door emissies fors zullen afnemen. Stedelijke (her)ontwikkeling, maar ook herbestemming van bestaande bebouwing naar functies die voorheen door luchtkwaliteitsbeperkingen niet mogelijk waren, zullen in beide toekomstbeelden (GE- en RC-scenario) zeer waarschijnlijk mogelijk worden. Alleen de CO₂-uitstoot van conventionele auto's zal naar verwachting hoger blijven dan die van elektrische auto's. Dit heeft echter geen lokale ruimtelijke effecten.

De geluidsbelasting binnen het bebouwd gebied zal naar verwachting afnemen (zie hiervoor). De verwachte toename van de verblijfskwaliteit daar is dus reëel. Wat de economische waarde hiervan is, is lastig te kwantificeren. Op basis van de gangbare economische waarderingsmethoden (zie bijvoorbeeld Navrud 2003) zal dit minimaal een bedrag van jaarlijks 200 miljoen euro zijn. Buiten het bebouwd gebied (snelheden boven 50 kilometer per uur) is het verschil met conventionele voertuigen verwaarloosbaar.

Kortom, 100 procent elektrisch rijden in het jaar 2050 heeft geen extra positief effect op de mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkeling binnen de hiervoor vastgestelde grenzen van de leefomgevingskwaliteit. Op basis van de voorziene verbeteringen wordt verwacht dat ook conventionele auto's veel schoner zullen zijn. De positieve effecten van elektrisch rijden zitten vooral in de geringere geluidshinder op de binnenstedelijke locaties.

3.10.2 Ruimtelijke effecten als gevolg van vereisten aan de infrastructuur

Elektrische voertuigen rijden, net als conventionele voertuigen, over 'gewone' wegen. De eisen die worden

gesteld aan de weginfrastructuur zelf, zullen door de nieuwe autotechniek niet noemenswaardig veranderen. Ditzelfde geldt niet voor de infrastructuur om voertuigen van energie te voorzien. De huidige structuur van benzinstations zal moeten worden vervangen door een structuur van laadstations, zowel in het bebouwd gebied als in het buitengebied. Hoe deze laadstations ruimtelijk zijn verdeeld, zal sterk afhangen van de ontwikkelingen in de actieradius van elektrische voertuigen en de snelheid van laden die mogelijk is.

Het is echter aannemelijk dat het aantal specifieke laadstations (dus los van een bestemming) beduidend lager zal zijn dan momenteel het geval is met conventionele pompstations. Dit heeft te maken met de mogelijkheid om accu's enerzijds thuis te laden en anderzijds tijdens het parkeren bij het werk of een winkelgebied. Het ruimtebeslag voor stations wordt dus lager en zal zich concentreren rond de hoofdwegen.

Dat elektrische voertuigen ook in of bij de eigen woning kunnen worden opgeladen vraagt aandacht bij de ruimtelijke (her)inrichting van wijken. Mensen zullen veelal een voorkeur hebben voor het thuis opladen van hun auto, al dan niet gedurende de nacht, omdat de kosten daarvan naar verwachting lager zullen zijn en het gemak groter is dan laden bij een laadpaal.⁴ Volgens het WoOn 2006 is 85 procent van alle woningen aangewezen op een parkeerplaats in de openbare ruimte. De grootste opgave ligt hier bij de gestapelde bouw (zonder parkeergarages) en bij woningen die geen parkeerplaats hebben op het eigen terrein. Voor al deze woningen geldt dat er een openbare laadstructuur in de woonwijk moet zijn. Het ligt voor de hand dat hiervoor allerlei betalingsarrangementen ontwikkeld zullen worden, om het prijsverschil tussen het stopcontact thuis en de openbare laadpaal in de wijk te verkleinen.

Kortom, omdat elektrische auto's veelal thuis en op bestemmingen zullen worden opgeladen, zijn waarschijnlijk fors minder specifieke laadstations nodig om de conventionele pompstations te vervangen. De grote behoefte aan thuis laden creëert een opgave in de woongebieden, namelijk het vanaf de parkeerplek mogelijk maken van de toegang tot het stopcontact.

3.10.3 Ruimtelijke effecten als gevolg van gedragsveranderingen

Ten slotte kan elektrisch rijden gevolgen hebben voor het mobiliteitsgedrag van autogebruikers. Welke gevolgen dat precies zijn, is nog niet in te schatten. Een groot deel van dit effect komt voort uit de veranderende kostenverhouding bij de elektrische auto.

Doordat elektrische voertuigen in aanschaf naar verwachting duurder zullen zijn dan conventionele voertuigen, zal het autobezit afnemen (met 10-20

Tabel 3.3

Verandering overheidsinkomsten (mld euro) bij elektrische personenautomobiliteit

	BPM	MRB	accijns + BTW/ energieheffing	Totaal
Inkomsten in 2010	2	5	5½	12½
2030 Conventioneel	2½ tot 3	5½ tot 7½	6½ tot 8½	14½ tot 18½
2030 Elektrisch	--	4½ tot 6½	4 tot 5½	8 tot 12
Vershil	- 2½ tot - 3	- ½ tot - 1	- 3	- 6 ½

Bron: PBL

procent; zie paragraaf 3.2). Hierdoor zullen in principe ook minder parkeervoorzieningen nodig zijn dan bij een conventioneel wagenpark⁵, vooral in de woongebieden.⁶

Door de lagere gebruikskosten van elektrische voertuigen zal het aantal afgelegde kilometers per auto naar verwachting tot wel 25 procent hoger zijn dan bij conventionele voertuigen. Vooral de wat langere tours (sequentie van ritten van huis tot huis), met name die tussen 50 en 80 kilometer, zullen relatief sterk toenemen. Doordat de lagere gebruikskosten naar verwachting niet zullen leiden tot extreem lange ritten, is een beperkte actieradius van elektrische voertuigen hierbij geen belemmering. Het aantal korte ritten zal bij volledig elektrisch vervoer wat lager liggen.

Daarnaast zal de afname van het autobezit er waarschijnlijk toe leiden dat mensen vaker het openbaar vervoer zullen gebruiken, en vaker zullen fietsen en lopen. De grotere vraag naar het openbaar vervoer zal mogelijk ook leiden tot meer aanbod, wat gevolgen kan hebben voor de openbaarvervoersinfrastructuur en de inpassing daarvan in de stedelijke ruimte. Een toename van het lopen en fietsen kan leiden tot meer aandacht en ruimte hiervoor in de stedelijke gebieden. Omdat de toename van het autogebruik beperkt is, zal 100 procent elektrisch rijden geen bijzondere eisen stellen aan de auto-infrastructuur in de stad en de regio. Alleen de wat grotere kans op congestie op het hoofdwegennet vraagt mogelijk extra ruimte voor uitbreiding van de infrastructuur (of andere oplossingen zoals benuttingsmaatregelen of beprijzing).

Kortom, het substantieel andere kostenplaatje voor de aanschaf en het bezit van een elektrische auto ten opzichte van een conventionele auto kan forse gevolgen hebben. Doordat het autobezit afneemt, kan het totale parkeerareaal kleiner zijn dan voor conventionele auto's. Het autogebruik zal in beperkte mate toenemen. Daar staat tegenover dat mensen meer gebruik maken van het openbaar vervoer (5-10 procent), en vaker zullen lopen en fietsen (0-10 procent). De verschuiving naar deze vervoersmodaliteiten kan andere eisen stellen aan de stedelijke

infrastructuur. De additionele ruimtevraag blijft waarschijnlijk beperkt tot enige ruimte voor uitbreiding van het hoofdwegennet om de wat grotere congestie het hoofd te bieden.

3.11 Gevolgen voor overheidsinkomsten en eindgebruikerskosten

In deze paragraaf geven we op hoofdlijnen een beeld van de effecten die het elektrisch autorijden heeft voor de overheidsinkomsten en de gebruikerskosten. Tabel 3.3 geeft een indicatie van de veranderingen in de overheidsinkomsten. Daarbij is rekening gehouden met veranderingen in het autobezit en het autogebruik, zoals beschreven in paragraaf 3.2.

In een toekomstbeeld zonder elektrisch rijden zou ten opzichte van 2010 het autobezit tot 2030 met 10 procent toenemen in het RC-scenario en met 45 procent in het GE-scenario. En het autogebruik zou toenemen met 30 (RC) tot 65 procent (GE). Hierdoor nemen ook de inkomsten uit bpm, mrb en accijnzen plus heffingen flink toe.

In het toekomstbeeld met elektrisch rijden neemt ten opzichte van een toekomstbeeld met alleen conventionele auto's het autobezit fors af en het aantal gereden kilometers licht toe. De opbrengsten uit de energieheffing zijn lager omdat de accijns op benzineauto's (circa twee derde van de accijnsopbrengst bij personenauto's) relatief hoger is. Hierdoor zien we per saldo de overheidsinkomsten met ruim een derde dalen.

De kosten voor de eindgebruiker (of autogebruiker), de zogeheten Total Costs of Ownership (TCO), zijn weergegeven in tabel 3.4. Deze kosten bestaan uit de afschrijving, de brandstofkosten, de verzekeringskosten en de kosten voor reparatie en onderhoud; deze hangen deels af van de grootte (of het gewicht) van de auto en het jaarkilometrage.

Tabel 3.4
Verandering in jaarlijkse TCO (Total Cost of Ownership) voor de eindgebruiker

TCO		Benzine						Diesel
		Jaarkilometrage (km)			Jaarkilometrage (km)			
		10000	20000	30000	10000	20000	30000	
	Gewicht							
'Gemiddelde' kosten EV*	Licht	+5%	-5%	-10%	+10%	+10%	+5%	
	Middel	+11%	0%	-5%	+20%	+15%	+10%	
	Zwaar	+15%	+5%	-5%	+30%	+25%	+20%	
Hoge olieprijs (2x)	Licht	0%	-10%	-15%	+10%	+5%	0%	
	Middel	+5%	-5%	-10%	+15%	+10%	+5%	
	Zwaar	+10%	-5%	-10%	+30%	+20%	+15%	
Snellere afschrijving EV (8 jaar)	Licht	+30%	+15%	+5%	+40%	+30%	+25%	
	Middel	+45%	+30%	+15%	+55%	+45%	+35%	
	Zwaar	+55%	+35%	+25%	+80%	+70%	+60%	

Bron: PBL

* EV = elektrisch voertuig

Wordt uitgegaan van de 'gemiddelde' kosten voor elektrisch autorijden – dat betekent dat de meerkosten voor de aanschafprijs en de verandering in de brandstofkosten uit tabel 3.1 zijn gemiddeld –, dan is volgens tabel 3.4 de TCO voor elektrisch rijden alleen goedkoper voor mensen met een benzineauto die meer dan 20.000 kilometer per jaar rijden. Dieselrijders zijn in alle gevallen duurder uit. De extra kosten nemen wel af naarmate de jaarkilometrages hoger zijn, maar zelfs boven de 50.000 kilometer per jaar (niet in de tabel) blijft het duurder om in een elektrische auto dan in een conventionele auto te rijden. Het verschil tussen benzine- en dieselauto's wordt vooral veroorzaakt doordat benzinerijders een groter voordeel bij de brandstofkosten hebben.

Zouden de brandstofkosten voor conventionele auto's in de toekomst toenemen (en de elektriciteitsprijs ongeveer gelijk blijven), dan wordt het kostennadeel van de elektrische auto vanzelfsprekend kleiner. Zo wordt het voor benzinerijders in de meeste gevallen goedkoper om over te stappen op een elektrische auto, indien de olieprijs twee keer zo hoog zou worden als in ons centrale toekomstbeeld (zie paragraaf 2.2). Ten opzichte van diesel is elektrisch rijden ook dan nog steeds duurder. In het toekomstbeeld gaan we uit van een vergelijkbare levensduur voor (batterijen van) elektrische auto's en conventionele auto's (circa 12 jaar; zie paragraaf 2.2). Momenteel is de levensduur van batterijen echter flink kleiner dan twaalf jaar. In tabel 3.4 is daarom ook aangegeven hoe de kosten van elektrisch autorijden zouden veranderen indien de afschrijvingstermijn van de

elektrische auto acht jaar bedraagt. Dit blijkt een grote invloed te hebben op de TCO. In alle gevallen is elektrisch rijden duurder dan rijden in een benzine- of dieselauto.

Hoewel de getallen in tabel 3.3 en 3.4 met grote onzekerheid omgeven zijn, schetsen zij voor een situatie met volledig elektrisch autorijden toch duidelijk het beeld van flink afnemende overheidsinkomsten en niet afnemende gebruikerskosten. Dit betekent dat de kosten voor elektrisch rijden ook op de lange termijn hoger zullen zijn dan die voor een systeem met conventionele auto's. Ook de overige, in dit hoofdstuk beschreven, effecten zullen niet direct besparingen opleveren. Sterker nog, investeringen in wegen, openbaar vervoer en elektriciteitsinfrastructuur zullen per saldo eerder toenemen. Tegenover deze hogere kosten staat wel dat de personenautomobiliteit CO₂-neutraal is en dat daarmee ruim de helft van de voor de sector verkeer en vervoer gewenste CO₂-reductie behaald wordt. De kosten van de behaalde CO₂-reductie komen op 200 tot 400 euro per ton.

