

Minder emissies door investeren in infrastructuur

Verkenning naar infrastructurele
maatregelen voor klimaatbeleid
in het verkeer

Rapport

Delft, november 2008

Opgesteld door: H.P. (Huib) van Essen
F.P.E. (Femke) Brouwer
M.B.J. (Matthijs) Otten
A. (Arno) Schroten



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H.P. (Huib) van Essen, F.P.E. (Femke) Brouwer, M.B.J. (Matthijs) Otten,
A. (Arno) Schroten

Minder emissies door investeren in infrastructuur -

Verkenning naar infrastructurele maatregelen voor klimaatbeleid in het verkeer

Delft, CE Delft, november 2008

Verkeer / Infrastructuur / Investerings / Kooldioxide / Afname / Overheidsbeleid/
Klimaatverandering / Maatregelen

Publicatienummer: 08.4777.61

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever: Koninklijk Nederlands Vervoer.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider H.P. (Huib) van Essen.

© copyright, CE, Delft.

CE Delft

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE Delft is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Voorwoord

Ruim anderhalf jaar geleden, op 16 mei 2007, startte het kabinet Balkenende een dialoog met het logistieke bedrijfsleven in het kader van de regeringsdoelstelling Schoon en Zuinig over het terugdringen van de CO₂-uitstoot en over maatregelen ten behoeve van een duurzame samenleving.

De vervoersector heeft zich toen gebogen over de reductie in CO₂-uitstoot, die kan worden bereikt door technologische innovatie van het voertuig, betere benutting van het voertuig (beladingsgraad) en aanpassing van het rijgedrag van chauffeurs. Dit zijn immers de maatregelen waar vervoerders invloed op kunnen uitoefenen. De snelle stijging van de olieprijs nadien heeft er aan bijgedragen dat vervoerders snel overtuigd waren van een goed rendement op dit soort maatregelen.

Het is evenwel niet alleen het voertuig dat de hoogte van uitstoot bepaalt, maar ook de infrastructuur waarvan een voertuig gebruik maakt. Zo levert bijvoorbeeld het stapvoets rijden en stilstaan in files miljoenen liters extra brandstofverbruik en dus extra CO₂-emissie op. KNV heeft derhalve voorgesteld dat de Nederlandse overheid als verstrekker van infrastructuurcapaciteit zich inspant om de doorstroming op het wegennet te bevorderen en andere infrastructurele maatregelen neemt zoals het invoeren van speciale rijstroken voor zwaar verkeer en het instellen van een groengolf bij verkeerslichten. In het Duurzaamheidsakkoord is een paragraaf met deze strekking opgenomen.

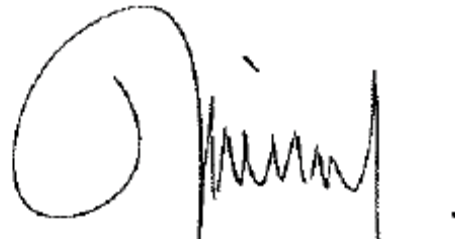
Vervolgens komt natuurlijk de vraag: wat zijn nu effectieve infrastructurele maatregelen? Om deze vraag te beantwoorden heeft KNV, in samenwerking met VolkerWessels en met financiële ondersteuning van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, een verkenning laten uitvoeren door CE Delft. Voor deze verkenning is gebruik gemaakt van de kennis en ervaring van medewerkers en leden van KNV, en deskundigen van VolkerWessels.

Dit rapport presenteert ca. 30 mogelijkheden om de uitstoot van CO₂ te verminderen met behulp van aanpassingen in de infrastructuur. Daarnaast geeft het voor een select aantal maatregelen een schatting van de verwachte reducerende effecten.

KNV en VolkerWessels willen in het belang van een duurzame samenleving op elke mogelijke wijze de uitstoot van CO₂ reduceren.



Ir. Willem Heeren
Voorzitter KNV



Herman Hazewinkel RA
Bestuursvoorzitter VolkerWessels

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding voor het onderzoek	3
1.2 Opzet van het onderzoek en leeswijzer	4
1.2.1 Methodiek	4
1.2.2 Leeswijzer	4
2 Het effect van congestiebestrijding op CO ₂ -emissies	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Doorstroming en CO ₂ -emissies per kilometer	7
2.3 Doorstroming en verkeervolumes	9
2.4 Doorstroming en totale klimaateffect	13
3 Emissies bij de aanleg van infrastructuur vergeleken met emissies bij het gebruik van infrastructuur	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Milieudruk van de transportketen in Simapro	16
3.3 Milieudruk van de transportketen in de literatuur	17
3.4 Conclusie emissies in de transportketen	18
4 Modal shift als gevolg van infrastructurele maatregelen	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Emissies verschillende modaliteiten in het personenvervoer	19
4.3 Emissies van verschillende modaliteiten in het goederenvervoer	20
4.4 Overwegingen bij modal shift	21
4.4.1 Bijeffecten	22
4.4.2 Effectiviteit van modal shift maatregelen	22
4.4.3 Flankerend beleid	22
5 Brede inventarisatie van maatregelen: een eerste analyse	25
5.1 Brede inventarisatie van infrastructurele maatregelen	25
5.2 Maatregelen ter bevordering van de doorstroming	27
5.2.1 Meer op- en afritten hulpdiensten	27
5.2.2 Visueel scheiden rijrichtingen	28
5.2.3 Spitswisselstroken	28
5.2.4 Bestaande rijbanen omvormen tot doelgroepstroken	28
5.2.5 Besloten busvervoer toelaten op busbanen m.b.v. toeritdosering	28
5.2.6 Lokaal en lange-afstandverkeer scheiden	29
5.2.7 Wisselen rijbaan beperken	29
5.2.8 Groene golf	29
5.2.9 Tovergroen voor al het zware verkeer	30
5.2.10 Spoorwegonderdoorgangen	30
5.2.11 Selectie van maatregelen	30

5.3	Maatregelen ter bevordering van modal shift	31
5.3.1	Distributiecentra rond steden	31
5.3.2	Distributiecentra rond de Randstad	31
5.3.3	Aantal P+R-locaties uitbreiden	32
5.3.4	Transferia	33
5.3.5	Verbeterde fietsinfrastructuur	33
5.3.6	Selectie van maatregelen	34
5.4	Maatregelen ter reductie van energiegebruik van voertuigen	34
5.4.1	Wegen overkappen of slimme windschermen	34
5.4.2	Energiezuinig asfalt	35
5.4.3	Voertuiggeleiding op doelgroepstroken	35
5.4.4	Treinstations hoger leggen en het verhogen/verlagen van af- en opritten	35
5.4.5	Aanpassing spanning bovenleidingen	36
5.4.6	Selectie van maatregelen	37
5.5	Overige maatregelen	37
5.5.1	Elektrificeren van het spoor	38
5.5.2	Aanpassen infrastructuur voor LZV's	38
5.5.3	Meer opstelpunten treinen	39
5.5.4	Beplanting op geluidschermen	39
5.5.5	Energie uit infrastructuur	39
5.5.6	Wisselverwarming op aardwarmte	40
5.5.7	Selectie van maatregelen	41
6	Diepere analyse van geselecteerde maatregelen	43
6.1	Inleiding	43
6.2	P+R-locaties en transferia	43
6.2.1	Toelichting op de maatregel	43
6.2.2	Verkeerseffecten	43
6.2.3	Effect op CO ₂ -emissies	47
6.2.4	Kosten	47
6.2.5	Draagvlak	48
6.2.6	Haalbaarheid	48
6.2.7	Bijkomende effecten	48
6.3	Verbetering fietsinfrastructuur	49
6.3.1	Toelichting op de maatregel	49
6.3.2	Verkeerseffecten	52
6.3.3	Effect op CO ₂ -emissies	52
6.3.4	Kosten	53
6.3.5	Draagvlak	54
6.3.6	Haalbaarheid	54
6.3.7	Bijkomende effecten	54
6.4	Energiezuinig asfalt	54
6.4.1	Verkeerseffecten	54
6.4.2	Effect op CO ₂ -emissies	54
6.4.3	Kosten	55
6.4.4	Draagvlak	55
6.4.5	Haalbaarheid	55
6.4.6	Bijkomende effecten	56

6.5	Elektrificeren spoor	56
6.5.1	Toelichting op de maatregel	56
6.5.2	Verkeerseffecten	57
6.5.3	Effect op CO ₂ -emissies	57
6.5.4	Kosten	58
6.5.5	Draagvlak	58
6.5.6	Haalbaarheid	59
6.5.7	Bijkomende effecten	59
6.6	Wisselverwarming uit aardwarmte	60
6.6.1	Toelichting op de maatregel	60
6.6.2	Verkeerseffecten	60
6.6.3	Effect op CO ₂ -emissies	60
6.6.4	Kosten	61
6.6.5	Draagvlak	61
6.6.6	Haalbaarheid	61
6.6.7	Bijkomende effecten	61
6.7	Energie uit infrastructuur	62
6.7.1	Toelichting op de maatregel	62
6.7.2	Verkeerseffecten	63
6.7.3	Effect op CO ₂ -emissies	63
6.7.4	Kosten	65
6.7.5	Draagvlak	67
6.7.6	Haalbaarheid	67
6.7.7	Bijkomende effecten	67
7	Conclusies en aanbevelingen	69
	Referenties	73
A	Verslagen interviews	79
B	Deelnemers aan de brainstormsessie op 7 juli 2008 te Vianen	83

Samenvatting

Het kabinet heeft zich tot doel gesteld de CO₂-emissies in 2020 te reduceren tot 30% onder het niveau van 1990. Om dit te halen zijn ook in de transportsector forse emissiereducties noodzakelijk. Hierin zijn ondermeer technologische innovaties aan voertuigen en brandstoffen, betere benutting van voertuigcapaciteit en bewuste keuzes van consumenten en bedrijven belangrijke elementen.

Ook aanpassingen aan infrastructuur kunnen een bijdrage leveren aan het halen van klimaatdoelstellingen, maar vormen hierin een relatief onontgonnen terrein. In dit kader is een belangrijke vraag welke infrastructurale maatregelen kunnen leiden tot CO₂-reducties in de verkeersector. Om hier inzicht in te verkrijgen heeft KNV, in samenwerking met VolkerWessels en met financiële ondersteuning van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, een verkenning laten uitvoeren door CE Delft. Het voorliggende rapport is het eindrapport van deze verkenning.

In deze studie zijn in totaal bijna dertig maatregelen onder de loep genomen, in verschillende categorieën:

- maatregelen ter bevordering van de doorstroming van verkeer;
- maatregelen ter bevordering van *modal shift*;
- maatregelen ter reductie van het energiegebruik van voertuigen;
- overige maatregelen.

Uit deze *long list* is vervolgens een selectie gemaakt van zes maatregelen die in meer detail zijn onderzocht. Uit deze analyse blijkt dat er verschillende mogelijkheden zijn om door investeren in infrastructuur CO₂-emissies te reduceren. Tabel 1 geeft een samenvatting van het potentieel van de maatregelen die nader onderzocht zijn en vergelijkt dit met de reductiedoelstelling van verkeer in Nederland. De schattingen zijn zeer indicatief. Uit het overzicht blijkt dat het reductiepotentieel maximaal 9% is van de reductiedoelstelling in 2020. Hiervan is maximaal 2% reductie van verkeersemisies; de overige 7% heeft betrekking op elektriciteitsopwekking. Het is belangrijk te beseffen dat het aantal maatregelen in verkeer dat CO₂-emissies met vele procenten reduceert heel beperkt is.

Tabel 1 Indicatieve inschatting van het maximale reductiepotentieel in Nederland van de onderzochte maatregelen (excl. emissies van aanleg)

Maatregel	Grootteorde van maximaal haalbare CO ₂ -reductie in Nederland	
	in kiloton per jaar	% van beoogde emissie-reductie in 2020
P+R-locaties en transferia	10 tot 30	0,07 - 0,2 %
Verbetering fietsinfrastructuur	100 tot 250	0,7 – 1,8 %
Energiezuinig asfalt	onbekend	onbekend
Elektrificeren klein deel van het spoor	0,1	0,001 %
Energie uit infrastructuur	400-1.000	3 - 7 %
Wisselverwarming uit aardwarmte	6	0,04%

P+R-locaties en transferia zijn de belangrijke infrastructurele maatregelen ter bevordering van *modal shift* naar het collectief personenvervoer (OV en besloten busvervoer). Deze maatregelen kunnen soms CO₂-emissies van verkeer reduceren, maar het effect hiervan kan soms ook negatief zijn; dit hangt af van de lokale omstandigheden. Het is daarom verstandig per situatie onderzoek te doen naar de te verwachten effecten. Flankerend beleid zoals het verhogen van parkeertarieven kunnen de invoering van dit soort maatregelen effectiever maken.

In het kader van *modal shift* is ook het toelaten van besloten busvervoer op busbanen een maatregel die CO₂-reductie tot gevolg kan hebben. Het lijkt verstandig een slimme toeritdosering in te zetten die de touringcars alleen toelaat bij voldoende capaciteit op de busstrook. Dit zou ook kunnen worden gecombineerd met P+R of transferia. De effecten van het toelaten op busstroken kon niet worden gekwantificeerd. Nader te onderzoek naar deze maatregel is aan te bevelen.

Ook voor het goederenvervoer zijn infrastructurele maatregelen ter bevordering van *modal shift* te overwegen, al is ook hierbij maatwerk van groot belang.

Een ander soort *modal shift* kan worden bereikt met verbetering van fietsinfrastructuur, een maatregel die bij kan dragen aan substantiële CO₂-reductie. Landelijk kan het dus substantiële effecten gaan, mogelijk in de orde van 100 tot 250 kiloton per jaar. Verbetering van fietsinfrastructuur heeft ook weer positieve neveneffecten op luchtkwaliteit, geluid en in dit geval ook op de volksgezondheid. We bevelen aan nader onderzoek te doen naar de potentiële effecten van meer investeringen in fietsinfrastructuur en tevens de effecten van maatregelen die nu worden genomen beter te monitoren.

Een andere potentieel interessante maatregel is het opwekken van elektriciteit of warmte door middel van voorzieningen in of langs infrastructuur. Hierbij kan met name gedacht worden aan grote of juist een serie van hele kleine windturbines of aan warmtecollectoren in het asfalt. Het potentieel van deze maatregel is in verhouding groot. Ook wisselverwarming met aardwarmte kan tot emissiereductie leiden. Hier moet uiteraard wel bij worden opgemerkt dat het in beide gevallen niet gaat om reductie van de verkeersemissies zelf.

Niet alle maatregelen die zijn genoemd in de *long list* zijn effectief in het reduceren van CO₂-emissies. Zo blijken investeringen in infrastructuur die primair tot doel hebben om de doorstroming te verbeteren geen effectief middel in de strijd tegen klimaatverandering. Een betere doorstroming zorgt voor lagere emissies per tonkilometer en reizigerskilometer maar dit wordt over het algemeen meer dan gecompenseerd door een toename van het totale verkeersvolume welke het op lange termijn tot gevolg heeft. Een uitzondering is het bestemmen van bestaande rijstroken tot doelgroepstrook voor zwaar verkeer. In dat geval is waarschijnlijk wel enige CO₂-emissiereductie te verwachten. Infrastructurele maatregelen die de doorstroming bevorderen hebben natuurlijk wel een positieve invloed op de bereikbaarheid en kunnen ook een positief effect hebben op de plaatselijke luchtkwaliteit.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor het onderzoek

Transport valt niet meer weg te denken uit onze samenleving. Als gevolg van een internationale markt worden vele goederen over de gehele wereld verplaatst en ook de vraag naar personenvervoer blijft stijgen. Het is algemeen bekend dat verkeer een negatief effect heeft op het milieu. Uitstoot van CO₂ draagt bij aan het versterkt broeikaseffect en emissies van luchtverontreinigende emissies als NO_x en fijn stof zijn slecht voor de gezondheid. Consumenten, ondernemers en overheid worden zich dan ook steeds meer bewust van de noodzaak emissies van transport terug te dringen. Overheden en bedrijfsleven zetten in op slimme oplossingen waarbij welvaart en de Nederlandse concurrentiepositie bewaard blijven maar waardoor negatieve effecten van verkeer worden teruggedrongen.

Overheid en de brancheorganisaties uit de verkeer- en vervoersector hebben het sectorakkoord Mobiliteit, Logistiek en Infrastructuur 2008-2020 opgesteld¹. In dit akkoord verklaren zij zich in te zetten voor de kabinetsdoelen uit Schoon en Zuinig voor de sector verkeer. Dit houdt in dat zij zich inzetten de CO₂-uitstoot in 2020 met 13-17 Megaton terug te dringen ten opzichte van de verwachte trendontwikkeling die uitkomt op 47 Megaton. Ter vergelijking: de CO₂-uitstoot van de sector verkeer in 1990 bedroeg ca. 30 Megaton en in 2005 39 Megaton. De inzet van het sectorakkoord is dus om de emissies in 2020 te beperken tot 30-34 Megaton. Daarnaast zijn de partijen bereid de mogelijkheden te verkennen om tot nog verdere reductie van de CO₂-emissies te komen.

Artikel 5.4.2 van het sectorakkoord gaat in op maatregelen m.b.t. de infrastructuur:

‘De Rijksoverheid spant zich in om knelpunten in de weginfrastructuur aan te pakken, door investeringen rond knelpunten in het kwaliteitsnet goederenvervoer. Partijen onderschrijven dat aanpassing aan de huidige weginfrastructuur gewenst is om de doelstellingen te halen. Op lokaal niveau gaat het bijvoorbeeld om: het afstellen van verkeerslichten, speciale rijstroken voor zwaar verkeer en bus, instellen groene golf en verruiming van de wegcapaciteit. De Rijksoverheid spant zich in om de investeringen ter bevordering van de doorstroming op het rijkswegennet te realiseren en bovenstaande oplossingen bij de regionale overheden te bevorderen.’

Naar aanleiding van dit artikel heeft Koninklijk Nederlands Vervoer (KNV) aan CE Delft gevraagd een onderzoek uit te voeren naar ingrepen in de infrastructuur die bij kunnen dragen aan reductie van CO₂-emissies in het verkeer.

¹ Ten tijde van verschijning van dit rapport is het sectorakkoord nog niet ondertekend. We verwijzen hier naar het conceptakkoord van juli 2008.

Infrastructurele aanpassingen is een type maatregel waar tot noch toe weinig aandacht voor is geweest en weinig onderzoek naar is verricht. In het voorliggende onderzoek wordt geïnventariseerd welke maatregelen voorhanden zijn, welke het meest veelbelovend zijn en wat de te verwachten effecten zijn. Het gaat hierbij om maatregelen ter bevordering van de doorstroming van verkeer, maar ook naar bevordering van het openbaar vervoer en naar innovatieve aanpassingen van de infrastructuur zoals bijvoorbeeld energiezuinig asfalt.

1.2 Opzet van het onderzoek en leeswijzer

1.2.1 Methodiek

De studie heeft een verkennend karakter. In de uitvoering worden de volgende drie stappen doorlopen:

- 1 Inventarisatie mogelijke maatregelen, o.a. door middel van een brainstormsessie.
- 2 Eerste analyse en selectie van maatregelen.
- 3 Inzoomen op geselecteerde maatregelen.

Stap 1

Er is gestart met een brede inventarisatie van mogelijke maatregelen, onder andere via een brainstormsessie bij VolkerWessels. Hierbij waren verschillende vervoerders en bij de aanleg van infrastructuur betrokken partijen aanwezig. Een lijst van de aanwezigen is opgenomen in bijlage B. De brainstorm heeft geresulteerd in een *long list* van maatregelen.

Stap 2

Maatregelen op de *long list* zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

- maatregelen ter bevordering van de doorstroming van verkeer;
- maatregelen ter bevordering van *modal shift*;
- maatregelen ter reductie van het energiegebruik van voertuigen;
- overige maatregelen.

De maatregelen zijn in deze stap getoetst aan een aantal criteria waarmee een kleine set van potentieel interessante maatregelen is geselecteerd.

Stap 3

De in Stap 2 geselecteerde maatregelen vormen de *short list*. De maatregelen op deze lijst zijn nader onderzocht op zaken als reductiepotentieel, kosten, draagvlak en haalbaarheid.

1.2.2 Leeswijzer

Veel maatregelen in de *long list* zijn terug te voeren op het verbeteren van de doorstroming van verkeer. Het idee hierachter is dat verkeer met een constante snelheid lagere emissies per kilometer heeft dan verkeer in de file. Het wegnemen van files heeft echter een zogenaamd rebound effect. Dit wil zeggen dat meer automobilisten de weg op zullen gaan wanneer het verkeer aantrekkelijker



wordt. Vrijgekomen capaciteit zal dus 'nieuwe' automobilisten aantrekken. De mechanismen die hierbij een rol spelen en de (*rebound*)effecten worden besproken in hoofdstuk 2.

Wanneer wordt gekeken naar emissies van verkeer worden vaak alleen emissies van het gebruik van een voertuig in beschouwing genomen. Er zijn echter ook andere processen die een rol spelen bij de milieubelasting van verkeer. Één daarvan is de aanleg van infrastructuur. In dit project wordt ingegaan op ingrepen in de infrastructuur ten behoeve van CO₂-reducties in het verkeer. Voor een indicatie van effecten op de totale CO₂-emissies is het van belang de emissies tijdens de aanleg van infrastructuur af te zetten tegen de reductie die behaald kan worden. In hoofdstuk 3 wordt verder op dit onderwerp ingegaan.

De emissies van verschillende modaliteiten verschillen van elkaar. Emissie-reducties zouden dan ook behaald kunnen worden door zoveel mogelijk gebruik te maken van de modaliteit met de laagste emissies. Bij personenvervoer is daarom een *modal shift* naar het openbaar vervoer gewenst en bij het goederen vervoer kan een *modal shift* van weg naar trein of schip veelal gunstige effecten hebben op de emissies. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de verhoudingen tussen verschillende modaliteiten en wordt aan de hand van case studies een beeld gegeven van de mogelijkheden voor *modal shift*.

Nadat in hoofdstuk 2 t/m 4 algemene mechanismen aan de orde zijn geweest, wordt in hoofdstuk 5 de *long list* aan maatregelen gepresenteerd. Deze maatregelen zijn onderworpen aan een *quick scan* resulterend in hun globale effecten en haalbaarheid. Op basis van deze analyse is vervolgens een selectie van zes maatregelen gemaakt waarvoor een diepere analyse is uitgevoerd naar effecten op verkeer en emissies en haalbaarheid. De *short list* en de bijbehorende analyse is te vinden in hoofdstuk 6. De resultaten, conclusies en aanbevelingen op basis van het onderliggende onderzoek worden gepresenteerd in hoofdstuk 7.



2 Het effect van congestiebestrijding op CO₂-emissies

2.1 Inleiding

In de brainstormsessie, waarin gezocht is naar infrastructurele maatregelen die broeikasgasemissies voorkomen, zijn veel maatregelen genoemd die tot doel hebben een betere doorstroming te bewerkstelligen. Het gaat hierbij om maatregelen zoals spitswisselstroken, doelgroepstroken en groene golven.

Het idee achter het verbeteren van de doorstroming is dat over het algemeen een verbeterde doorstroming een gunstig effect heeft op de CO₂-emissies per kilometer. Het rijden in een file gaat namelijk gepaard met veel optrekken en afremmen, wat relatief veel brandstof kost en daarmee per kilometer een grotere CO₂-uitstoot veroorzaakt.

Een belangrijk bijeffect van een betere doorstroming is echter dat er ook meer verkeer wordt aangetrokken. Extra verkeer zorgt natuurlijk voor extra CO₂-emissies. De vraag is hoe deze extra CO₂-emissies zich verhouden tot de reductie per kilometer. In paragraaf 2.2 wordt eerst het effect van een verbeterde doorstroming op de emissies per kilometer beschreven, in paragraaf 2.3 wordt vervolgens het effect op aangetrokken verkeer besproken. In paragraaf 2.4 worden tenslotte conclusies getrokken over het totale effect van een betere doorstroming op het klimaat.

2.2 Doorstroming en CO₂-emissies per kilometer

Bij constante snelheid stoot een auto met hoge snelheid per kilometer meer CO₂ uit dan een auto met lage snelheid. Lage gemiddelde snelheden gaan in de praktijk echter veelal gepaard met veel remmen en optrekken en met een slecht motorrendement, wat er voor zorgt dat de CO₂-uitstoot bij lage snelheden juist weer hoger wordt. Het optimum wat betreft CO₂-uitstoot per kilometer ligt daarom ongeveer bij 70 tot 80 km/uur.

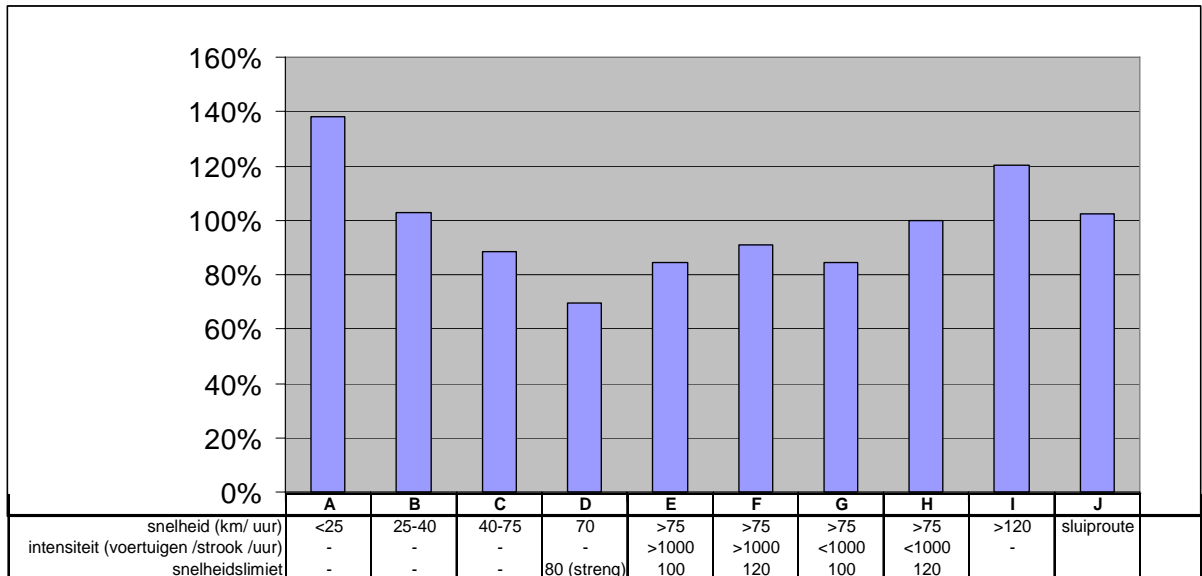
Dit is echter niet de optimale snelheid voor doorstroming. Het is namelijk gebleken dat de wegcapaciteit van een snelweg optimaal gebruikt wordt bij een snelheid van ca. 90 km/uur en dat bij deze snelheid dus ook de doorstroming optimaal is (Hoogendoorn, 2006). Een snelheidslimiet van 80 km/uur kan daarom eerder tot filevorming leiden dan een limiet die boven de 90 km/uur ligt en daarmee, afhankelijk van de hoeveelheid filevorming versus *flee-flow* doorstroming, in de praktijk toch gemiddeld meer CO₂-uitstoot per kilometer veroorzaken².

