

## **Verkenning gezondheid en tweewielerbeleid**

Datum	Augustus 2015
Status	Definitief



## Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat
Informatie	Paul Schepers
Telefoon	088-7982457
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat
Auteurs	Paul Schepers, Rijkswaterstaat Wim Wijnen, W2Economics
Datum	Augustus 2015
Status	Definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding—6</b>
<b>2</b>	<b>Indicatoren om gezondheid te kwantificeren—7</b>
<b>3</b>	<b>Beschrijving van gezondheidsaspecten —12</b>
<b>4</b>	<b>Het effect van modal shifts op gezondheid —20</b>
<b>5</b>	<b>Het effect van fietspaden en fietsstroken op gezondheid —41</b>
<b>6</b>	<b>Discussie, conclusies en aanbevelingen —50</b>
<b>7</b>	<b>Referenties—53</b>

# 1 Inleiding

Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) heeft deze verkennende studie naar relaties tussen tweewielerbeleid en gezondheid uitgevoerd. Het rapport richt zich grotendeels op (brom/snor)fietsers. Andere modaliteiten zoals lopen krijgen enige aandacht omdat maatregelen een verschuiving tussen tweewielers en andere vervoerswijzen kunnen veroorzaken. Verschillende aspecten spelen daarbij een rol: lichaamsbeweging door fietsen (of lopen) draagt bij aan de gezondheid van verkeersdeelnemers, maar anderzijds worden fietsers (en voetgangers) meer blootgesteld aan luchtvervuiling doordat ze fysiek actief zijn in een omgeving met hoge concentraties uitlaatgassen. Daarnaast hebben uitwisseling tussen fietsen (en lopen) enerzijds en motorvoertuigen anderzijds effecten op verkeersveiligheid, geluid en luchtkwaliteit. In dit rapport staat de vraag centraal in hoeverre er een meer integrale benadering van deze aspecten mogelijk is ter ondersteuning van besluitvorming ten aanzien van infrastructuur en regelgeving voor tweewielers. Dit thema staat centraal omdat juist tweewielerbeleid meerdere gezondheidsaspecten raakt.

Gezondheid kan vanuit verschillende perspectieven gemeten worden (Kunselaar en Renes, 2012):

- Medisch: het functioneren van het fysieke (lichamelijke/fysiologische) systeem. Hierbij passen maten als verloren levensjaren
- Maatschappelijk: het vermogen van mensen om maatschappelijk te kunnen functioneren en participeren. Hierbij past een maat als ziekteverzuim.
- Subjectief: hoe mensen hun gezondheid ervaren en welk belang er eraan hechten. Hierbij past een maat als ervaren geluidsoverlast.

Alle perspectieven kunnen van belang zijn. Goede fietsinfrastructuur kan bijvoorbeeld de verkeersveiligheid verbeteren en het aantal letsels verminderen (het eerstgenoemde perspectief) terwijl het ook mensen zonder rijbewijs beter in staat kan stellen om maatschappelijk te participeren en daarmee vervoerarmoede voorkomt (het tweede perspectief). Het hangt van het vraagstuk af op welk perspectief de nadruk ligt. Dit rapport is er vooral vanuit het eerste perspectief geschreven om ten behoeve van integraal beleid de verschillende aspecten beter te kunnen vergelijken.

Tweewielerbeleid speelt een rol bij zowel het Rijk als bij gemeenten. Het Rijk bepaalt de gedragsregels voor tweewielers zoals de plaats op de weg. Dit kan van invloed zijn op de aantrekkelijkheid van de verschillende type tweewielers en aanpassing van regelgeving kan leiden tot modal shifts. Gemeenten hebben een grote invloed op de infrastructuur voor tweewielers. Om de mogelijkheden van gezondheidseffectschatting in beeld te brengen worden in hoofdstuk 4 de effecten van hypothetische modal shifts doorgerekend. In hoofdstuk 5 worden de gezondheidseffecten van fietsinfrastructuur beschouwd. Als basis hiervoor wordt in hoofdstuk 2 en 3 literatuur gerelateerd aan gezondheidseffecten samengevat.