Noten

- 1 Onder een autorit of autoverplaatsing verstaan we hier zogenaamde tours: ritten van de plek van herkomst naar (één of meerdere) bestemming(en) en terug naar de herkomst.
- 2 In de Verenigde Staten wordt al op kleine schaal geëxperimenteerd met dit systeem (zie voor meer informatie <http://www.twanetwerk.nl/default.ashx?DocumentId=13992>).
- 3 Exclusief emissies van internationale zee- en luchtvaart.
- 4 Een groot energiebedrijf verwacht dat thuis laden zo'n 15 procent goedkoper zal zijn dan laden bij een openbaar oplaadpunt.
- 5 In de situatie met conventionele auto's zal het autobezit in 2030 naar verwachting 20 tot 60 procent hoger zijn dan in 2004. Bij 100 procent elektrisch rijden zal het gaan om een minimale afname van het autobezit tot een toename van 45 procent. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de parkeerbehoefte in woongebieden zal toenemen. Wel zal de omvang van die toename bij 100 procent elektrisch 1 tot 2 miljoen auto's lager zijn.
- 6 Wanneer als parkeer- en laadoplossing wordt gekozen voor 'persoonlijke' parkeerplekken/laadpalen (bijvoorbeeld op kenteken), dan zal de parkeercapaciteit in wijken minder efficiënt kunnen worden benut en kan de behoefte aan nieuwe parkeerplekken toenemen.

Gevolgen van elektrische stadistributie

4.1 Inleiding

Voor het goederenvervoer over de weg is een overgang naar elektrisch transport complexer dan voor het personenvervoer. Dit komt doordat het hierbij veelal om zware voertuigen gaat, die zeer veel batterijcapaciteit vergen. Daarnaast gaat veel goederentransport over een lange afstand, en zijn de actieradius en de laadsnelheid van de batterijen een beperkende factor. Voor het goederenvervoer over de lange afstand biedt een overstap op biobrandstof dan ook meer mogelijkheden dan een overstap op volledig elektrisch vervoer (PBL 2009a).

Het stedelijk goederenvervoer vormt hierop een uitzondering. Hierbij gaat het veelal om kleine afstanden en minder grote ladingen. Het witboek Transport van de Europese Commissie (2011b) heeft dan ook als specifiek doel een (bijna) volledig CO₂-vrije stedelijke distributie in 2030. In dit hoofdstuk staat de uitwerking centraal van een volledig elektrisch systeem voor de stedelijke distributie in Nederland in 2050. We concentreren ons op de gevolgen van een elektrische stadistributie voor:

- de omvang van het vrachtverkeer;
- de inrichting van het logistieke systeem;
- de ruimtelijke inrichting;
- de leefomgeving en verkeersveiligheid;
- de overheidsinkomsten.

We beperken ons in dit hoofdstuk tot het vrachtvervoer over de weg; andere vervoerswijzen spelen binnen de stedelijke goederendistributie een marginale rol. Wel

onderscheiden we verschillende typen transport: naar bestemmingslocatie in de stad (woning, kantoor, winkel, bouwplaats, enzovoort), goederensoort en gebruikte vervoerswijze (bestelauto, lichte of zware vrachtwagens). De haalbaarheid en de gevolgen van de transitie naar elektrisch vervoer verschillen sterk tussen deze typen. In deze studie gaan we ervan uit dat al deze transporttypen overgaan op elektrisch vervoer. We benadrukken echter dat er op beperkte schaal uitzonderingen nodig zullen zijn (bijvoorbeeld voor bijzondere transporten of een deel van het bouwverkeer).

Bij de omvang van de effecten van een volledig elektrische stedelijke distributie gaat het in dit hoofdstuk om globale kwantitatieve inschattingen. De verkenning is uitgevoerd voor 2050 ten opzichte van de huidige situatie.¹ We presenteren dan ook steeds relatieve veranderingen die we indicatief achten voor de verschuivingen in 2050. De analyse wordt op het heden uitgevoerd omdat een volwassen simulatiemodel op dit terrein ontbreekt en er zo gebruik gemaakt kan worden van de beschikbare data. Verder zijn een aantal van de bovengenoemde toekomstige ontwikkelingen in omvang en richting nog zeer onzeker.

In hoofdstuk 6 gaan we kort in op de onzekerheden die samenhangen met de aannames in dit hoofdstuk. Ook laten we zien hoe de gevolgen die we in dit hoofdstuk beschrijven, veranderen als we een aantal belangrijke aannames uit hoofdstuk 2 aanpassen.

Tabel 4.1

Inschatting van de effecten van elektrische stadsdistributie op de omvang van het vrachtovervoer

	Lichte vrachtwagens (3-10 ton bruto voertuiggewicht)	Middelzware en zware vrachtwagens (> 10 ton bruto voertuiggewicht)	Totaal
Aantal ritten	+ 194%	-19%	+ 51%
Totale voertuigkilometers	+ 61%	-14%	+ 7%
Totaal aantal tonkms	+ 40%	-11%	- 5%
Gemiddelde ritlengte	-45%	+ 6%	- 29%
Kosten	+ 63%	- 14%	+ 4%

Bron: Significance (2012)

4.2 Invloed op de omvang van het vrachtovervoer

In deze verkenning is niet alle goederenvervoer over de weg meegenomen; we hebben een selectie gemaakt. Zo zijn alleen de veronderstelde relevante goederensoorten meegenomen (dus bijvoorbeeld geen industrie-gerelateerde chemische of metaalproducten) evenals de goederenstromen met een herkomst of een bestemming in de stad. Hierbij is het begrip stedelijke distributie ruim geïnterpreteerd: het gaat niet alleen om de bevoorrading van de binnenstad maar bijvoorbeeld ook om de levering van goederen op een woonadres.

Het uitgangspunt van een volledig elektrische stedelijke distributie brengt voor deze stromen een verandering met zich mee van het distributiepatroon en het gebruik van voertuigtypen. Wanneer het patroon van de goederenstromen (herkomst en bestemming) onveranderd blijft, dan zullen er bijna drie keer zoveel ritten met lichte vrachtwagens worden gemaakt als in de conventionele situatie. Het aantal ritten met zware vrachtwagens neemt af, met bijna 20 procent. Doordat de lichte vrachtwagens een kleinere capaciteit hebben, moet er in totaal ruim 50 procent meer ritten worden uitgevoerd. Ook neemt het aantal ritten met lichte vrachtwagens toe doordat hun actieradius beperkt is. Het zijn dan ook veelal ritten over een korte afstand die erbij komen en de totale lengte die moet worden afgelegd, stijgt maar met circa 7 procent. Hierbij is er rekening mee gehouden dat de lichte vrachtwagens gemiddeld zwaarder beladen zijn door de overslag vanuit de zware vrachtwagens. In tabel 4.1 zijn de belangrijkste veranderingen gegeven.

De verschuiving naar een elektrische stadsdistributie heeft een beperkt effect op de totale kosten (+4 procent). Dit komt vooral doordat de toename van het aantal kilometers met lichte vrachtwagens wordt gecompenseerd door de verschuiving van relatief dure

zware vrachtwagens naar goedkopere lichte vrachtwagens. Hierbij is rekening gehouden met personeelskosten, voertuigkosten en brandstofkosten. Niet meegenomen is een inschatting van de kosten die moeten worden gemaakt voor de extra overslag. Deze overslagkosten gelden voor een aanzienlijk deel (circa 40 procent) van de vervoerde goederen. Doordat hiervoor voorzieningen nodig zijn uiteenlopend van directe overslagpunten tot meer complexe distributiecentra, is het aannemelijk dat het totale logistieke proces voor deze goederen duurder zal worden.

Naast de bovenstaande doorrekening zijn ook berekeningen uitgevoerd waarbij bredere systeem-effecten zijn meegenomen, zoals de veranderingen in de herkomstlocatie van goederen en het effect van stijgende transportkosten op de transportvraag. Beide systeem-effecten dempen de eerdere effecten, doordat hogere kosten zullen leiden tot transport over kortere afstand of zelfs minder transport. Door de veranderingen in het transportsysteem kunnen er welvaartsverliezen optreden door vraaguital of doordat er minder schaalvoordelen zijn te behalen in het productieproces. Voor een meer gedetailleerde verantwoording van de gemaakte aannamen en uitgevoerde berekeningen verwijzen we naar Significance (2012).

De hier gepresenteerde berekeningen beschrijven de effecten op het goederenvervoer in de stad per vrachtwagen; zij zijn exclusief de effecten op bestelauto's. De op bestelauto's verwachte effecten zijn beperkt. De combinatie van hogere afschrijvingskosten door batterijkosten zal naar verwachting deels worden gecompenseerd door lagere brandstofkosten. Verder zal de beperkte actieradius tot 250 kilometer voor veel van het bestelverkeer geen belemmering vormen; het gemiddeld aantal door een bestelbus afgelegde kilometers op een werkdag ligt hier ruim onder (afgeleid van CBS Statline).

Tabel 4.2

Voor- en nadelen van distributie- of transfercentra

Voordelen	Nadelen
Bij sterke stijging van de beladingsgraad ontstaat een efficiënter transportsysteem met bijkomende milieu- en economische voordelen.	Hoge investeringskosten (met mogelijk hoge grondprijzen binnen steden).
Betere planning van het logistiek proces.	Complexe processen, zeker in situaties met verschillende soorten goederen.
Kans om nieuw informatiesysteem te introduceren.	Extra kosten en tijd als gevolg van een extra schakel in de keten.
	Problemen met de organisatie en contracten.
	Creëert in sommige gevallen een monopolie.
	Verbreekt direct contact tussen leverancier en klant. Dit is voor veel verladers een reden om afwijzend te staan tegenover distributiecentra. De eigen chauffeur is de vertegenwoordiger en het gezicht van het bedrijf; het eigen beheer garandeert ook een betere controle en kwaliteit.

Informatie op basis van het Bestufs (Best Urban Freight Solutions) project (2007) (www.bestufs.net).

4.3 Gevolgen voor logistiek systeem, distributie en overslagplaatsen

Na de overgang naar een elektrische stadsdistributie zullen grote vrachtwagens de binnenstad niet meer in mogen. Dan zijn er verschillende alternatieven: het gebruik van kleinere elektrische vrachtwagens met een beperkt bereik of de overslag van grote vrachtwagens naar kleinere elektrische vrachtwagen in regionale distributie- of transfercentra. Het elektrische stedelijk vervoer zal er in ieder geval voor zorgen dat er meer stedelijke of regionale distributie- of transfercentra komen. De omvang van deze centra zal afhangen van de reactie per marktsegment.

Zo zouden de grote ketens, die nu vanuit een beperkt aantal eigen vestigingen alle filialen bevoorraden, hun aantal distributiecentra sterk kunnen uitbreiden, waardoor directe levering via kleine elektrische voertuigen haalbaar wordt. De uiteindelijke dichtheid van deze centra wordt bepaald door de actieradius van de elektrische voertuigen in 2050.

Andere bedrijven, waarvoor een dergelijk particulier distributienetwerk niet haalbaar is, zouden gebruik kunnen maken van de diensten van publieke distributiecentra. Een bestaand voorbeeld van zo'n voorziening in een aantal Nederlandse steden is Binnenstadservice. In eerste instantie was deze voorziening gericht op kleine zelfstandige ondernemers die op papier de meeste efficiëntiewinst konden behalen; een breder gebruik, bijvoorbeeld door grotere ketens, voor specifieke leveringen is echter denkbaar. Door de EU-eis van elektrische distributie in de stad worden de voorwaarden voor stadsdistributie gunstiger en mag worden verwacht dat meerdere marktpartijen interesse hebben om

dergelijke centra op te zetten. De overheid zal moeten waken voor monopolisten in gebieden waar de markt niet voldoende groot is om meerdere concurrerende distributie- of transfercentra naast elkaar te laten bestaan.

Deze distributie- of transfercentra kennen voor- en nadelen (zie tabel 4.2).

De verschuiving naar distributiecentra en een collectieve afwikkeling van de stedelijke leveringen betekent een breuk met de huidige logistieke trend om het goederenvervoer in eigen hand te houden en op bedrijfsniveau te optimaliseren. Het gaat hier om de planning op bedrijfsniveau van de opslag van goederen, de leveringszekerheid, de planning van het personeel en dergelijke. Met elektrische voertuigen en de bijbehorende beperkingen (omvang en bereik) is het voor steeds meer partijen niet langer haalbaar deze logistieke afwikkeling in eigen beheer uit te voeren. Voor het transport over de laatste kilometers worden zij afhankelijk van door externe partijen aangeboden diensten. De overstap op een elektrische stadsdistributie zal daarom naar verwachting leiden tot een verschuiving van particulier (bedrijfsspecifiek) transport naar publiek toegankelijk aanbod van goederenvervoer in de stad (commerciële partijen). Het is hierbij de uitdaging deze diensten door derden in de bedrijfsvoering in te passen. Deze ontwikkeling leidt naar verwachting wel tot kansen voor nieuwe producten en samenwerkingsvormen, zoals de directe afhandeling van e-bestellingen door de logistieke dienstverlener.