In Figuur 1 (personenauto's) en Figuur 2 (vrachtauto's) is voor enkele situaties weergegeven welk effect doorstroming en snelheid op de emissies per kilometer

² Naast de snelheidslimiet speelt ook de mate van handhaving een rol. Zo kan intensieve handhaving, zoals met trajectcontrole, leiden tot minder dynamiek in het verkeer en daarmee tot minder aanleiding voor het ontstaan van harmonica's en andere 'golfpatronen'. Een streng gehandhaafde limiet van 80 km/u kan daarom soms toch minder files opleveren dan een limiet van 90 km/u die nauwelijks wordt gehandhaafd.

hebben. Zoals is op te maken uit Figuur 1 worden de CO₂-uitstoot per kilometer bijna gehalveerd wanneer een personenauto in plaats van in een zware file met een constante (gecontroleerde) snelheid van 70 km/uur rijdt.

Figuur 1 Relatieve CO₂-emissies bij verschillende verkeerstypen voor personenauto's t.o.v. normale snelwegrit (Categorie H)

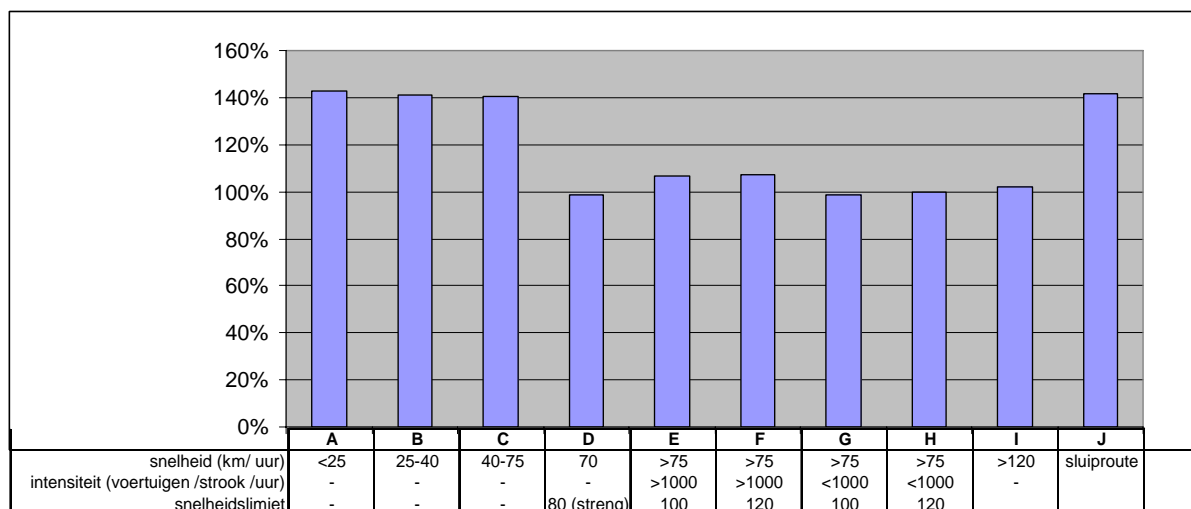


Bronnen: CE (2004b); TNO (2001); CE (2008a). De emissies van Categorie H (110 km/u zijn ca. 182 g CO₂/km (CE, 2008a)).

Voor vrachtverkeer wordt is er vooral onderscheid te maken tussen langzaam rijdend en doorstromend verkeer. De CO₂-emissies voor langzaam rijdend verkeer liggen ca. 40% hoger dan voor doorstromend verkeer.



Figuur 2 Relatieve CO₂-emissies bij verschillende verkeerstylen voor vrachtwagens (inclusief 18% bestelwagen > 1.900 kg) t.o.v. normale snelwegrit (Categorie H)



Bronnen: TNO (2001), CE (2008a): De emissies van Categorie H zijn ca 750 g CO₂/km. Categorie D is gelijk gesteld aan G.

2.3 Doorstroming en verkeervolumes

Een betere doorstroming van het verkeer levert behalve minder uitstoot per kilometer ook tijdswinst op. Het wordt daarom aantrekkelijker om meer te gaan rijden, waardoor er extra verkeer wordt gegenereerd. De herkomst van dit gegenereerde verkeer kan in vier groepen worden verdeeld (Litman, 2007; 2004b):

1 *Substitutie route*

Verkeer vanaf een andere route kiest nu voor de beter doorstromende weg. De oorzaken hiervoor zijn:

- verkeer dat voorheen vanwege de congestie voor een omweg koos zal nu weer terugkeren naar de kortste route;
- verkeer vanaf een kortere, maar langzamere route, kiest voor de langere, maar snellere route over de beter doorstromende weg;
- sluiprouterijders zullen besluiten weer terug te keren naar de beter doorstromende (hoofd)weg;
- bepaalde bestemmingen zullen door de betere doorstroming beter bereikbaar worden, en daardoor een beter alternatief worden.

2 *Substitutie tijd*

Reizigers en vervoerders die de spits vermeden door vroeger of later te vertrekken zullen besluiten weer terug te keren naar de spits. Iemand die bijvoorbeeld extra vroeg opstond om naar zijn werk te gaan zal nu weer iets langer uit willen slapen als hij daarmee toch nog op tijd op z'n werk kan zijn.

3 *Substitutie modaliteit*

Reizigers en vervoerders die normaal gesproken voor een andere modaliteit kozen, zoals bijvoorbeeld de trein of de fiets kiezen weer voor de weg. Iemand die bijvoorbeeld eerst ging fietsen omdat hij daarmee sneller op z'n werk kon zijn, zal weer eerder geneigd zijn de auto te nemen als dat tijdswinst

oplevert. Op lange termijn kan ook een rol gaan spelen dat door de terugval in de vraag naar bijvoorbeeld trein en busvervoer, ook het aanbod daarvan minder wordt. De mogelijkheden voor openbaar vervoer worden daardoor minder wat een structurele *modal shift* oplevert.

4 *Toename totaal transportvolume*

Door de snellere reistijd worden kilometers afgelegd die voorheen niet gemaakt werden. Oorzaken hiervoor zijn:

- Reizigers en vervoerders kiezen bestemmingen die verder weg liggen, omdat het geen extra tijd kost.
- Een rit die normaal te veel tijd in beslag had genomen wordt nu wel gemaakt. Zo kan bijvoorbeeld de drempel om oma eens een keer extra te bezoeken een stuk lager komen te liggen.
- Op lange termijn spelen ook veranderingen in vestiging van bedrijven en personen een rol. Locaties voor bedrijven en personen worden vaak uitgezocht op grond van bereikbaarheid ten opzichte van klanten en werk. Wanneer reizen minder tijd in beslag neemt zullen bijvoorbeeld woonwerk- en leverancier-klant-afstanden gaan toenemen.

In Tabel 2 staan de verschillende soorten gegenereerd verkeer nog eens samengevat, waarbij is aangegeven tot welke categorie het verkeer behoort, op welke termijn dit extra verkeer verwacht kan worden en wat de impact ervan is.

Tabel 2 Soorten van gegenereerd verkeer

Type gegenereerd verkeer	Categorie	Termijn	Impact op reizen
<i>Kortere route</i> Verbeterde doorstroming maakt directere routes weer aantrekkelijk	Substitutie route	Korte termijn	Kleine reductie km
<i>Langere route</i> Verbeterde doorstroming trekt verkeer aan van meer directe routes	Substitutie route	Korte termijn	Kleine toename km
<i>Tijdstip veranderen</i> Verminderde spits-congestie trekt verkeer uit de daluren aan	Substitutie tijd	Korte termijn	Gelijke km
<i>Modal shift: Bestaande opties</i> Verbeterde doorstroming maakt de auto aantrekkelijker	Modal shift naar auto	Korte termijn	Toename km
<i>Modal shift: Verandering in keuzemogelijkheden</i> Minder vraag leidt tot minder trein- en busaanbod, minder goede omstandigheden voor lopen en fietsen en meer autobezit	Modal shift naar auto	Lange termijn	Toename km; minder alternatieven voor auto
<i>Verandering van bestemming: Bestaande locaties</i> Verlaagde reiskosten (tijd) maken het mogelijk verdere locaties te kiezen als bestemming	Toename totaal transportvolume	Korte termijn	Toename km
<i>Verandering van bestemming: Veranderde bebouwing</i> Verbeterde bereikbaarheid maakt het mogelijk huizen te bouwen en bedrijven te vestigen op meer afgelegen locaties	Toename totaal transportvolume	Lange termijn	Toename km; grotere afhankelijkheid van auto
<i>Nieuwe reizen</i> Door de verbeterde reistijden wordt het aantrekkelijker om vaker te reizen	Toename totaal transportvolume	Korte termijn	Toename km
<i>Afhankelijkheid van de auto</i> Synergetische effecten van toegenomen bebouwing georiënteerd op autogebruik en verandering in keuzemogelijkheden van transport	Toename totaal transportvolume	Lange termijn	Toename km; minder alternatieven auto

Bewerkt van Litman, 2007.



Op korte termijn is de toename van het totaal aantal kilometers nog beperkt en wordt een toename van het verkeer vooral veroorzaakt door substitutie in route en tijd zoals ook blijkt uit een Japanse studie naar uitbreiding van snelweg-capaciteit (Imanishi, 2007). Deze toename zorgt er wel voor dat het effect van verbeterde doorstroming deels ongedaan wordt gemaakt.

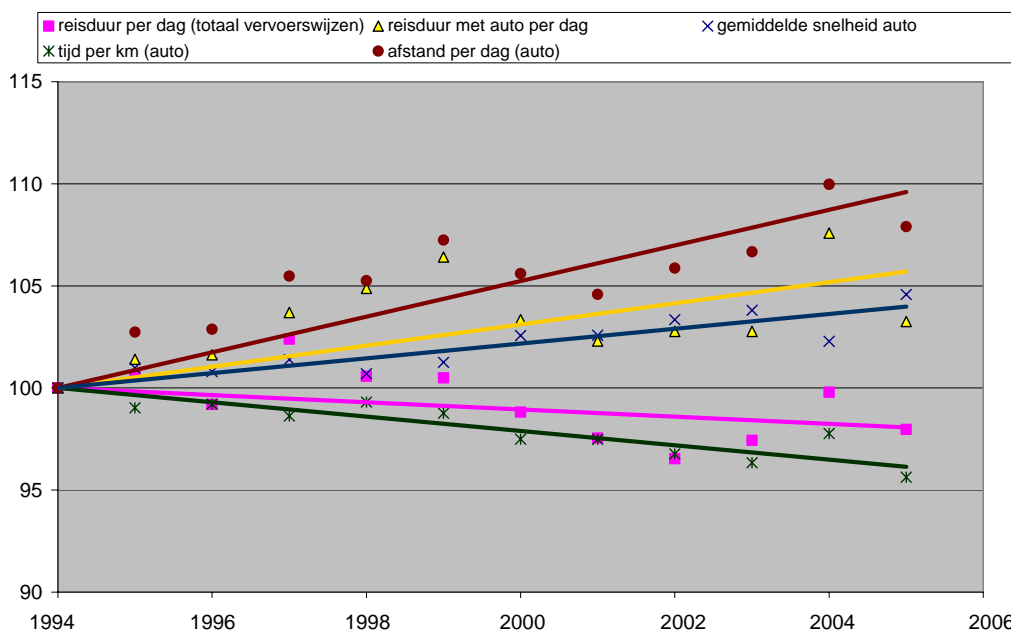
Op langere termijn vindt er ook een toename van het totale aantal afgelegde kilometers plaats. Deels wordt dit veroorzaakt door een *modal shift* naar de weg, deels door geheel nieuwe transportkilometers. Voor infrastructurele maatregelen gericht op CO₂-reductie zijn deze langetermijneffecten belangrijk om mee te nemen omdat klimaatbeleid altijd gericht is op de lange termijn.

Hieronder wordt dieper ingegaan op de vraag hoeveel extra kilometers veroorzaakt worden door een betere doorstroming.

Verschillende onderzoeken (Levinson, 1995; Lawton, 2001) laten zien dat de gemiddelde hoeveelheid tijd die per persoon aan vervoer wordt besteed door de jaren heen vrijwel constant is (60-70 minuten per etmaal) en dat dit zelfs in verschillende landen ongeveer gelijk is (Levinson, 1995). In Nederland is dit verschijnsel ook wel bekend onder de BReVer wet (**B**ehoud van **R**eistijd en **V**erplaatsing).

Het beschikbaar komen van betere en snellere manieren van transport in de loop der tijd heeft geresulteerd in het afleggen van grotere afstanden en niet zozeer in een afname van de tijd die mensen aan reizen besteden (Lawton, 2001; Duany 2000; Cervero, 2001). In Figuur 3 is dit effect geïllustreerd aan de hand van de Nederlandse situatie. Terwijl vanaf 1994 de gemiddelde snelheid van auto-verplaatsingen met 0,4% per jaar is toegenomen (en de tijd per kilometer met 0,4% is afgenomen) is de totaal bestede tijd aan reizen nauwelijks veranderd (-0,2% per jaar), maar is het tijdsbesteding aan autoreizen met 0,5% per jaar en de afstanden die met de auto worden afgelegd (reizigerskilometers) met zelfs 0,9% per jaar toegenomen. De tijd die wordt uitgespaard door sneller te reizen wordt dus inderdaad (gedeeltelijk) weer besteed aan nieuwe of langere reizen en bovendien neemt het autogebruik toe.

Figuur 3 Ontwikkeling van gemiddelde reisduur (alle vervoerswijzen en auto), afstand per auto, snelheid van autoreizen en tijd per autokilometer³ (1994 = 100)



Bron: Op basis van CBS cijfers: Mobiliteit Nederlandse bevolking per regio naar motief en vervoerwijze.

Met een rekenvoorbeeld volgens (Van Wee, 1998) kan inzichtelijk worden gemaakt hoe het aantal extra kilometers zich verhoudt tot een betere doorstroming. Het voorbeeld gaat uit van constant tijdsbudget voor automobilisten⁴. Wanneer op een weggedeelte een file met een gemiddelde snelheid van 15 km/uur wordt opgelost met infrastructurele maatregelen, zodat er met een gemiddelde snelheid van 100 km/uur kan worden gereden, is het mogelijk om in dezelfde tijd ca. 7 (100/15) maal zoveel kilometers af te leggen⁵. Bij een constante snelheid van 70 km/u is de tijdwinst nog altijd bijna een factor vijf. Indien de snelheid op het traject voor de infrastructurele maatregel 35 km/u was en daarna een constante doorstroming van 70 km/uur wordt gehaald is de tijdwinst een factor twee. Als we dit vergelijken met de verhoudingen in Figuur 1 dan kunnen we concluderen dat in alle gevallen de procentuele tijdwinst groter is dan de emissiereductie per voertuigkilometer.

Voor vrachtverkeer is het tijdsbudget waarschijnlijk niet constant, maar hangt de vraag meer af van de kosten (Bron: gesprek met Van Wee). Naar verwachting heeft een betere doorstroming hier minder grote gevolgen op de hoeveelheid aangetrokken verkeer.

³ De laatste twee zijn complementair.

⁴ Volgens data van het CBS lijkt het tijdsbudget voor autogebruik in werkelijkheid echter zelfs toe te nemen door model shift, zie Figuur 3.

⁵ In werkelijkheid is het effect nog groter, omdat bij een constant tijdsbudget voor reizen in het algemeen, en een sneller vervoer met de auto, het reisbudget van de auto toeneemt ten koste van andere modaliteiten en dus niet constant blijft (zie trend ontwikkeling in Figuur 3).



2.4 Doorstroming en totale klimaateffect

Het extra verkeer zorgt er enerzijds voor dat het effect van betere doorstroming deels ongedaan wordt gemaakt. Anderzijds worden er op langere termijn in totaal meer kilometers gemaakt. Zo blijkt uit paragraaf 2.3 dat het oplossen van een kilometer file tot wel zeven maal zoveel kilometers kan opleveren terwijl de emissiereductie per voertuigkilometer maximaal maar 50% is (paragraaf 2.2). Dit betekent dat infrastructurele maatregelen die een verbeterde doorstroming voor alle verkeer tot gevolg hebben over het algemeen op lange termijn de CO₂-emissies niet zullen reduceren maar eerder doen toenemen. Dit soort maatregelen zijn daarom geen effectief klimaatbeleid⁶.

Dit type maatregelen kunnen maatschappelijk gezien uiteraard wel zinvol zijn, vanwege de positieve invloed op de bereikbaarheid. Daarnaast zullen ze in veel gevallen ook een positief effect hebben op de plaatselijke luchtkwaliteit. De reden hiervoor is dat voor luchtverontreinigende emissies (zoals fijn stof en NO_x) geldt dat het verschil in emissies tussen het rijpatroon in files en bij constante doorstroming) veel groter is dan bij CO₂.

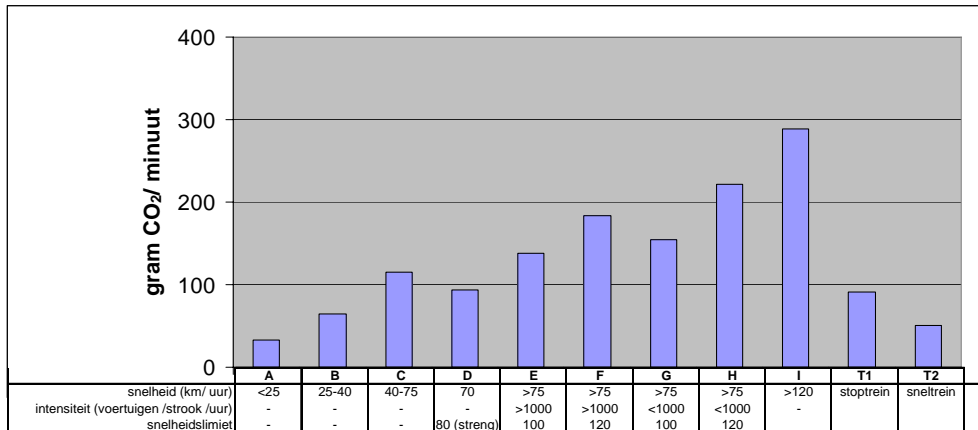
Omdat we veronderstellen dat personenverkeer een vast reistijdbudget heeft zou het eigenlijk eenvoudiger zijn om de emissies per tijdseenheid te beschouwen voor de verschillende doorstromingsnelheden en modaliteiten. In het kader op de volgende pagina is dit verder uitgewerkt.

Overigens is ook zonder het verkeergenererende effect, de totale potentie van doorstromingsmaatregelen gering. De reden hiervoor is dat de reistijd die in files wordt doorgebracht weliswaar substantieel is maar dat het aandeel in het totale kilometrage relatief klein is. Op snelwegen gaat het jaarlijks om ca. 50 miljoen voertuigverliesuren op ruim 500 miljard voertuigkilometers wat overeen komt met ca. 600 miljoen uur (CBS Statline). De tijd van voertuigen in files komt neer op ca. 9% van de totale tijd die ze doorbrengen op snelwegen. Als we aannemen dat de rijnsnelheid in files gemiddeld 25 km/uur is, dan gaat het om ca. 2% van de kilometers.

⁶ Dit soort doorstromingsmaatregelen kunnen onderling overigens wel verschillen in hun CO₂-effecten. Zo zal de toename in CO₂-emissies van het bouwen van aan rijstrook op termijn naar verwachting hoger zijn dan door verbeterde doorstroming als gevolg van meer afslagen voor hulpdiensten.

Klimaat en de snelheid van transport

In onderstaande figuur zijn de emissies per kilometer van de verschillende verkeerssituaties zoals weergegeven in paragraaf 2.2 met behulp van gemiddelde snelheden omgezet naar emissies per minuut per reizigerskilometer (1,5 persoon per auto). Om ook een idee te krijgen van de gevolgen van *modal shift* zijn emissies voor een stoptrein en een sneltrein ook toegevoegd (inclusief voor- en natransport, op basis van CE (2008)). Er is hierbij voor zowel stop- als sneltreinen een gemiddelde snelheid van de trein aangenomen van 80 km/u en rekening gehouden met voor- en natransport van en naar het treinstation.



De figuur maakt duidelijk dat het rijden met de trein en in de file voor het klimaat verreweg het voordeligst is. Dit komt onder andere (en bij de file met name) doordat de wijze van verplaatsen relatief langzaam is. De paradox is dat een *modal shift* naar de trein alleen plaats zal vinden wanneer deze optie sneller wordt, maar dat dit tegelijk ook de emissies per minuut van de trein zal laten toenemen en dichterbij de auto zal laten komen. Dit is ook het geval wanneer het voor en natransport met bijvoorbeeld de fiets minder tijd in beslag neemt. Algemeen kan dus geconcludeerd worden dat beleid dat snel transport aantrekkelijker maakt een negatief effect heeft op het klimaat.



3 Emissies bij de aanleg van infrastructuur vergeleken met emissies bij het gebruik van infrastructuur

3.1 Inleiding

In dit project wordt gekeken hoe 'slimme' infrastructuur kan bijdragen aan CO₂-reductie in het verkeer. Hierbij wordt gefocust op het effect van deze infrastructuur op het gebruik ervan door voertuigen. Dit is in lijn met de meeste milieueffectstudies binnen de verkeerssector.

Wanneer wordt gekeken naar milieubelasting van vervoer ligt de nadruk op de milieubelasting tijdens *het gebruik* van voertuigen. Zo wordt voor wegvervoer gekeken naar de uitstoot van luchtvervuilende stoffen en CO₂-uitstoot door auto's en voor vervoer per spoor naar het energiegebruik van de trein. Dit zijn echter niet de enige milieueffecten die vervoer met zich meebrengt. Voordat een voertuig gebruikt kan worden moet het geproduceerd worden. Dit productieproces en de verwerkte materialen zorgen voor een extra milieudruk. Daarnaast moeten afgedankte voertuigen verwerkt worden. Ook de gebruikte infrastructuur moet worden aangelegd en onderhouden. Om een goed beeld van het milieueffect van vervoer te krijgen zou de hele levenscyclus van vervoer - dus infrastructuur aanleg en onderhoud, voertuigproductie, voertuiggebruik en afvalverwerking - in beschouwing genomen moeten worden. Wanneer aanpassingen aan deze infrastructuur worden overwogen om de emissies door het gebruik ervan te verlagen is het verstandig om in te schatten of die milieuvoordelen groter zijn dan de eventuele extra milieueffecten waarmee de infrastructurele aanpassingen gepaard gaan.

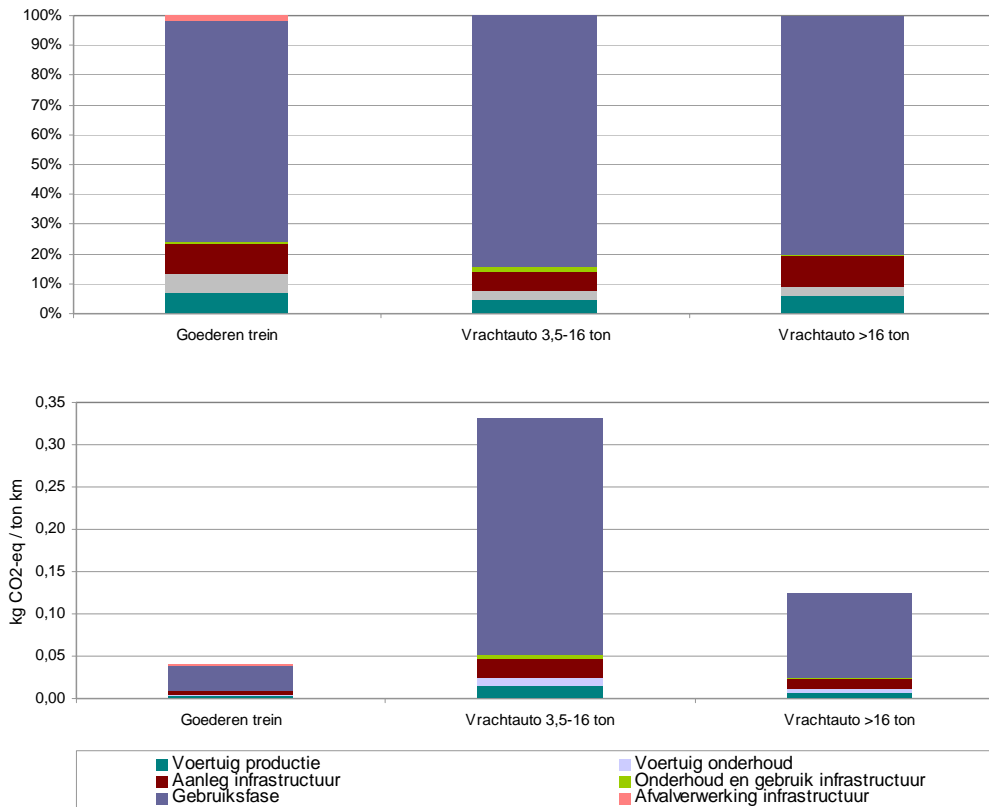
Zoals vermeld, wordt in de meeste studies gefocust op emissies tijdens het gebruik van voertuigen. Om deze reden is er weinig informatie over de milieubelasting van de overige processen. In het onderliggende rapport wordt echter gefocust op infrastructuur, er wordt bekeken hoe deze door kleine ingrepen kan bijdragen aan emissiereductie in het verkeer. Omdat de CO₂-reductie die bereikt kunnen worden met infrastructurele aanpassingen in veel gevallen beperkt is, is het van belang een beeld te schetsen van hoe de CO₂-emissies van de aanleg van infrastructuur zich verhouden tot de emissies van het gebruik ervan.

Er zijn twee methoden gebruikt om de milieudruk van de aanleg van infrastructuur te vergelijken met emissies tijdens het gebruik van infrastructuur. Als eerste is gebruik gemaakt van het LCA-programma Simapro. Daarnaast is er een beknopte literatuurstudie uitgevoerd.

3.2 Milieudruk van de transportketen in Simapro

Figuur 4 geeft de verdeling van emissies van broeikasgassen over verschillende stadia van de levenscyclus voor goederentreinen en vrachtauto's zoals deze door Simapro zijn berekend.

Figuur 4 Aandeel van verschillende stadia in de transportketen in de totale uitstoot van broeikasgasemissies



Voor zowel vrachtauto's als goederentreinen bedragen emissies in de gebruiksfase circa 80% van het totaal. Hierbij moet vermeld worden dat de goederentrein een gemiddelde Europese trein betreft, waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen elektrische en dieseltreinen. Voor elektrische treinen is de bijdrage aan CO₂-emissies in de gebruiksfase veel lager, en absoluut gezien zullen de CO₂-emissies van elektrische treinen daarom lager liggen dan die van de goederentrein die zijn weergegeven; dieseltreinen hebben een iets hogere emissie.