## 2 Indicatoren om gezondheid te kwantificeren

Paragraaf 2.1 beschrijft maatstaven om gezondheid te kwantificeren. Paragraaf 2.2 gaat in op de ziektelast en maatstaven om die te kwantificeren. Dit is de basis voor kwantificeren van effecten van scenario's in het volgende hoofdstuk. In paragraaf 2.3 bespreken we een methode en basiscijfers om kosten gerelateerd aan lichaamsbeweging, blootstelling aan luchtvervuiling en verkeersongevallen te berekenen.

### 2.1 Kwantitatieve maatstaven voor gezondheid

Er zijn diverse maatstaven beschikbaar om (ontwikkelingen in) de gezondheid van een populatie of de gezondheidseffecten van een interventie te kwantificeren. Op internationaal niveau zijn lijsten van indicatoren samengesteld om ontwikkelingen in gezondheid te kwantificeren. De World Health Organization (WHO, 2014) hanteert bijvoorbeeld een lijst van 100 indicatoren, de EU (2015) heeft een lijst van 88 indicatoren opgesteld en de OECD (2015) hanteert 47 indicatoren. Daarbij worden verschillende (overlappende) hoofdindelingen van indicatoren gebruikt. De OECD hanteert bijvoorbeeld de volgende indeling:

- Indicatoren voor de gezondheidstoestand ('health status'), waarbij onderscheid gemaakt kan worden tussen mortaliteit (bijvoorbeeld levensverwachting en sterfte naar doodsoorzaak) en morbiditeit (bijvoorbeeld het aantal mensen dat aan een bepaalde ziekte lijdt).<sup>1</sup>
- Factoren die invloed hebben op gezondheid (risicofactoren), bijvoorbeeld het aantal mensen dat rookt of de gemiddelde hoeveelheid lichaamsbeweging per dag.
- Beschikbaarheid van medische voorzieningen, zoals het aantal artsen per 1000 inwoners en het aantal ziekenhuisbedden per 1000 inwoners.
- Gebruik van medische voorzieningen, zoals aantal doktersbezoeken per 100 inwoners en aantal MRI-scans per 1000 inwoners.
- Uitgaven aan gezondheidszorg, bijvoorbeeld de totale uitgaven als percentage van het bruto binnenlands product en jaarlijkse groei van deze uitgaven.

De WHO en EU gebruiken daarnaast ook indicatoren voor gezondheidszorgbeleid en demografische en sociaal-economische indicatoren. De indicatoren worden gebruikt om inzicht te geven in ontwikkelingen op het gebied van gezondheid wereldwijd en om landen onderling te vergelijken.

Vanuit de invalshoek van deze studie zijn met name indicatoren voor de gezondheidstoestand van mensen en de daaraan verbonden kosten relevant. Deze indicatoren zijn uitkomstmaten voor een bepaalde interventie. Gebruikelijke indicatoren voor mortaliteit zijn *levensverwachting* (bij geboorte, naar geslacht) en *aantal sterfgevallen per 100.000 inwoners* (naar leeftijd, geslacht, doodsoorzaak). De lijst van de OECD bevat ook het *aantal verloren levensjaren door vroegtijdige sterfte (Years of life lost, YLL)* als indicator, zodat rekening wordt gehouden met leeftijd. Er zijn ook maten voor de ziektelast die rekening houden met zowel mortaliteit als morbiditeit.

Internationaal wordt ook *het totaal aan uitgaven aan gezondheidszorg* als indicator gebruikt. De uitgaven zeggen enerzijds iets over de gezondheid van mensen (de uitgaven zijn hoger naarmate meer mensen ziek zijn of ziekten ernstiger zijn) en anderzijds over de inspanningen gericht op preventie. Het is daarom nuttig om on-

---

<sup>1</sup> De lijst van de OECD bevat alleen indicatoren voor mortaliteit. De WHO en EU gebruiken ook indicatoren voor morbiditeit.

derscheid te maken tussen de kosten *ten gevolge van ziekten en sterfte* en de *uitgaven aan preventie*, zoals bijvoorbeeld in onderzoek naar kosten van gezondheidszorg in Nederland wordt gedaan (RIVM, 2013).