4.4 Ruimtelijke effecten

De elektrische stedelijke distributie zal naar verwachting ook leiden tot effecten op het ruimtegebruik. Doordat de distributie in de stadscentra duurder wordt dan de distributie daarbuiten, zullen stadscentra minder aantrekkelijk worden als vestigingsplaats voor winkels. Ook zal een meer regionaal productieproces ontstaan, doordat leveranciers gevestigd binnen de actieradius van elektrische auto's in een meer voordelige positie zitten dan leveranciers daarbuiten. Een derde ruimtelijk effect is dat de locatiekeuze voor de stedelijke distributiecentra van belang is voor de keuze van de vervoerswijze (bijvoorbeeld dicht bij het spoor of water), de efficiëntie van de stedelijke routes en voor de effecten op de directe omgeving.

De omvang van deze trends is moeilijk in te schatten; deze hangt af van de omvang van het aandeel transportkosten in de totale prijs. Deze transportkosten verschillen sterk tussen de diverse branches. De overheid heeft hier een rol om de distributie- en transfercentra in te passen in het ruimtelijkeordeningsbeleid. Waar mogelijk moet hier ook worden gedacht aan ondersteunend beleid gericht op de clustering van logistieke dienstverleners. Een ruimtelijke clustering van deze partijen beperkt de geografische weerstand tegen de samenwerking tussen deze partijen.

Naast het stimuleren van gewenste ontwikkelingen speelt het ruimtelijk beleid ook een rol als het gaat om het reguleren van ongewenste ruimtelijke ontwikkelingen, zoals het leeglopen van de stadscentra en de versterkte ontwikkeling aan de stadsranden.

4.5 Gevolgen voor de leefomgeving en verkeersveiligheid

De voor de elektrische stadsdistributie in te zetten bestelauto's en lichte vrachtwagens stoten geen CO₂ en luchtverontreinigende stoffen uit. De emissies naar de lucht zullen daarom afnemen. Deze ontwikkeling wordt versterkt doordat ook het aantal voertuigkilometers met niet-elektrische zware vrachtwagens buiten de stad afneemt, met bijna 14 procent. De CO₂-emissie van de sector verkeer en vervoer² neemt daardoor met 3 procent af. In 2050 zou dit een reductie van 1 tot 2 megaton CO₂ opleveren (afhankelijk van het achtergrondscenario). De uitstoot door de sector verkeer en vervoer van NO_x en PM₁₀ zou ook met circa 5 procent afnemen. Hierbij is nog geen rekening gehouden met het feit dat de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen bij conventionele

vrachtvoertuigen nog substantieel zou kunnen afnemen door de emissienormering (euronormen) (Riemersma 2005). Het relatieve milieuvoordeel van elektrische stadsdistributie kan daardoor kleiner worden.

Elektrische voertuigen zijn stiller dan de huidige conventionele bestelauto's en vrachtwagens. Niet alleen tijdens het rijden, maar ook tijdens het laden en lossen, waarbij de motor doorgaans stationair moet blijven draaien. Hierdoor kunnen de venstertijden voor het bij winkels afleveren van goederen mogelijk worden verruimd zonder dat dit tot te veel overlast voor de omwonenden leidt. Overigens kunnen de geluidsproblemen met conventionele wagens ook sterk worden beperkt, onder andere met de in het PIEK-programma (www.piek.internationaal.com) ontwikkelde technologische oplossingen. De overgang naar stille elektrische wagens biedt wel een momentum om de verruiming van de venstertijdregelingen te heroverwegen en de logistieke efficiëntie te verbeteren. Daarnaast kan een verruiming van de venstertijden een positieve invloed hebben op de investeringen in technologie en voertuigen; deze laatste kunnen immers over een langere periode van de dag gebruikt worden, waardoor de vaste kosten per uur dalen.

Tot slot kan de overgang naar elektrisch transport de huidige regelingen voor milieuzones vervangen, en daarmee een kans bieden om de logistieke efficiëntie te verbeteren. Lokale regelgeving kan een belangrijke beperking zijn bij het zoeken naar efficiënte logistieke routes (beladingsgraad en voertuigkilometers). Hierdoor kan het voorkomen dat milieuoverwegingen op een lokaal niveau leiden tot negatieve milieueffecten op een regionaal niveau. Negatieve milieueffecten ontstaan bijvoorbeeld doordat een voertuig moeten omrijden om te kunnen voldoen aan de lokale regelgeving voor tijdstip en type voertuig.

Het effect van een elektrische stadsdistributie op de verkeersveiligheid is lastig te bepalen. Het aantal vervoersbewegingen in de stad neemt weliswaar toe, maar het aantal grote vrachtwagens in de stad daalt. De grotere drukte in de stad zal een negatieve uitwerking hebben op de verkeersveiligheid, en de verschuiving naar kleinere vrachtwagens juist een positieve. Of het feit dat elektrische voertuigen stiller zijn invloed heeft op de verkeersveiligheid, is onbekend (zie ook paragraaf 3.9).

Het toegenomen aantal vervoersbewegingen en voertuigkilometers in en rondom de stad zal naar verwachting zorgen voor een lichte toename van het congestieniveau bij de steden.

Tabel 4.3

Verandering overheidsinkomsten in 2050 (mld euro) bij elektrische stadsdistributie

	BPM	MRB	accijns + BTW/ energieheffing	Totaal
Inkomsten in 2010	< ½	½	1 ½ tot 2	2 ½ tot 3
2050 Conventioneel	< ½	½ tot 1	1 ½ tot 2	3
2050 Elektrisch	< ½	½ tot 1	2	3 tot 3 ½
Vershil	0	0	< ½	< ½

Bron: PBL

4.6 Gevolgen voor overheidsinkomsten

Voor bestelauto's en vrachtwagens hoeft geen bpm (uitgezonderd particulieren) te worden betaald en slechts een klein gedeelte van de bestelautogebruikers betaalt wegenbelasting (mrb). Zoals in paragraaf 2.3 is aangegeven, veronderstellen we dezelfde fiscale behandeling van voertuigen in 2050 als nu. Wel geldt dat (net als bij personenauto's) de accijnsinkomsten voor de overheid worden vervangen door inkomsten uit de energieheffing op elektriciteit.

In tabel 4.3 is een indicatie gegeven van de veranderingen in de overheidsinkomsten als gevolg van de overgang op een elektrische stadsdistributie. Hierbij is rekening gehouden met veranderingen in de omvang van het vervoer zoals hierboven beschreven. We hebben verder verondersteld dat tussen 2010 en 2050 de omvang van het vrachtvervoer (aantal gereden kilometers) in totaal met 30 tot 50 procent toeneemt. Dat is ongeveer het gemiddelde van de groei volgens het GE- en RC-scenario. We zien in deze tabel dat de inkomsten uit de mrb en bpm bij een elektrische stadsdistributie niet veel veranderen ten opzichte van een situatie met alleen conventionele vrachtvoertuigen. De opbrengsten uit de energieheffing compenseren echter de derving uit de dieselaccijns, doordat de energieheffing per gereden kilometer hoger is dan de accijns per kilometer en doordat het aantal vervoersbewegingen toeneemt. De totale opbrengsten uit belastingen nemen licht toe, met circa 5 tot 10 procent.

Noten

- 1 Voor deze verkenning is gebruikgemaakt van de wegmatrix Nederlandse vervoerders 2004; RWS-DVS.
- 2 Exclusief emissies van internationale zee- en luchtvaart.

Wie is aan zet?

In dit rapport wil het PBL een beeld te schetsen van de gevolgen voor de leefomgeving van een grootschalige toepassing van elektrisch rijden in 2050. Daarbij laten we het echter niet. Die grootschalige toepassing van elektrisch rijden in 2050 zal er immers niet vanzelf komen. Daarom besteden we, zij het beknopt, ook aandacht aan de vraag hoe zo'n grootschalige uitrol van elektrisch rijden gerealiseerd kan worden. Wie is er, gegeven de kenmerken van het elektrisch rijden, aan zet?

Het huidige beleid om elektrisch rijden te stimuleren via belastingvrijstelling en lage energieheffingen zal, als het succesvol blijkt, op de lange termijn een forse aanslag op de begroting doen. Dat betekent niet dat het fiscale beleid nu al op de schop moet. Het betekent wel dat de Rijksoverheid nu al moet nadenken over hoe belastingvrijstellingen en energieheffingen op termijn kunnen worden omgevormd, dan wel of er andere mogelijkheden zijn om het voorziene gat in de begroting op te vullen terwijl elektrisch rijden toch aantrekkelijk blijft voor de gebruikers. Dit laatste spreekt niet voor zich. Zo lijken een verhoging van de energieheffingen op elektriciteit en een vermindering van de belastingvoordelen voor elektrische auto's wellicht een voor de hand liggende manier om de consequenties voor de schatkist te beperken. Daar staat tegenover dat deze maatregelen ook kunnen leiden tot een reductie van de automobilität, met negatieve gevolgen voor de economische ontwikkeling en de mogelijkheden voor maatschappelijke participatie. Immers, wanneer

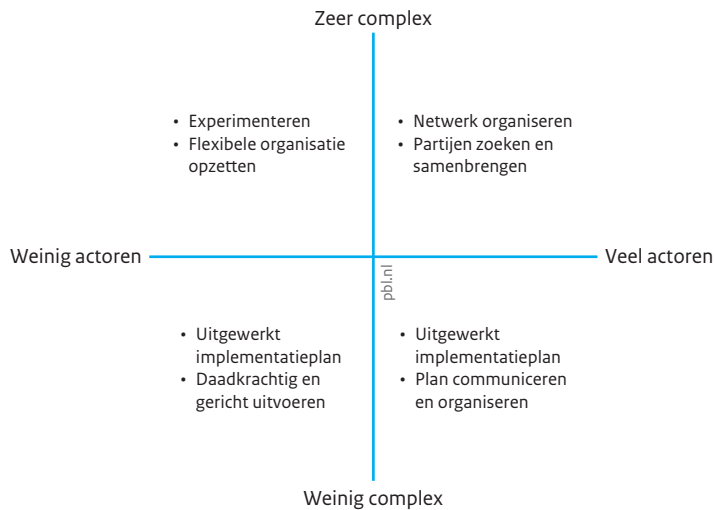
autorijden duurder wordt, wordt het minder aantrekkelijk en kan het voor een deel van de mensen te duur worden.

Volgens Van Deventer et al. (2011) hangen de eerste stappen in transitieën nauw samen met de complexiteit van het vraagstuk en met het institutionele kader. Bij weinig actoren en een geringe complexiteit horen uitgewerkte implementatieplannen en een daadkrachtige en gerichte implementatie. Is daarentegen juist sprake van een groot aantal actoren en een grote complexiteit, dan is het slimmer om een netwerk te organiseren, partijen samen te brengen en allianties te smeden (zie figuur 5.1).

Elektrisch rijden kenmerkt zich door technische complexiteit, en bevindt zich daarmee aan de bovenkant van figuur 5.1. Het transportsysteem is immers nauw verweven met het energiesysteem (zie paragraaf 3.6). Om elektrisch rijden mogelijk te maken, zijn er niet alleen veranderingen nodig aan de weginfrastructuur maar ook aan de energie-infrastructuur. Er zullen oplaadvoorzieningen in de openbare ruimte moeten komen en het elektriciteitsnet zal geschikt moeten worden gemaakt voor energielevering aan grootschalig elektrisch vervoer. Vooral de energie-infrastructuur kent vele actoren (zie ook WRR 2008). Dat plaatst de transitie naar elektrisch rijden aan de rechterkant van figuur 5.1.

De transitie naar grootschalig elektrisch rijden vereist investeringen in nog niet ontwikkelde technologieën. Dit brengt het risico van een lock-in met zich: naarmate er

Figuur 5.1
Innovatiearena



Bron: Van Deventer et al. (2011)

meer is geïnvesteerd, wordt het moeilijker om over te stappen naar andere, betere technologieën. Een veelgebruikte strategie in zo'n geval is die van de 'chicken game': zo lang mogelijk wachten met grote investeringen, om vooral niet op het verkeerde paard te wedden. Nadeel van deze strategie is het risico dat er weinig wordt geïnvesteerd en de transitie niet op gang komt. Als de overheid toch beweging in het spel wil krijgen, zal ze zich er dus van bewust moeten zijn dat ze aan de bovenkant van figuur 5.1 opereert en zal ze haar strategie daarop moeten afstemmen.