Simapro is een veelgebruikt programma voor het uitvoeren van LCA-studies en de Ecoinvent-database, waaruit de data afkomstig zijn, een uitgebreide bron van achtergrondcijfers. De database is echter gebaseerd op Europese gemiddelden en dus niet specifiek voor de Nederlandse situatie. Aangezien voertuigproductie geen specifiek Nederlands proces is en er, vooral voor treinen, veel internationaal transport is, zal een Europees gemiddelde hiervoor echter een goed beeld geven. Aanleg, onderhoud en gebruik van infrastructuur en de afvalverwerking van infrastructuur zal in verschillende landen echter tot een andere milieuo-

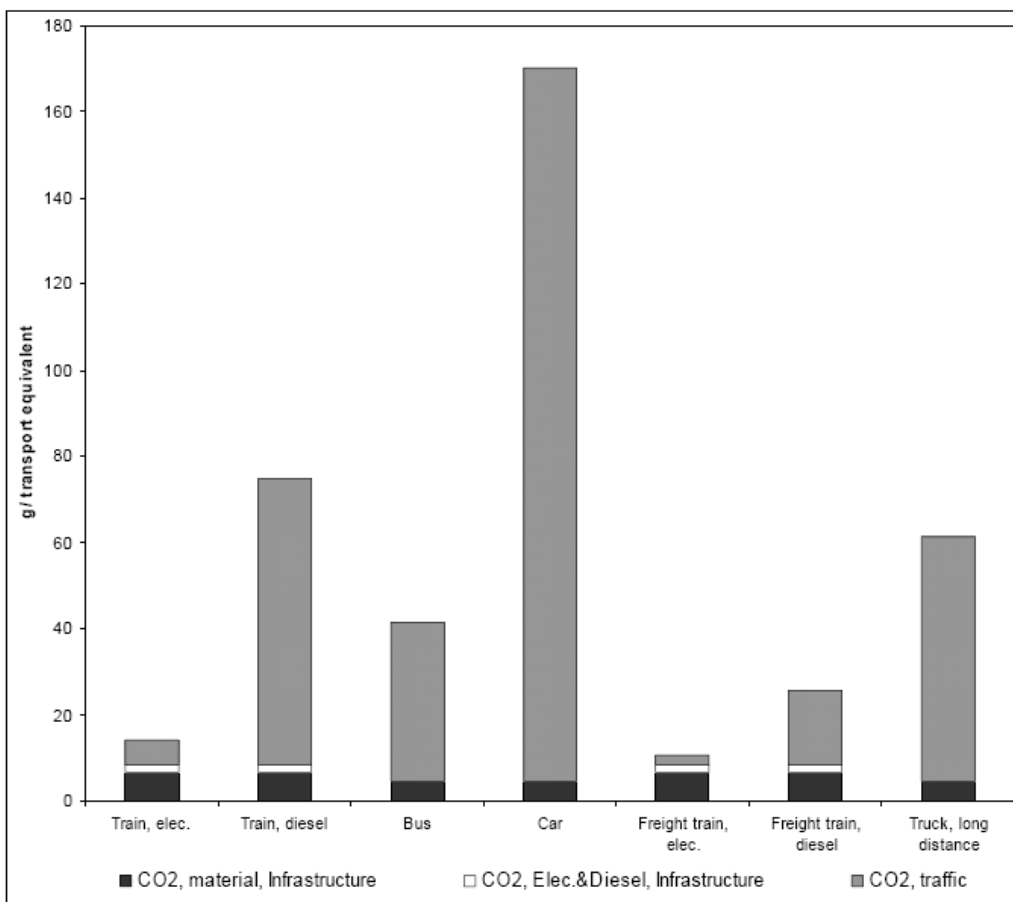


belasting leiden. Daarnaast worden in Simapro aannames gedaan zoals het aantal kilometers dat over een weg of spoorvak wordt gereden, het aantal kilometers dat een voertuig gedurende zijn levenscyclus aflegt en de beladingsgraad van een voertuig. Deze aannames bepalen mede de boven getoonde percentages.

3.3 Milieudruk van de transportketen in de literatuur

Weinig studies gaan in op de emissie van broeikasgassen tijdens aanleg en onderhoud van infrastructuur. Svensson (2007) onderzocht voor de Zweedse spoorwegen o.a. wat de milieubelasting van de aanleg van spoor is en hoe dit zich verhoudt tot emissies van transport over de weg. Uit deze studie is Figuur 5 afkomstig waarin voor een aantal vervoermiddelen de CO₂-emissies van verschillende stadia in de transportketen worden gepresenteerd. Elektrische treinen scoren erg laag in de gebruiksfase, dit is mede te danken aan een groot aandeel groene stroom in Zweden. In de categorieën 'material, infrastructure' en 'Elec.&Diesel, infrastructure' zijn aanleg, onderhoud en gebruik van infrastructuur meegenomen.

Figuur 5 CO₂-emissies bij aanleg, onderhoud en gebruik van infrastructuur ten opzichte van CO₂-emissies door het gebruik van voertuigen



Toelichting: Er is onderscheid gemaakt tussen materiaalgerelateerde emissies van infrastructuur en emissies als gevolg van het verbranding van diesel en elektriciteit gedurende het onderhoud van de infrastructuur.

Het aandeel van de gebruiksfase is voor vrachtauto's ca. 92%, voor dieseltreinen is dit aandeel ca 65%. Deze percentages wijken af van die uit Simapro. Hiervoor zijn verschillende verklaringen:

- Simapro neemt ook emissies voor productie en onderhoud van voertuigen mee. Wanneer deze weggelaten zouden worden zou het aandeel voor voertuiggebruik toenemen tot 91% (3,5-16 ton) en 88% (>16ton) voor vrachtwagens en 85% voor een gemiddelde goederen trein.
- Simapro geeft Europese gemiddelden, Svensson (2007) geeft waarden specifiek voor Zweden.
- Achter deze berekeningen zitten verschillende aannames over levensduur van voertuigen en infrastructuur, over belading van voertuigen en over energiegebruik van treinen en vrachtauto's. Hierdoor zijn ook de variaties van de emissies in de gebruiksfase groot.

3.4 Conclusie emissies in de transportketen

Er kan geconcludeerd worden dat emissies van aanleg en onderhoud niet zondermeer verwaarloosd mogen worden. Infrastructurele maatregelen hebben vaak slechts een kleine reductie in verkeersemisies tot gevolg. Wanneer een forse ingreep in de bestaande infrastructuur of de aanleg van nieuwe infrastructuur nodig is om dit effect te bereiken moet afgewogen worden of emissiereductie in het gebruik van voertuigen opweegt tegen emissies die vrijkomen bij de aanleg.

Bovenstaande geldt voornamelijk voor ingrepen in of aanleg van infrastructuur ten behoeve van het milieu. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld de bouw van een distributiecentrum of de aanleg van extra capaciteit om een *modal shift* te bevorderen. Vaak zal de afweging om wel of geen infrastructuur aan te leggen echter niet worden gemaakt op basis van milieuoverwegingen, maar op basis van kosten of effecten op congestie.

Daarnaast moet aangetekend worden dat de emissies die in dit hoofdstuk zijn benoemd gebaseerd zijn op de aanleg van een complete weg of compleet spoorvak. Bij kleine aanpassingen aan de infrastructuur zullen de emissies fors lager zijn. De invloed van de aanleg van infrastructuur zullen dan ook per maatregel bekeken moeten worden.



4 Modal shift als gevolg van infrastructurele maatregelen

4.1 Inleiding

De ene modaliteit stoot meer CO₂ uit dan de andere. Zo is woon-werkverkeer met de trein schoner dan met de auto en goederenvervoer met een elektrische trein schoner dan goederenvervoer over de weg. Vanuit milieuoogpunt, is een *modal shift* daarom in veel gevallen gewenst. De aanpassing of aanleg van infrastructuur zou een *modal shift* kunnen bevorderen door het bieden van meer capaciteit, lagere kosten of betere voorzieningen voor de gewenste modaliteit.

Infrastructurele maatregelen die een *modal shift* in het personenvervoer kunnen bevorderen zijn bijvoorbeeld het aanleggen van transferia en doelgroepstroken voor het collectief personenvervoer. Naast deze infrastructurele maatregelen zijn er ook andere maatregelen die een overstap naar trein, schip of collectief personenvervoer kunnen bevorderen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het goedkoper of zelfs gratis aanbieden van bepaalde trajecten met het OV.

Een infrastructurele maatregel die bij zou kunnen dragen aan *modal shift* in het goederenvervoer is de aanleg van distributie- en overslagcentra zodat intermodaal transport makkelijker wordt. Naast infrastructurele maatregelen zoals besproken in deze studie, zijn er ook andere maatregelen die een *modal shift* in het goederenvervoer tot gevolg kunnen hebben. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan beprijzing van het wegverkeer.

In dit hoofdstuk gaan we in op het effect van *modal shift*. De emissies van verschillende modaliteiten worden gepresenteerd. Daarnaast wordt ingegaan op bijeffecten en flankerend beleid.

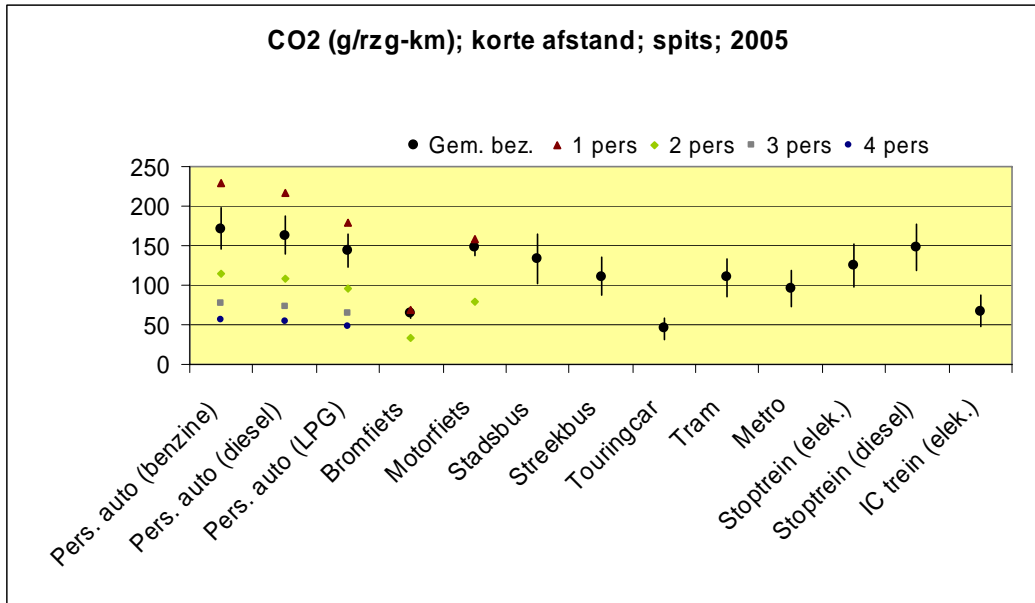
4.2 Emissies verschillende modaliteiten in het personenvervoer

Bij *modal shift* in het personenvervoer moet vooral gedacht worden aan de overgang van auto naar collectief personenvervoer, openbaar vervoer en besloten busvervoer (touringcars). Emissies van personenauto's zijn namelijk per reizigerskilometer vaak hoger dan die van bussen, trams en treinen. Hierbij moet aangetekend worden dat het van belang is hoe men de modaliteiten vergelijkt. Zo zal een auto met vier personen schoner zijn dan een bus met vier personen. In de praktijk zijn auto's echter lager bezet en zitten er gemiddeld meer dan vier personen in een bus.

CE Delft (2008a) heeft emissies van verschillende modaliteiten in kaart gebracht. Hierbij is uitgegaan van gemiddelde emissies en bezetting van voertuigen in Nederland. Figuur 6 presenteert de CO₂-emissies van verschillende modaliteiten. Rond het gemiddelde is een range aanwezig vanwege onzekerheden in logistieke kenmerken. Voor auto's is tevens weergegeven hoe emissies samenhangen met de bezetting van de auto.

In paragraaf 2.4 zijn CO₂-emissies uitgedrukt per tijdseenheid. Ook in die vergelijking komt een reis met de trein als schoner naar voren dan met de gemiddelde personenauto.

Figuur 6 CO₂-emissies van verschillende modaliteiten in het personenvervoer



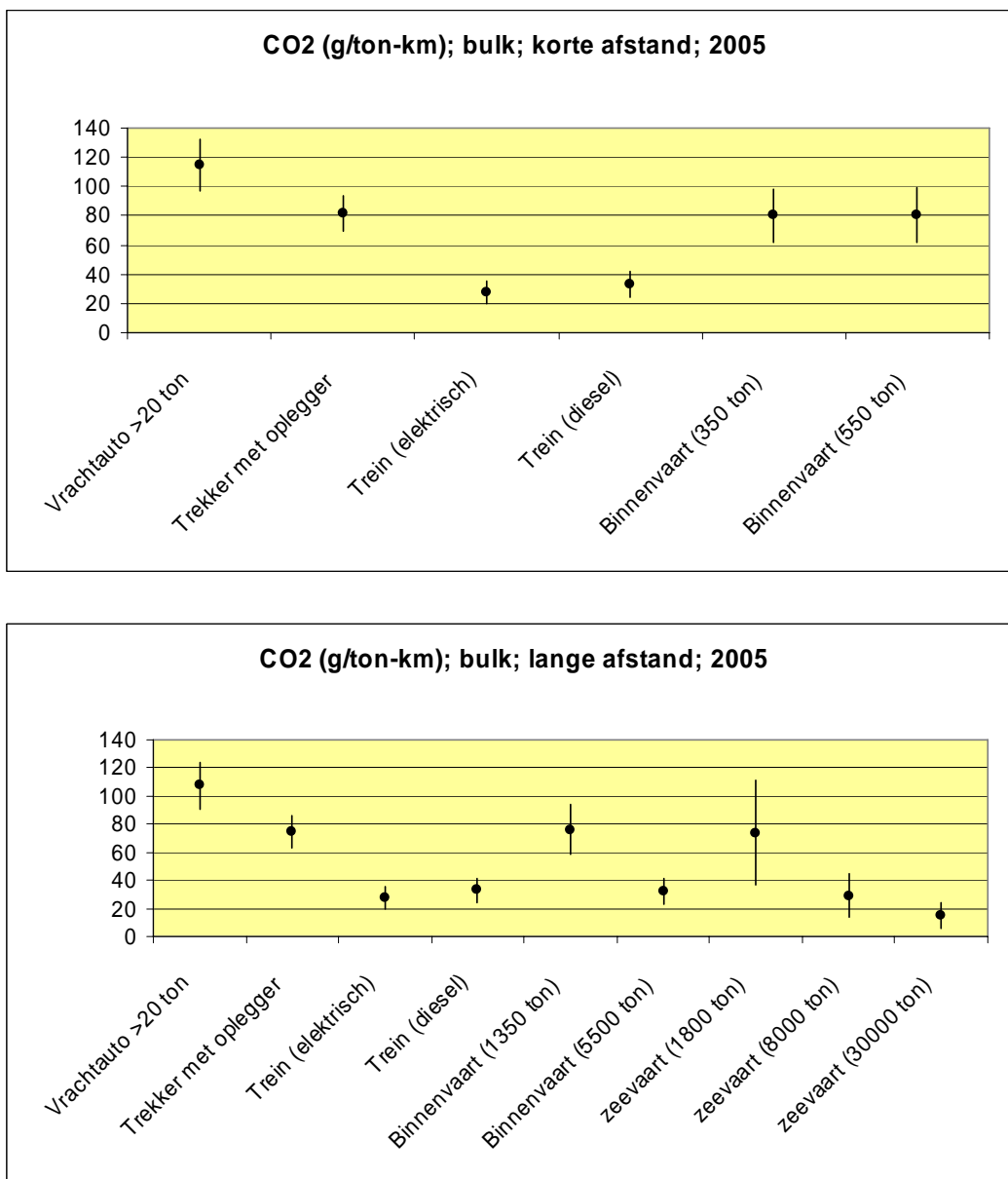
4.3 Emissies van verschillende modaliteiten in het goederenvervoer

In het goederenvervoer wordt de keuze voor een modaliteit vooral beïnvloed door kosten en tijd. Om een product zo goedkoop mogelijk te houden wil een verlader de kosten voor transport zo laag mogelijk houden. Dit is echter niet de enige afweging, ook de snelheid, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het transport zijn van belang. Wanneer een product snel geleverd moet worden zal een vrachtwagen die direct kan vertrekken de voorkeur genieten boven een trein die zich aan een dienstregeling moet houden.

Emissies van transport zijn in sterke mate afhankelijk van de gekozen modaliteit. Zo is een elektrische trein bijvoorbeeld gemiddeld schoner dan een vrachtauto. Hierbij moet aangetekend worden dat ook de logistieke omstandigheden van belang zijn. Wanneer de trein bijna leeg is en de vrachtwagen volledig beladen zal de vrachtauto toch schoner zijn dan de trein. Per goederenstroom zal daarom bekeken moeten worden wat voor het milieu de beste keuze is. Figuur 3 presenteert de CO₂-emissies van verschillende modaliteiten in het goederenvervoer. Het geeft een beeld van de verhouding tussen verschillende modaliteiten voor de gemiddelde situatie in Nederland. De weergegeven waarden zijn voor bulk vervoer op korte en lange afstand. Emissies van het transport van containers of stukgoed wijken hiervan af, maar de verhouding tussen modaliteiten is hiervoor vergelijkbaar.



Figuur 7 CO₂-emissies van verschillende modaliteiten in het Nederlandse goederenvervoer (2005)



Bron: CE (2008a).

4.4 Overwegingen bij modal shift

Modal shift kan zowel in het personen- als het goederenvervoer een bijdrage leveren aan CO₂-reductie. Het effect is echter sterk situatieafhankelijk. Ook moet rekening gehouden worden met eventuele bijeffecten. Flankerend beleid kan eraan bijdragen dat *modal shift* maatregelen effectiever zijn en kan bijeffecten onderdrukken.

4.4.1 Bijeffecten

Veel maatregelen in het personenvervoer zijn erop gericht het aantal reizigers dat gebruik maakt van het collectief personenvervoer te verhogen. Dit betekent echter niet automatisch dat er minder autokilometers worden afgelegd. Uit verschillende praktijkvoorbeelden blijkt dat beter of goedkoper OV leidt tot meer reizigers, maar dat deze groep reizigers voor het grootste deel bestaat uit passagiers die de reis eerst niet maakten, voormalige voetgangers en fietsers, en passagiers die eerder gebruik maakten van andere vormen van OV (zie tekstbox gratis OV). Ook in het goederenvervoer kan het aanleggen van nieuwe infrastructuur een volumegenererend effect hebben. Daarnaast geldt, voor zowel personen als goederenvervoer, dat het vrijkomen van capaciteit op de weg kan leiden tot meer verkeer zoals beschreven is in hoofdstuk 2.

4.4.2 Effectiviteit van modal shift maatregelen

Het effect van *modal shift* maatregelen is sterk afhankelijk van de situatie. Zo zal een *modal shift* naar het OV in de spits als gevolg hebben dat vrijgekomen capaciteit op de weg (gedeeltelijk) wordt opgevuld door andere auto's en dat er meer materieel in het OV moet worden ingezet. Een *modal shift* in de daluren zal echter leiden tot minder wegvoertuigen en een opvulling van lege stoelen in het OV. Daarom is het effect van een *modal shift* in de daluren groter dan in de spits.

Ook in het goederenvervoer is het effect van *modal shift* maatregelen afhankelijk van de situatie. Wanneer een *modal shift* naar spoor of binnenvaart als gevolg heeft dat goederen met een grote omweg naar de plaats van bestemming worden gebracht of dat er veel voor- en natransport met een vrachtauto nodig is zal het effect van een zuinigere modaliteit voor een groot deel teniet gedaan worden. Ook zal het type transport (bulk of containers) van belang zijn voor het effect van de maatregel.

Wanneer nieuwe infrastructuur nodig is om een *modal shift* mogelijk te maken zal (vanuit milieuoogpunt) een afweging gemaakt moeten worden tussen emissies die vrijkomen bij aanleg en onderhoud van deze extra infrastructuur en de emissiereductie als gevolg van de *modal shift*. Bovendien kan extra infrastructuur ook tot een toename van het totale transportvolume leiden (CE, 2003). Uit voorbeelden die later in dit rapport aan de orde komen (zie paragraaf 6.2) blijkt dat het effect daarvan de emissiereductie van *modal shift* in sommige situaties meer dan teniet doet.

4.4.3 Flankerend beleid

Vaak zijn infrastructurele aanpassingen alleen niet genoeg om een *modal shift* te bewerkstelligen. Flankerend beleid is daarom nodig. Voorbeelden hiervan zijn het verhogen van parkeertarieven in de stad bij de aanleg van een transferium, of beprijzing van het wegverkeer bij aanleg van een distributiecentrum voor overslag naar binnenvaart en spoor. Flankerend beleid kan ook gebruikt worden om het genererende effect van een *modal shift* te beperken.



Gratis OV ter stimulering van modal shift

Naast verbetering van infrastructuur kan ook het gratis of goedkoper maken van het OV een modal shift tot stand brengen. De afgelopen jaren zijn er in Nederland tal van pilots uitgevoerd met gratis of goedkoper openbaar vervoer (o.a. in Noord-Brabant, Enschede, Rotterdam-Krimpenerwaard), waarbij het in alle gevallen ging om busvervoer.

Uit de verschillende evaluatiestudies die naar aanleiding van deze pilots zijn uitgevoerd blijkt dat deze pilots leiden tot aanzienlijke stijgingen van het aantal busreizigers. Gratis busvervoer tussen Duin- en Bollenstreek en Den Haag leidde bijvoorbeeld tot een stijging van het busgebruik met 227% (Traffic Test, 2005). Ook een ex-ante evaluatiestudie van gratis OV in Noord-Brabant laat een stijging van het busgebruik zien van 82% (streekvervoer) tot 123% (stadsvervoer) (Goudappel Coffeng en Hybercube Business Innovation, 2006).

De invloed van gratis OV op het busgebruik moet met de nodige zorg geïnterpreteerd worden. Een eerste punt van aandacht is dat het extra busreizigers maar gedeeltelijk afkomstig zijn uit de auto. In Enschede ging het bijvoorbeeld om 26 tot 31% van de reizigers. Bij een proef met gratis OV tussen Krimpenerwaard en Rotterdam waren 30 tot 40% van de extra busreizigers afkomstig uit de auto (Stadsregio Rotterdam, 2007). Een deel van de nieuwe busgebruikers maakten daarentegen in de uitgangssituatie gebruik van de fiets. Vaak gaat het echter ook om nieuwe reizen. Dit kan zelfs oplopen tot ca. 87%, zoals in Enschede het geval was.

Daarnaast is het onduidelijk of het gratis OV ook daadwerkelijk leidt tot minder autoverkeer. De evaluatie van het gratis OV tussen Krimpenerwaard en Rotterdam laat bijvoorbeeld zien dat de totale verkeersintensiteit tijdens de pilot niet is gedaald. Dit terwijl er wel sprake was van een overstap van de auto naar de bus. Blijkbaar worden de plekken op weg die automobilisten vrijlaten door met de bus te gaan reizen ingenomen door nieuwe automobilisten.

Concluderend kunnen we stellen dat gratis OV het gebruik van deze vervoerswijze stimuleert. Het is echter hoogst onzeker of er ook sprake is van een substantiële reductie van het autoverkeer en daarmee van de CO₂-emissies. Het potentieel van gratis of goedkoper OV als zelfstandige maatregel om tot CO₂-reductie te komen lijkt dan ook beperkt.



5 Brede inventarisatie van maatregelen: een eerste analyse

5.1 Brede inventarisatie van infrastructurele maatregelen

Voor dit project zijn eerst een groot aantal mogelijke maatregelen geïnventarieerd waarna de meest veelbelovende maatregelen geselecteerd zijn. In het kader van de eerste inventarisatie is op 7 juli 2008 een brainstorm georganiseerd met vertegenwoordigers van verschillende organisaties op het vlak van infrastructuur en transport. Deze brainstorm heeft geleid tot een lijst van infrastructurele maatregelen die mogelijk bij zouden kunnen dragen aan reductie van broeikasgassen in verkeer. In Tabel 3 (op de volgende pagina) zijn maatregelen uit de brainstormsessie opgesomd, aangevuld met enkele suggesties welke na de workshop nog zijn opgekomen. Voor iedere maatregel is het belangrijkste effect aangegeven en waar nodig is een korte toelichting opgenomen. Door middel van een arcering is aangegeven welke maatregelen binnen een bepaald thema vallen.

Niet alle maatregelen uit deze eerste brede inventarisatie zullen haalbaar zijn of zullen een significant effect op de CO₂-uitstoot van verkeer hebben. Alleen voor de meest veelbelovende opties is onderzocht wat hun potentieel is. Om deze maatregelen te kunnen selecteren is een eerste analyse uitgevoerd. Hierin is gekeken naar:

- *CO₂-reductiepotentieel*: kwalitatieve inschatting van de mate waarin CO₂-uitstoot wordt voorkomen en welke rebound effecten er zijn⁷;
- *draagvlak*: hoe kijkt de maatschappij tegen de maatregel aan als het gaat om bijv. geluid, luchtkwaliteit, veiligheid, vormgeving, etc.?
- *haalbaarheid*: in hoeverre is de maatregel technologisch mogelijk?

De inschattingen in deze eerste analyse zijn gemaakt op basis van literatuuronderzoek, interviews met experts en eigen kennis en ervaring. Een verslag van de *face-to-face*-interviews is te vinden in bijlage A. Daarnaast hebben vele telefonische interviews plaats gevonden, waarvan geen apart verslag is opgenomen maar waarvan de resultaten wel in dit rapport zijn verwerkt. De maatregelen in Tabel 3 worden per thema besproken; de indeling is aangegeven door middel van arcering in de tabel.