## 2.2

### Ziektelast

Bij morbiditeit kan onderscheid worden gemaakt tussen prevalentie en incidentie. Bij *prevalentie* gaat het om het aantal mensen dat op een bepaald moment aan een ziekte lijdt of een beperking heeft en bij *incidentie* gaat het om het aantal nieuwe gevallen in een bepaalde periode. Bij ziekten worden zowel incidentie als prevalentie gebruikt, bijvoorbeeld in de Volksgezondheidstoekomstverkenning voor Nederland (RIVM, 2014). Bij letsel wordt doorgaans alleen incidentie als maatstaf gebruikt (bijvoorbeeld het ernstig gewonden als gevolg van een verkeersongeval in een bepaald jaar).

Naast prevalentie en incidentie zijn ook de duur van de ziekte of letsel (en de gevolgen ervan) en de ernst ervan relevant, aangezien duur en ernst bepalend zijn voor het verlies van kwaliteit van leven. Ernst en duur van ziekte of letsel komen tot uitdrukking in 'Years lived with disability' (YLD). De YLD van een bepaalde ziekte wordt berekend op basis van de duur van de ziekte en een wegingsfactor voor de ernst van de ziekte. De wegingsfactor drukt het verlies van kwaliteit van leven uit. Wanneer iemand bijvoorbeeld 2 jaar een ziekte heeft met een wegingsfactor 0,25 (dat wil zeggen 25% verlies van kwaliteit van leven) is de YLD 0,5.

Een maatstaf waarin het verlies van kwaliteit van leven door zowel sterfte als ziekte tot uitdrukking komt is 'Disability Adjusted Life Years' (DALYs).<sup>2</sup> DALYs zijn de som van YLD en 'Years of Life Lost' (YLL). YLL heeft betrekking op verloren levensjaren. DALYs worden gebruikt als maatstaf voor de ziektelast en zijn ontwikkeld in het internationale 'Global Burden of Disease' project waarin de totale ziektelast van sterfte en ziekte wereldwijd is geschat (Murray & Lopez, 1996). In Nederland worden DALYs onder meer toegepast om de ziektelast van ziekten te bepalen en ziekten op basis daarvan te rangschikken (Poos et al., 2014) en toe te rekenen aan risicofactoren zoals roken, overgewicht en lichamelijke inactiviteit (Hilderink, 2014). Ook is de letsellast ten gevolge van ongevallen en sportblessures bepaald (Panneman et al., 2014). SWOV heeft onderzoek gedaan naar de letsellast ten gevolge van verkeersletsel (Weijermars et al., 2014).

Om de gezondheidseffecten van fietsen en lopen te kwantificeren gebruiken we in het hoofdstuk 4 de ziektelast, uitgedrukt in DALYs, en kosten van ziekten als indicatoren. Het voordeel van ziektelast ten opzichte van sterfte en prevalentie of incidentie is dat bij mortaliteit rekening wordt gehouden met leeftijd (en dus het aantal verloren levensjaren) en bij morbiditeit met de duur en ernst van ziekten, zodat inzicht ontstaat in het effect op kwaliteit van leven. Een ander voordeel van ziektelast is dat effecten op mortaliteit en morbiditeit onder één noemer worden gebracht en de verschillende effecten op sterfte en ziekte in de scenario's met elkaar kunnen worden vergeleken.

<sup>2</sup> DALYs zijn nauw verbonden aan QALYs (Quality Adjusted Life Years). QALYs zijn een maatstaf voor winst van kwaliteit van leven terwijl het bij DALYs gaat om verlies van kwaliteit van leven. Een DALY kan dus als een negatieve QALY worden gezien. Voor het bepalen van QALYs worden dezelfde methoden gebruikt als voor DALYs. QALYs worden toegepast in economische evaluaties (kostenutiliteitsanalyses) van interventies waarbij het aantal QALYs worden afgezet tegen de kosten (Brent, 2003; De Neeling, 2003).