Dat betekent voor de overheid dat het stimuleren van proeftuinen (zie Tweede Kamer 2009), het sluiten van allianties en het wegnemen van barrières een logische stap is, evenals de aanpak van het reeds opgerichte formule e-team. Om de grote sprong voorwaarts te maken is het bovendien zaak kleine stapjes te zetten, bijvoorbeeld met gespreide innovatiebudgetten en het ondersteunen van experimenten. Het te snel definitief vastleggen van standaarden en toegangen moet echter worden vermeden. Het vastleggen van technologische standaarden is overigens niet zozeer een taak voor de nationale als wel voor de Europese overheid.

Recente initiatieven van verschillende partijen (bijvoorbeeld Rijkswaterstaat, gemeente Amsterdam, ANWB) om snellaadstations aan te leggen, sluiten aan bij wat in de literatuur wel 'circle corrdoring' wordt genoemd: het aanleggen van een beperkt aantal snellaadstations op belangrijke doorgangroutes, maar op

forse afstand van elkaar, om de angst om met een lege accu langs de kant van de weg te komen staan te ondervangen. Deze strategie wordt al enige tijd toegepast in bijvoorbeeld Tokyo, Baltimore en de Bay Area in de VS. Onderzoek in Japan (zie <http://www.greencarcongress.com/2010/01/akerwade-20100115.html>) heeft uitgewezen dat dergelijke voorzieningen er niet alleen toe leiden dat mensen veel meer elektrisch gaan rijden, maar ook dat ze de snellaadstations niet eens gebruiken. De symboliek van de corridor van snelladers maakt dat mensen hun angst voor elektrisch rijden verliezen en nodigt bovendien andere partijen uit op termijn met eigen corridors te komen, die uiteindelijk met elkaar verbonden een netwerk kunnen vormen (Van Deventer et al. 2011).

Verschillende auteurs (zie bijvoorbeeld Hajer 2011; Van Deventer et al., 2011) wijzen op het belang van framing: als de introductie van de elektrische auto wordt gezien als een strijd tussen twee typen auto's, de elektrische auto versus de conventionele auto met verbrandingsmotor, wordt het voor de elektrische auto een lastige strijd. Deze moet het in dat geval immers opnemen tegen een machtige auto-industrie. Wordt de elektrische auto daarentegen neergezet als een nieuwe technologie die meer is dan een auto alleen en juist een verbinding vormt tussen telecom, energienet, mobiliteit en slimme technologie, dan stijgen de kansen op een succesvolle introductie aanzienlijk. Uit de innovatietheorie is bovendien bekend dat juist op het snijvlak van systemen veel innovatiepotentieel bestaat en dat dit ook vaak tot

onvoorziene innovaties leidt. De mobiele telefonie is een inmiddels klassiek voorbeeld: op het grensvlak van communicatie- en informaticatechniek werden apparaten ontwikkeld die behalve telefoneren vooral heel veel andere, voorheen ongedachte mogelijkheden hebben.

Bij de grootschalige uitrol van elektrisch rijden zijn dus vele partijen betrokken. De Rijksoverheid zal nu al moeten nadenken over hoe belastingvrijstellingen en energieheffingen op termijn kunnen worden omgevormd, dan wel of er andere mogelijkheden zijn om het voorziene gat in de begroting op te vullen, terwijl elektrisch rijden toch aantrekkelijk blijft voor de gebruikers. Daarnaast kan de Rijksoverheid de kaders scheppen waarbinnen het aantrekkelijk is om op kleine schaal te experimenteren. Die experimenten en proeftuinen zijn vooral het terrein van de andere overheden en van het bedrijfsleven. Zowel de Rijksoverheid als de andere overheden kunnen als 'launching customer' de uitrol van elektrische auto's een steuntje in de rug geven. De EU ten slotte, zal op termijn technologische standaarden moeten vastleggen. Daarbij is vooral de timing cruciaal: te snel vastleggen van standaarden snijdt mogelijk aantrekkelijke technologische richtingen af, te lang wachten leidt tot onzekerheid en maakt investeringen risicovol.

Onzekerheden

Het is natuurlijk de vraag of andere aannames over het centrale toekomstbeeld voor 2050 hadden geleid tot heel andere uitkomsten voor de overstap op elektrisch rijden. Daarover gaat dit hoofdstuk. De onzekerheden die samenhangen met de aannames, zijn in twee categorieën te verdelen, die we hieronder afzonderlijk zullen behandelen. De eerste categorie onzekerheden heeft te maken met de gehanteerde inschattingen om het elektrisch autobezit en -gebruik te kwantificeren. We zullen zoveel mogelijk kwantitatief ingaan op de gevolgen van mogelijke andere inschattingen. De tweede categorie onzekerheden heeft vooral te maken met inschattingen van toekomstige technologische ontwikkelingen. Omdat het voor deze categorie veel moeilijker is kwantitatieve uitspraken te doen, zullen deze onzekerheden vooral kwalitatief geadresseerd worden.

6.1 Hoe andere aannames het elektrisch autobezit beïnvloeden

6.1.1 Vaste kosten

De meerkosten van de elektrische auto's zullen in 2050 ongeveer 15.000 tot 20.000 euro bedragen (ondanks dat de accukosten met een factor drie dalen ten opzichte van nu). We zijn er in hoofdstuk 3 van uitgegaan dat de autokoper deze meerkosten betaalt bij de aanschaf van de auto. Een hogere aanschafprijs heeft echter een grote invloed op het autobezit (zie paragraaf 3.2). Voor de autobranche zou dit vanzelfsprekend zeer nadelig zijn.

Daarom mag worden verwacht dat de branche zal proberen de autoverkopen op peil te houden. Vooral de eenmalige vaste kosten (aanschafprijs) grijpen aan op het autobezit. De variabele kosten (brandstofkosten) beïnvloeden het autobezit veel minder; zij hebben vooral invloed op het autogebruik (zie bijvoorbeeld Geilenkirchen et al. 2010). Indien de meerkosten van elektrische auto's niet in de aanschafkosten maar in de variabele kosten zouden kunnen worden verdisconteerd, zou dat dus tot een kleinere daling van het autobezit leiden, en tot een geringere toename van het autogebruik.

In theorie bieden zogenaamde acculeaseconstructies een mogelijkheid om de eenmalige vaste kosten (aanschafkosten) van een elektrische auto te verlagen. De meerkosten van de (dure) accu's worden dan niet in één keer bij de aanschaf van de auto betaald, maar in maandelijkse termijnen. In theorie kunnen elektrische auto's via dergelijke acculeaseconstructies vergelijkbaar en mogelijk zelfs goedkoper in aanschaf worden dan conventionele auto's. Zo biedt Renault, in samenwerking met BetterPlace, momenteel de mogelijkheid om de accu's voor de Renault Fluence en Renault Kangoo te huren tegen maandelijkse kosten van 199 tot 249 euro (ElementEnergy 2011), inclusief het opladen. De vraag is natuurlijk welke invloed acculeaseconstructies op het autobezit en -gebruik hebben.

Over de invloed van veranderingen in de vaste maandelijkse kosten op het autobezit en het autogebruik

is weinig bekend. Geilenkirchen et al. (2010) geven wel een prijselasticiteit op het autobezit van de mrb van circa -0,04 (bandbreedte -0,01 tot -0,08). Alhoewel de mrb meestal per kwartaal wordt betaald, nemen we hier bij gebrek aan betere informatie aan dat de elasticiteit op de mrb vergelijkbaar is met de elasticiteit op de maandelijkse accuurokosten. Om het effect van de accuurokosten op het autobezit te berekenen moeten we weten hoeveel hoger de maandelijkse kosten worden. In Nederland hangt de hoogte van de mrb af van de brandstofsoort en het gewicht van de auto. Voor zwaardere auto's en dieselauto's moet relatief meer mrb worden betaald. Voor een benzineauto van 1.250 kilo zou de mrb circa 50 euro bedragen; voor een dieselauto is dit circa 100 euro per maand. Komen de leasekosten daarbij, dan zouden de vaste maandelijkse kosten stijgen met 50 procent voor benzineauto's en met 200 procent voor dieselauto's. Daarmee zou het autobezit dalen met grofweg 0 tot 10 procent.

Deze getallen zijn hoogst onzeker. Wanneer we een wat hoger autogewicht als uitgangspunt nemen en de volledige bandbreedte ten aanzien van de elasticiteit meenemen, dan kan de daling van het autobezit oplopen tot boven de 30 procent. Desondanks lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat acculeaseconstructies zullen leiden tot een afname van het autobezit en dat het autobezit minder fors zal afnemen dan wanneer de autokoper de volledige meerkosten bij aanschaf zou betalen.

Bij de acculeaseconstructie zijn overigens wel enkele kanttekeningen te plaatsen. In de eerste plaats zullen de totale kosten voor de eindgebruiker (ook wel Total Cost of Ownership, TCO) niet of nauwelijks veranderen. De meerkosten van de elektrische auto worden alleen gespreid in de tijd; de autokoper betaalt de meerkosten nog wel degelijk. De maandelijkse kosten die Renault rekent (zie boven) voor accuuro, zijn tamelijk laag. Een snelle rekensom leert dat Renault bij een levensduur van de batterijen van tien jaar ongeveer 8.500 tot 9.500 euro aan accuuro int. Bij de huidige hoge kosten van accu's lijkt het zeker dat Renault op deze acculeaseconstructie flink geld toelegt. Maar ook als de meerkosten van accu's op de lange termijn dalen naar 15.000 a 20.000 euro, zoals wij verwachten, zal de accuuro circa twee keer zo hoog moeten zijn als wat nu in rekening wordt gebracht. Een tweede kanttekening betreft de prijselasticiteiten voor vaste maandelijkse kosten zoals de mrb. Vermoedelijk zijn deze laag omdat slechts weinig mensen bekend zijn met deze kosten, zeker op het moment dat een voertuig wordt aangeschaft (Geilenkirchen et al. 2010). Het is aannemelijk dat die bewustheid toeneemt als de maandelijkse kosten hoger worden, en er bij de aanschaf van een elektrische auto expliciet wordt stilgestaan bij de hoogte van de acculeasekosten. De

daling van het autobezit met 0 tot 10 procent kan dan een onderschatting zijn van de werkelijke daling.

Wat het effect zal zijn van acculeaseconstructies op het autogebruik, is minstens zo lastig in te schatten als het effect op het autobezit. In algemene zin kunnen we stellen dat de 'kostenbeleving' voor de autogebruiker zal verschuiven van (hoge eenmalige) vaste kosten naar hogere vaste maandelijkse kosten. Dat betekent dat hij of zij vaker met kosten wordt geconfronteerd, wat weer een prikkel kan zijn om de auto minder te gebruiken.

6.1.2 Variabele kosten

De variabele autokosten bepalen voor een groot deel het autogebruik. Onder variabele kosten verstaan we hier de brandstofkosten voor de eindgebruiker. Deze brandstofkosten worden deels bepaald door de prijs van ruwe olie, gas en kolen, die op hun beurt de hoogte van de elektriciteitsprijs bepalen. De brandstofkosten hangen ook af van de hoogte van de heffingen en accijnzen door transport- en productiekosten.

In deze studie is uitgegaan van een olieprijs van 100 dollar per vat in 2050 (prijspeil 2010) en een stijging van de elektriciteitsprijs met 50 procent. De aanname voor de olieprijs is enigszins aan de lage kant. Zo gaat de IEA (2011) in haar referentiescenario 'New Policies' bij de projecties voor 2035 uit van een gemiddelde olieprijs van 113 dollar per vat, de Amerikaanse EIA (2011) hanteert in haar referentiescenario voor 2035 een olieprijs van 125 dollar per vat en de Deutsche Bank (EIA 2011) gaat uit van 110 dollar per vat in 2035. De IEA gaat in haar 'New Policies'-scenario (waarin een aanzienlijk deel van de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt) uit van ongeveer gelijkblijvende elektriciteitsprijzen (IEA 2011). In een overzichtsstudie van PROGNOS (2011) is de conclusie dat de elektriciteitsprijs in de meeste internationaal gangbare scenario's tot 2030 met ruim 25 procent stijgt, om daarna licht te dalen in scenario's waarin veel hernieuwbare bronnen worden ingezet. In vergelijking met de aannames van de IEA hanteren wij dus iets hogere variabele kosten voor de elektrische autorijder. Die hogere variabele kosten hebben geleid tot een iets lagere automobiliteit dan onder de IEA-aannames. De verschillen zijn echter niet groot. De andere aannames voor de energiekosten hebben dus weinig invloed op de in hoofdstuk 3 en 4 beschreven effecten voor het autogebruik.

6.1.3 Belastingen en accijnzen

In deze studie hebben wij aangenomen dat de belastingen en accijnzen ook in de toekomst op het huidige peil blijven. Dat betekent dat elektrische auto's vrijgesteld blijven van aanschafbelasting (bpm) en dat heffingen op elektriciteit en fossiele brandstoffen gelijk

blijven. Ook de heffingen voor vrachtoertuigen veranderen niet. De overheid loopt hierdoor per saldo jaarlijks circa 5 miljard aan inkomsten mis in vergelijking met een situatie zonder elektrisch autorijden en zonder elektrische stadsdistributie.