Op basis van bovenstaande criteria is een selectie gemaakt van maatregelen die verder geanalyseerd worden. Het belangrijkste criterium hierbij is het CO₂-reductiepotentieel, daarna komen draagvlak en haalbaarheid. Naast deze criteria is gekeken naar de praktische haalbaarheid van een verdere analyse. Voor een aantal maatregelen is het erg lastig om de effecten te analyseren, bijvoorbeeld omdat deze sterk situatieafhankelijk zijn of omdat hierover weinig informatie beschikbaar is. Maatregelen waar dit het geval voor is zijn niet meegenomen in

⁷ De CO₂-effecten van de aanleg van infrastructuur zijn in dit stadium nog niet meegenomen; deze zijn moeilijk in te schatten voor elke specifieke situatie en zullen daarom pas in de tweede fase beoordeeld worden.

een verdere analyse. Ook maatregelen waarvan op voorhand gesteld kan worden dat de kosten erg hoog zijn, zijn buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3 Overzicht van de *long list* aan maatregelen welke zijn onderzocht

	Maatregel	Toelichting	Belangrijkste effect
1	Meer op- en afritten hulpdiensten	Bijv. door tijdelijk bouwafritten in stand te houden.	Doorstroming
2	Visueel scheiden rijrichtingen		Doorstroming
3	Spitswisselstroken		Doorstroming
4	Bestaande rijbanen omvormen tot doelgroepstroken	Deze kunnen gebruikt worden door OV-bussen, touringcars en vrachtverkeer, kan eventueel met toeritdosering.	Doorstroming
5	Besloten busvervoer toelaten op busbanen m.b.v. toeritdosering		Doorstroming
6	Lokaal en lange-afstand-verkeer scheiden		Doorstroming
7	Wisselen rijbaan beperken		Doorstroming
8	Groene golf		Doorstroming
9	Tovergroen	Groene golf specifiek voor zwaar verkeer.	Doorstroming
10	Spoorwegonderdoorgangen		Doorstroming
11	Uniforme snelheidslimiet met trajectcontrole		Doorstroming Lagere snelheid
12	Distributiecentra rond Randstad	Goederen kunnen per binnenvaart vervoerd worden, waarna overslag naar de weg verder in de keten plaats vindt.	<i>Modal shift</i>
13	Distributiecentra rond Randstad	Goederen kunnen per binnenvaart vervoerd worden, waarna overslag naar de weg verder in de keten plaats vindt.	<i>Modal shift</i>
14	Aantal P+R-locaties uitbreiden		<i>Modal shift</i>
15	Aantal P+R-locaties uitbreiden	Chauffeurs die buiten de Randstad wonen zouden de truck achter kunnen laten en met collectief vervoer naar huis kunnen, i.p.v met de truck.	<i>Modal shift</i>
16	Parkeren bij distributiecentra	Chauffeurs die buiten de Randstad wonen zouden de truck achter kunnen laten en met collectief vervoer naar huis kunnen, i.p.v met de truck.	<i>Modal shift</i>



	Maatregel	Toelichting	Belangrijkste effect
17	Wegen overkappen of slimme windschermen		Lager verbruik
18	Wegen overkappen of slimme windschermen		Lager verbruik
19	Voertuiggeleiding op doelgroepstroken	Hierdoor kunnen vrachtauto's dichter op elkaar rijden en wordt de capaciteit van de weg vergroot.	Lager verbruik
20	Voertuiggeleiding op doelgroepstroken	Hierdoor kunnen vrachtauto's dichter op elkaar rijden en wordt de capaciteit van de weg vergroot.	Lager verbruik
21	Opritten omlaag; afritten omhoog		Lager verbruik
22	Voltage bovenleidingen spoor naar 2 kV	Hierdoor kunnen zware goederentreinen sneller optrekken en is het mogelijk remenergie terug te winnen.	Lager verbruik <i>Modal shift</i>
23	Voltage bovenleidingen spoor naar 2 kV	Hierdoor kunnen zware goederentreinen sneller optrekken en is het mogelijk remenergie terug te winnen.	Lager verbruik <i>Modal shift</i>
24	Elektrificeren van het spoor		Lagere CO ₂ -uitstoot per km
25	Wegen aanpassen voor LZV's		Logistieke efficiëntie
26	Beplanting op geluidschermen		Logistieke efficiëntie
27	Beplanting op geluidschermen		Besparing fossiele energie
28	Wisselverwarming op aardwarmte	Dit gebeurt nu vaak met gasbranders.	Besparing fossiele energie

5.2 Maatregelen ter bevordering van de doorstroming

Veel maatregelen zijn gericht op het bevorderen van de doorstroming van verkeer. Effecten hiervan op de emissies per kilometer en de te verwachten rebound effecten zijn besproken in hoofdstuk 2. Per maatregel zal hieronder een toelichting worden gegeven. De bevindingen zijn samengevat in de tabel in paragraaf 5.2.11.

5.2.1 Meer op- en afritten hulpdiensten

Meer op- en afritten voor hulpdiensten leiden ertoe dat de doorstroming beter wordt omdat de weg bij ongelukken weer eerder vrijgemaakt kan worden. Wanneer deze maatregel goed werkt en structureel voor minder files zorgt, zal dit ertoe leiden dat er extra verkeer wordt aangetrokken. Zoals besproken in hoofdstuk 2 leidt dit op de lange termijn eerder tot meer dan minder CO₂-uitstoot. De maatregel voorkomt natuurlijk wel een hoop fileproblemen en zal daarom een positief draagvlak hebben. Extra op- en afritten voor hulpdiensten kunnen o.a. worden gecreëerd door bouwafritten in stand te houden.

5.2.2 Visueel scheiden rijrichtingen

Het visueel scheiden van rijrichtingen doormiddel van schermen leidt door verminderde kijkerfiles, tot een betere doorstroming en daarmee zeker op de lange termijn tot meer verkeer en meer CO₂-uitstoot. Schermen zullen niet door iedereen gewaardeerd worden om esthetische redenen.

5.2.3 Spitswisselstroken

Spitswisselstroken geven de mogelijkheid een rijbaan in de ochtendspits in de ene richting, en in de avondspits in de andere richting te gebruiken om zo de wegcapaciteit optimaal te benutten. Ook hier leidt de verbeterde doorstroming tot extra CO₂-uitstoot op de lange termijn. De verbetering in doorstroming en daarmee bereikbaarheid zal door velen wel positief ontvangen worden. Met dynamische verkeersmanagementsystemen kunnen dit soort stroken gerealiseerd worden.

5.2.4 Bestaande rijbanen omvormen tot doelgroepstroken

Doelgroepstroken zijn bedoeld om bijvoorbeeld bus- en/of vrachtverkeer de mogelijkheid te geven beter door te stromen op een rijbaan die alleen toegankelijk is voor hen. Wanneer dit ten koste gaat van een bestaande rijbaan zorgt dit ervoor dat er voor het personenverkeer minder wegcapaciteit resteert.

Terwijl het bus-/vrachtverkeer beter kan doorstromen en daarmee per kilometer minder CO₂ uitstoot zal het personenverkeer minder goed doorstromen. De betere doorstroming van het vracht/ busverkeer leidt naar verwachting wel tot iets meer vracht-/busverkeer. Dit effect zal echter niet zo groot zijn als voor personenverkeer omdat goederentransport niet voldoet aan de BReVer-wet (zie paragraaf 2.3): vooral de kosten en in mindere mate de tijd spelen een rol in de overweging om te transporteren. Het personenverkeer daarentegen, zal door de verminderde doorstroming afnemen. Het in gebruik nemen van een wegvak als doelgroepstrook zal daarom in totaal leiden tot een afname in CO₂-uitstoot. Een dergelijke maatregel zal door vervoerders wel gewaardeerd worden, maar door het personenverkeer vermoedelijk niet. Deze maatregel is niet meegenomen in de verdere analyse vanwege het vermoedelijk beperkte draagvlak en het gebrek aan data over mogelijke effecten.

5.2.5 Besloten busvervoer toelaten op busbanen m.b.v. toeritdosering

Een andere mogelijkheid is om gebruik te maken van bestaande busbanen en daarop met toeritdosering ook besloten busvervoer (touringcars) toe te staan. In dit geval wordt de doorstroming vooral voor touringcars flink verbeterd. De doorstroming voor het overige verkeer zal ook heel iets verbeteren, maar gezien het geringe aandeel van touringcars zal dit zeer klein zijn. Hierbij speelt mee dat de maatregel ook *modal shift* van de auto naar touringcar kan veroorzaken.

Een touringcar vervoert veel meer personen dan een auto. Zoals we zagen in Figuur 6, is de uitstoot per reizigerkilometer van touringcars veel lager dan van



personenauto's. Het is daarom aannemelijk dat deze maatregel door het *modal shift* effect een netto reductie van CO₂-emissies tot gevolg heeft.

Er zal vermoedelijk veel draagvlak zijn voor een dergelijke maatregel, zolang het de doorstroming van OV-bussen niet nadelig beïnvloed. Met een slimme toeritdoserings die de touringcars alleen toelaat bij voldoende capaciteit op de busstrook zou dat kunnen worden gegarandeerd.

5.2.6 Lokaal en lange-afstandverkeer scheiden

In opdracht van de ANWB heeft TNO een toekomstvisie van het Nederlandse wegennet opgesteld waarin voorstellen zijn gedaan om de doorstroming van het toenemende verkeersaanbod veilig te stellen (TNO, 2008). Belangrijk onderdeel van deze visie is lokaal en lange-afstandsverkeer te scheiden. Dit vermindert het in- en uitvoegend verkeer wat een positieve invloed heeft op de doorstroming. Een betere doorstroming heeft echter geen positief klimaat-effect. Het draagvlak hiervoor is ook onduidelijk. Enerzijds zal een verbeterde doorstroming positief ontvangen worden. Anderzijds is de flexibiliteit op de lange-afstandswegen een stuk minder, wat bijvoorbeeld bij het missen van een afslag tot veel ergernis kan leiden.

5.2.7 Wisselen rijbaan beperken

Het beperken van het wisselen van rijbaan heeft behalve het verbeteren van de veiligheid vaak tot doel de doorstroming te verbeteren. Het achterliggende idee hiervan is dat door het wisselen van baan te beperken, het verkeer een lager *stop-en-go*-gehalte krijgt en daardoor beter doorstroomt. Onderzoek (Hoogendoorn, 2006) heeft echter uitgewezen dat in werkelijkheid automobilisten geneigd zijn meer afstand te nemen tot hun voorligger, omdat dit rustiger rijdt en er toch geen mogelijkheden zijn om in te halen. Dit gedrag is bevorderlijk voor de verkeersveiligheid, maar verkleint de wegcapaciteit aanzienlijk en zorgt daarmee niet voor een betere doorstroming. De maatregel zal dan naar verwachting ook weinig invloed hebben op de CO₂-uitstoot. Deze maatregel zal echter over het algemeen niet op veel draagvlak kunnen rekenen, omdat het de automobilist beperkt in z'n vrijheid en in de praktijk ook nog de doorstroming verslechterd.

5.2.8 Groene golf

Een groene golf zorgt voor een betere doorstroming en daarmee voor lagere emissies per voertuigkilometer. Net als voor de doorstromingsmaatregelen op snelwegen geldt ook hier weer dat de betere doorstroming ook leidt tot kortere reistijden. Op de lange termijn zal het hierdoor gegenereerde verkeer naar verwachting de gereduceerde CO₂-uitstoot weer teniet doen. Kortom, een groene golf kan veel bijdragen aan bereikbaarheid, maar waarschijnlijk weinig aan CO₂-reductie.

Een groene golf wordt over het algemeen als positief ervaren, omdat het voor een snellere doorstroming zorgt. Groene golven worden al veelvuldig toegepast.

5.2.9 Tovergroen voor al het zware verkeer

Tovergroen voor zwaar verkeer is een speciale vorm van een groene golf waarbij met behulp van dynamische verkeersmanagementsystemen zwaar verkeer ruim voor het stoplicht gedetecteerd wordt en groen licht krijgt op het kruispunt.

Het effect van dit systeem op het klimaat kan nogal variëren afhankelijk van de omstandigheden. In alle gevallen zullen de CO₂-emissies van het zware verkeer afnemen, aannemende dat de toename van zwaar verkeer door de tijdswinst beperkt zal zijn. Wanneer een dergelijk systeem echter wordt toegepast op een doorgaande weg, zal gemiddeld genomen de doorstroming van al het verkeer verbeteren, dat meelift met het zware verkeer. Door extra aangetrokken verkeer zal dit uiteindelijk leiden tot meer CO₂-emissies. Wanneer het systeem wordt toegepast op doelgroepstroken of zijwegen van doorgaande wegen zal de doorstroming van het overige verkeer juist afnemen en zullen daarmee ook de totale CO₂-emissies afnemen. Het draagvlak zal ook variëren en afhangen van het feit of doorstroming voor het overige verkeer toeneemt of afneemt.

5.2.10 Spoorwegonderdoorgangen

Spoorwegonderdoorgangen verbeteren de doorstroming, hebben daarom op de lange termijn geen positief klimaateffect, maar kunnen wel rekenen op een goed draagvlak.

5.2.11 Selectie van maatregelen

Tabel 4 geeft een overzicht van hoe de maatregelen die samenhangen met doorstroming scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid.

Tabel 4 Overzicht van hoe de maatregelen die samenhangen met doorstroming scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid

	Maatregel	CO ₂ -reductie potentieel	Draagvlak	Haalbaarheid
1	Meer op- en afritten hulpdiensten	-	+	+
2	Visueel scheiden rijrichtingen	-	-	+
3	Spitswisselstroken	-	+	+
4	Bestaande rijbanen omvormen tot doelgroepstroken	+	-	+
5	Besloten busvervoer toelaten op busbanen m.b.v. toeritdosering	+	+	+
6	Lokaal en lange-afstandverkeer scheiden	-	?	+
7	Wisselen rijbaan beperken	-	-	+
8	Groene golf	-	+	+
9	Tovergroen voor al het zware verkeer	?	?	+
10	Spoorwegonderdoorgangen	-	+	+

++ = groot, + = aanwezig, - = niet aanwezig, ? = onbekend of situatie afhankelijk.



Van deze maatregelen is er geen één geselecteerd om nader te onderzoeken. Maatregel 5 is potentieel interessant maar niet meegenomen omdat deze erg lastig te kwantificeren is. De overige maatregelen hebben geen CO₂-reductie tot gevolg, of het ontbreekt aan draagvlak omdat ze de doorstroming verslechteren.

5.3 Maatregelen ter bevordering van modal shift

Verschillende modaliteiten hebben verschillende emissies, de keuze voor een alternatief vervoermiddel kan dan ook leiden tot reductie van CO₂-emissies in het verkeer. Hoe modaliteiten zich tot elkaar verhouden, evenals welke aspecten er komen kijken bij *modal shift*, is beschreven in hoofdstuk 4. In deze paragraaf bespreken we de verschillende infrastructurele maatregelen op het vlak van *modal shift*.

5.3.1 Distributiecentra rond steden

Het bouwen van distributiecentra rond steden genereert opslagcapaciteit op plaatsen waar deze eerder niet aanwezig was. Hierdoor kan er wellicht efficiënter (met grotere of vollere voertuigen) en met andere modaliteiten bevoorrad worden en kan vanuit het distributiecentrum met kleinere voertuigen of zelfs fietsen of elektrische voertuigen de stad in gereden worden.

Er is hier dus niet per definitie sprake van *modal shift*, wel kan er gebruik gemaakt worden van andere voertuigen binnen het wegvervoer waardoor voertuigen beter benut worden en kunnen verschillende vervoerstromen gebundeld worden. Bijkomend voordeel is dat er minder grote voertuigen in de stad aanwezig zullen zijn, dit heeft een gunstig effect op de luchtkwaliteit en geluids-overlast. Het distributiecentrum kan plaatselijk echter negatieve gevolgen hebben in de vorm van extra verkeer en geluid.

5.3.2 Distributiecentra rond de Randstad

Modal shift in het goederenvervoer zou bevorderd kunnen worden door het bouwen van distributie- en overslagcentra rond de Randstad. Voordelen van deze centra zijn dat hier verschillende stromen gebundeld kunnen worden en dat een overstap naar de goedkope en relatief milieuvriendelijke modaliteiten spoor en binnenvaart gefaciliteerd wordt.

Op verschillende locaties in Nederland bestaan al distributiecentra. In 2007 hadden zij gezamenlijk een overslag van circa 1,8 miljoen TEU. Naast overslag van goederen worden deze centra ook gebruikt voor tijdelijke opslag van goederen en voor de distributie van lege containers. Met uitbreiding van de bestaande centra zou een stijgende vraag tot ca. 2,8 miljoen TEU/jaar opgevangen kunnen worden, mits hiervoor de benodigde financiële middelen, vergunningen en incidentele uitbreidingen beschikbaar zijn.

Wanneer een nieuw centrum wordt gebouwd zal dit bijdragen aan *modal shift*. In eerste instantie zal vooral bestaand transport van bedrijven uit de regio

gefaciliteerd worden. Op langere termijn zal het centrum echter bijdragen aan een aantrekkelijke vestigingsklimaat voor bedrijven. Op die manier zal het centrum bijdragen aan nieuw transport per schip of trein.

Gezien de capaciteit van de bestaande terminals, zal het bouwen van nieuwe terminals op dit moment naar verwachting niet bijdragen aan een *modal shift*. De keuze voor de weg boven binnenvaart of spoor is vooral ingegeven door tijdverlies, al is dat in de praktijk soms kleiner dan gedacht. Ook het gebrek aan ervaring met andere modaliteiten speelt mee. Een overstap zou bevorderd kunnen worden door flankerend beleid zoals aangegeven in paragraaf 4.4.3

Het draagvlak voor distributiecentra is sterk locatie afhankelijk. De bouw van een centrum is een grote ingreep in de plaatselijke infrastructuur. Het centrum kan bovendien verkeer en bedrijvigheid aantrekken. Hierdoor kan het voor veel overlast voor de lokale bevolking zorgen. Ook kan de aanleg negatieve gevolgen hebben voor de plaatselijke natuur.

5.3.3 Aantal P+R-locaties uitbreiden

Een mogelijkheid om het gebruik van het openbaar vervoer te stimuleren is het aanbieden van Park & Ride (P+R) voorzieningen. Deze voorzieningen bestaan uit parkeerterreinen of garages - meestal in de buurt van een NS-station of een busstation - waar men de auto kan parkeren om vervolgens met het openbaar vervoer verder te reizen. Uit verschillende evaluatieonderzoeken blijkt dat P+R-voorzieningen inderdaad leiden tot een overstap van de auto naar het openbaar vervoer. Zo blijkt uit een evaluatie van negen P+R-terreinen in Noord-Holland en Flevoland dat voor ca. 57% van de reizen die nu met het OV worden gemaakt zonder P+R-terrein de auto zou zijn gebruikt (MuConsult, 2006). Soortgelijke resultaten worden ook gevonden in o.a. CROW (2005) en MuConsult (2000).

P+R-terreinen brengen echter ook een tweetal ongewenste neveneffecten met zich mee:

- 1 P+R-terreinen genereren extra verplaatsingen. De reismogelijkheden die P+R-terreinen bieden zet mensen ertoe aan om verplaatsingen te maken die zonder deze voorziening niet zouden zijn gemaakt. MuConsult (2006) laat bijvoorbeeld zien dat ca. 36% van de reizen die vanaf een P+R-terrein met het OV wordt gemaakt niet zou zijn gemaakt indien deze voorziening niet beschikbaar was. MuConsult (2000) maakt duidelijk dat het aantal verplaatsingen in sommige gevallen zelfs tot 10% kan stijgen als gevolg van de invoering van een P+R-terrein.
- 2 P+R-terreinen zetten OV-gebruikers ertoe aan om in het voortransport te kiezen voor de auto in plaats van het OV of de fiets. Zo blijkt uit MuConsult (2006) dat ca. 50% van de gebruikers van P+R-terreinen voorheen koos voor de fiets en ca. 34% eerder gebruik maakte van het OV. MuConsult (2000) laat zien dat in sommige situaties de substitutie van OV door de auto in het voortransport gelijk kan zijn aan 22%.



P+R-terreinen kunnen tot een vermindering van het aantal autokilometers leiden. Er zijn echter ook voorbeelden van P+R-terreinen waarbij er sprake is van een stijging van het aantal autokilometers (MuConsult (2000) vindt bijvoorbeeld dat het aantal autokilometers bij een P+R-terrein in Utrecht toeneemt met ca. 2,5%). Voldoende flankerend beleid (communicatie, parkeerbeleid) is nodig om P+R-terreinen succesvol in te zetten voor *modal shift* beleid (CROW, 2004).

5.3.4 Transferia

Een instrument dat vergelijkbaar is met de P+R-voorzieningen zijn transferia. Ook dit instrument is erop gericht om openbaar vervoer en de auto bij elkaar te brengen. Maar waar bij de P+R-terreinen het OV als uitgangspunt is genomen (P+R-terreinen worden gerealiseerd bij NS- of busstations), daar zijn de transferia erop gericht om het openbaar vervoer bij de automobilist te brengen. Transferia bevinden zich dan ook vaak aan de rand van steden, zodat mensen niet met de auto de drukke stad in hoeven op zoek naar een schaarse parkeerplek, maar gebruik kunnen maken van het (stedelijk) OV.

Voor transferia gelden dezelfde effecten als voor P+R-terreinen. Ook hier is er dus enerzijds sprake van een gewenste *modal shift* van de auto naar het OV, maar anderzijds ook tot ongewenste verschuivingen in het voortransport en de generatie van extra verplaatsingen (zie CROW, 2005; MuConsult, 2000). Evenals voor de P+R-terreinen geldt voor transferia dat de effecten verschillen per locatie. Er zijn locaties waarbij het hoofdeffect aanzienlijk groter is dan de rebound-effecten, maar er zijn ook voorbeelden van transferia waarbij het aantal autokilometers stijgt (zo laat MuConsult (2000) zien dat het transferium Amsterdam Arena leidt tot 9,5% meer autokilometers). Een gedegen locatiekeuze (bijvoorbeeld niet te dicht bij de bestemminglocatie) is nodig om transferia succesvol in te zetten. Net als voor P+R-terreinen is ook voldoende flankerend beleid nodig (communicatie, parkeerbeleid) om *modal shift* te bevorderen (CROW, 2004).

5.3.5 Verbeterde fietsinfrastructuur

In het licht van klimaatbeleid, is een *modal shift* naar de fiets zeer gewenst, omdat deze modaliteit geen emissies heeft. Daardoor is een overstap van het OV of de auto naar de fiets altijd effectief om CO₂-emissies van transport te reduceren. Om deze overstap te bevorderen kan een reis per fiets aantrekkelijker gemaakt worden, dit kan d.m.v. het bieden van bijvoorbeeld een groene golf voor fietsers of door het aanleggen of verbeteren van fietsinfrastructuur.

Nadeel van deze maatregel is dat het effect soms beperkt is omdat het slechts kleine afstanden zijn die zich lenen voor een overstap naar de fiets. Voordeel is dat het daarnaast een positief effect heeft op zowel luchtkwaliteit als geluid. Daarnaast zijn er weinig bijeffecten en is het een zogenaamde 'no regret'-maatregel.

5.3.6 Selectie van maatregelen

Tabel 5 geeft een overzicht van hoe de maatregelen ter bevordering van *modal shift* scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid.

Tabel 5 Overzicht van hoe maatregelen ter bevordering van modal shift scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid

	Maatregel	CO ₂ -reductie potentieel	Draagvlak	Haalbaarheid
12	Distributiecentra rond steden	?	+	?
13	Distributiecentra rond Randstad	++	?	+
14	Meer transferia rond steden	+	++	+
15	Aantal P+R-locaties uitbreiden	+	++	+
16	Parkeren bij distributiecentra	+	++	+
17	Betere fietsinfrastructuur	+	++	+

++ = groot, + = aanwezig, - = niet aanwezig, ? = onbekend of situatie afhankelijk.

Ondanks dat alle maatregelen op het gebied van *modal shift* positief scoren, worden zij niet allemaal meegenomen in de verdere analyse. Hiervoor zijn verschillende redenen. Voor distributiecentra rond steden geldt dat er al verschillende alternatieven zijn, die veelal slechts een zeer klein effect hebben. Ook distributiecentra rond de Randstad worden al veelvuldig toegepast, het effect van deze maatregel is daarnaast zeer lastig te kwantificeren. Omdat het effect van parkeren bij distributiecentra sterk afhankelijk is van de locatie van het centrum en de specifieke omstandigheden van bedrijven zijn de effecten hiervan ook lastig te kwantificeren.

In de verdere analyse van maatregelen zullen dan ook alleen maatregelen 14, 15 en 17 meegenomen worden.

5.4 Maatregelen ter reductie van energiegebruik van voertuigen

Het terugdringen van verkeersemisies is lastig omdat veel maatregelen vragen om aanpassing van het gedrag van consument en vervoerder. Maatregelen die het verkeersbeeld ongewijzigd laten en alleen de emissies per kilometer reduceren zijn makkelijker te implementeren en kunnen vaak rekenen op een groter draagvlak. Veelal zijn dit technische maatregelen aan het voertuig. Er is echter ook een aantal maatregelen aan de infrastructuur te bedenken die direct emissiereductie tot gevolg hebben.

5.4.1 Wegen overkappen of slimme windschermen

Het overkappen van wegen en toepassen van slimme windschermen kan de luchtweerstand verminderen, waardoor er minder energie nodig is om een voertuig voort te bewegen. Nadeel van deze maatregel is dat dit soort schermen erg duur zijn. Een slim ontwerp kan echter wel toegepast worden wanneer schermen toch al geplaatst moeten worden in verband met luchtkwaliteit of geluid. De



werking van deze schermen is nog niet uitvoerig getest en er zijn dan ook nog geen kwantitatieve gegevens over de CO₂-reductie die met deze maatregel te behalen is.

5.4.2 Energiezuinig asfalt

Energiezuinig asfalt is asfalt dat een lagere rolweerstand biedt dan gewoon asfalt, waardoor het energiegebruik van voertuigen afneemt. Bij veel onderzoek naar innovatief asfalt ligt de focus echter op de geluidsdempende werking. Modieslab is een veelbelovende vorm van innovatief asfalt. Het staat voor Modulair, Intelligent, Energiek Slab en is een wegdek van betonelementen op palen. In het ontwerp zijn vlakheid en textuur van het oppervlak van de betonplaten geoptimaliseerd. Hierdoor levert het naar verwachting een lagere rolweerstand en daarmee een lager energiegebruik van voertuigen (www.modieslab.nl).

Modieslab wordt reeds op enkele locaties in de praktijk getest. De eerste resultaten laten zien dat het wegdek voldoet aan alle gestelde functionele eisen.

5.4.3 Voertuiggeleiding op doelgroepstroken

Voertuiggeleiding voor vrachtauto's kan er toe leiden dat vrachtauto's dichter op elkaar rijden en dat zij eerder anticiperen op verkeerssituaties. Hierdoor wordt de wegcapaciteit vergroot en zal er zuiniger gereden worden. Bovendien bevordert dit systeem de verkeersveiligheid.

Momenteel is er vanuit het ministerie van Verkeer en Waterstaat een proef bezig met boordcomputers, het voornaamste doel hierbij is het voorkomen van ongevallen, maar deze systemen kunnen ook ingezet worden voor bovengenoemde doelen.