## 2.3 Effecten op maatschappelijke kosten

### *Methode en basiscijfers*

Aan het verlies van levensjaren en jaren met verlies van kwaliteit van leven (dat wil zeggen DALYs) zijn kosten verbonden. Daarbij gaat het om:

- medische kosten
- verlies van consumptie en productie
- immateriële kosten, zoals verlies van levensvreugde

Verkeersongevallen veroorzaken daarnaast materiële schade (zoals voertuigschade), kosten van het afhandelen van ongevallen (hulpdiensten, verzekeraars, juridische kosten) en kosten van files ten gevolge van ongevallen.

### *Medische kosten*

Het effect van veranderingen in hoeveelheid lichaamsbeweging en van blootstelling aan luchtvervuiling op medische kosten baseren we op de kosten van ziekten die door het RIVM zijn berekend ([www.kostenvanziekten.nl](http://www.kostenvanziekten.nl)). Het gaat om de kosten van curatieve gezondheidszorg volgens de Zorgrekeningen van het CBS. Om de kostenstijging te berekenen veronderstellen we dat de kosten in dezelfde mate toenemen als het risico om ziekten op te lopen. Dit betekent dat we de risicocijfers voor gezondheidseffecten van lichaamsbeweging en blootstelling aan luchtvervuiling<sup>3</sup> toepassen op de kosten van ziekten.

Tabel 2.1 Medische kosten van ziekten waarop lichaamsbeweging en blootstelling aan luchtvervuiling effect hebben (mln euro, 2011), bron: RIVM

<i>Lichaamsbeweging:</i>	Kosten		
	man	vrouw	totaal
Dementie	114	122	236
Coronaire hartziekten	1.141	575	1.716
Beroerte	394	353	747
Diabetes	495	477	971
Borstkanker	4	609	612
Darmkanker	272	216	488
Totaal	2.420	2.351	4.771

Voor verkeersslachtoffers gaan we uit van de medische kosten die zijn bepaald in onderzoek naar de maatschappelijke kosten van verkeersongevallen in 2009 (De Wit en Methorst, 2012). Deze bedragen circa €14.000 per dode en €10.000 per ernstig verkeersgewonde (prijspeil 2011).

### *Verlies van consumptie en productie*

Voor het bepalen van het productie- en consumptieverlies door sterfte ten gevolge van gebrek aan lichaamsbeweging en luchtvervuiling gaan we uit van het aantal verloren levensjaren tot de leeftijd van 65 jaar en de loonkosten per arbeidsjaar als indicator voor productie (€52.900 in 2011; bron; CBS). In deze indicator is ook het verlies van consumptie inbegrepen, omdat productie leidt tot inkomen voor de arbeidskracht dat vervolgens wordt gebruikt voor consumptie.<sup>4</sup> Consumptieverlies wordt dus niet afzonderlijk meegenomen om dubbeltelling te voorkomen. Verder gaan we uit van het 'potentiële' productieverlies, zoals (internationaal) gebruikelijk is in bijvoorbeeld berekeningen van de kosten per verkeersslachtoffer (Wijnen,

<sup>3</sup> Voor de kosten van coronaire hartziekten ten gevolge van blootstelling aan luchtvervuiling gaan we uit van de ongewogen risicoreductie naar geslacht, gemiddeld voor het lage en hoge scenario.

<sup>4</sup> Dit betekent dat we uitgaan van het 'bruto' productieverlies.

2014). Dit houdt in dat we uitgaan van de productie die iemand zou kunnen opleveren ongeacht of iemand ook daadwerkelijk een baan heeft. Op deze wijze wordt er rekening mee gehouden dat mensen die geen baan hebben ook productief zijn door bijvoorbeeld huishoudelijk werk, vrijwilligerswerk en andere activiteiten. Voor verkeersdoden gaan we uit van een productieverlies van €577.000 per slachtoffer op basis van De Wit en Methorst (2012).