De overheid kan vanzelfsprekend besluiten die misgelopen inkomsten te compenseren. Daarbij kan zij ervoor kiezen de vaste kosten (bijvoorbeeld de bpm) of de variabele kosten (bijvoorbeeld de heffing op elektriciteit of een kilometerheffing) te verhogen. Voor personenauto's zal een verhoging van de vaste kosten leiden tot een daling van het autobezit die groter is dan de in hoofdstuk 3 berekende 10 tot 20 procent. Indien de overheid de ruim 6 miljard euro aan inkomstenderving zou willen compenseren door extra bpm te heffen, dan zouden elektrische auto's gemiddeld nog eens 10.000 tot 15.000 euro duurder worden. De daling van het autobezit zou dan kunnen oplopen tot 30 procent.

Zou de overheid de 6 miljard aan inkomstenderving compenseren door hogere energieheffingen, dan stijgen de brandstofkosten voor elektrisch autorijden fors. Uit tabel 3.3 bleek dat bij volledig elektrisch autorijden in 2030 circa 4 tot 5½ miljard euro aan energieheffing wordt opgehaald. Om 6 miljard extra op te halen, moeten de brandstofkosten 100 tot 150 procent hoger zijn dan in een situatie zonder elektrisch rijden, zo leert een snelle rekensom. De effecten van dergelijke prijsstijgingen zijn niet goed te schatten met prijselasticiteiten uit de literatuur, omdat ze in de praktijk nog nooit zijn voorgekomen. Bovendien zijn de elasticiteiten gebaseerd op hogere variabele kosten bij benzine- en dieselauto's, terwijl ze bij prijsveranderingen op de relatief lage variabele kosten van de elektrische auto waarschijnlijk groter zijn. Als we die wetenschap even naast ons neerleggen en uitgaan van een brandstofprijselasticiteit van -0,2 tot -0,4 op het autogebruik, dan zou het aantal afgelegde kilometers afnemen met 20 tot 60 procent. Deze percentages zijn zeer onzeker, maar rechtvaardigen de conclusie dat het compenseren van de inkomstenderving via een hogere energieheffing tot een zeer forse daling van het autogebruik zal leiden.

6.1.4 Actieradius

Wij zijn er van uitgegaan dat de gemiddelde actieradius van elektrische auto's in 2050 zo'n 250 kilometer bedraagt. Deze actieradius is ruim voldoende voor bijna alle normale, dagelijkse ritten. Hij is echter onvoldoende voor veel vakantieverkeer. Momenteel wordt ervaring opgedaan met constructies waarbij bij de aankoop van een elektrische auto meteen ook het recht wordt gekocht om gedurende een aantal weken per jaar een auto met een conventionele verbrandingsmotor te gebruiken. Dergelijke constructies heffen de nadelen van de

beperkte actieradius van de elektrische auto weliswaar op, maar kennen in het licht van ons onderzoek ook bezwaren. Ten eerste is het moeilijk om bij een volledig elektrisch wagenpark (zoals wij veronderstellen) ook een infrastructuur met tankstations voor de conventionele auto in stand te houden. Ten tweede blijkt uit een marktonderzoek (GfK in opdracht van MilieuCentraal) dat slechts 15 procent van de mensen voor een dergelijke constructie voelt, terwijl nog eens 27 procent bereid is erover na te denken (<http://www.milieucentraal.nl/actueel/2010/milieuadvies-gebruik-twee-autos/>). Bedraagt de actieradius van de elektrische auto in 2050 niet meer dan 250 kilometer, dan zal dit al met al gevolgen hebben voor het vakantieverkeer: meer vliegen en treinverkeer naar de vakantiebestemming, waar vervolgens een elektrische auto kan worden gehuurd.

6.1.5 Levensduur accu's

In hoofdstuk 3 hebben we aangenomen dat de levensduur van de accu's of batterijen in elektrische auto's vergelijkbaar is met de levensduur van personenauto's. Er is een maximum aan het aantal malen dat oplaadbare batterijen, zoals de NiMH en Li-ion, die in elektrische auto's worden gebruikt, kunnen worden opgeladen. De capaciteit van de batterijen neemt bovendien af naarmate zij vaker worden opgeladen. De levensduur van batterijen wordt nu geschat op zes tot acht jaar, alhoewel gebruikservaringen moeten uitwijzen hoe lang deze in de praktijk is.

Voor benzine- en dieselauto's wordt doorgaans een afschrijvingstermijn van twaalf tot veertien jaar gehanteerd. Voor een belangrijk en kostbaar onderdeel van de elektrische auto is die afschrijving dus veel hoger. Een hogere afschrijving betekent voor de autogebruiker een gemiddeld lagere inruilwaarde. Indien de levensduur van de accu's niet verbetert ten opzichte van de huidige situatie, dan zullen de totale kosten (TCO) van auto's dus toenemen. Hierdoor zal het autobezit sterker dalen dan de 10 tot 20 procent die in hoofdstuk 3 is berekend.

6.1.6 Achtergrondscenario's

Hoe de wereld er in de toekomst uit ziet, weet niemand. Daarom is bij de modelberekeningen gebruik gemaakt van achtergrondscenario's. Deze achtergrondscenario's vertegenwoordigen twee verschillende toekomstbeelden, één met een hoge en één met een lage economische en demografische groei. De conclusies voor de ontwikkelingen van het toekomstig autobezit en -gebruik verschillen niet erg tussen de twee scenario's. Dat geeft vertrouwen in de robuustheid van de uitspraken over de te verwachten veranderingen in het autobezit en het autogebruik.

6.2 Mogelijke andere toekomstige ontwikkelingen

6.2.1 Waterstof in plaats van elektrisch

Het is nog geen uitgemaakte zaak dat de toekomst aan de elektrische auto is. Wellicht is waterstof de brandstof van de toekomst, maar het kan ook de conventionele auto met voor biobrandstoffen doorontwikkelde verbrandingsmotor zijn die uiteindelijk aan het langste eind trekt. Beide opties zouden in ieder geval in technisch opzicht geschikt zijn om de langetermijnklimaatdoelen binnen bereik te brengen (Hoen et al. 2009).

De waterstofauto is op dit moment nog erg duur en de marktontplooiing die we bij de elektrische auto zien, is er voor de waterstofauto niet. Toch is de verwachting dat de kosten van de brandstofcel (een van de belangrijkste onderdelen in de waterstofauto) bij massaproductie aanzienlijk kunnen dalen. Een snelle scan van de literatuur leert dat de verwachte toekomstige kosten uiteenlopen van 30 tot 100 euro per kilowatt (Carle et al. 2005; Nagelhout et al. 2006; Hyways 2008; ElementEnergy 2011). Dit bedrag is exclusief de kosten van waterstofopslag in het voertuig; die bedragen 5 tot 10 euro per kilowatt (Hyways 2008; ElementEnergy 2011). De verwachte meerkosten voor waterstofauto's met een vergelijkbare actieradius als conventionele auto's zouden dan ongeveer 6.000 tot 12.000 euro bedragen. De meerkosten bij aanschaf van een waterstofauto zouden, indien deze voorspellingen kloppen, dus grofweg de helft bedragen van de meerkosten bij de aanschaf van een elektrische auto. Het autobezit zou bij volledig rijden op waterstof dalen met 5 tot 10 procent, in plaats van met 10 tot 20 procent zoals bij de elektrische auto (zie hoofdstuk 3).

De brandstofkosten voor de waterstofauto zullen naar verwachting hoger zijn dan voor de elektrische auto. Dat is eenvoudig in te zien als we bedenken dat CO₂-vrij geproduceerde waterstof uit CO₂-vrije elektriciteit zal moeten worden gemaakt. Waar de (CO₂-vrij opgewekte) elektriciteit vrijwel direct in de elektrische auto kan worden gebruikt, is er bij de waterstofauto nog extra energie nodig om met die elektriciteit waterstof te maken. Waterstof kan overigens goedkoper worden geproduceerd met nucleaire en fossiele bronnen zoals aardgas of kolen, maar deze mogelijkheid laten we hier buiten beschouwing. Alhoewel de spreiding in de verwachte kosten groot is, zullen deze voor een kilogram waterstof gemiddeld circa 4 euro bedragen (HyWays 2008; Sandoval et al. 2009).

Los van de hogere productiekosten en de daaruit volgende 'pompprijs' van waterstof in vergelijking met

elektriciteit bepaalt ook het rendement van de waterstofauto hoe hoog de brandstofkosten zijn. Voor 100 kilometer is circa 0,75 tot 1,5 kilo waterstof nodig (ElementEnergy 2011; Mathur et al. 2008). Dit zou betekenen dat een volle tank tussen de 15 en de 30 euro zou kosten voor een waterstofauto met een actieradius die vergelijkbaar is met die van een benzine- of dieselauto. Dat is nog zonder accijns of energieheffingen. Als de overheid waterstof zou belasten met een energieheffing die vergelijkbaar is met die voor elektrisch rijden (circa 4 tot 5 ½ miljard aan opbrengsten; zie paragraaf 3.11), dan zou de brandstofprijs grofweg verdubbelen. Als we dit vergelijken met de brandstofkosten van benzine en diesel uit tabel 3.1, dan is waterstof in prijs gemiddeld gelijk tot de helft goedkoper. Volgens de berekeningen met Dynamo en LMS daalt het autobezit dan met circa 10 procent en stijgt het autobezit (totaal aantal gereden kilometers) met 0 tot 10 procent.

6.2.2 Nieuwe vervoersconcepten

Ook is het denkbaar dat tussen nu en veertig jaar nieuwe vervoersvormen ontstaan. De Europese Commissie heeft innovatie in het stedelijk vervoer al op de agenda staan (Europese Commissie 2011b), omdat ze het gebruik van kleine, lichte, meer gespecialiseerde wegvoertuigen wil stimuleren.

Al in 1964 wees de stadsplanner Don Fichter op de voordelen van de auto voor het individu, en tegelijkertijd op de nadelen voor de stedelijke leefomgeving. Hij pleitte daarom voor een nieuwe vervoersvorm. Voor deze nieuwe vervoersvorm zag hij alleen kansen als deze (1) op afroep beschikbaar was, (2) de privacy van een auto te bieden had en (3) vrijwel deur-tot-deurvervoer verzorgde. Het 'Personal Rapid Transit System', zoals hij dat noemde (tegenwoordig spreken we vooral over *people movers*), bestaat uit kleine, op afstand automatisch bestuurd voertuigen. Het systeem is sindsdien hier en daar op beperkte schaal toegepast. Morgantown, Masdar City en Londen Heathrow zijn de bekendste voorbeelden. Het is echter onduidelijk of een grote groep mensen bereid zal zijn om hun persoonlijke vervoermiddel in te ruilen voor zo'n vervoersconcept.

De EU-projecten NICHES en NICHES+ (<http://www.niches-transport.org/>) richten zich op het identificeren van veelbelovende nieuwe stedelijke vervoersconcepten. Op het gebied van nieuwe vervoerstechnologie gaat het daarbij vooral over de introductie van nieuwe brandstoftechnologie (biogas, elektrisch rijden enzovoort), en veel minder over nieuwe vormen van vervoer die ook tot een ander soort mobiliteit zouden kunnen leiden. Zo wordt binnen de genoemde EU-projecten wel enige aandacht besteed aan *personal*

rapid transport, maar niet aan de elektrische fiets of daarop gebaseerde nieuwe vervoersconcepten. TNO heeft de toekomstmogelijkheden verkend van de elektrische fiets en de effecten daarvan op de mobiliteit (Hendriksen et al. 2008). De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek was dat, zelfs als het elektrische fietsbezit even hoog zou zijn als het gewone fietsbezit, het aantal autoritten met maximaal 1,6 procent afneemt. De impact van de elektrische fiets op de automobilititeit lijkt dus beperkt. De elektrische fiets is vooral een substituuut voor de gewone fiets. Wel zou het de opmaat kunnen zijn voor de ontwikkeling van de door de EU gepropageerde nieuwe, gespecialiseerde modaliteiten die zich ergens tussen de elektrische auto en de elektrische fiets in bevinden.