Voertuiggeleiding kan deels door voertuig-voertuig interactie worden bewerkstelligd. Zo kunnen slimme vormen van *adaptive cruisecontrol* bij vrachtwagens misschien op kortere termijn al toegepast worden. Het inzetten van innovaties aan de vrachtauto is echter geen infrastructurele maatregel. Een interactie met de omgeving (bijvoorbeeld door sensoren in het wegdek) kan leiden tot efficiënte voertuiggeleiding. Hiervoor zijn echter (voor zover ons bekend) voorlopig nog geen implementeerbare systemen beschikbaar.

5.4.4 Treinstations hoger leggen en het verhogen/verlagen van af- en opritten

Wanneer een trein aankomt op een station of een vrachtauto van de snelweg af komt, gaat er energie verloren doordat het voertuig afremt. De bewegingsenergie van de voertuigen gaat hierbij verloren als warmte. Door stations en op- en afritten hoger te leggen remt de trein automatisch af bij het binnenrijden van het station en de auto bij het verlaten van de snelweg. De bewegingsenergie gaat nu echter niet verloren als warmte, maar wordt opgeslagen als potentiële energie die zal vrijkomen wanneer het voertuig weer naar beneden gaat (het station uit of de provinciale/snelweg op). Met deze maatregel wordt energie bespaard. Voor

wegverkeer bestaat echter het gevaar dat auto's bij congestie stil komen te staan op de omhooglopende afrit, wat juist tot extra CO₂-emissies zal leiden.

Met behulp van de kinetische energie van een rijdend voertuig en de potentiële van een verticale verplaatsing (hoger gelegen stations), kunnen we berekenen welke hoogte er nodig is om de energie van een bepaalde snelheid 'op te slaan' in potentiële energie. Tabel 6 geeft een overzicht. Hoogteverschillen van meer dan 10 meter zullen in de praktijk vrijwel nooit haalbaar zijn. Dit betekent dat met deze maatregel snelheden de energie tot maximaal 50 km/u kan worden opgeslagen.

Tabel 6 Benodigd hoogteverschil om energie van verschillende snelheden op te slaan

Snelheid in km/u	Hoogteverschil in m
100	39
70	19
50	10
40	6,3
30	3,5
20	1,6

Haalbaarheid van deze maatregelen is sterk locatiegebonden. Op- en afritten van de snelweg moeten aansluiten op het onderliggend wegennet. Voor treinen moet rekening gehouden worden met de beperkte hellingshoek waar treinen tegenop kunnen rijden. De maatregel zal alleen toegepast kunnen worden bij nieuwe infrastructuur. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met tal van aspecten, energiebesparing zal dan ook slechts een klein aandeel hebben in de besluitvorming omtrent het ontwerp. Deze maatregel is wel reeds bekend bij Rijkswaterstaat en zal dan ook waar mogelijk al toegepast worden.

5.4.5 Aanpassing spanning bovenleidingen

Op het grootste gedeelte van de bovenleiding in Nederland staat officieel een voltage van 1,5 kV gelijkstroom, in de praktijk is de spanning iets hoger (1,7/1,8 kV). Momenteel is dit hoog genoeg om aan de vraag van het treinenpark in Nederland te voldoen. In 2012 zal opnieuw bekeken worden of deze spanning afdoende is om in de toekomst aan de vraag te blijven voldoen.

Door het aanpassen van de bovenleiding zou wellicht milieuwinst te behalen zijn. Een mogelijkheid is de bovenleidingspanning te verhogen. Hierdoor wordt de stroom lager en treden minder netverliezen op. Dit heeft als bijkomend voordeel dat de capaciteit van de bovenleiding verhoogd wordt waardoor zwaardere treinen kunnen rijden. Nadeel hiervan is dat alle onderstations (zo'n 250 stations) zullen moeten worden vervangen. Dit is een erg kostbare ingreep: de kosten kunnen in de honderden miljoenen lopen. Ook zal de maatregel veel overlast opleveren. Tenslotte zullen ook aandrijfsystemen van treinen moeten worden aangepast aan de hogere spanning.



Een andere mogelijkheid is een overstap van gelijkspanning naar wisselspanning. Voordeel hiervan is dat het mogelijk is remenergie terug te voeren naar het net. Bij gelijkspanning is het terugwinnen van remenergie slechts mogelijk wanneer dit gelijk afgegeven kan worden aan een trein in de directe nabijheid. Dit wordt al wel toegepast. De trein zelf kan bij gelijkspanning de teruggewonnen remenergie alleen weer gebruiken wanneer opslagsystemen op de trein of in de infrastructuur worden toegepast, maar dit is erg duur. Uit een businesscase blijkt dat de opbrengst erg klein is. Slechts 1% van de gebruikte energie kan worden teruggeleverd aan het net (dit getal geldt voor gelijkspanning). De overgang naar wisselspanning vraagt om aanpassing van rijdend materieel. (Bron: Persoonlijke communicatie Dhr. F. ten Harve, ProRail en Dhr. P. van Gemert, Railion).

5.4.6 Selectie van maatregelen

Tabel 7 geeft een overzicht van hoe de maatregelen ter reductie van het energiegebruik van voertuigen scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid.

Tabel 7 Overzicht van hoe maatregelen ter reductie van het energiegebruik van voertuigen scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid

	Maatregel	CO ₂ -reductie	Draagvlak	Haalbaarheid
18	Wegen overkappen of slimme windschermen	?	+	?
19	Energiezuinig asfalt	+	++	?
20	Voertuiggeleiding op doelgroepstroken	+	+	-
21	Treinstations hoger leggen	++	++	-
22	Opritten omlaag; afritten omhoog	+	++	-
23	Aanpassen spanning bovenleidingen	+	+	++

++ = groot, + = aanwezig, - = niet aanwezig, ? = onbekend of situatie afhankelijk.

Van bovenstaande maatregelen wordt energiezuinig asfalt nader onderzocht. De overige maatregelen zijn, ondanks dat zij een bijdrage kunnen leveren aan CO₂-reductie in het verkeer, niet geselecteerd. Reden hiervoor is dat effecten lastig te kwantificeren zijn of dat het draagvlak en haalbaarheid laag zijn. Maatregel 22 wordt volgens Rijkswaterstaat waar mogelijk momenteel al toegepast.

5.5 Overige maatregelen

Een aantal maatregelen valt niet onder de hierboven genoemde categorieën, zij worden hier stuk voor stuk besproken.

5.5.1 Elektrificeren van het spoor

Elektrische treinen stoten over de gehele keten minder CO₂ uit dan dieseltreinen. Een overstap naar elektrische aandrijving is vanuit dat oogpunt dan ook gewenst. De inzet van elektrische treinen is echter niet altijd mogelijk omdat niet alle spoortrajecten uitgerust zijn met een bovenleiding. Wanneer op een deel van een traject geen bovenleiding aanwezig is, wordt op het gehele traject noodgedwongen een dieseltrein ingezet. Dit om te voorkomen dat halverwege de locomotieven moeten worden verwisseld. In Nederland is vooral in het Oosten en Noorden nog op een aantal trajecten geen bovenleiding aanwezig.

Ook in veel terminals is geen bovenleiding aanwezig. Hierdoor moeten treinen met diesellocs het terrein op worden geparkeerd. Omdat het verwisselen van locs tijd kost en er daarnaast ook altijd twee typen locs aanwezig moeten zijn rijden veel treinen door met de diesellocs.

5.5.2 Aanpassen infrastructuur voor LZV's

Langere en zwaardere vrachtautocombinaties kunnen meer goederen tegelijkertijd vervoeren en zijn daarmee efficiënter en dus zuiniger dan andere vrachtauto's. Uit een eerste proef van Rijkswaterstaat blijkt dat tot 33% brandstof kan worden bespaard door de inzet van LZV's en dat deze voertuigen niet leiden tot een lagere verkeersveiligheid. Niet alle Nederlandse wegen zijn echter geschikt voor deze voertuigen. Het aanpassen van infrastructuur zou eventueel bij kunnen dragen aan een bredere inzet van LZV's en daarmee aan CO₂-emissiereductie in het verkeer.

Momenteel vormt de infrastructuur van het hoofdwegennet geen belemmering voor LZV's, met uitzondering van slechts enkele kunstwerken met een 40 tons beperking. Het CROW heeft voor het onderliggend wegennet een advieslijst opgesteld waarin situaties beschreven worden waarin LZV's kunnen worden toegelaten. De beslissing omtrent toelating ligt echter bij de wegbeheerder (gemeenten, waterschappen en provincies). Per situatie wordt gekeken of de weg geschikt is voor LZV's. Reden voor het niet toelaten van deze voertuigen kan hierbij zijn dat er landbouwverkeer op de weg rijdt, dat er een oversteekplaats voor fietsers is, dat er geen inhaalverbod op de weg geldt of dat de rotondes er te klein zijn. Het is echter niet zo dat LZV's worden geweigerd omdat zij schade aanrichten aan bestaande infrastructuur.

In enkele gevallen kan het aanpassen van infrastructuur (fietserstunnel of grotere rotondes) bijdragen aan het toelaten van LZV's. De haalbaarheid en wenselijkheid zal echter sterk afhangen van de situatie en de lokale omstandigheden.

Bij aanleg van nieuwe of modernisering van bestaande bedrijventerreinen kan wel al rekening worden gehouden met LZV's of multimodaal (personen)vervoer.



5.5.3 Meer opstelpunten treinen

Doordat treinen 's nachts vaak niet gestald kunnen worden rijden zij leeg terug naar een opstelpunt. Met het realiseren van meer opstelpunten kan dit leegrijden voorkomen worden. Om het potentieel van deze maatregel te bepalen moet worden onderzocht hoeveel treinen lege ritten maken en hoeveel punten gerealiseerd moeten worden om deze treinen te stallen. De aanleg van nieuw spoor is erg duur. Daarnaast is er geen onderzoek beschikbaar naar de mogelijkheden voor en effecten van deze maatregel.

5.5.4 Beplanting op geluidschermen

Langs spoor en weg zijn vele kale geluidschermen te vinden. Deze schermen zouden kunnen worden gebruikt als ondergrond voor beplanting waarmee infrastructuur bijdraagt aan het vastleggen van CO₂. Snoeisel van deze begroeiing kan worden toegepast om groene energie op te wekken. De begroeiing vraagt daarmee echter wel onderhoud, wat uit veiligheidsoverwegingen niet gewenst is aan de rand van de snelweg. Ook het nestelen van dieren in de beplanting leidt tot een verslechterde verkeersveiligheid.

5.5.5 Energie uit infrastructuur

Infrastructuur en bijbehorende klaverbladen, bermen, e.d. beslaan een fors aantal vierkante kilometers. Dit oppervlak wordt slechts ten dele gebruikt door verkeer. Het overige deel bestaat uit wegbermen en taluds die vanwege verkeersveiligheid en luchtkwaliteit onbenut blijven. Het oppervlak kan echter nuttiger gebruikt worden bijv. voor het opwekken van energie. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden, namelijk:

- *Zonnecellen*: Deze worden in Nederland op verschillende plekken toegepast. Er zijn autonome systemen die stroom leveren aan *stand-alone* apparatuur waarvoor netkoppeling te duur is. Daarnaast kunnen zonnepanelen worden verwerkt in schermen en overkappingen waar zij energie aan het net kunnen leveren.
- *Warmtewinning uit asfalt*: In de zomer wordt asfalt erg warm, deze warmte kan worden onttrokken door een vloeistof door het asfalt te pompen. De warmte kan vervolgens worden opgeslagen om in de winter het wegdek op te warmen of kan worden gebruikt voor de verwarming van huizen en kantoren. In Nederland is een beperkt aantal projecten met deze techniek uitgevoerd.
- *Energie uit biomassa*: Jaarlijks komt er een grote hoeveelheid bermgras vrij bij Rijkswaterstaat. Deze biomassa kan gebruikt worden bij de opwekking van groene stroom of kan verwerkt worden in biobrandstoffen. Er kunnen andere (sneller groeiende) gewassen worden geplant om de opbrengst te vergroten.
- *Windenergie*: Winning van energie uit wind wordt in Nederland op grote schaal toegepast. De grote windturbines zijn echter niet geschikt voor plaatsing heel dicht langs wegen. Daarom wordt gebruik gemaakt van kleinere windturbines. Een andere methode is het aanwenden van rijwind door het plaatsen van molens vlak naast of boven de weg. Ook voor windenergie geldt dat het systeem zowel autonoom als gekoppeld aan het net kan worden toegepast.

Tabel 8 geeft de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende technieken (ECN, 2007).

Tabel 8 Voor- en nadelen van verschillende systemen waarbij infrastructuur wordt gecombineerd met energiewinning

	Voordelen	Nadelen
Zonnecellen	<ul style="list-style-type: none"> - Techniek heeft zich reeds bewezen. - Hoog potentieel. - Kunnen makkelijk geïntegreerd worden in bestaande systemen (geluidschermen). 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge investeringskosten - Opbrengst afhankelijk van het weer. - Locaties soms moeilijk bereikbaar voor technisch onderhoud.
Warmtewinning	<ul style="list-style-type: none"> - Asfalt wordt gekoeld wat bijdraagt aan een langere levensduur van het wegdek. - Hoog potentieel. - Verwarming van het wegdek in de winter draagt bij aan hogere verkeersveiligheid en langere levensduur van het wegdek. 	<ul style="list-style-type: none"> - Energie komt vrij in de vorm van warmte en kan alleen in de nabije omgeving worden afgezet. Omzetting naar elektriciteit heeft erg lage rendementen. - Is alleen realistisch wanneer het bij de aanleg direct geïntegreerd wordt. - Het grote aantal betrokken partijen maakt implementatie lastig (wegbeheerder, energiemaatschappij, woningbouwcorporatie, aannemer).
Biomassa	<ul style="list-style-type: none"> - Hoog potentieel. - Bewezen techniek. - Lage investering (bij bestaande centrale). 	<ul style="list-style-type: none"> - Potentieel is erg versnipperd. - Maaien kan overlast geven en bijdragen aan verminderde verkeersveiligheid. - Hoge begroeiing vermindert het zicht en trekt beesten aan.
Windturbines	<ul style="list-style-type: none"> - Hoog potentieel - (Deels) bewezen techniek. - Lage investering. - Kan geïntegreerd worden in bestaande systemen (onbenutte bermen en tussenbermen). 	<ul style="list-style-type: none"> - Grote turbines hebben mogelijk een negatieve invloed op de verkeersveiligheid. - Kleine turbines zijn nog niet uitontwikkeld, en de prestaties van deze systemen moeten nog bewezen worden. - Het winnen van rijwind leidt tot een hogere luchtweerstand waardoor het brandstofverbruik van voertuigen toeneemt.

Energie uit infrastructuur lijkt een maatregel die zeker bij kan dragen aan CO₂-reductie. De haalbaarheid, kosten en rendement zijn sterk afhankelijk van locatie en techniek.

5.5.6 Wisselverwarming op aardwarmte

Door lage temperaturen in de winter kunnen spoorwissels vast komen te zitten. Zij worden dan ook plaatselijk verwarmd. Momenteel gebeurt dit met gasbranders. Het is echter mogelijk hiervoor duurzame energie in de vorm van aardwarmte te gebruiken, waardoor de CO₂-emissies dalen. Deze maatregel zal het meest rendabel zijn bij voldoende grote warmtevraag, dus mogelijk alleen bij stations en emplacementen waar veel wissels verwarmd moeten.



5.5.7 Selectie van maatregelen

Tabel 9 geeft een overzicht van hoe de overige maatregelen scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid.

Tabel 9 Overzicht van hoe de overige maatregelen scoren op CO₂-reductie, draagvlak en haalbaarheid

	Maatregel	CO ₂ -reductie	Draagvlak	Haalbaarheid
24	Elektrificeren van het spoor	++	+	+
25	Wegen aanpassen voor LZV's	++	-	+
26	Meer opstelpunten treinen	?	?	+
27	Bepanting op geluidschermen	+	-	-
28	Energie uit infrastructuur	+	+	+
29	Wisselverwarming uit aardwarmte	+	+	?

++ = groot, + = aanwezig, - = niet aanwezig, ? = onbekend of situatie afhankelijk.

Van deze maatregelen worden het elektrificeren van het spoor en energie uit infrastructuur en wisselverwarming uit aardwarmte meegenomen in de verdere analyse. Reden hiervoor is dat zij een hoog potentieel hebben. De overige maatregelen kunnen ook bijdragen aan CO₂-reductie in het verkeer, maar hebben een lager draagvlak of een lagere haalbaarheid.



6 Diepere analyse van geselecteerde maatregelen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de volgende maatregelen nader geanalyseerd:

- P+R-locaties en transferia (omdat deze maatregelen grote overeenkomsten vertonen worden zij hier samen geanalyseerd; in paragraaf 6.2);
- verbetering fietsinfrastructuur (paragraaf 6.3);
- energiezuinig asfalt (paragraaf 6.4);
- elektrificeren van het spoor (paragraaf 6.5);
- wisselverwarming uit aardwarmte (paragraaf 6.6);
- energie uit infrastructuur (paragraaf 6.7).

Van iedere maatregel wordt eerst een toelichting gegeven wat de maatregel inhoudt en hoe de maatregel zou kunnen worden toegepast. Vervolgens worden per maatregel de volgende effecten besproken:

- verkeerseffecten;
- effect op CO₂-emissies;
- kosten;
- draagvlak;
- haalbaarheid;
- bijkomende effecten.

6.2 P+R-locaties en transferia

6.2.1 Toelichting op de maatregel

Het doel van zowel P+R-locaties als transferia is het stimuleren van het gebruik van het openbaar vervoer door de aansluiting van de auto en het collectief personenvervoer op elkaar te verbeteren. Bij P+R-locaties wordt dit gerealiseerd door parkeerterreinen of -garages te openen in de nabijheid van trein- of busstations, waar mensen hun auto kunnen parkeren om vervolgens verder te reizen met collectief personenvervoer. Op deze manier wordt de auto dichterbij het openbaar vervoer gebracht. Transferia zijn er daarentegen vooral op gericht om het openbaar vervoer dichterbij de auto te brengen. Door aan de rand van de stad transferia te bouwen wordt getracht automobilisten een goed alternatief te bieden om naar de binnenstad te reizen.

6.2.2 Verkeerseffecten

P+R-locaties en transferia hebben op drie manieren invloed op het verkeer:

- *Substitutie van verkeer van de auto naar het OV*
De P+R-locaties en transferia maken het gebruik van het openbaar vervoer aantrekkelijker. Hierdoor zal dan ook een substitutie optreden van de auto naar het OV, waardoor het totale aantal voertuigkilometers afneemt.

- *Extra verplaatsingen (reboundeffect)*
De P+R-voorzieningen en transferia vergroten de transportmogelijkheden van mensen. Het gevolg daarvan kan zijn dat mensen verplaatsingen gaan maken die ze niet gemaakt hadden zonder deze voorzieningen. Het totale aantal voertuigkilometers neemt hierdoor toe.
- *Meer gebruik van de auto door OV-gebruikers in het voor- en natransport (reboundeffect)*
Doordat de aansluiting van de auto op het OV verbetert door de aanleg van P+R-terreinen en/of transferia zullen OV-gebruikers in het voor- en natransport vaker gebruik gaan maken van de auto i.p.v. de fiets of het OV. Het totale aantal voertuigkilometers neemt hierdoor toe.

De totale verkeerseffecten blijken in de praktijk sterk te verschillen tussen de verschillende P+R-terreinen en transferia. Illustratief hiervoor zijn de resultaten van een evaluatiestudie van MuConsult (2000), waarbij de verkeerseffecten van verschillende P+R-terreinen en transferia in Nederland in kaart zijn gebracht. In Tabel 10 en Tabel 11 zijn de veranderingen in autokilometrage per gebruiker weergegeven voor respectievelijk P+R-terreinen en transferia. Daarbij is onderscheid gemaakt naar drie verschillende verkeerseffecten, zoals hierboven gedefinieerd. Bovendien is aangegeven bij welk deel van de gebruikers van P+R-terreinen en transferia de desbetreffende effecten optreden. In Tabel 12 zijn tenslotte ook de totale effecten op de autokilometrages weergegeven.

Tabel 10 Gemiddelde verandering in autokilometrage per gebruiker van een P+R-terrein, onderverdeeld naar verschillende gedragsreactie

	Rotterdam	Zaltbommel	Groningen	Utrecht
Overstap van de auto naar het OV				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat is overgestapt van de auto naar het OV	44%	25%	57%	54%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	-5,1	- 40,1	- 4,8	- 3,1
Extra verplaatsingen				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat extra verplaatsingen uitvoert	15%	13%	16%	22%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	6,8	7,5	32,9	16,1
Meer gebruik van de auto door OV-gebruikers				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat meer gebruik maakt van de auto in voor- en natransport	10%	0%	3%	2%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	7,0	-	25,0	30,0
Totaal effect				
Gemiddelde verandering in km's	-0,5	-9,1	+3,3	+ 2,5

Bron: MuConsult (2000).



Tabel 11 Gemiddelde verandering in autokilometrage per gebruiker van transferia, onderverdeeld naar verschillende gedragsreactie

	Amsterdam	Hoorn	Groningen	Overig ⁸
Overstap van de auto naar het OV				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat is overgestapt van de auto naar het OV	64%	21%	61%	68%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	-4,5	-45,9	-7,4	-10,5
Extra verplaatsingen				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat extra verplaatsingen uitvoert	8%	26%	14%	18%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	66,3	9,1	6,0	15,5
Meer gebruik van de auto door OV-gebruikers				
% van gebruikers van de P+R-terreinen dat meer gebruik maakt van de auto in voor- en natransport	3%	2%	0%	6%
Verandering in autokilometers per gebruiker per bezoek P+R	44,0	18,3	-	12,9
Totaal effect				
Gemiddelde verandering in km's	9,5	- 6,9	-3,7	-3,6

Bron: MuConsult (2000).

Tabel 12 Verandering in het totale autokilometrage per jaar

Locatie	Verandering in het totale autokilometrage per jaar (mln. km's)
P+R-terreinen	
Rotterdam	-0,1
Zaltbommel	-0,4
Groningen	+0,4
Utrecht	+0,3
Transferia	
Amsterdam	+1,5
Hoorn	-1,1
Groningen	-0,1
Overig	-0,2

Bron: MuConsult (2000), bewerking CE Delft.

Noot: MuConsult (2000) presenteert veranderingen in autokilometrage per werkdag. Door CE Delft is dit omgerekend naar jaartotalen, daarbij uitgaande van 261 werkdagen per jaar. Voor de weekenddagen is aangenomen dat de verkeerseffecten 35% van de effecten op de werkdagen bedragen.

Tabel 11 en Tabel 12 laten duidelijk zien dat er sterke verschillen bestaan in de verkeerseffecten tussen de verschillende locaties. Zo neemt het gemiddelde autokilometrage per gebruiker af voor het transferia in Hoorn en Groningen, en de P+R-terreinen in Rotterdam en Zaltbommel. Daar staat tegenover dat het gemiddelde autokilometrage per gebruiker toeneemt bij het transferium in Amsterdam en de P+R-terreinen in Groningen en Utrecht. Voor deze locaties zijn de rebound effecten dus groter dan het beoogde effect.

⁸ Utrecht Westvliet, Arnhem Gelredome, Leiden 't Schouw en Ridderkerk.

De grote verschillen in verkeerseffecten tussen de verschillende locaties wijzen erop dat lokale factoren een belangrijke invloed hebben op de verkeerseffecten van P+R-terreinen en transferia. MuConsult (2000) noemt hierbij de volgende factoren:

- *Flankerend beleid:* Wanneer er goed flankerend beleid wordt gevoerd, bijvoorbeeld parkeerbeleid of een kilometerprijs, kan de effectiviteit van P+R-terreinen en transferia worden versterkt.
- *Positieve publiciteit:* Uit onderzoek blijkt dat het gebruik van P+R-terreinen en transferia, en daarmee ook de verkeerseffecten, toenemen wanneer er veel positieve publiciteit is voor deze voorzieningen.
- *Locatie:* De locatiekeuze van een transferium of P+R-terrein kan van grote invloed zijn op de verkeerseffecten die gerealiseerd worden. Zo is het transferium Amsterdam Arena zo gelegen dat automobilisten vaak in de dagelijkse file staan om er te kunnen komen. Door de locatie van dit transferium zo te kiezen dat mensen reeds voor de file over kunnen stappen op het openbaar vervoer kan het gebruik en daarmee de effectiviteit van het transferium worden verbeterd.
- *Hoogwaardig openbaar vervoer vanaf het transferium of P+R-terrein;* goede OV-verbindingen met korte wachttijden maken het gebruik van de transferia en P+R-voorzieningen aantrekkelijker. Ook aantrekkelijke tarieven (zowel voor het parkeren als het gebruik van het OV) kunnen het gebruik van deze voorzieningen stimuleren.

Tot nu ligt bij transferia de nadruk op OV, terwijl hierbij ook gedacht kan worden aan andere vormen van collectief personenvervoer, zoals touringcars. De effecten hiervan zijn echter onbekend omdat hier tot nu toe geen ervaring mee is opgedaan.

Bij aanleg van nieuwe of modernisering van bestaande bedrijventerreinen of woonwijken kan rekening worden gehouden met voorzieningen voor multimodaal (personen)vervoer.



6.2.3 Effect op CO₂-emissies

De veranderingen in autokilometrages hebben rechtstreeks invloed op de CO₂-emissies. In Tabel 13 zijn de totale veranderingen in jaarlijkse autoveranderingen uit Tabel 12 doorvertaald naar de veranderingen in jaarlijkse CO₂-emissies.

Tabel 13 Veranderingen in CO₂-emissies per jaar

Locatie	Verandering in jaarlijkse CO ₂ -emissies (kton)
P+R-terreinen	
Rotterdam	- 0,02
Zaltbommel	-0,08
Groningen	0,09
Utrecht	0,07
Transferia	
Amsterdam	0,35
Hoorn	-0,26
Groningen	-0,03
Overig	-0,04

Noot: Bij de berekening van de CO₂-emissies is gebruik gemaakt van emissiefactoren voor personenauto's uit CE Delft (2008a). Er is hierbij aangenomen dat de extra vraag naar OV geen extra inzet van OV vereist. Vooral bij de transferia zorgt dit waarschijnlijk voor een overschatting van de CO₂-effecten.

Evenals bij de verkeerseffecten zien we grote verschillen tussen de verschillende locaties. De CO₂-emissies nemen in Amsterdam dankzij de transferia bijvoorbeeld toe met 0,35 kton, terwijl de CO₂-emissies in Hoorn dankzij het transferium met 0,26 kton afnemen.

Concluderend kunnen we stellen dat P+R-terreinen en transferia bij kunnen dragen aan de reductie van CO₂-emissies, maar dat dit wel sterk afhankelijk is van lokale factoren. Bij de planning en het ontwerp van deze voorzieningen dient dan ook goed nagedacht te worden over de vraag op welke manieren er voor gezorgd kan worden dat de reboundeffecten het beoogde effect niet overstemmen. Een zorgvuldige locatiekeuze en flankerend beleid lijken daarbij onmisbaar.