Productieverlies door ziekte laten we buiten beschouwing, omdat er geen informatie voorhanden is over ziekteverzuim en arbeidsongeschiktheid ten gevolge van de ziekten waarop lichaamsbeweging en blootstelling aan luchtvervuiling effect hebben. Voor ernstig verkeersgewonden gaan we uit van een productieverlies van €21.000 per slachtoffer (De Wit en Methorst, 2012).

Bij het berekenen van productieverlies moet er rekening mee worden gehouden dat in economische analyses een lagere waardering wordt toegekend aan toekomstige kosten en baten door middel van een discontovoet. We hanteren voor toekomstig productieverlies de algemene discontovoet van 5,5% die in kosten-batenanalyses in Nederland wordt gebruikt (Romein & Renes, 2014) en ook in onderzoek naar de kosten van verkeersongevallen is toegepast (De Wit & Methorst, 2012).<sup>5</sup>

#### *Immateriële kosten*

Immateriële kosten bepalen we op basis van de waarde van een statistisch menselijke leven ('value of a statistical life', VOSL) die in Nederland is bepaald op het terrein van verkeersveiligheid. De VOSL bedraagt €2,2 miljoen in 2001 (De Blaeij, 2003). Dit bedrag bestaat uit immateriële schade (pijn, verdriet en verlies van levensvreugde) en verlies van consumptie. We gebruiken hier de waarde van alleen immateriële kosten (€1,8 miljoen; SWOV, 2012), zodat er geen overlap is met (bruto) productieverlies. Deze waarde is van toepassing op verkeersslachtoffers maar kan niet zondermeer op (bespaarde) doden door lichaamsbeweging of luchtvervuiling worden toegepast, met name omdat de gemiddelde leeftijd afwijkt.

Voor het bepalen van de immateriële kosten ten gevolge van sterfte door lichaamsbeweging en luchtvervuiling gaan we uit van een waarde per DALY, die kan worden bepaald door de immateriële schade per verkeersdode te vertalen naar een waarde per DALY aan de hand van resterende levensverwachting. Deze methode is onder meer toegepast om de maatschappelijke kosten van verkeersgewonden in de VS te bepalen (Blincoe et al., 2014) en in Hirth et al. (2000) die een groot aantal VOSL-schattingen vertaalden naar een waarde per DALY (uiteenlopend van 93.000 tot 430.000 USD). Het gemiddeld aantal verloren levensjaren van een verkeersdode in 2001 was 36 (bron: SWOV). Om hieruit de waarde per levensjaar af te leiden moet er rekening mee worden gehouden dat in economische analyses een lagere waardering wordt toegekend aan toekomstige kosten en baten (in dit geval DALYs) door middel van een discontovoet. Voor MKBA's geldt in Nederland een algemene discontovoet van 5,5% (Romein & Renes, 2013), terwijl op het gebied van volksgezondheid een discontovoet van 1,5% gebruikelijk is (Hakkaart-van Roijen et al., 2010). Een discontovoet voor gezondheidszorg zal in een werkwijzer voor MKBA op het gebied van gezondheidszorg worden vastgesteld (Pomp et al., 2014). Uitgaande van

<sup>5</sup> Het productieverlies is bepaald per ziekte waarop lichaamsbeweging of blootstelling aan luchtvervuiling effect hebben. Voor de discontering gaan we uit van de leeftijdscategorieën waarvoor het effect geldt. Voor elke leeftijdscategorie is de gewogen gemiddelde leeftijd bepaald en resterende levensverwachting bepaald. Op basis van gemiddelde resterende levensverwachting is per leeftijdscategorie de contante waarde van het productieverlies berekend.

een bandbreedte van de discontovoet van 1,5% tot 5,5% is de waarde van een DALY op basis van de VOSL in Nederland €80.000 tot €130.000 (prijspeil 2011).<sup>6</sup>

De (overige) kosten gerelateerd aan verkeerdoden en ernstig verkeersgewonden zijn bekend uit onderzoek naar de kosten van verkeersongevallen in Nederland (De Wit en Methorst, 2012). Tabel 2.2 geeft de kosten per slachtoffer.