6.2.3 Logistieke trends en concepten

De toekomst van het logistieke systeem is, zeker op de wat langere termijn, met veel onzekerheden omgeven. De uiteindelijke ontwikkeling hangt hierbij af van de interactie tussen verschillende actoren zoals bevolking, bedrijven, verladers, vervoerders en overheden op verschillende schaalniveaus. De invloed die veranderingen in de omgeving (kosten, wetgeving of technologie) hebben op het logistieke systeem, hangt af van het samenspel tussen deze actoren. Bij de veranderingen in de omgeving onderscheiden we onzekerheden in de langetermijneffecten van bestaande trends en signalen van meer fundamentele wijzigingen. We geven hier twee voorbeelden van onzekerheden bij bestaande ontwikkelingen en de mogelijke invloed daarvan op het logistieke systeem:

- Tot dusver is transport steeds goedkoper geworden. Er zijn echter indicaties dat deze trend gekeerd gaat worden, zoals personele tekorten en stijgende loonkosten, schaarsere en duurere brandstof en strengere eisen vanuit de leefomgeving. In de praktijk kan het duurder worden van transport vaak weer gemitigeerd worden, bijvoorbeeld door zuiniger vrachtauto's. Een effect van duurder transport zal zijn dat logistieke consolidatieconcepten, bijvoorbeeld door samenwerking tussen partijen, interessanter worden. Duurdere conventionele brandstofkosten en strengere milieuregelgeving stimuleren de transitie naar elektrische voertuigen.
- De huidige trend van directe levering aan de consument, zonder tussenkomst van winkels, zal naar verwachting doorgaan, bijvoorbeeld door de toename van de e-commerce, thuisbezorgwinkels, enzovoort. De toenemende vergrijzing zou deze trend op termijn kunnen versterken. Een openstaande vraag is hoe dit logistiek opgelost gaat worden. De trend kan immers leiden tot een doorgaande groei van het bestelverkeer en van de levering van individuele pakketten aan de deur. Een andere mogelijkheid is dat deze stromen

worden geconsolideerd in wijkuitgiftepunten, waar de consumenten zelf de bestelde goederen afhalen.

Naast dergelijke onzekerheden zijn de eerste signalen zichtbaar van meer fundamentele wijzigingen in de productieprocessen of de logistiek. Voorbeelden zijn:

- Aandacht voor het terugdringen van de complexiteit van het logistieke systeem. De verschuiving van het industrieel paradigma van massaproductie naar massa-individualisatie leidt tot een snel oplopende complexiteit van logistieke producten. Tot dusver is hierop geantwoord met steeds geavanceerder plannings- en managementbenaderingen. Deze lijken, vanuit een transport- of milieuperspectief (afgelegde kilometers per product tussen herkomst en bestemming), echter niet tot winst op het gebied van efficiëntie te leiden (Van Asseldonk 2010). Om deze situatie te doorbreken kan worden gedacht aan een paradigmaverschuiving in de logistiek: van een complexe centrale sturing naar een decentraal sturingsmodel waarbij de kennis zit op het niveau van de individuele leveringen. De pakketten vinden dan autonoom hun weg via een aan elkaar geschakeld stelsel van logistieke knooppunten.
- ICT en technologische ontwikkeling maken een meer lokale productie van toegesneden producten mogelijk. Het gaat hierbij om productievormen zoals het printen van kleding of de vervaardiging van plastic producten in de winkel zelf. Het assortiment wordt dan digitaal aangeboden, het product wordt ter plekke gerealiseerd. Voor het goederenvervoer zou deze transfer van kennis en productiemogelijkheden naar het lokale niveau een sterke reductie kunnen inhouden van het transport, omdat grondstoffen of half-fabricaten direct aan lokale of regionale centra geleverd worden.

De transitie naar een elektrisch stadsdistributie is sterk afhankelijk van de scenario-ontwikkelingen. Zo is een overgang veel gemakkelijker te realiseren in een toekomst waarin de logistieke stromen ten gevolge van de scenario-ontwikkelingen al grotendeels via stedelijke distributie- of transfercentra verlopen.

Bijlagen

Bijlage 1 Uitgangspunten

Overheidsinkomsten

We veronderstellen dat het huidige beleid van kracht blijft. Dat houdt in dat er in 2050 voor elektrische auto's geen aanschafbelasting (bpm) wordt betaald maar wel wegenbelasting (mrb). We nemen aan dat de heffing op elektriciteit gelijk zal zijn aan de huidige situatie en dat huishoudens het laagtarief betalen voor hun volledige elektriciteitsgebruik (11 eurocent per kilowattuur).

In 2010 haalde de overheid ongeveer 13,5 miljard euro op uit autobelastingen, accijns en btw op brandstoffen. De autobelastingen bestaan uit de aanschafbelasting (bpm, belasting van personenauto's en motorrijwielen) en de wegenbelasting (mrb, motorrijtuigenbelasting). Beide leverden de staat in 2010 respectievelijk circa 2 miljard en 4 ½ miljard euro op. De accijns en btw op benzine, diesel en lpg was goed voor respectievelijk 5 en 2 miljard euro. In het huidige beleid zijn nul-emissie-voertuigen, waaronder volledig elektrische auto's, vrijgesteld van bpm. Momenteel zijn deze voertuigen ook vrijgesteld van mrb. De mrb-vrijstelling verdwijnt echter na 2015. Voor de bpm-vrijstelling is geen einddatum vastgesteld. Als elektrisch rijden in 2050 gemeengoed is, is het voorstelbaar dat de huidige belastingregels niet meer gelden. Ook is het denkbaar dat de overheid de energieheffing verhoogt om accijnsderving te voorkomen. We hebben er echter voor gekozen om in deze studie geen voorspellingen te doen over de wijze waarop beleidsmakers elektrische auto's in 2050 fiscaal zullen behandelen. We vinden het interessanter om te laten zien wat de gevolgen zijn als het huidige beleid niet wordt aangepast.

We veronderstellen daarom dat de mrb voor elektrische auto's in 2050 niet verschilt van de mrb voor benzine- en dieselauto's nu. Tevens gaan we ervan uit dat er geen bpm geldt voor elektrische auto's. De inkomsten uit brandstofaccijns plus btw verdwijnen uiteraard ook, maar daar komen extra opbrengsten uit energieheffing voor terug. We veronderstellen we dat de energieheffing gelijk blijft ten opzichte van nu. Momenteel zijn er verschillende

energieheffingen; deze hangen af van de hoeveelheid energie die wordt afgenomen. Het tarief voor laaggebruik (tot 10.000 kilowattuur per jaar) bedraagt 11,14 eurocent per kilowattuur. Het is goed mogelijk dat elektrisch rijden ervoor zorgt dat huishoudens boven een verbruik van 10.000 kilowattuur per jaar uitkomen. Toch nemen we aan dat huishoudens over hun gehele elektriciteitsgebruik, inclusief dat van de elektrische auto, een heffing van 11,14 eurocent per kilowattuur blijven betalen.

Overigens is de energieheffing per gereden kilometer voor elektrische auto's niet veel lager dan de huidige accijns per kilometer. In een toekomstbeeld met alleen elektrisch rijden veranderen de totale opbrengsten uit de energieheffing alleen indien het totaal aantal gereden kilometers wijzigt. In paragraaf 3.11 hebben we laten zien hoe de overheidsinkomsten en de kosten voor de gemiddelde eindgebruiker (automobilist) door volledig elektrisch rijden veranderen, rekening houdend met de effecten die elektrisch rijden met zich mee brengt.

Oplaaadinfrastructuur

We veronderstellen dat langzaam opladen aan huis de belangrijkste vorm van opladen wordt. Het volledig opladen van een auto duurt daarbij circa 8 uur.

Er zijn verschillende manieren waarop elektrische auto's in 2050 zouden kunnen worden opgeladen. De technieken waarvan momenteel het meeste wordt verwacht, zijn langzaam laden, snel laden, batterijwisselstations en inductieladen (CE-3 2011). De benodigde investeringen voor deze technieken verschillen naar verwachting aanzienlijk. Langzaam laden vindt plaats aan huis. Aan langzaam laden zijn relatief de minste investeringskosten verbonden. Het is wel nodig dat de elektriciteitsvraag gecontroleerd wordt door middel van smart-gridoplossingen. Deze houden in dat het energiebedrijf de vraag naar elektriciteit op afstand controleert om overbelasting van het net te voorkomen. Zonder smart grid zouden de meeste mensen na hun werk thuis de auto

aan de stroom zetten. Dat is het moment waarop de elektriciteitsvraag het hoogst is. Het smart grid zou ervoor zorgen dat de auto wordt opgeladen in de daluren, wanneer de vraag naar elektriciteit weer lager is. Volgens KEMA et al. (2010) zouden de kosten van langzaam laden in combinatie met het smart grid 370 euro per auto bedragen. De totale investeringskosten voor de oplaadinfrastructuur zouden dan ergens tussen 2 en 3 miljard euro bedragen, afhankelijk van het aantal elektrische auto's dat in 2050 rondrijdt. Bij het berekenen van de brandstofkosten voor elektrisch rijden (zie paragraaf 3.4) hebben we aangenomen dat deze investeringskosten in de elektriciteitsprijs zijn verdisconteerd.

Snel laden vereist veel grotere investeringen. Dit komt vooral omdat de toename van het vermogen dat nodig is om een batterij van een elektrische auto op te laden, omgekeerd evenredig is met de tijdwinst. De huidige distributienetwerken, met name op wijkniveau, zijn niet geschikt om grote aantallen huishoudens snel te laten opladen (Gerkenmeyer et al. 2010). Snel laden lijkt daarom vooral zinvol als het op beperkte schaal wordt ingezet en op specifieke locaties, zoals de huidige tankstations.

Batterijwisselstations maken het de automobilist mogelijk om een leeg accupakket in een geautomatiseerd wisselstation te vervangen door een volgeladen accupakket. Zo'n systeem vergt grote investeringen in de infrastructuur en een reservevoorraad batterijen. Van de vier hier besproken systemen, zijn de investeringskosten voor dit systeem het hoogst (CE-3 2011). BetterPlace, de organisatie die dit concept momenteel ontwikkelt, gaat ervan uit dat het wisselen van batterijen gecombineerd wordt met het thuis opladen. Dit verslechtert de business case van deze oplaadvariant, omdat de wisselstations hierdoor minder intensief worden gebruikt dan zonder thuisladen (CE-3 2011).

Ten slotte is er het systeem van inductieladen, waarbij de batterij in de auto wordt opgeladen door middel van een elektromagnetisch veld. Voor deze methode zijn geen kabels nodig. De techniek is momenteel op drie plaatsen in ontwikkeling, namelijk bij Daimler, Audi en Fraunhofer IWSE (CE-3 2011). Ook deze oplaadtechniek vereist relatief hoge investeringen.

De veronderstelling dat de actieradius van elektrische auto's 250 kilometer is in 2050 (zie paragraaf B.4) en dat de oplaadtijd 8 uur bedraagt, vragen wel een verbetering van de oplaadtechniek. Bij eenzelfde geleverd vermogen aan elektriciteit duurt het twee keer zo lang om een auto met een twee keer zo grote actieradius volledig te laden.

Electriciteitsprijs en brandstofkosten

We veronderstellen dat de variabele autokosten van elektrische auto's circa 30 tot 50 procent lager zijn dan die van een benzineauto, en 0 tot 35 procent lager dan die van een dieselauto. Daarbij is er rekening mee gehouden dat benzine- en dieselauto's autonoom 40 procent zuiniger worden. Verder is aangenomen dat de elektriciteit duurzaam (CO₂-neutraal) wordt opgewekt.

Electriciteitsprijs

De ontwikkeling van de elektriciteitsprijs bepaalt de 'brandstofkosten' van de elektrische auto in 2050. De prijs zal onder andere afhangen van (en waarschijnlijk stijgen door) de hogere vraag naar elektriciteit, de benodigde investeringen in het elektriciteitsnetwerk ten behoeve van de oplaadinfrastructuur, de olie-, gas-, en kolenprijzen en de hoeveelheid duurzaam opgewekte elektriciteit (zon, wind). Ook de heffingen op energie bepalen de elektriciteitsprijs. In paragraaf 3.2. hebben we al aangegeven te veronderstellen dat de energieheffing gelijk blijft aan nu.

Omdat ons scenario is ingebed in een scenario met 80 procent CO₂-reductie in alle sectoren, veronderstellen we dat de elektriciteit voor elektrisch autorijden en stadsdistributie 'duurzaam' wordt opgewekt. Onder duurzaam verstaan we hier dat er geen CO₂ vrijkomt bij de productie van de elektriciteit.