Om een indicatie van het maximale potentieel voor heel Nederland te berekenen, hebben we het aantal locaties waarbij besparing zou kunnen worden gerealiseerd nodig. We schatten dat in de orde van 100 à 300 locaties. Als per locatie gemiddeld een CO₂-reductie van 0,1 kiloton worden gehaald, dan is het totale reductiepotentieel 10 to 30 kiloton.

6.2.4 Kosten

CROW (2006) geeft een vrij gedetailleerde inschatting van de kosten van een P+R-terrein met 100 parkeerplaatsen en een transferium (zowel boven- als ondergronds) met 300 parkeerplaatsen. Deze kosteninschattingen zijn (in geaggregeerde vorm) weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14 Kosten van P+R-terreinen en transferia

	P+R-terrein (100 plaatsen)	Bovengronds transferium (300 plaatsen)	Ondergronds transferium (300 plaatsen)
Bouwkosten	€ 166.500	€ 5.000.000	€ 9.000.000
Vastgoedkosten	€ 400.000	€ 360.000	-
Engineering	€ 20.000	€ 600.000	€ 1.100.000
Bijkomende kosten	€ 3.500	€ 100.000	€ 185.000
Onvoorzien	€ 59.000	-	-
Totaal	€ 649.000	€ 6.060.000	€ 10.285.000

De omvang van de kosten van P+R-terreinen en transferia zijn sterk afhankelijk van het aantal parkeerplaatsen en van locatiespecifieke factoren: een verdubbeling van de omvang van het P+R-terrein leidt ongeveer tot dubbel zo hoge kosten. Bij de locatiespecifieke factoren is met name de grondprijs van belang, die voor een belangrijk deel de vastgoedkosten bepaald. In de berekeningen die door CROW is uitgegaan van een grondprijs van € 200 per m². Wanneer daarentegen bijvoorbeeld wordt uitgegaan van een grondprijs van € 150 per m² dan dalen de kosten voor een P+R-terrein met 17%.

6.2.5 Draagvlak

We verwachten dat er over het algemeen een groot draagvlak bestaat voor betere P+R-voorzieningen en transferia.

6.2.6 Haalbaarheid

Deze maatregelen zijn beiden technisch haalbaar, maar uiteraard wel afhankelijk van de lokale inpasbaarheid.

6.2.7 Bijkomende effecten

De effecten van P+R-terreinen en transferia op de lokale luchtkwaliteit en geluidsoverlast zijn in de eerste plaats sterk afhankelijk van de lokale verkeers-effecten van deze voorzieningen. Een groei van het verkeer zal overall een negatieve invloed hebben op de totale luchtvervuilende emissies en geluidsemissies. Echter, de verschuivingen in verkeersstromen kunnen op andere locaties wel leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit en de geluidsoverlast. Vooral wanneer deze maatregel leidt tot minder verkeer in de binnenstad (bij transferia) kan dit een belangrijk positief neveneffect vormen, met name ook omdat de luchtkwaliteitsproblemen en geluidsoverlast zich vaak voordoen in de binnenstad. Tegenover deze verbeteringen in de binnenstad, staat een eventuele verslechtering van de luchtkwaliteit en de geluidsoverlast in de buurt van de P+R- en transferiaterreinen.

P+R-terreinen en transferia kunnen ook een positief effect hebben op de bereikbaarheid van de binnenstad. Wanneer deze voorzieningen leiden tot minder autokilometers (met name richting binnenstad), dan kan dit resulteren in een verbetering van de bereikbaarheid.



Tot slot kunnen P+R-voorzieningen en transferia ook een effect hebben op de verkeersveiligheid. Ook hierbij zijn de effecten weer sterk afhankelijk van de invloed die de P+R-voorzieningen en transferia hebben op de lokale omvang en samenstelling van de verkeersstromen. Een daling van de verkeersomvang leidt bijvoorbeeld tot een verbetering van de verkeersveiligheid. Ook een eventuele afname van het fietsverkeer (als gevolg van het effect dat mensen, door de P+R-voorzieningen en transferia, in het vervoer van het OV meer gebruik gaan maken van de auto en minder van de fiets) kan bijdragen aan een verbetering van de verkeersveiligheid. Fietsers vormen namelijk een zeer kwetsbare groep verkeersdeelnemers.

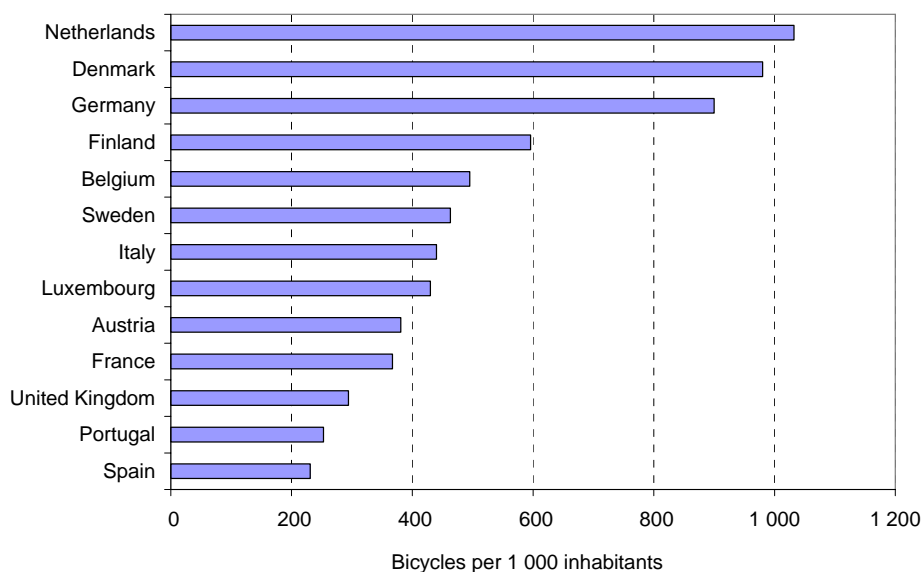
6.3 Verbetering fietsinfrastructuur

6.3.1 Toelichting op de maatregel

Fietsen is in Nederland een belangrijke vervoerswijze. Als enige land in Europa is in Nederland het aantal fietsen groter dan het aantal inwoners (zie Figuur 8). Ook het aandeel in het aantal reizen is in Nederland veel hoger dan in andere landen, zoals blijkt uit Figuur 9 (voor 2004). In 2007 was 26% van het aantal verplaatsingen in Nederland met de fiets. Door de in verhouding lage gemiddelde snelheid was het aandeel in de afgelegde afstand veel lager: 8%. Het aandeel in de totale reistijd was 18% (CBS, 2008).

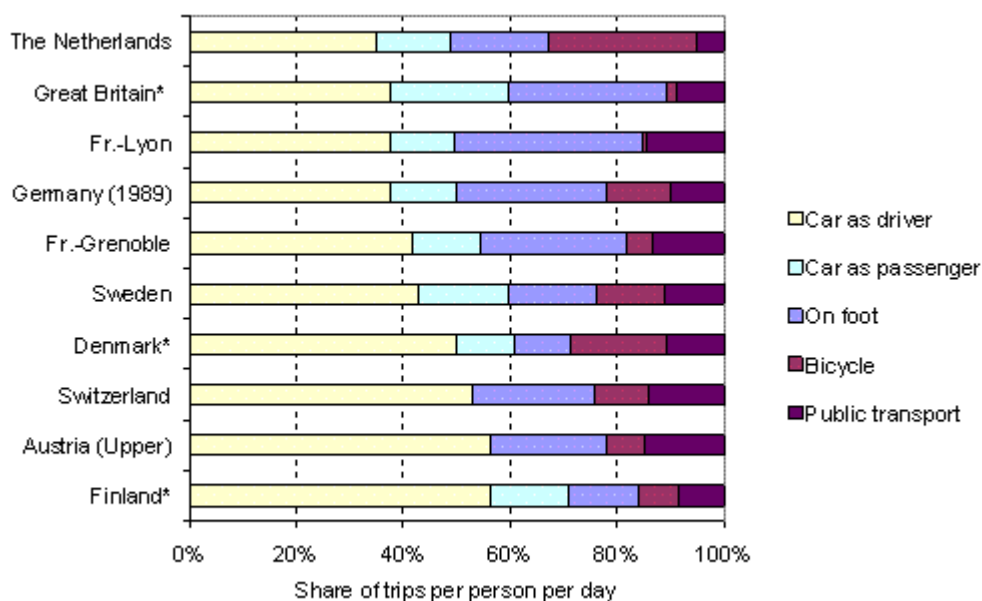
Van alle verplaatsingen over korte afstand is het aandeel van de fiets nog hoger dan gemiddeld: tot 7,5 km wordt ca. een derde van de reizen met de fiets gemaakt, evenveel als met de auto. Het aandeel van de fiets in de totale reistijd en afgelegde afstand is eveneens ongeveer een derde van het totaal voor alle reizen tot 7,5 km (CBS, 2008).

Figuur 8 Fietsbezit in verschillende Europese landen vergeleken



Bron: Van Essen en Kortmann (2005).

Figuur 9 *Modal split* personenvervoer verschillende Europese landen



Bron: Van Essen en Kortmann (2005).

Het fietsgebruik verschilt enorm per gemeente. Tabel 15 toont het aandeel van de fiets in het totale aantal verplaatsingen voor verschillende gemeenten in Nederland.

Tabel 15 Aandeel van de verplaatsingen per fiets in een aantal Nederlandse gemeenten in 2004-2006.

Gemeente	Aandeel in de <i>modal split</i> van personenverkeer	
	Fiets	Auto
Goes	51%	33%
Zwolle	49%	28%
Woerden	48%	26%
Schagen	47%	26%
Harderwijk	47%	30%
Veenendaal	46%	35%
Borne	46%	29%
Culemborg	46%	36%
Groningen	45%	22%
Leeuwarden	45%	31%
Leiden	45%	22%
<i>Nederland - gemiddelde</i>	35%	36%
Zoetermeer	26%	42%
Best	26%	42%
Barendrecht	25%	46%
Nieuwerkerk a/d IJssel	25%	47%
Rotterdam	24%	30%
Krimpen a/d IJssel	24%	43%
Diemen	24%	32%
Rijswijk	24%	40%
Lelystad	23%	46%
Papendrecht	21%	45%
Heerlen	13%	50%

Bron: KiM (2007).



De verschillen tussen gemeenten hebben te maken met verschillen in ruimtelijke indeling, hoogteverschillen en samenstelling van de bevolking. Zo kan het lage fietsgebruik in Zuidoost-Limburg grotendeels worden verklaard doordat het hier een heuvelachtige gebied betreft. Ook tussen andere steden van vergelijkbare grootte verschilt het fietsgebruik enorm: tot een factor twee. Hierbij spelen naar verwachting ook andere factoren een rol welke (ten dele) beïnvloedbaar zijn met verkeersbeleid.

Verschillende onderzoeken tonen aan dat er ook een verband bestaat tussen de fietsvriendelijkheid van een stad en het aandeel van de fiets in de *modal split*. Dit verband hoeft in theorie niet noodzakelijk een oorzakelijk verband te zijn. In dit geval is echter aannemelijk gemaakt dat een hoger aandeel in de *modal split* wel degelijk (mede) beïnvloed wordt door de mate waarin de stad fietsvriendelijk is.

Zo toonden Rietveld en Daniel (2004) aan dat gemeentelijk fietsbeleid een positieve invloed heeft op fietsgebruik. Parkeerkosten en reistijd blijken de twee belangrijkste aangrijpingspunten te zijn. In opdracht van de Fietzersbond en het Fietsberaad is een model ontwikkeld dat de bestaande verschillen in fietsgebruik in verschillende Nederlandse steden goed verklaart (Ververs en Ziegelaar, 2006). In dit model zijn naast parkeertarieven en reistijd ook factoren opgenomen als oppervlakte, het aantal verplaatsingen met het OV en een aantal parameters voor de bevolkingssamenstelling.

Investing in infrastructuur heeft invloed op één van de twee belangrijkste aangrijpingspunten, namelijk de reistijd: de relatieve snelheid van een verplaatsing per fiets vergeleken met de auto. Stimulering van fietsgebruik is met name effectief in grootstedelijke gebieden en voor korte verplaatsingen (tot 7,5 km).

Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om de fietsvriendelijkheid te verbeteren door aanpassingen aan infrastructuur, zoals:

- aanleg en of verbetering van parkeervoorzieningen voor fietsen;
- aanleg van fietspaden of bijv. fietsroutes door woonwijken of stadscentra, bij voorkeur apart van autoverkeer;
- aanleg van fietstunnels;
- afstelling verkeerslichten en aanpassing voorrang op kruisingen en rotondes.

Op de website www.fietssnelwegen.nl staan verschillende voorbeelden van innovatieve fietsinfrastructuur, zoals fietsstraten of fietssnelwegen. Voor effecten op de lange termijn is ook de mate waarin de fiets wordt meegenomen in de ruimtelijke stedelijke planning van belang (VPL-methodiek⁹) van belang. Een voorbeeld waarin de fietsvriendelijkheid op zeer effectieve wijze is meegenomen in de ruimtelijke planning is Houten.

Van veel investeringen in fietsinfrastructuur bestaat het vermoeden dat ze bijdragen aan een verschuiving van de auto naar de fiets, maar een harde

⁹ VPL staat voor VerkeersPrestatie op Locatie en is een methodiek om ervoor te zorgen dat er in de stedelijke planontwikkeling structureel aandacht is voor de effecten van verkeer op de kwaliteit van de leefomgeving.

kwantitatieve onderbouwing daarvoor ontbreekt veelal. De reden hiervoor is dat er over het algemeen geen studies zijn uitgevoerd waarin het effect van specifieke maatregelen is geëvalueerd.

Het Rijk heeft al jarenlang beleid om de fiets te stimuleren. Zo was er in de jaren '90 het Masterplan Fiets, in de Nota Mobiliteit van 2005 het programma Ruimte voor de Fiets en sinds kort het project Fiets filevrij. Ook veel gemeenten hebben fietsbeleid. Zo trekt Amsterdam bijna 70 miljoen Euro uit voor het programma Kiezen voor de fietser, meerjaren beleidsplan 2007-2010 (Gemeente Amsterdam, 2007). Ook een stad als Groningen investeert substantieel (11 miljoen Euro) in fietsbeleid over de periode 2007-2010. Anderzijds zijn er ook gemeenten waarbij fietsbeleid minder hoog op de agenda staat.

Bovenop dit bestaande beleid is er ruimte voor extra investeringen in fietsinfrastructuur. Hierbij kan gedacht worden aan gemeenten waar fietsbeleid tot nu weinig aandacht heeft gehad, maar ook aan innovatieve vormen van infrastructuur en de realisatie van fietsparkeervoorzieningen op plaatsen waar deze lastig te realiseren zijn. Het is binnen de scope van deze studie niet mogelijk om investeringen in fietsinfrastructuur nader te specificeren. In de volgende subparagrafen bespreken we daarom in algemene zin de effecten van investeren in fietsinfrastructuur en niet de effecten specifieke investeringen.

6.3.2 Verkeerseffecten

Investeringen in fietsinfrastructuur zorgen ervoor dat de fietsvriendelijkheid verbetert. De in de literatuur breed gedeelde verwachting is dat dergelijke investeringen daarom een effectief middel om het aandeel van fiets in de *modal split* te vergroten. Deze *modal shift* gaat dan veelal voor een belangrijk deel ten koste van de auto. De precieze verkeerseffecten in de praktijk van een investering in infrastructuur zijn echter onbekend. De verwachting is dat deze effecten afhangen van de lokale omstandigheden als type infrastructurele aanpassing en het huidige aandeel van de fiets. Hierdoor is ook het potentieel van investeringen in fietsinfrastructuur niet te kwantificeren (KiM, 2008).

Infrastructurele maatregelen die de fietsvriendelijkheid verbeteren kunnen zorgen voor betere doorstroming op de weg. Dit effect is echter beperkt in die gevallen wanneer de vrijkomende capaciteit op de weg weer grotendeels wordt ingevuld door autoverkeer dat van buiten de spijstijden en -plaatsen naar de spits verschuift.

6.3.3 Effect op CO₂-emissies

Een verschuiving van andere vervoerswijzen naar de fiets zorgt voor een reductie van CO₂-emissies. Alleen een overstap van niet-gemotoriseerde vervoerswijzen (lopen) naar de fiets veroorzaakt geen CO₂-reductie. De mate waarin emissies worden gereduceerd hangt met name af van de volgende factoren:



- mate waarin het aantal kilometers gemotoriseerd verkeer (in het bijzonder autokilometers) wordt gereduceerd;
- CO₂-emissies van de infrastructurele aanpassingen.

Uitbreiding of aanpassing van fietsinfrastructuur is naar verwachting gemiddeld minder energie-intensief dan een gemiddelde infrastructurele aanpassing voor bijvoorbeeld autoverkeer. Indien de nieuwe fietsinfrastructuur net zo intensief wordt gebruikt als een gemiddelde weg door auto's wordt gebruikt, dan kunnen we op basis van de verhoudingen in Figuur 5 concluderen dat het aandeel van de emissies van de infrastructurele aanpassing veel kleiner is dan die van de uitgespaarde autokilometers.

De CO₂-reductie door een reductie van de autokilometers kan fors oplopen. Iedere autokilometer die wordt bespaard, levert ruim 220 gram CO₂-besparing op (inclusief emissies tijdens brandstofproductie). Voorbeeld: indien door betere fietsinfrastructuur in een stad 1.000 inwoners dagelijks 5 kilometer minder met hun auto rijden, bespaart dat ruim 400 ton CO₂ op jaarbasis.

In CE (2000) is een indicatie gegeven van de grootteorde van een realistisch reductiepotentieel voor heel Nederland. Daarin wordt geconcludeerd dat indien 10% van de autoritten tot 7,5 km met de fiets zou worden gemaakt, jaarlijks 170 ton CO₂ zou worden bespaard. Op basis hiervan schatten we dat een redelijke indicatie van het potentieel van fietsinfrastructuur in de orde van 100 tot 250 kton per jaar ligt.

6.3.4 Kosten

In het nationale programma Ruimte voor de Fiets is 150 miljoen Euro beschikbaar tussen 2007 tot 2010. Zoals eerder vermeld staan ook op gemeentelijke begroting bedragen op de begroting voor verbetering van fietsinfrastructuur, bijvoorbeeld tussen 2007 en 2010: 70 miljoen Euro in gemeente Amsterdam en 11 miljoen Euro in Groningen.

Het is lastig deze kosten te relateren aan maatschappelijke baten van infrastructuur, gezien het ontbreken van cijfers. In het buitenland zijn wel de kosten en baten van fietsinfrastructuur met elkaar te vergelijken. Studies voor Trondheim in Noorwegen laten baten zien die vier tot vijf maal hoger zijn dan de kosten. De belangrijkste baten zijn minder luchtverontreiniging, geluid en CO₂-emissies. Bovendien heeft fietsen belangrijke positieve gezondheidseffecten als gevolg van de lichaamsbeweging van de fietser. Ook andere buitenlandse studies naar fietsen en fietsinfrastructuur laten vrijwel altijd hoge baten zien. Deze getallen zijn echter niet zondermeer toepasbaar op de Nederlandse situatie, vanwege het reeds veel grotere aandeel van de fiets in Nederland. Anderzijds geldt ook in Nederland dat er geen noemenswaardige reboundeffecten bestaan.

6.3.5 Draagvlak

Het draagvlak voor investeringen in fietsinfrastructuur zal naar verwachting groot zijn. Met name voor verbeterde fietsstallingen, snellere fietsverbindingen en ontvlechten van fiets en gemotoriseerd verkeer zal over het algemeen veel draagvlak bestaan.

6.3.6 Haalbaarheid

Er zijn weinig technische of organisatorische belemmeringen voor meer investeringen in fietsinfrastructuur. Een belangrijk obstakel is onvoldoende inzicht in de precieze verkeerseffecten van specifieke maatregelen. Ook ontbreekt het aan inzicht het overall potentieel van meer investeren in fietsinfrastructuur.

6.3.7 Bijkomende effecten

Investeren in fietsinfrastructuur kent naast CO₂-reductie, een groot aantal positieve neveneffecten:

- minder luchtverontreiniging;
- minder verkeerslawaaï;
- belangrijke positieve gezondheidseffecten als gevolg van de lichaamsbeweging van de fietser;
- reductie van congestie en parkeerproblemen.

De mate waarin deze effecten optreden is nauw verbonden met de mate waarin de maatregel een reductie van autokilometer tot gevolg heeft.

6.4 Energiezuinig asfalt

Op een glad wegdek (met een lage rolweerstand) kost het minder energie om vooruit te komen dan op een stroef wegdek. Een auto gebruikt dan ook minder brandstof op een gladde weg dan wanneer hij op een stoeve weg rijdt. Vanwege de verkeersveiligheid is het echter belangrijk dat er voldoende grip op het wegdek is en dat men bij remmen binnen een korte afstand tot stilstand kan komen.

Er wordt gewerkt aan verschillende vormen van innovatief asfalt. Deze innovaties worden vooral ingestoken vanuit geluidsproblematiek, de weg heeft door de asfaltlaag een dempende werking op het verkeersgeluid.

6.4.1 Verkeerseffecten

Energiezuinig asfalt heeft geen effecten op het verkeer, het is een maatregel waarmee het verkeersbeeld niet verandert.

6.4.2 Effect op CO₂-emissies

De insteek bij innovatief asfalt is dat voertuigen minder energie gebruiken doordat de weerstand van het wegdek lager is. Hierdoor verbruiken voertuigen minder brandstof en stoten zij dus minder CO₂ uit.



Het Innovatieprogramma geluid van het ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft in samenwerking met een aantal andere partijen onderzocht of zogenaamde stille wegdekken ook energiezuinige wegdekken zijn. Zij hebben verschillende typen wegdek in Nederland en Duitsland getest. Ondanks dat de resultaten lieten zien dat het energiegebruik van een benzineauto behoorlijk varieerden, is niet aangetoond dat de wegdekken tot een energiebesparing leiden omdat de testprojecten niet hebben geleid tot een statistisch significant resultaat.

In deze proefprojecten is het eerder genoemde Modieslab niet getest. De producent van dit wegdek geeft echter aan dat een energiebesparend effect verwacht wordt. Proefprojecten zullen uit moeten wijzen hoe groot het daadwerkelijke effect van dit wegdek is.

6.4.3 Kosten

Over de kosten van innovatieve wegdekken kan in het algemeen weinig gezegd worden omdat er veel verschillende concepten bestaan die ieder een eigen prijskaartje hebben. Hier zal worden ingegaan op de kosten van Modieslab.

Het Innovatie Programma Geluid heeft een kosteneffectiviteitanalyse uitgevoerd voor een situatie waarin een 2x2-weg verbreed wordt naar een 4x4-weg. Een kostenvergelijking is gemaakt tussen een traditioneel wegdek en een variant waarbij Modieslab wordt toegepast. Uit de vergelijking blijkt dat de kosten van beide varianten in dezelfde orde van grootte liggen.

Hierbij is geen rekening gehouden met de verwachte voordelen van Modieslab zoals snellere aanleg en vervanging van het wegdek, mogelijkheden voor het leggen van leidingen in het wegdek waardoor minder onderhoud nodig is. Ook is geen rekening gehouden met kostenreductie als gevolg van opschaling van de productie.

6.4.4 Draagvlak

Het draagvlak voor deze maatregel zal naar verwachting hoog zijn omdat gebruikers er weinig van merken. Een belangrijke voorwaarde hierbij is wel dat het asfalt minstens zo veilig is als conventioneel asfalt en ook het *imago* geen negatief effect op de verkeersveiligheid heeft.

6.4.5 Haalbaarheid

Uit eerste proeven met ModieSlab blijkt dat het wegdek voldoet aan alle eisen waaraan een wegdek hoort te voldoen. Momenteel wordt het wegdek dan ook op grotere schaal getest op een bypass van het knooppunt Oudenrijn aan de A12. In dit project wordt getest hoe het wegdek zich over langere termijn houdt bij een hoge verkeersintensiteit.

ModieSlab is een wegdek op palen. Hierdoor is het niet geschikt ter vervanging van het oude asfalt bij onderhoud aan de weg. In dat geval zou immers de hele

bestaande weg moeten worden verwijderd voor het ModieSlab kan worden aangebracht. Wel kan ModieSlab worden toegepast wanneer nieuwe wegen worden aangelegd of oude wegen compleet worden vervangen. De mogelijkheden voor toepassing van het concept zijn hierdoor beperkt.

Voor deze maatregel is het van belang dat er ook ontwikkelingen zijn op het vlak van energiezuinige banden (o.a. EU-beleid). Het is onzeker of deze twee ontwikkelingen compatibel zijn m.b.t. remweg/grip/veiligheid.

6.4.6 Bijkomende effecten

Zoals eerder aangegeven is de ontwikkeling van innovatief asfalt veelal ingegeven vanuit de geluidsproblematiek. Het gebruik van deze materialen zal daarom naast een effect op het energiegebruik van de voertuigen ook een effect op het geluidsniveau van de weg hebben.

Een lager energiegebruik zal tevens leiden tot een lagere uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en daarmee helpen de luchtkwaliteitsproblematiek op te lossen. Ook zijn er aanwijzingen dat het vrijkomen van bandenstof wordt gereduceerd bij het toepassen van Modieslab.

6.5 Elektrificeren spoor

6.5.1 Toelichting op de maatregel

Een dieseltrein stoot, over de gehele keten, meer CO₂ uit dan een elektrische trein. Een shift van dieseltreinen naar elektrische treinen is dan ook gewenst. Reden om nu toch met een dieseltrein te rijden in plaats van een elektrische trein is dat er niet op alle trajecten een bovenleiding aanwezig is.

Wanneer op een deel van het traject geen bovenleiding aanwezig is zal het gehele traject met een dieseltrein worden afgelegd. Dit om te voorkomen dat halverwege de locomotief vervangen moet worden.

Een andere reden voor het gebruik van een dieseltrein is dat op veel terminals geen bovenleiding aanwezig is. Hier zou gebruik gemaakt kunnen worden van op het terrein aanwezige diesellocs die bij vertrek worden gewisseld voor elektrische locs. Dit betekent echter dat de vervoerder dan moet zorgen dat er zowel een elektrische als een dieselloc aanwezig is op het terrein. Daarnaast kost het verwisselen van locs veel tijd, deze is niet altijd beschikbaar. Veel treinen rijden dan ook het gehele traject met een dieselloc. Bij het aanleggen van een bovenleiding bij terminals zal ook de praktische haalbaarheid een rol spelen. Het optakelen van containers gaat bijvoorbeeld niet samen met de aanwezigheid van een bovenleiding.



6.5.2 Verkeerseffecten

Er verandert niets aan de capaciteit van het spoor, daarom zal het effect op het verkeer gering zijn. Wel kan de maatregel effect hebben op het wagenpark, omdat elektrische treinen op meer trajecten ingezet kunnen worden.