Tabel 2.2 Overige kosten per verkeersslachtoffer, bron: De Wit en Methorst (2012)

	Verkeersdode	Ernstig verkeersgewonde
Materiële kosten	10.805	10.498
Afhandelingskosten	17.462	5.667
Filekosten	1.747	431
Totaal	30.000	16.600

---

<sup>6</sup> Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de waarden die in de literatuur worden genoemd, die uiteenlopen van €60.000 (Pomp et al., 2014) en €80.000 (RVZ, 2006) tot 'minimaal €100.000' (De Hollander et al., 2006).

## 3 Beschrijving van gezondheidsaspecten

In dit hoofdstuk wordt literatuur beschreven over gezondheidsaspecten die kunnen worden gerelateerd aan tweewielerbeleid. Waar mogelijk zullen ook kwantitatieve studies worden betrokken omdat die input kunnen leveren voor gezondheidseffect-schattingen die in latere hoofdstukken aan bod komen.

### 3.1 Gezondheidseffect van de fiets gerelateerd aan fysieke inspanning

#### *Effecten in het algemeen*

Oja *et al.* (2011) hebben wetenschappelijk onderzoek over de samenhang tussen fietsgebruik en gezondheid samengevat. Bij kinderen en adolescenten neemt het uithoudingsvermogen toe door fietsgebruik. Bij volwassenen en ouderen daalt het overlijdensrisico, met name het risico om te overlijden door hart- en vaatziekten en kanker. De kans op overgewicht neemt af. Een Nederlandse studie op dit terrein is die van Hoevenaar-Blom *et al.* (2011) naar hart- en vaatziekten. In deze studie werd voor lopen en tuinieren geen verband gevonden maar voor sporten en fietsen wel. Er zijn ook studies waarin lopen en fietsen werden gecombineerd. Daarin is ook een reductie van diabetes type II gevonden (Oja *et al.* 2011). Waarschijnlijk zullen gezondheidsvoordelen die zijn gevonden in studies naar fysieke inspanning in het algemeen grotendeels ook voor fietsen opgaan. In dergelijke studies zijn gunstige effecten gevonden voor de bloeddruk, cholesterol, depressieve klachten, spiersterkte, botdichtheid, de kans om te vallen en de cognitieve functie bij ouderen en de leerprestatie van kinderen (Hildebrandt *et al.* 2010, Oja *et al.* 2011).