Het was erg lastig om prognoses te vinden voor elektriciteitsprijzen voor scenario's met sterke CO₂-emissiereducties in 2050. In onze literatuurscan zijn we geen studies tegengekomen specifiek voor de Nederlandse situatie. Voor Europa als geheel verwacht het PBL (2009) een gemiddelde prijsstijging van 20 procent voor de kale elektriciteitsprijs (zonder heffingen). In CE-3 (2011) zijn de prijsveranderingen onderscheiden naar een aantal Europese regio's. In de regio waarvan Nederland deel uitmaakt, zal de kale elektriciteitsprijs stijgen van ongeveer 45 euro per megawattuur in 2010 tot 80 euro per megawattuur in 2030; dat is een prijsstijging van bijna 80 procent. Daarbij baseert CE zich op het 'EU Energy Trends' referentiescenario, dat uitgaat van 70 procent elektriciteitsopwekking uit windenergie, 18 procent uit zon en 6 procent uit het bijstoken van biomassa. In ECF (2011) is gekeken naar de gevoeligheid van de elektriciteitsprijs in een scenario met 50 procent minder CO₂-uitstoot in 2030. Er wordt een kale elektriciteitsprijs genoemd van circa 85 euro per megawattuur in 2030, wat redelijk overeenkomt met de schatting van CE. In het ECF-rapport wordt ook een 'roadmap'-studie aangekondigd naar de mogelijkheden om de CO₂-uitstoot in de energiesector te reduceren met

Tabel B.1

Brandstofprijzen bij drie olieprijspaden (pompprijzen in €2008/liter)

	\$ 40 per vat	\$70 per vat	\$ 100 per vat
Benzine (€/l)	1,29	1,43	1,58
Diesel (€/l)	0,89	1,09	1,28

Bron: Hoen et al. (2010)

Tabel B.2

Geïndexeerde brandstofkosten per kilometer in het jaar 2050

Brandstofkosten per km (index elektrisch = 100)	hoog	laag
Benzine	130	150
Diesel	100	135
Elektrisch	100	100

54-68 procent in 2030 en 80-95 procent in 2050 (ECF 2011). In hoeverre in deze studies met (volledig) elektrisch rijden rekening wordt gehouden, is onduidelijk.

Op basis van deze schaarse informatie nemen we aan dat de elektriciteitsprijs in Nederland in 2050 ongeveer 50 procent hoger is dan nu. We veronderstellen dat in deze prijsstijging de benodigde investeringen in het elektriciteitsnet van 2 à 3 miljard zijn verdisconteerd. Met een prijsstijging van 50 procent gaan we uit van een flink hogere stijging dan PBL (2009), maar gaan we niet zover als CE (2011) en ECF (2011). Dat laatste is denkbaar als de techniek om elektriciteit volledig duurzaam op te wekken verbetert en de kosten daardoor lager worden. Niettemin moet deze inschatting van de elektriciteitsprijs als zeer indicatief worden beschouwd en verdient het aanbeveling nader onderzoek te doen naar de ontwikkeling van de elektriciteitsprijzen in Nederland bij grote CO₂-reducties in het algemeen en bij elektrisch rijden in het bijzonder.

Brandstofprijzen

In het rapport 'De effecten van de olieprijs op lange termijn' schetst het CPB (2010) de olieprijsontwikkeling. Dit rapport heeft ook als basis gediend voor de recente 'Referentieraming energie en emissies 2010-2020' (ECN & PBL 2010). Het CPB-rapport houdt een bandbreedte aan van 40 tot 100 dollar per vat en een middenwaarde van 70 dollar per vat (prijsspeil 2008). Dit leidt tot brandstofprijzen zoals weergegeven in tabel B.1.

Omdat ECN en PBL (2010) een euro/dollarkoers hanteren van 1,55, zijn de brandstofprijzen (in vergelijking met nu) relatief laag. Voor deze studie nemen we daarom aan dat de olieprijs in 2050 rond de 100 dollar per vat ligt, met

bijbehorende pompprijzen voor benzine en diesel (zie tabel B.1).

Brandstofkosten: elektrisch versus conventioneel

Niet alleen de brandstof- en elektriciteitsprijs bepaalt het verschil in brandstofkosten tussen elektrische auto's en benzine-/dieselauto's. De autonome efficiëntieontwikkeling speelt ook een rol. Onder invloed van de Europese CO₂-normen voor personenauto's zullen conventioneel aangedreven auto's nog circa 40 procent energiezuiniger worden (en zullen ze duurder worden in aanschaf; zie paragraaf 3.5). Hierdoor worden ook de brandstofkosten per kilometer 40 procent lager. Tegelijkertijd worden ze in aanschaf wat duurder (zie paragraaf B.4). Ook de energie-efficiëntie van elektrische auto's gaat naar verwachting nog verbeteren. Met hoeveel is onzeker. De gevonden schattingen in de literatuur lopen uiteen van 20 procent tot 80 procent (CE 2011; ElementEnergy 2011).

Door de ontwikkeling in brandstof- en elektriciteitsprijzen te combineren met de ontwikkeling van de energie-efficiëntie, hebben we de brandstofkosten per kilometer bepaald van benzine- en dieselauto's en elektrische auto's. De gehanteerde geïndexeerde brandstofkosten zijn weergegeven in tabel B.2. Omdat de onzekerheden tamelijk groot zijn, maken we onderscheid in lage en hoge kosten voor elektrisch rijden. Tabel B.2 laat zien dat de brandstofkosten voor elektrisch rijden in de meeste gevallen goedkoper zijn dan die voor rijden op benzine of diesel. Voor diesel zijn de verschillen het kleinst: 0 tot 35 procent lagere kosten voor elektrisch rijden. Voor benzine zijn de verschillen groter, met 30 tot 50 procent lagere kosten voor elektrisch rijden.

Tabel B.3

Overzicht van literatuur met huidige en toekomstige kosten voor batterijen

Referentie	Termijn	Kosten	
		laag	hoog
Anderman (2000)		\$225/kWh	\$350/kWh
Kalhammer (2007)	Nu	\$200/kWh	\$550/kWh
Simpson (2006)	LT	\$200/kWh	\$600/kWh
EPRI (2001) ¹	?	\$225/kWh	\$250/kWh
BERR (2008)	2030	\$240/kWh	\$296/kWh
USABC	LT-doel	\$100/kWh	\$100/kWh
Nemry & Brons (2010)	Nu	\$700/kWh	\$1000/kWh
	2020	\$300/kWh	\$400/kWh
CE (2011)	Nu	\$750/kWh	\$800/kWh
	2030	\$225/kWh	\$240/kWh

¹ Betreft uitsluitend NiMH-batterijtechnologie

Actieradius en aanschafprijs

We nemen aan dat de gemiddelde elektrische auto in 2050 een actieradius heeft van circa 250 kilometer. De meerkosten van een elektrische auto ten opzichte van een benzine- of dieselauto bedragen daarmee ongeveer 15.000 tot 20.000 euro. We nemen aan dat de autokoper deze kosten bij aanschaf in één keer moeten betalen. We veronderstellen verder dat de levensduur van accu's vergelijkbaar is met die van de huidige benzine- en dieselauto's.

In tabel B.3 zijn de batterijkosten weergegeven. Deze kostenschattingen zijn gebaseerd op een uitgebreide literatuurscan, en lopen sterk uiteen. Schattingen voor de huidige kosten bedragen 200 tot 1.000 dollar per kilowattuur. Schattingen voor de toekomst liggen in het algemeen flink lager. Dit geeft aan dat al deze studies er vertrouwen in hebben dat schaalvergroting en leereffecten tot een flinke daling van de kosten kunnen leiden. Voor de lange termijn geven de meeste studies een bandbreedte voor de toekomstige kosten van batterijen van tussen de 200 en 300 dollar per kilowattuur.

Het aantal kilowatt dat in een auto wordt geïnstalleerd, bepaalt samen met het gewicht van de auto en het rijgedrag hoe groot de actieradius is. De Nissan Leaf bijvoorbeeld heeft een batterijcapaciteit van 24 kilowatt; dat is – volgens de Europese typekeuringstest (NEDC) – genoeg om er 175 kilometer mee te rijden. Omdat de NEDC niet representatief is voor praktijkgebruik, ligt de werkelijke actieradius eerder ergens rond de 75 kilometer (Van Meerkerk et al. 2011). De gemiddelde benzine- of dieselauto kan ongeveer tussen de 400 en 600 kilometer

op één volle tank afleggen. Een elektrische auto zou daarvoor dus ongeveer 100 tot 150 kilowatt aan batterijcapaciteit aan boord moeten hebben. Bij kosten van 200 à 300 dollar per kilowattuur zou dat ongeveer 30.000 tot 45.000 dollar zijn. Dat is omgerekend naar 2010-prijzen in euro's ongeveer 250 tot 400 euro per kilowattuur of 25.000 tot 60.000 euro per auto. Het is echter maar zeer de vraag of elektrische auto's uiteindelijk uitgerust worden met een batterijpakket waarmee een even grote actieradius wordt gehaald als met een benzine- of dieselauto. Hoen en Koetse (2012) laten zien dat Nederlandse particuliere autokopers vooral veel waarde hechten aan een verhoging van de actieradius van 75 naar 150 kilometer, alhoewel ook verdere verbeteringen van de actieradius belangrijk worden gevonden. Autofabrikanten zullen de actieradius van elektrische auto's afstemmen op deze consumentenvoorkeuren en deze afwegen tegen de meerprijs. Voor deze studie nemen we aan dat de actieradius van elektrische auto's in 2050 ongeveer 250 kilometer bedraagt.

Om de meerkosten van elektrische auto's te bepalen is het ook van belang te weten hoe de kosten van benzine- en dieselauto's zich ontwikkelen en wat de kosten zijn van de onderdelen die een elektrische auto niet nodig heeft. Rekening houdend met de steeds complexere voertuigtechniek van conventionele verbrandingsmotoren (onder andere onder invloed van de Europese CO₂-normen) bedragen de kosten van een gewone auto in 2030 volgens een Engelse studie zo'n 33 pond per kilowattuur, ofwel 38 euro per kilowattuur (ElementEnergy 2011). We gaan ervan uit dat na 2030 niet veel verdere optimalisaties van de verbrandingsmotor mogelijk zullen zijn, en hanteren kosten van 40 euro per kilowattuur. Bij een vermogen van 50 tot 75 kilowatt bedragen de kosten van een conventionele auto die bij een elektrische auto niet meer gemaakt hoeven te

worden, circa 2.000 tot 3.000 euro. Dit komt goed overeen met berekeningen die TNO heeft gedaan in het kader van de 'Referentieraming 2010-2020' (Hoen et al. 2010). Bij batterijkosten van 250 tot 400 euro per kilowattuur bedragen de gemiddelde meerkosten van een elektrische auto (bij een actieradius van circa 250 kilometer) 15.000 tot 20.000 euro.

Het is de vraag of autokopers in 2050 deze meerprijs in één keer bij de aanschaf van hun auto zullen betalen. Er wordt momenteel ook nagedacht over manieren om de batterijen te huren of te leasen. Daarmee zouden de variabele (maandelijkse) kosten voor de autogebruiker toenemen, maar zou de elektrische auto in aanschaf niet duurder of zelfs iets goedkoper zijn als de conventionele auto. Dit zou invloed kunnen hebben op het autobezit en -gebruik, ook al veranderen de 'totale kosten van bezit' (ook wel TCO, Total Cost of Ownership) er niet of nauwelijks door. We gaan er in deze studie vanuit dat het huren/leasen van batterijen niet de standaard wordt, maar dat automobilisten de volledige meerkosten in één keer betalen wanneer zij de auto aanschaffen. In hoofdstuk 5 geven we wel aan in hoeverre huur-/leaseconstructies van batterijen de uitkomsten beïnvloeden.

De levensduur van accu's is een onzekere factor. In de literatuur vinden we waarden van 4 tot 10 jaar (CE 2011; ElementEnergy 2011). De levensduur wordt ook beïnvloed door de snelheid waarmee wordt geladen. Snel laden kan de levensduur bekorten (CE 2011). Indien de levensduur van een batterijpakket lager is dan de afschrijvingstermijn van een conventionele auto, dan betekent dit dat de TCO

hoger wordt. De inruilwaarde wordt lager, of er moet een forse tussentijdse investering worden gedaan. We gaan er in deze studie van uit dat de levensduur van batterijen tot 2050 verbetert en vergelijkbaar wordt met de afschrijvingstermijn van conventionele auto's (12 tot 14 jaar).

Overige aannames

Het toekomstig bezit en gebruik van elektrische auto's hangt, naast de factoren die in de vorige paragrafen zijn genoemd, ook af van hoe de wereld zich ontwikkelt: wat zal de economische groei zijn, hoe ontwikkelt zich de werkgelegenheid, welke bevolkingssamenstelling kennen we, waar wonen we? Deze ontwikkeling is uiteraard onzeker.

Omdat er meerdere toekomstige mogelijkheden zijn, hebben we de ontwikkeling van de (elektrische) mobiliteit geschetst aan de hand van twee achtergrondscenario's uit de WLO-studie (2006) van de gezamenlijke planbureaus: één met een hoge economische en bevolkingsgroei (het Global Economy-scenario) en één met een lage economische en bevolkingsgroei (het Regional Communities-scenario). De belangrijkste kengetallen van die scenario's zijn in tabel B.4 weergegeven.