6.5.3 Effect op CO₂-emissies

Het elektrificeren van spoor draagt bij aan de reductie van CO₂-emissies doordat dieseltreinen worden vervangen door elektrische treinen. De CO₂-uitstoot van een elektrische trein is zo'n 40% lager dan van een dieseltrein.

De totale CO₂-reductie die met deze maatregel te behalen is hangt sterk af van waar men de maatregel inzet. Het elektrificeren van een regionaal traject zal een beperkte winst opleveren omdat het slechts door enkele treinen gebruikt wordt. Wanneer echter een bovenleiding wordt aangebracht bij grote terminals of op een traject op een doorgaande route, zal de impact groter zijn.

In het Nederlandse goederenvervoer zijn vooral de doorvoerroutes vanuit de Nederlandse havens richting het buitenland van belang. Het grootste deel van deze doorgaande trajecten is over het gehele traject uitgerust met een bovenleiding. Een bovenleiding ontbreekt echter op het traject Zutphen-Hengelo, dit stuk spoor wordt gebruikt door treinen die bij Bentheim de Nederlands-Duitse grens overgaan. Ook in Groningen bij de grensovergang bij Nieuwe Schans ontbreekt een bovenleiding en is dus winst te behalen.

Om een beeld te geven van de mogelijke CO₂-reductie die met deze maatregel te behalen valt is het elektrificeren van het traject Zutphen-Hengelo als voorbeeld genomen.

Het traject Rotterdam-Bentheim is ca. 200 km. De uitstoot van diesel en elektrische treinen op dit traject is weergegeven in Tabel 16. Wanneer dit traject wordt afgelegd met een elektrische trein i.p.v. een dieseltrein wordt ca. 1,3 ton CO₂ bespaard voor bulkvervoer en 0,5 ton CO₂ voor non-bulkvervoer.

Tabel 16 CO₂-uitstoot diesel en elektrische trein (kg/km)

	Diesel	Elektrisch	CO ₂ -reductie
Bulk	34	28	6,5 (19%)
Non-bulk	12	9,5	2,6 (22%)

Om te bepalen wat de totale CO₂-winst is, moet een schatting worden gemaakt van hoeveel treinen er jaarlijks over het traject Zutphen-Hengelo rijden en hoeveel procent van de dieseltreinen zal worden vervangen door elektrische treinen.

In 2005 gingen er circa 500 treinen over het baanvak Zutphen-Hengelo (Rail Cargo, 2007). Deze dieseltreinen zullen echter niet allemaal vervangen kunnen

worden door elektrische treinen. Reden hiervoor is dat een deel (zo'n 80%) doorrijdt naar het buitenland en ook in het buitenland zijn een aantal trajecten niet geëlektrificeerd. Daarnaast zal een aantal treinen laden of lossen bij een terminal waar geen bovenleiding aanwezig is waardoor er alsnog met een dieseltrein gereden wordt.

Om een schatting te maken van het potentieel van het elektrificeren van het traject Zutphen-Hengelo is aangenomen dat 80% van de treinen de grens over gaat en dat 70% van deze treinen in het buitenland over een traject gaat dat niet geëlektrificeerd is. Daarnaast zal 50% van de treinen op diesel rijden omdat zij laden of lossen bij een terminal waar geen bovenleiding aanwezig is. Dit resulteert in een vervanging van 22% van de treinen (110 treinen). Hierbij moet aangegeven worden dat het slechts gaat om een schatting, de resultaten moeten dus ook met de nodige zorg bekeken worden. De verdeling tussen bulk en non-bulk is ongeveer 42% tegen 58% (Rail Cargo, 2007).

Met bovenstaande aannames kan berekend worden dat op jaarbasis circa 94 ton CO₂ wordt bespaard (dit is de reductie van de 110 treinen per jaar voor het hele traject Rotterdam-Bentheim). Zoals aangegeven gaat het hierbij slechts om een schatting. Daarnaast zijn de kilometers in het buitenland niet meegenomen. Wanneer de maatregel wordt doorgevoerd zal het effect niet direct zichtbaar zijn, reden hiervoor is dat het treinenpark aangepast zal moeten worden. De vraag naar diesellocs daalt immers en die naar elektrische locs neemt toe. Locomotieven hebben echter een vrij lange levensduur en het vervangen van de locs zal enige tijd kosten.

Een aandachtspunt bij deze maatregel is de samenwerking met het buitenland. Het effect van de maatregel wordt namelijk verhoogd wanneer ook de trajecten in het buitenland geëlektrificeerd worden. Europese samenwerking is hier dan ook gewenst. De CO₂-winst door elektrische treinen zou verder verhoogd kunnen worden door de inkoop van groene stroom, dit is niet meegenomen in de berekeningen.

6.5.4 Kosten

De kosten van het elektrificeren van spoor zijn sterk afhankelijk van de locatie en de lengte van het traject. Zo zal het per locatie verschillen of er wel of geen toevoer van elektriciteit aanwezig is en zullen de kosten per kilometer lager worden naarmate de lengte van het traject toeneemt. De kosten zullen liggen in de orde van grootte van miljoenen euro's.

6.5.5 Draagvlak

Er worden geen problemen verwacht wat betreft het draagvlak van deze maatregel. Vervoerders zullen achter deze maatregel staan omdat elektriciteit goedkoper is dan diesel. Ook kan het in bepaalde situaties het verwisselen van locs voorkomen.



Voor de netbeheerder is het voordeel minder zichtbaar. Zij zullen moeten investeren in de aanleg van de bovenleiding en krijgen daar geen direct voordeel voor terug (dit ligt immers bij de vervoerder).

6.5.6 Haalbaarheid

Het elektrificeren van een stuk spoor heeft een hoge haalbaarheid. De maatregel wordt echter veel effectiever wanneer door verschillende partijen wordt samengewerkt. Zo zullen beheerders van terminals mee moeten denken over praktische oplossingen voor het elektrificeren van hun terrein, zal samengewerkt moeten worden met buitenlandse overheden om ook aansluitende trajecten in het buitenland te elektrificeren en zullen vervoerders moeten meewerken door hun logistiek aan te passen aan de aangeboden mogelijkheden.

Technisch is de maatregel mogelijk, afgezien van problemen met het laden en lossen van treinen (dit zou per locatie bekeken moeten worden).

6.5.7 Bijkomende effecten

De overstap naar elektrische treinen heeft niet alleen een effect op de uitstoot van CO₂, maar ook op die van luchtverontreinigende stoffen. Dit effect is groot omdat het voor deze stoffen van belang is waar zij worden uitgestoten. Een elektrische trein stoot geen luchtverontreinigende stoffen uit, hierdoor zal de concentratie van deze stoffen langs het spoor sterk dalen. Elektrische treinen zijn echter wel verantwoordelijk voor de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door elektriciteitscentrales. Deze staan echter vaak in dunbevolkte gebieden en emitteren op grote hoogte. Ook zijn veel emissies per eenheid energie lager. Hierdoor wordt minder hinder van deze uitstoot ondervonden.

Een nadelig effect dat het aanleggen van bovenleidingen met zich meebrengt is dat het tijdens de aanleg zorgt voor de nodige overlast. Naast vervoerders kunnen ook buurtbewoners hier last van hebben, dit is echter slechts van tijdelijke aard. De aanleg van infrastructuur zorgt ook voor emissies, wanneer deze erg hoog zijn zou de milieuwinst tijdens benutting van de bovenleiding totaal teniet gedaan kunnen worden, daarom is het nuttig deze emissies mee te nemen in de besluitvorming.

De aanleg van een spoorweg brengt 39,8 ton CO₂ per km per jaar¹⁰ met zich mee (data gebaseerd op Simapro). Het grootste deel van deze emissies wordt echter veroorzaakt door het gebruik van beton en staal en door de vrachtauto's nodig voor het aanvoeren van deze producten. Wanneer alleen een bovenleiding aangelegd moet worden zal een groot deel van deze emissies wegvallen (minstens 75%). Simapro biedt echter niet de mogelijkheid om alleen de productie van een bovenleiding te bepalen.

¹⁰ De emissies die vrijkomen tijdens de totale levensduur van de spoorweg (zowel bij aanleg als bij onderhoud) zijn gedeeld door de aangenomen levensduur, waardoor emissies uitgedrukt worden per jaar.

Het traject Hengelo-Zutphen is circa 50 km lang. De berekende CO₂-reductie is 94 ton per jaar. De aanleg van de infrastructuur mag daarom niet meer dan 1,9 ton CO₂ per km per jaar met zich meebrengen. De exacte emissies van aanleg zijn net als de kosten sterk afhankelijk van de locatie en de lengte van het traject.

6.6 Wisselverwarming uit aardwarmte

6.6.1 Toelichting op de maatregel

Om het functioneren van de wissels gedurende alle weersomstandigheden te kunnen waarborgen, zijn 90% van de wissels in Nederland voorzien van wisselverwarming. Als de temperatuur onder een kritiek punt komt wordt het verwarmingssysteem ingeschakeld om te voorkomen dat de wissel vastvriest of vastloopt door sneeuw of ijs. Normaal gesproken wordt hiervoor gebruik gemaakt van branderpijpen (gasbranders die direct het staal van de wissel verwarmen), centrale buissystemen (cv ketels) en elektrisch lint.

In een wisselverwarming op aardwarmte wordt d.m.v. een warmtewisselaar die zich 100 meter onder de grond bevindt warmte uit de aarde onttrokken. Een warmtepomp gebruikt deze warmte vervolgens om de vloeistof die door de wissel stroomt te verwarmen. Het systeem op aardwarmte verbruikt minder energie en is bovendien minder onderhoudsgevoelig (VolkerRail 2008)

6.6.2 Verkeerseffecten

Het systeem is minder onderhoudsgevoelig wat tot gevolg kan hebben dat het treinverkeer minder vertraging door onderhoud ondervindt.

6.6.3 Effect op CO₂-emissies

Warmtepompen die ingezet worden voor de wisselverwarming op aardwarmte hebben een 'coefficient of performance' (COP) van gemiddeld 5 (VolkerRail 2008). Dit betekent dat het vermogen aan geleverde warmte vijf maal zo hoog is als het vermogen aan verbruikte energie. Vergeleken met een wisselverwarming die gebruik maakt van een elektrisch lint (COP=1) wordt dus slechts 20% van de elektriciteit verbruikt. Uitgaande van een thermisch vermogen van 6 kW en 600 stookuren per jaar (VolkerRail 2008) betekent dit dat er per wissel ca. 1,3 ton CO₂-uitstoot vermeden kan worden door gebruik van een wissel op aardwarmte in plaats van een elektrisch lint (Tabel 17). Ten opzichte van een verwarming op aardgas kan 0,7 ton CO₂ worden vermeden.

Met ca. 6.500 verwarmde spoorwissels in Nederland (ProRail 2006), waarvan 30% elektrisch en 70% op aardgas, kan in Nederland door wisselverwarming op aardwarmte in totaal 5,5 kton CO₂-uitstoot worden vermeden.



Tabel 17 Berekening CO₂-besparingspotentieel door wissel op aardwarmte, uitgaande van wissel verwarming met elektrisch lint als referentie

	Wisselverwarming op aardgas	Wisselverwarming op elektriciteit	Wisselverwarming op aardgas
Thermisch vermogen (kW)	6	6	6
Input vermogen (kW)	1,2	6	7
Stookuren (uur)	600	600	600
Elektriciteitsverbruik (kWh/jaar)	720	3600	0
Gasverbruik (m ³ /jaar)	0	0	478
CO ₂ -uitstoot (gram/kWh)*	443	443	-
CO ₂ -uitstoot (kg/m ³)*	-	-	2,1
CO ₂ (ton/ wissel/jaar)	0,3	1,6	1,0
CO ₂ -besparingpotentieel ton/wissel/jaar	0,0	1,3	0,7

* Op basis van CE Delft (2008b).

6.6.4 Kosten

De aanschafprijs van een wisselverwarming op aardwarmte is in de afgelopen periode behoorlijk gedaald en bedraagt op dit moment ca. € 22.500 per wissel (op basis van 20 wissels), een prijs die gemiddeld 10% hoger is dan voor de andere systemen. Daar staat tegenover dat wisselverwarming op aardwarmte minder onderhoudsgevoelig is en minder energiekosten met zich meebrengt. De totale *cost of ownership* zijn daardoor lager dan voor de conventionele systemen en liggen ca € 2.300 lager per wissel (op basis van 20 wissels) (VolkerRail 2008).

6.6.5 Draagvlak

De gemiddelde burger zal weinig merken van een wisselverwarming op aardwarmte in plaats van een ander systeem. Een betere (of slechtere) prestatie en daaruit volgende vermindering van vertragingen zal waarschijnlijk niet in verband worden gebracht met het systeem. Bij de gebruiker (ProRail) zal het draagvlak afhangen van de kosten. Hogere investeringkosten kunnen een barrière vormen ondanks het feit dat de meerkosten bij gebruik terugverdiend kunnen worden.

6.6.6 Haalbaarheid

Het systeem is al getest en in gebruik en blijkt goed te functioneren.

6.6.7 Bijkomende effecten

Door het lagere energiegebruik zullen naast CO₂-emissies ook luchtverontreinigende emissies worden gereduceerd. Zoals reeds vermeld is het systeem minder storingsgevoelig en zal het daardoor minder vertraging van treinverkeer door onderhoud teweeg brengen dan de huidige verwarmingssystemen.

6.7 Energie uit infrastructuur

6.7.1 Toelichting op de maatregel

Autowegen en spoorlijnen nemen in Nederland ongeveer drie procent van de ruimte buiten de bebouwde kom in beslag. Daarbij gaat het zowel om direct ruimtebeslag (ruimte die daadwerkelijk gebruikt wordt door het verkeer) als om indirect ruimtebeslag (ruimte langs wegen die vanwege veiligheidsvoorschriften, hoge verkeersemisseries en geluidsoverlast onbenut moeten blijven. Een deel van deze ruimte zou ook benut kunnen worden voor de opwekking van energie. In ECN (2007) worden hiervoor vier energiewintechnieken (elektriciteit en warmte) beschreven¹¹:

- zonnecellen (fotovoltaïsche systemen);
- warmtewinning uit asfalt;
- windenergie;
- energie uit biomassa.

Zonnecellen

Bij de toepassing van zonnecellen langs Nederlandse wegen (en spoorwegen) kan onderscheid gemaakt worden tussen autonome en netgekoppelde systemen. Autonome systemen leveren stroom aan *stand-alone*-apparatuur, zoals bijvoorbeeld verkeersgeleidingssystemen, wegdekverwarming, verlichting in tunnels, energievoorziening voor wegonderhoud, etc. Deze toepassing van zonnecellen maakt energiegebruik mogelijk op plaatsen waar geen netvoorziening beschikbaar is of waar aankoppeling aan het net te duur is.

Bij netgekoppelde systemen wordt de opgewekte energie geleverd aan het bestaande elektriciteitsnet. Een zeer veelbelovende toepassing van deze techniek is het aanbrengen van zonnecellen op bestaande of nieuwe geluidsschermen. Het voordeel hiervan is dat er geen verder beslag op de ruimte wordt gelegd, dat extra horizonvervuiling uitblijft en dat er standaardisatie mogelijk is bij de ontwikkeling van deze techniek, wat zich op termijn uitbetaalt in lagere kosten. Bij de technieken met de meeste potentie worden de schermen onder een hoek op het scherm geplaatst (gericht op het zuiden), of wordt er gebruik gemaakt van verticale, dubbelzijdig werkende panelen.

Warmtewinning uit asfalt

In de zomer wordt asfalt warm. Deze warmte kan aan het asfalt onttrokken worden door vloeistof door het asfalt te leiden. Dit kan zowel via een buizenstelsel in het wegdek, als via een laag zeer open watervoerend asfalt beton dat is ingesloten tussen twee lagen dicht asfalt beton. Laatstgenoemde techniek wordt alleen nog maar experimenteel toegepast. De aan het asfalt onttrokken warmte kan via een warmtewisselaar afgegeven worden aan een bodemopslagstelsel om later benut te worden.

¹¹ ECN (2007) gaat ook in op Piëzo-elektriciteit (elektriciteit die wordt opgewekt door het belasten of verbuigen van Piëzo-elektrisch materiaal, dat kan worden opgenomen in het wegdek) en Peltier-elementen (hierbij wordt warmte gewonnen uit temperatuurverschillen tussen het oppervlak van een weg en de daaronder liggende laag). Voor grootschalige energieproductie zijn beide technieken echter niet geschikt. Vandaar dat we deze technieken in deze studie niet nader zullen bespreken.



De warmte die op deze manier onttrokken wordt aan het asfalt kan ingezet worden voor het verwarmen van woningen en utiliteitsgebouwen, of voor de verwarming van het wegdek in de winter (gladheidbestrijding). Een voordeel van het onttrekken van warmte aan asfalt is dat de temperatuur van het asfalt in de zomer verlaagd wordt, waardoor er minder spoorvorming/slijtage optreedt (waarvoor de levensduur van de infrastructuur stijgt en de onderhoudskosten dalen).

Windenergie

De ruimte langs snel- en spoorwegen kan benut worden voor het opwekken van windenergie. Hierbij kunnen drie opwekkingstechnieken onderscheiden worden:

- *(Middel)grote windturbines*; deze turbines bieden de meest kosteneffectieve manier voor het opwekken van windenergie. Probleem bij deze turbines is echter het vinden van geschikte locaties. Vanwege verkeersveiligheids-overwegingen wordt er door Rijkswaterstaat minimum afstanden tot de weg gehanteerd die afhangen van de grootte van de rotorbladen.
- *Kleine windturbines*; kleinere windturbines zijn makkelijker toepasbaar langs snelwegen dan grote turbines. Uit pilots die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd blijkt echter dat het rendement van deze turbines twijfelachtig is, zeker in verhouding tot de prijs. Overigens beweren fabrikanten dat er inmiddels grote technische vorderingen zijn gemaakt, maar (wetenschappelijk) bewijs voor deze bewering ontbreekt nog (ECN, 2007).
- *Windenergie opgewekt door rijdende voertuigen*; de luchtstroom die wordt veroorzaakt door voorbijrijdende voertuigen kan door turbines, die worden geplaatst in de middenberm van wegen, worden omgezet in energie.

Biomassa

Langs de Nederlandse auto- en spoorwegen kan biomassa worden geteeld. De energie die hiermee kan worden opgewekt is sterk afhankelijk van het type gewas dat wordt geteeld (de energie-inhoud van wilgenhout is bijvoorbeeld veel hoger dan de energie-inhoud van bermgras) en op welke manier de biomassa wordt omgezet in energie.

6.7.2 Verkeerseffecten

Alle energiewinningsystemen, zoals besproken in paragraaf 6.7.1, hebben geen invloed op de verkeersstromen.

6.7.3 Effect op CO₂-emissies

Het effect op CO₂-emissies van de verschillende energiewintechnieken die langs auto- en spoorwegen kunnen worden toegepast is sterk afhankelijk van de het type techniek. Vandaar dat we de verschillende technieken hier afzonderlijk beschrijven. Daarbij baseren we ons op ECN (2007). Bij de inschatting van de CO₂-effecten van de verschillende technieken is geen rekening gehouden met de CO₂-emissies die vrijkomen bij de productie, onderhoud en sloop van de technieken. De gepresenteerde effecten dienen dan ook opgevat te worden als maximale effecten. Aan het eind van paragraaf staat een overzicht van CO₂-reductie potentiëlen en kosten voor de verschillende technieken.

Zonnecellen

De elektriciteit die kan worden opgewekt per kilometer snelweg bij toepassing van zonnepanelen wordt ingeschat op 540 GJ per jaar¹². De levering van deze energie aan het elektriciteitsnet levert een vermeden CO₂-uitstoot van 0,09 kiloton per kilometer snelweg op¹³. Daarbij is uitgegaan van zonnepanelen die precies op het zuiden staan gericht (wegen die lopen van oost naar west). Overigens is het rendementsverlies gering wanneer de zonnepanelen niet precies op het zuiden zijn gericht. Op het zuidoosten gerichte schermen onder een hoek van 50° ontvangen bijvoorbeeld nog 90% van de instraling. Bij dubbelzijdige zonnepanelen wordt zelfs een opbrengst mogelijk tot 115% van een enkel paneel dat op het zuiden is gericht.

Warmtewinning uit asfalt

ECN (2007) komt op basis van een korte literatuurstudie tot een gemiddelde energieopbrengst van 0,8 GJ/m² per jaar. Wanneer een wegvak van 1 kilometer (18.000 m²) wordt voorzien van warmtecollectoren zou dit op jaarbasis 10.000 GJ kunnen opleveren (hierbij is een rendement van 70% verondersteld). Wanneer al deze warmte toegepast zou kunnen worden voor de verwarming van huizen en utiliteitsgebouwen, dan is de hoeveelheid vermeden CO₂ gelijk aan 0,6 kton¹⁴. Voor Nederland als geheel schat ECN (2007) het potentieel van warmtewinning uit asfalt op maximaal 0,7 PJ opgewekte elektriciteit per jaar, wat gelijk is aan maximaal 39 kton vermeden CO₂-uitstoot per jaar.

Windenergie

De bijdrage die windturbines kunnen leveren aan het terugdringen van de CO₂-emissies is sterk afhankelijk van de grootte van de turbines. ECN (2007) komt voor grote windturbines (0,5 MW tot 1,0 MW, bij 1.800 vollasturen) tot een potentiële opbrengst van ca. 16.000 tot 30.000 GJ/jaar per kilometer snelweg¹⁵. Dit komt maximaal overeen met 2,5 tot 4,7 kton vermeden CO₂ per jaar¹⁶.

Bij kleine windturbines is het elektriciteitsopwekkingpotentieel aanmerkelijk kleiner. ECN (2007) bespreekt het voorbeeld van de kleine windturbine Turby (rotordiameter van 1,5 meter, hoogte van 2,4 meter), die jaarlijks 10-18 GJ elektriciteit kan opwekken. Over een lengte van 1 kilometer snelweg kunnen ca. 100 van deze windturbines geplaatst worden, waarmee 1.000 tot 1.800 GJ elektriciteit per jaar kan worden opgewekt. Dit komt overeen met 0,2 tot 0,3 kton vermeden CO₂ per jaar.

¹² Hierbij wordt uitgegaan van schermen met een hoogte van 2 meter en een piekverhogen van het zonnepaneel van 95 W_p/m².

¹³ Hierbij is uitgegaan 0,566 kg CO₂-emissies per kWh elektriciteit (SenterNovem, 2007).

¹⁴ Hierbij is er vanuit gegaan dat de warmte anders wordt geproduceerd met behulp van aardgas. Uitgaande van een rendement van CV-ketels van 90% en een CO₂-uitstoot van 56,1 kg per 1 GJ geproduceerde warmte met aardgas (SenterNovem, 2004), komen we tot 0,6 kton vermeden CO₂.

¹⁵ Bij de windturbines van 500 kW is er daarbij vanuit gegaan dat er 5 kunnen worden geplaatst langs 1 kilometer snelweg, omdat de turbines anders elkaar de wind uit de zeilen nemen. Bij de windturbines van 1 MW kunnen er maximaal 3 langs 1 kilometer snelweg worden geplaatst.

¹⁶ Hierbij is wederom uitgegaan 0,566 kg CO₂-emissies per kWh elektriciteit (SenterNovem, 2007).



Bij windenergie opgewekt door rijdende voertuigen is de energieopbrengst per kilometer snelweg maximaal gelijk aan 140 GJ/jaar, wat overeenkomt met 0,02 kton vermeden CO₂ per jaar.

Biomassa

De hoeveelheid energie die kan worden opgewekt uit biomassa die is geteeld langs snelwegen is sterk afhankelijk van het type gewas. ECN (2007) bekijkt de energieopbrengst van wilgenhout. Op 1 ha langs 1 kilometer snelweg kan jaarlijks ongeveer 6-10 ton wilgenhout worden geproduceerd. Wanneer dit hout vervolgens via de meest efficiënte wijze wordt omgezet in elektriciteit en warmte (via vergassing en meestoken in elektriciteitscentrales: max. 45% thermisch rendement en 40% elektrisch rendement), dan is de totale jaarlijkse potentiële energieopbrengst gelijk aan 65-110 GJ per kilometer. Hiervan is 31 tot 51 GJ beschikbaar als elektriciteit. De vermeden hoeveelheid CO₂-uitstoot komt hiermee op 0,007 tot 0,011 kton¹⁷.

6.7.4 Kosten

Ook bij de bespreking van de kosten van energieopwekking langs infrastructuur bekijken we de vier verschillende technieken afzonderlijk. De genoemde investeringen zijn gebaseerd op ECN (2007). Voor de schattingen van alle kosten per kWh elektriciteit baseren we ons op ECN (2008).

Zonnecellen

De kosten voor zonnepanelen liggen relatief hoog. In 2000 bedroegen de productiekosten voor een zonnecelsysteem met een lengte van één kilometer, een hoogte van twee meter en een piekvermogen van 95 W_p/m² ca. € 0,9 tot 1,3 miljoen. Op de langere termijn wordt een daling verondersteld van de productiekosten, die kan oplopen tot een halvering van de totale productiekosten. Uitgaande van een energieopwekking per kilometer snelweg van 540 GJ per jaar, liggen de productiekosten van zonnecellen op ca. € 50 tot € 80 per GJ.

In de bovenstaande kostenschatting zijn alleen de productiekosten van zonnecellen meegenomen; de kosten van installatie, onderhoud en reparatie zijn buiten beschouwing gelaten. Met name de kosten van installatie van het systeem zijn sterk locatieafhankelijk. Zo worden netgekoppelde zonnecelsystemen langs wegen in Nederland op twee plaatsen toegepast (langs de A9 bij Ouderkerk aan de Amstel en langs de A27 ter hoogte van De Bilt), die sterk verschillen qua aanlegkosten; op de ene locatie bedragen de aanlegkosten 30% van de productiekosten, terwijl de aanlegkosten op de andere locatie gelijk waren aan 100% van de productiekosten.

De totale kosten van elektriciteit uit zonnecollectoren worden geschat op gemiddeld 0,55 €/kWh.

17 Hiervan komt ongeveer 70% voor rekening van de uitgespaarde elektriciteitsproductie in kolencentrales.

Warmtewinning uit asfalt

De aanleg van een buizensysteem kost € 25 tot € 50 per m² (excl. besturings-systeem, verdere opslag en de kosten van een eventueel distributienet naar woningen). Voor een wegvak van 1 kilometer lengte (18.000 m²) komen de kosten daarmee uit op € 450.000 tot € 900.000. Dit betekent dat de kosten per GJ gelijk zijn aan € 45 tot € 90.

Windenergie

De kosten van aanleg, productie en netkoppeling van een windturbine van 0,5 MW bedraagt ca. € 0,5 - € 0,6 miljoen. Bovenop de investeringen komen jaarlijkse onderhoudskosten van € 7500. Per kilometer snelweg (waar vijf van deze turbines geplaatst kunnen worden) komen de jaarlijkse kosten uit op ca. € 162.500 tot € 197.500.

De totale kosten van elektriciteit opgewekt met windturbines worden geschat op gemiddeld 0,09 €/kWh.

Bij kleine windturbines zijn de investeringen aanmerkelijk lager (ca. € 20.000 - € 40.000 incl. netkoppeling), maar liggen de kosten per kWh hoger (ECN, 2007).

Bij de opwekking van windenergie uit de rijwind van voertuigen liggen de kosten nog aanmerkelijk veel hoger.

Biomassa

De verwerkingskosten (de kosten tot aflevering bij de installatie) van biomassa zijn gelijk aan € 10 tot € 30 per ton per jaar. Uitgaande van een opbrengst van 6-10 ton biomassa langs een kilometer snelweg (wilgenhout), bedragen de kosten € 60 tot € 300 per kilometer snelweg per jaar.

De totale kosten van elektriciteitsopwekking met een biomassacentrale bedragen naar schatting 0,12 tot 0,19 €/kWh, afhankelijk van de grootte van de installatie.

Overzicht kosten en potentieel

Tabel 18 geeft een overzicht van reductiepotentiëlen en benodigde investeringen van de verschillende technieken van energie uit infrastructuur. Hieruit blijkt dat met name windenergie en warmte uit asfalt per kilometer weg het meeste opleveren en ook de laagste kosten hebben.

Het totale potentieel in Nederland is niet bekend. Als indicatie: indien we aannemen dat 400 tot 700 km weg geschikt is om windmolens langs te plaatsen, komen we op een potentieel van ca. 400 tot 1.000 kiloton CO₂-reductie per jaar.



Tabel 18 Kosten en potentieel van verschillende technieken voor energie uit infrastructuur

Maatregel	Indicatie van CO ₂ -reductiepotentieel	Indicatie van benodigde investering (Euro)
Zonnecellen	0,09 kton per km weg	1 miljoen per km weg
Warmtewinning uit asfalt	0,62 kton per km weg	0,5-0,9 miljoen per km weg
Windenergie van grote wind-turbines	5 kton per molen 14 kton per km weg	0,5-0,6 miljoen per molen
Windenergie van kleine wind-turbines	0,2-0,3 kton per km weg	20-40 duizend per molen
Windenergie uit rijwind van verkeer	0,02 kton per km weg	0,01-0,05 miljoen per km weg
Biomassa	0,01 kton per km weg	onbekend

Bron: ECN (2007).

6.7.5 Draagvlak

Voor energieopwekking langs de snelwegen zal over het algemeen draagvlak aanwezig zijn. Mogelijke uitzondering daarbij vormen de windturbines, vanwege mogelijke horizonvervuiling en hinder met slagschaduw die deze kunnen veroorzaken. Bij biomassa kan de verkeersveiligheid nadelig worden beïnvloed door maaiwerkzaamheden of dieren die zich tussen het gewas verstoppen.

6.7.6 Haalbaarheid

Alle besproken technieken in deze paragraaf zijn in principe technisch haalbaar. Vele worden ook al wel toegepast, al dan niet in proefprojecten. De ene techniek (opwekking van energie door rijdende voertuigen) is nog wel meer in ontwikkeling dan de andere techniek (bijvoorbeeld warmtewinning uit asfalt).

6.7.7 Bijkomende effecten

Alle technieken die in deze paragraaf zijn besproken leiden tot een besparing van fossiele energie. Een positief bijkomend effect daarvan is een vermindering van de uitstoot van luchtvervuilende emissies.

De windturbines die gebruikt worden voor de opwekking voor windenergie kunnen leiden tot horizonvervuiling en hinder van slagschaduw. Dit geldt met name voor de grote windturbines. Mogelijk geldt dit ook voor de zonnecollectoren. Door laatstgenoemde techniek te installeren op geluidsschermen kan dit negatieve effect worden beperkt.

De afkoeling van het wegdek in de zomer door warmtewinning uit asfalt kan leiden tot minder slijtage van de infrastructuur. Dit zorgt voor een langere levensduur van de infrastructuur en lagere onderhoudskosten. Bovendien kan bij extreme gladheid de verkeersveiligheid worden verbeterd door zowel het wegdek te verwarmen als door zout te strooien.



7 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn verschillende mogelijkheden onderzocht om door investeren in infrastructuur CO₂-emissies te reduceren. Het gaat om de volgende typen maatregelen:

- maatregelen ter bevordering van de doorstroming van verkeer;
- maatregelen ter bevordering van *modal shift*;
- maatregelen ter reductie van het energiegebruik van voertuigen;
- overige maatregelen.

Uit de analyse blijkt dat er verschillende mogelijkheden zijn om door investeren in infrastructuur CO₂-emissies te reduceren. Tabel 19 geeft een samenvatting van het potentieel van de maatregelen die nader onderzocht zijn.

Tabel 19 Indicatieve inschatting van het maximale reductiepotentieel in Nederland van de onderzochte maatregelen (excl. emissies van aanleg)

Maatregel	Grootteorde van maximaal haalbare CO ₂ -reductie in Nederland	
	in kiloton per jaar	% van beoogde emissie-reductie in 2020
P+R-locaties en transferia	10 tot 30	0,07 - 0,2 %
Verbetering fietsinfrastructuur	100 tot 250	0,7 – 1,8 %
Energiezuinig asfalt	onbekend	onbekend
Elektrificeren klein deel van het spoor	0,1	0,001 %
Energie uit infrastructuur	400-1.000	3 - 7 %
Wisselverwarming uit aardwarmte	6	0,04%

Maatregelen ter bevordering van *modal shift* naar het collectief personenvervoer kunnen effectief zijn om CO₂-emissies van verkeer te reduceren, maar de effecten hiervan zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en kunnen soms ook negatief zijn. In dit rapport zijn met name investeringen in P+R-locaties en transferia als meest kansrijk naar voren gekomen, welke in sommige situaties CO₂-reductie kunnen opleveren. Er zijn echter ook voorbeelden van transferia of P+R-terreinen die juist tot hogere CO₂-emissies hebben geleid. Bij deze investeringen is het daarom per situatie noodzakelijk gedegen onderzoek te doen naar de te verwachten effecten.

In het kader van *modal shift* is ook het toelaten van besloten busvervoer op busbanen een maatregel die CO₂-reductie tot gevolg kan hebben. Het lijkt verstandig een slimme toeritdosering in te zetten die de touringcars alleen toelaat bij voldoende capaciteit op de busstrook. Dit zou ook kunnen worden gecombineerd met P+R of transferia. De effecten van het toelaten op busstroken kon niet worden gekwantificeerd. Nader te onderzoek naar deze maatregel is aan te bevelen. Flankerend beleid zoals het verhogen van parkeertarieven kunnen de invoering van dit soort maatregelen effectiever maken.

Ook voor het goederenvervoer zijn infrastructurele maatregelen ter bevordering van *modal shift* te overwegen, al is ook hierbij maatwerk van groot belang.

Een ander soort *modal shift* kan worden bereikt met verbetering van fietsinfrastructuur, een maatregel die bij kan dragen aan substantiële CO₂-reductie. Het potentieel van deze maatregel is echter niet goed te kwantificeren doordat er onvoldoende evaluaties zijn waarin de effecten van betere fietsvoorzieningen op de afname van autogebruik zijn gekwantificeerd. Een rekenvoorbeeld: indien fietsbeleid in een stad ertoe leidt dat 2.500 mensen per dag 5 kilometer minder met hun auto rijden bespaart dat 1 kiloton CO₂. Voor heel Nederland zou het maximale potentieel mogelijk in de orde van 100 tot 250 kiloton per jaar kunnen liggen.

Verbetering van fietsinfrastructuur heeft naast klimaateffecten vele positieve neveneffecten op luchtkwaliteit, geluid en de volksgezondheid. Vanwege de mogelijk vele positieve effecten van investeren in fietsinfrastructuur is het aan te bevelen nader onderzoek te doen naar de effecten van verschillende investeringsniveaus. Hiervoor is het van belang beter inzicht te verkrijgen in de verkeerseffecten van meer en betere fietsinfrastructuur. We bevelen daarom aan de effecten van investeringen fietsinfrastructuur beter te monitoren.

Het toepassen van energiezuinig asfalt kan de rolweerstand op een weg verminderen en daarmee de CO₂-emissies voor het verkeer over die weg met eenzelfde percentage. De besparing op brandstofverbruik is nog niet bekend. Toepassing van deze maatregel is echter alleen mogelijk bij het aanleggen van nieuwe wegen of volledig vervangen van bestaande wegen. Het potentieel is hierdoor naar verwachting beperkt.

Ook in de spoorsector zijn emissiereducties te behalen. De meest kansrijke maatregelen hiervoor zijn elektrificeren van spoor waar nu nog enkel dieseltreinen kunnen rijden en wisselverwarming uit aardwarmte. Deze laatste maatregel is een goed voorbeeld van een *no-regret* maatregel met vrijwel alleen maar voordelen. De emissiereducties die met dit soort maatregelen kunnen worden behaald zijn in absolute zin kleiner dan bij sommige andere maatregelen.

Naast infrastructurele maatregelen met invloed op de emissies van het verkeer kan ook infrastructuur en de ruimte eromheen worden gebruikt voor het opwekken van elektriciteit of warmte. Met name het plaatsen van windturbines langs kan forse CO₂-reducties tot gevolg hebben. Het potentieel van deze maatregel is in verhouding groot. Hier moet uiteraard wel bij worden opgemerkt dat het hier niet gaat om reductie van de verkeersemissies zelf.

Niet alle maatregelen die zijn genoemd zijn effectief in het reduceren van CO₂-emissies. Zo blijken investeringen in infrastructuur die primair doel hebben om de doorstroming te verbeteren (de meest genoemde type maatregel tijdens de inventarisatie) geen effectief middel in de strijd tegen klimaatverandering.



De verklaring hiervoor is dat verbeterde doorstroming twee effecten tot gevolg heeft, die een tegengesteld effect op CO₂-uitstoot hebben. In de eerste plaats zorgt een betere doorstroming voor lagere emissies per voertuigkilometer. Daarnaast zorgt betere doorstroming echter, zeker op de langere termijn, ook voor een toename van het totale verkeersvolume. Het tweede effect is over het algemeen aanmerkelijk groter dan het eerste. Zo kan het oplossen van een kilometer file met infrastructurele maatregelen op de lange termijn tot wel zeven maal zoveel kilometers opleveren terwijl de emissiereductie per voertuig maximaal 50% is.

Dit betekent dat infrastructurele maatregelen die een verbeterde doorstroming voor alle verkeer tot gevolg hebben, de CO₂-emissies zullen laten toenemen. Dit soort maatregelen zijn daarom geen effectief klimaatbeleid, maar hebben natuurlijk wel een positieve invloed op de bereikbaarheid en kunnen ook een positief effect hebben op de plaatselijke luchtkwaliteit.



Referenties

CE, 2003

Huib van Essen, Olivier Bello, Jos Dings, Robert van den Brink (RIVM)
To shift or not shift, that's the question : The environmental performance of the principal modes of freight and passenger transport in the policy-making context
Delft : CE Delft, 2003

CE, 2004 a

J.P.L. Vermeulen, B.H. Boon, H.P. van Essen, L.C. den Boer, J.M.W. Dings (CE);
F.R. Bruinsma, M.J. Koetse (VU)
De prijs van een reis
Delft : CE Delft, 2004

CE, 2004 b

L.C. den Boer
Snelheid en emissies
Delft : CE Delft, 2004

CE Delft, 2008

L.C. den Boer, F.P.E. Brouwer, H.P. van Essen
STREAM Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten, versie 2.0
Delft : CE Delft, 2008

Cervero, 2001

R. Cervero
Induced Demand : An Urban and Metropolitan perspective :
In : Policy Forum: working together to Address Induced Demand
S.I. Eno Transportation Foundation, 2001

CROW, 2004

Park & Ride (P+R) in het buitenland
Ede : CROW, 2004

CROW, 2005

Ervaringen met Park & Ride (P+R) in Nederland
Ede : CROW, 2005

CROW, 2006

Kosten van een schonere lucht. Maatregelenmix voor lokaal beleid; kosten en effecten (SOLVE : Snelle Oplossingen voor Lucht en Verkeer)
Ede : CROW, 2006

CVS, 2005

Huib van Essen en Rens Kortmann (beiden CE Delft)
Nederland en duurzame mobiliteit: gidsland of achterblijver?
Bijdrage aan het Colloquium voor Verkeerplanologisch Speurwerk (CVS), 24 en 25 november 2005 te Antwerpen
Delft : CVS, 2005

CVS, 2006

Hans Nijland en Bert van Wee
De baten van fietsen en de mogelijkheden van fietsbeleid
Bijdrage aan het Colloquium voor Verkeerplanologisch Speurwerk (CVS), 2006, 23 en 24 november 2006 te Amsterdam
Delft : CVS, 2006

Duany, et al., 2000

Duany, E. Plater-Zyberk, J. Speck
Why building new roads doesn't ease congestion
In: Suburban Nation: The Rise of Sprawl and the Decline of the American Dream, p. 88-94
New York : North Point Press, 2000

ECN, 2007a

E.P. Weijers
Energiewinning uit weginfrastructuur. Inventarisatie in opdracht van 'Wegen naar de Toekomst'
Petten : Energy research Centre of the Netherlands (ECN), 2007

ECN, 2007b

E.P. Weijers en G.J. de Groot
Energiewinning uit weginfrastructuur : Inventarisatie in opdracht van 'Wegen naar de Toekomst' (Innovatieprogramma Rijkswaterstaat)
Energy research Centre of the Netherlands
Petten : Energy research Centre of the Netherlands (ECN), 2007

Gemeente Amsterdam, 2007

Kiezen voor de fietser : Meerjarenbeleidsplan Fiets 2007-2010
Amsterdam : gemeente Amsterdam, dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, 2007

Goudappel, 2006

Goudappel Coffeng, Hybercube Business Innovation
Gratis of goedkoper openbaar vervoer
Deventer : Goudappel Coffeng, Hybercube Business Innovation, 2006

Hendriks, 2008

Ron Hendriks
Fietsbeleid : wat levert het op?
In : Fietsverkeer nr. 19, (juni 2008); p. 16-19



Hoogendoorn, 2006

Serge Hoogendoorn
2006 wordt een fileklapper
In : Intermediair, 19 januari 2006, p.42

Imanishi, et al., 2007

Y. Imanishi, H. Ishida, F. Kakehi
A study on the short-term induced Traffic and CO₂ emissions by adding Highway
Traffic Capacity, TRB 2008 Annual meeting
Washington DC : the Transportation Research Board (TRB), 2007

KiM, 2007

Vaker op de fiets? - Effecten van overheidsmaatregelen
Den Haag : Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2007

La Bruhèze en Veraart, 1999

Adri Albert de la Bruhèze en Frank Veraart
Fietsen en verkeersbeleid : Het fietsgebruik in negen Westeuropese steden in de
twintigste eeuw
In : NEHA-Jaarboek , deel 62 (1999); p.138-170

Lawton, 2001

The urban Structure and Personal Travel: an analysis of Portland, or Data and
Some National and International Data
E-vision 2000, conference
<http://www.rand.org/scitech/stpi/Evision/Supplement/lawton.pdf>

Levinson and Kumar, 1995

D. Levinson, A. Kumar
Activity, Travel, and the Allocation of time
In : APA Journal, vol. 28, no.2 (1995); p. 458-470

Litman, 2007

T. Litman
Generated Traffic and Induced Travel : Implications for Transport Planning
Victoria, Canada : Victoria Transport Policy Institute, 2007

MuConsult, 2000

Evaluatie Transferia. Eindrapport
Amersfoort : MuConsult, 2000

MuConsult, 2006

P+R terreinen in Noord-Holland en Flevoland : Het effect van uitbreidingen en
een kwaliteitsimpuls
Amersfoort : MuConsult, 2006

Persson, 2002

Michael Persson

Ongegrond stilstaan onder het anti-filebord

dr. ir. Serge Hoogendoorn in De Volkskrant, Wetenschap, 5 oktober 2002

Rail Cargo, 2007

Spoor in cijfers 2007, statistisch overzicht railgoederenvervoer

Hoogvliet : Rail Cargo Information Netherlands, 2007

SenterNovem, 2004

Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren

Utrecht : SenterNovem, 2004

SenterNovem, 2007

Cijfers en Tabellen 2007

Utrecht : SenterNovem, 2007

Stadsregio Rotterdam, 2007

Evaluatie proef gratis openbaar vervoer Krimpenerwaard

Rotterdam : Stadsregio Rotterdam, 2007

TNO, 2001

I.R. Wilmink, M.N. Droppert-Zilver, C. Tampère

Emissies en Files fase 3: ophoging naar traject - en landelijk niveau

Delft : TNO, 2001

TNO, 2008

J. Schrijver, B. Egeter, B. Immers, M. Snelder

Visie Robuust wegennet ANWB

Delft : TNO, 2008

Traffic Test, 2005

Monitoring gratis OV Zuid-Holland, vierde evaluatiemeting

Amersfoort : Traffic Test, 2005

Van Wee, 1998

B. van Wee, R. van den Brink

Environmental impact of congestion and policies to reduce it

In 'Traffic congestion in Europe' round table 110 European Conference of Ministers of Transport

Paris : OECD, 1998



CE Delft

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Minder emissies door investeren in infrastructuur

Verkenning naar infrastructurele
maatregelen voor klimaatbeleid
in het verkeer

Bijlagen

Rapport

Delft, november 2008

Opgesteld door: H.P. (Huib) van Essen
F.P.E. (Femke) Brouwer
M.B.J. (Matthijs) Otten
A. (Arno) Schroten





A Verslagen interviews

A.1 Bert van Wee, Hoogleraar Transportbeleid en logistieke organisatie, TU Delft, 22-07-2008

Verbeteren doorstroming

- Voor alle doorstromingseffecten geldt dat er per kilometer CO₂-emissies worden bespaard, maar dat het totaal aantal kilometers toeneemt door extra verkeer. Voor personenverkeer geldt als stelregel dat de tijd die aan verkeer besteed wordt gelijk blijft (snellere verplaatsing levert dus meer verplaatsing op) Vrachtverkeer is meer kostgedreven (dus goedkopere verplaatsing levert meer transport: grotere afstand tussen herkomst en bestemming).
- Vrijgekomen weg- of parkeercapaciteit, vooral in grote steden wordt meteen weer opgevuld.
- Prijsbeleid kan er voor zorgen dat het rebound effect bij betere doorstroming beperkt blijft en dat een betere doorstroming verzekerd is.
- Het is onbekend of het oplossen van incidentele files ook een reboundeffect heeft.
- Voor de snelweg is, voor een goede doorstroming, de meest optimale snelheid bepaald op 91km/uur.
- Wat betreft transferia, wordt vrijgemaakte capaciteit weer benut door anderen. Voorbeeld Galgenwaard expres. Heeft niet direct als effect dat er minder personenauto's zijn, maar zorgt wel voor betere bereikbaarheid. Transferia kunnen wel effectief zijn wanneer zij in combinatie met parkeer- en prijsbeleid worden ingevoerd.
- Doelgroepstroken kosten capaciteit op andere stroken. Zij zouden goed kunnen werken in combinatie met prijsbeleid. Prijsstelling mechanismen zijn nodig om maatregelen in goede banen te leiden. Het principe hierbij kan zijn dat doorstroming kan worden aangekocht, met moet betalen om op een bepaalde baan te mogen rijden, wanneer veel voertuigen op de baan willen wordt de prijs hoger.

Energie uit infrastructuur

- Dit soort maatregelen zijn erg duur, het is daarom een optie dit slechts op enkele locaties te doen. Wanneer op de schermen zonnecellen of iets dergelijks worden geplaatst kan dit ook bijdragen aan bewustwording. Noot: de overkapping bij Zeist veroorzaakt congestie, waarschijnlijk door het beklemmende gevoel.

Logistieke efficiency/Modal shift

- Het aanleggen van distributiecentra rond steden moet goed aangepakt worden. Bijvoorbeeld in combinatie met prijsbeleid, ruimere venstertijden of een verbod op (vervuilend) vrachtverkeer in de stad in te voeren. Vervoer moet wel gebundeld worden anders krijg je meer verkeer de stad in. (ref.: proefschrift Hans Kwak, Universiteit Rotterdam). Vervoerders willen vaak wel betere infrastructuur, maar geen maatregelen die besprekingen opleveren. Dit is vaak juist wel nodig voor een goed resultaat.
- Distributiecentra rond de Randstad leveren in geval van binnenvaart dieper het land in een positief CO₂-effect op. Capaciteit binnenvaart is nog groot genoeg. De effecten zijn wel afhankelijk van de locatie en de maatregel zou ondersteund moeten worden door het onaantrekkelijk maken van verkeer over de weg.
- Een voorbeeld van collectief vervoer voor bedrijven is de Rabobank. Bedrijfsbussen op vluchtstrook. Kan *modal shift* veroorzaken.

Overige maatregelen

- Verhogen en verlagen van op- en afritten: Probleem is dat bij afritten de vervolgweg in z'n geheel hoger moet liggen. (MO: is dit wel zo, je komt toch bij een stoplicht meestal, waarna je weer berg af wilt). Aanpassing van wegen kan rigoureuus zijn.
- Drie CO₂-voordelen van trajectcontrole:
 - lagere snelheid (in de file hogere), dus minder uitstoot per km;
 - homogener verkeer (minder remmen en optrekken).
- Reistijd lang dus minder verkeer (tijdens filetijd meer verkeer).
80 km-zones: Wanneer er op het traject eerst files aanwezig waren die opgelost worden door de 80 km-zone, is er een reboundeffect.

A.2 Joke Jager, themaleider schone mobiliteit, Wegen naar de Toekomst

14-08-2008

Energie uit asfalt

De warmte uit asfalt kan op verschillende manieren gebruikt worden:

- warmte voor verwarming;
- wegonderhoud (verwarming in de winter spaart zout uit, koelen in de zomer voorkomt vervorming van het wegdek);
- warmte omzetten in elektrische energie (meer informatie hierover bij Ooms (<http://www.ooms.nl/onderzoek/>)).

Uit pilots is gebleken dat het systeem om warmte te onttrekken aan asfalt nog geen problemen oplevert met onderhoud, zij zijn dus redelijk robuust. Probleem zou kunnen zijn dat door de ingewikkelde structuur van het asfalt onderhoud moeilijk is, maar dit is nog niet gebleken.

Er is niets bekend over warmte uit asfalt en WKK, bij kassen zijn ze hier wel volop mee bezig, hier zou een parallel kunnen liggen.



Zonnecellen

Gebleken is dat het grootste probleem met zonnecellen op schermen is dat ze gestolen worden. Oplossing hiervoor is ze op minder goed bereikbare plekken te plaatsen zoals bovenop geluidschermen, dit is op verschillende plaatsen gedaan.

Ook wordt gesproken over transparante zonnecellen die in glazen schermen en overkappingen kunnen worden geplaatst. Probleem bij het plaatsen van overkappingen is dat zij niet zomaar voor energieopwekking aangebracht kunnen worden, omdat het er veel eisen aan de veiligheid worden gesteld bij het aanleggen van een overkapping en het daarom ook erg duur is. Wanneer zij echter voor geluid of luchtkwaliteit geplaatst moeten worden kunnen zonnecellen worden geïmplementeerd. Kunnen eventueel ook op delen van een bestaande overkapping worden geplaatst, bijvoorbeeld de toe en uitrit. Bij verticale schermen speelt ook dat zij sterk reflecteren wat storend is voor automobilisten. Movares ontwikkelt deze cellen.

(<http://www.movares.nl/Movares/Pers+en+publiciteit/Persberichten/Berichten/Glazen+overkapping+snelwegen+oplossing+voor+fijnstofproblematiek.htm>)

Windmolens

Er is een experiment geweest met lage windmolens op lantaarnpalen. Resultaten vielen tegen omdat er landinwaarts te weinig wind is voor lage windmolens en de palen last kregen van de eigen trilling.

Er worden palen ontwikkeld speciaal voor de gebouwde omgeving. Nadeel van deze palen is dat ze geluid genereren.

Er is een windmolen ontwikkeld in een kap (als in een vliegtuigmotor) deze zou in een scherm geplaatst kunnen worden. Nadeel is dat dit geluid genereert en een gat in het scherm maakt terwijl schermen worden geplaatst om geluid en luchtverontreinigende stoffen op de weg te houden. De molen is ontwikkeld door Don IQ.

Er kan gebruik gemaakt worden van rijwind, de vraag is of dit niet evenveel weerstand oplevert als energiewinst en dus netto geen brandstofbesparing oplevert. In Amerika is een constructie gebouwd van twee windmolens over de weg die gebruik maken van rijwind, te vinden op:

http://www.treehugger.com/files/2007/04/using_the_space.php.

Biomassa

RWS bezit erg veel grond wat in principe potentieel is voor biomassa. Zo wordt er in de berm bij vliegveld Lelystad koolzaad verbouwd. Voorwaarde is dat dit naar een lokale leverancier kan.

In bermen wordt momenteel kort op de weg langzaam groeiend gras geplant, verder in de berm wordt een gezonde biotoop ontwikkeld. Alternatief zou zijn olifantengras te verbouwen. Dit groeit snel en wordt enkele meters hoog. Dit kan gemaaid worden en als input voor een biomassa centrale gebruikt worden. Nadeel is dat in dit gras beesten gaan leven en dat er vaak gemaaid moet

worden wat de veiligheid niet ten goede komt. Daarnaast is het areaal aan grond erg versnipperd en moet de biomassa dus over grote afstanden getransporteerd worden.

Algemeen

De provincie Noord Holland is ook bezig met het vraagstuk hoe ze het oppervlak van hun infrastructuur kunnen inzetten voor energiewinning.

Naast wegen kan ook aan parkeerplaatsen worden gedacht als ruimte voor energieopwekking (is minder ingrijpend om aan te passen)

Er is momenteel een intern boekje met wilde ideeën bij WNT; Operatie Atlantis.

Het rapport ECN (2007) beschrijft de opties voor energie uit infrastructuur.



B Deelnemers aan de brainstormsessie op 7 juli 2008 te Vianen

Naam	Organisatie
Rinus Kok	Bruil Infra
Huib van Essen	CE Delft
Femke Brouwer	CE Delft
Pim Rog	Geodis BM
Ton van Meurs	H&S Foodtrans
Tamme Leenstra	H&S Transport
Ad Toet	KNV
Sander Geel	KNV
Robbert Naus	KWS Infra
Rob de Ruijter	KWS Infra
Leo Ringelberg	Leo Ringelberg Tours
Erik Janse	Post Kogeko
Nuno Rodrigues	Vialis
Jacques Tiecken	Volker Rail
Ger de Kok	Volker Rail
Jan Beukers	Volker Rail