In het scenario Global Economy breidt de EU zich nog verder naar het oosten uit. Naast Turkije worden ook landen als Oekraïne lid. De WTO-onderhandelingen zijn succesvol, en de internationale handel vaart er wel bij. Politieke integratie komt echter niet van de grond. Internationale samenwerking op andere gebieden dan handelsvraagstukken mislukt. In dit scenario is sprake van een overheid die de eigen verantwoordelijkheid van burgers benadrukt. De groei van de arbeidsproductiviteit krijgt nog een extra stimulans door de sterke wereldwijde economische integratie. De groei van de materiële welvaart en van de bevolking, vooral door immigratie, is dan ook het hoogst in dit scenario. Er komt er geen overeenkomst voor de aanpak van grensoverschrijdende milieuvraagstukken. Wel leidt de hogere welvaart tot lokale milieu-initiatieven.

In het scenario Regional Communities hechten landen sterk aan hun eigen soevereiniteit, waardoor de Europese Unie er niet in slaagt om institutionele hervormingen door te voeren. Ook een internationale handelsliberalisatie komt niet van de grond, waardoor de wereld uiteenvalt in een aantal handelsblokken. Internationale milieuvraagstukken worden niet aangepakt. Toch is de milieudruk relatief laag vanwege de lage economische en bevolkingsgroei. Er zijn nauwelijks hervormingen van de collectieve sector in dit scenario. Collectieve regelingen blijven in stand, waarbij de nadruk ligt op een gelijkmatige inkomensverdeling en solidariteit. Door geringere prikkels in de sociale zekerheid en de hoge belasting- en premietarieven is de arbeidsparticipatie relatief laag en de werkloosheid hoog. Minder concurrentie remt de noodzaak voor bedrijven om te innoveren. De verbrokkelde markten belemmeren de snelle verspreiding van kennis en de kleine inkomensverschillen leiden tot een matige stimulans voor het opbouwen van menselijk kapitaal. De jaarlijkse arbeidsproductiviteitsstijging en economische groei zijn gering.

Tabel B.4

Groei per thema in procent per jaar voor een hoog en een laag achtergrondscenario

	Hoog (Global Economy)	Laag (Regional Communities)
Bevolking	0,5	0
Arbeidsaanbod	0,4	-0,4
Werkgelegenheid	0,4	-0,5
bbp	2,6	0,7
bbp per hoofd	2,1	0,7

Bijlage 2

Nationale ambities voor de introductie van elektrische voertuigen

	Ambitie	Jaar
Duitsland	Een miljoen elektrische voertuigen en 500.000 brandstofcelvoertuigen	2020
Frankrijk	Vervanging van 2 miljoen conventionele brandstofauto's door elektrische voertuigen en hybrides	2020
Ierland	10 procent van alle personenauto's elektrisch	2020
Nederland	1 miljoen elektrische voertuigen	2025
Oostenrijk	250.000 twee-assige elektrische voertuigen (inclusief plug-in hybrides)	2020
Spanje	70.000 elektrische voertuigen	2012
	250.000 elektrische voertuigen	2014
Zweden	Personenauto's onafhankelijk van fossiele brandstoffen	2030

Bron: IEA-HEV (2012)

Literatuur

- Anderman, M., F. Kalhammer & D. MacArthur (2000), *Advanced batteries for electric vehicles: An assessment of performance, cost, and availability*, California Air Resources Board.
- Asseldonk, T. van (2010), *Precision logistics in retailing – the elimination of wasteful efficiency, the Netherlands*.
- BERR (2008), *Investigation into the scope for the transport sector to switch to electric vehicles and plug-in hybrid vehicles*, Dep. for transport, United Kingdom.
- Blokland, G.J. van & B. Peeters (2009), *Modeling the noise emission of road vehicles and results of recent experiments*, Ottawa: Internoise.
- Carle, G., K.W. Axhausen et al. (2005), 'Opportunities and risks during the introduction of fuel cell cars', *Transport Reviews* 25(6): 739-760.
- CE (2011), *Impacts of electric vehicles*, Deliverable 1 (An overview of electric vehicles on the market and in development) 2 (Assessment of electric vehicle and battery technology) en 3 (Assessment of the future electricity sector), CE, Delft.
- CPB (2010), *De effecten van de olieprijs op lange termijn*, Den Haag: CPB.
- CPB, MNP & RPB (2006), *Welvaart en Leefomgeving. Een scenariostudie voor Nederland in 2040*, Den Haag: CPB, MNP & RPB.
- Deventer, A.P., M.A. van der Steen, J.A. de Bruijn & M.J.W. van Twist (2011), *Op weg naar elektrisch rijden, bestuurlijke dilemma's*, Den Haag: NSOB.
- ECN & PBL (2010) *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*, Petten: ECN.
- EIA (2011), *Annual Energy Outlook 2011*, Washington: EIA.
- ElementEnergy (2011), *Influences on the Low Carbon Car Market from 2020-2030. Final report*, Cambridge: Element Energy Limited.
- EL&I, IenM & BZK (2011), *Elektrisch rijden in de versnelling. Plan van Aanpak 2011-2015*, Den Haag.
- EPRI (2001), *Comparing the benefits and impacts of hybrid electric vehicle options*, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, California.
- Europese Commissie (2001), *White paper, European transport policy for 2010: time to decide*, COM(2001) 370 final, Brussels: European Commission.
- Europese Commissie (2011a), *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM(2011) 112 final, Brussels: European Commission.
- Europese Commissie (2011b), *White paper, Roadmap to a single European Transport Area, Towards a competitive and resource efficient transport system*, COM(2011) 144 final, Brussels: European Commission.
- Fichter, D. (1964), *Individualized automatic transit and the city*, Providence, RI.
- Geilenkirchen, G.P., K.T. Geurs, H.P. van Essen, A. Schrotten & B. Boon (2010), *Effecten van prijsbeleid in verkeer en vervoer. Kennisoverzicht*, Den Haag: PBL.
- Gerkenmeyer, C., M.C.W. Kintner-Meyer & J.G. DeSteele (2010), *Technical challenges of plug-in hybrid electric vehicles and impacts to the US power system: Distribution system analysis*, Richland, Washington.
- Haefeli, U., H. Hofmann, E. Meier, G. Moreni & U. Schwegler (2003), *Changes in the mobility pattern of households due to the introduction of electric vehicles*, Paper 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne.
- Hajer, M. (2011), *De energieke samenleving*, Den Haag: PBL.
- Hanna, R. (2009), *Incidence of pedestrian and bicyclist crashes by hybrid electric passenger vehicles. Technical report*, DOT 811 204, US Department of Transportation (DOT), National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC.
- Hendriksen, I., L. Engbers, J. Schrijver, R. van Gijlswijk, J. Weltevreden & J. Wiltink (2008), *Elektrisch fietsen. Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden*, TNO-rapport KvL/B&G/2008.067, Leiden: TNO.
- Hoen, A., K.T. Geurs, H. de Wilde, C.B. Hanschke & M. Uytterlinde (2009), *CO₂ emission reduction in transport. Confronting medium-term and long-term options for achieving climate targets in the Netherlands*, The Hague/Bilthoven: PBL.
- Hoen, A., S.F. Kieboom, G.P. Geilenkirchen & C.B. Hanschke (2010), *Verkeer en vervoer in de Referentieraming energie en emissies 2010-2020. Broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen*, PBL-rapportnummer 500161003, Den Haag: PBL.
- Hoen, A. & M.J. Koetse (2012), *Rijden op elektriciteit, waterstof of biobrandstoffen. Wat wil de automobilist?*, Den Haag: PBL.
- HYWAYS (2008), *The European Hydrogen Roadmap*, Contract SES6-502596, European Commission, Directorate-General for Research, Cooperation Energy, Brussels.
- IEA (2011), *World Energy Outlook 2011*, Paris: IEA.
- IEA-HEV (2012), *Hybrid and electric vehicles. The electric drive captures the imagination*, IEA Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes, March 2012.

- Jasic (2009), *A study on approach warning systems for hybrid vehicle in motor mode. Second report*, ECE/WP 29, Informal document No. GRB-49-10 (49th GRB, 16-18 February 2009, agenda item 10(b)).
- Kalhammer, F.R., B.M. Kopf, D.H. Swan, V.P. Roan & M.P. Walsch (2007), *Status and prospects for zero emissions vehicle technology*, Report for the ARB Independent Expert Panel 2007, State of California Air Resources Board, Sacramento, California, USA.
- Kang, J.E. & W.W. Recker (2009), 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14(8): 541-556.
- KEMA, IWO & ECN (2010), *Effect of scenarios and alternatives for electric vehicles and heat pump implementation on grid reliability, sustainability and socio-economy*, WP 3 Report nr. 10-4193, Arnhem, Petten, Ede.
- KiM (2010), *Mobiliteitsbalans 2010*, Den Haag: KiM.
- Klein, J., G.P. Geilenkirchen, J. Hulskotte, A. Hensema, P. Fortuin & H. Molnár-in 't Veld (2012), *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, Voorburg: CBS.
- Kok, A. (2008), *Onderzoek geluidsemissie hybride voertuigen*, DGMR rapport V.2008.0726.00.R001, Den Haag.
- Mathur, J., N. Agarwal et al. (2008), 'Economics of producing hydrogen as transportation fuel using offshore wind energy systems', *Energy Policy* 36(3): 1212-1222.
- Meerkerk, J. van, R.M.M van den Brink & G.P. Geilenkirchen (2011), *De elektrische auto: wie kan er mee uit de voeten? Onderzoek naar het vervangingspotentieel van elektrische auto's*, Den Haag: PBL.
- MuConsult (2010), *Dynamo 2.2: Dynamic Automobile Market Model. Technische eindrapportage*, Amersfoort: MuConsult bv.
- Nagelhout, D. & J.P.M. Ros (2006), *Brandstofcelauto op waterstof verkregen uit zonthermische krachtcentrales. Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*, Bilthoven: MNP.
- Navrud (2003), *The state-of-the-art on economic valuation of noise*, Final report to European Commission DG Environment.
- Nemry, F. & M. Brons (2010), *Plug-in hybrid and battery electric vehicles. Market penetration scenarios of electric drive vehicles*, EC, JRC, IPTS.
- PBL (2009a), *Getting into the right lane for 2050*, The Hague: PBL.
- PBL (2009b), *Milieubalans 2009*, Den Haag: PBL.
- PBL (2010), *Balans van de Leefomgeving*, Den Haag: PBL.
- PBL (2011), *Nederland in 2040: een land van regio's. Ruimtelijke Verkenning 2011*, Den Haag: PBL.
- PROGNOS (2011), *Analysis and comparison of relevant mid- and long-term energy scenarios for EU and their key underlying assumptions*, final report, ENER/10/NUCL/S12.561687, Basel.
- Riemersma, I. (2005), *Future emissions of heavy duty vehicles*, Delft: TNO Science and Industry.
- Rijkeboer, R.C., A. Dijkhuizen, N.L.J. Gense, E. van de Burgwal & R. Smokers (2003), *Future emissions of passenger cars. Expert judgement on the long term possibilities of conventional emission abatement technology*, Delft: TNO.
- Sandoval, R., V.J. Karplus et al. (2009), 'Modelling prospects for hydrogen-powered transportation until 2100', *Journal of Transport Economics and Policy* 43(3): 291-316.
- Schoon, C.C. & C.G. Huijskens (2011), *Verkeersveiligheidsconsequenties elektrisch aangedreven voertuigen*, SWOV-rapport R-2011-11, Leidschendam.
- Significance (2012), *Memo verkenning duurzaam goederenvervoer 2050*, Den Haag.
- Significance & SEO (2008), *Actualisering ontwikkeling Schiphol 2020-2040 bij het huidige beleid*, Den Haag.
- Simpson (2006), *Cost-benefit analysis of plug-in hybrid electric vehicle technology*, Paper presented at the 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS-22) Yokohama, Japan.
- TLN (2000), *Nieuwe wijn in oude zakken*, Zoetermeer.
- Tweede Kamer (2009), *Plan van Aanpak elektrisch rijden*, Kamerstuk 31 305, nr. 145, vergaderjaar 2008-2009, Den Haag.
- USABC, <http://avt.inl.gov/pdf/fsev/batteries.pdf>.
- Verheijen, E. (2008), *Invloed hybride voertuigen op de geluidbelasting*, Bilthoven: RIVM.
- Verheijen, E. & J. Jabben (2010), *Effect of electric cars on traffic noise and safety*, Bilthoven: RIVM.
- WRR (2008), *Sturen op infrastructuur, een investeringsopdracht*, WRR-rapport nr. 81, Den Haag: WRR.

Websites

- <http://www.Bestufs.net>.
- <http://www.greencarcongress.com/2010/01/akerwade-20100115.html>.
- <http://www.niches-transport.org/>.
- <http://www.milieucentraal.nl/actueel/2010/milieudadvies-gebruik-twee-autos/>.
- <http://www.piek.internationaal.com>.
- <http://www.qualityplanning.com/news/2009-articles/hybrids-is-a-little-of-the-green-rubbing-off-.aspx>.

Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres
Postbus 30314
2500 GH Den Haag

Bezoekadres
Oranjevuitensingel 6
2511 VE Den Haag
T +31 (0)70 3288700

www.pbl.nl

November 2012