#### *Effecten volgens interventiestudies*

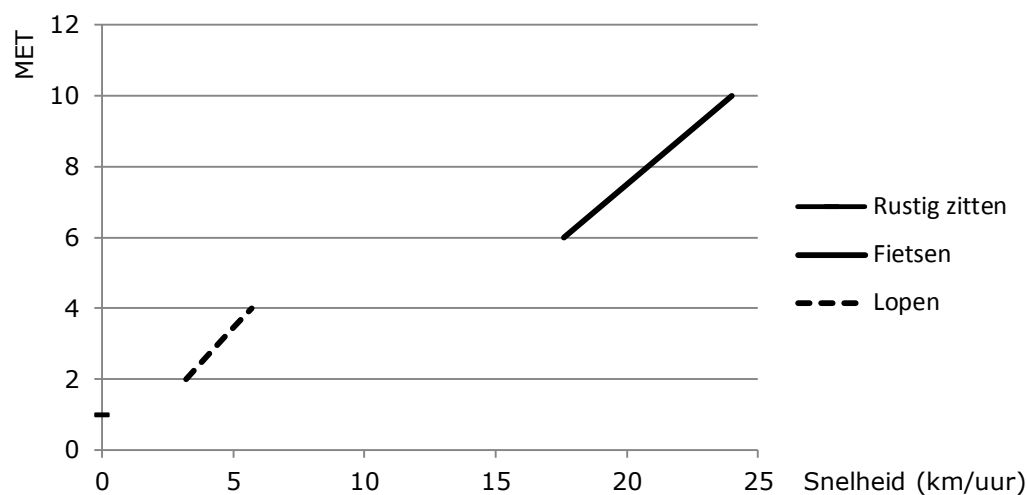
Er zijn ook interventiestudies uitgevoerd, bijvoorbeeld in Nederland door Hendriksen *et al.* (2000). De deelnemers werden verdeeld in een groep waarbij het fietsgebruik constant gehouden werd (de controlegroep) en een groep die meer ging fietsen (de interventiegroep). Het uithoudingsvermogen nam sterker toe bij de interventiegroep. Het moeilijk om deze studie op een zodanig grote schaal uit te voeren dat effecten op ziekten en mortaliteit onderzocht kunnen worden. Wel versterken deze studies het inzicht in de onderliggende mechanismen waarmee fysieke inspanning bijdraagt aan een betere gezondheid. Daarnaast is door de gekozen studieopzet (voor-na studie met controlegroep) de evidentie voor causaliteit sterker.

#### *Fietsen in de context van lichamelijke beweging het in het algemeen*

Kennis over de gezondheidsvoordelen van bewegen is vertaald in normen voor de hoeveelheid lichamelijke beweging. Een voorbeeld is de *Nederlandse Norm Gezond Bewegen (NNGB)*. Die stelt voor volwassenen (18-55 jaar) ten minste een half uur matig intensieve lichamelijke activiteit (bijvoorbeeld stevig wandelen (5 km/uur) of fietsen (16 km/uur)) op minimaal 5 dagen per week (Hildebrandt *et al.* 2010). Vergelijkbare normen worden in andere landen gehanteerd (Ainsworth *et al.* 2000).

Het 'Compendium of physical activities' helpt om in te schatten hoe intensief activiteiten zijn. De intensiteit wordt daarbij uitgedrukt in MET (Metabolic Equivalent of Task). Een waarde van 1 MET komt overeen met de inspanning die nodig is voor rustig zitten zonder verdere activiteiten, rustmetabolisme (4,18 kJ per kg per uur). Slaap komt overeen met 0,9 MET. Activiteiten tot 3 MET gelden als licht intensief; activiteiten tussen 3 en 6 MET als matig intensief en activiteiten boven 6 MET als zwaar intensief (Ainsworth *et al.* 2011). Figuur 3.1 geeft de intensiteit van lopen en fietsen weer. De inspanning over een langere duur kan worden weergegeven in MET

uur als het product van hoeveelheid inspanning voor een taak in MET en de tijdsduur besteed aan de taak in uren. De hoeveelheid inspanning in normen zoals de NNGB komt overeen met ongeveer 11 MET uur (2,5 uur per week bij een gemiddelde inspanning van 4,5 MET voor matige inspanning). De waarde van 11 MET uur wordt daarom vaak gebruikt als expositiemaat in effectstudies.



Figuur 3.1 Fysieke inspanning benodigd voor lopen en fietsen volgens het 'Compendium of physical activities' (Ainsworth *et al.* 2000)

In sommige studies wordt de bevolking ingedeeld in groepen naar de mate waarin aan normen voor hoeveelheid beweging wordt voldaan, bijvoorbeeld in Van Kempen *et al.* (2010):

- Inactieven die vrijwel nooit 30 minuten per dag aan matig intensieve taken besteden
- Semi-actieven die deze norm op 1 tot 4 dagen van de week halen
- Actieven die zich 5 tot 7 dagen per week, 30 minuten of meer matig intensief inspannen en daarmee aan de NNGB voldoen.

In 2009 voldeed 61% van de Nederlandse bevolking aan de NNGB (Hildebrandt *et al.* 2010).

#### *Kwantificering van effecten voor mortaliteit: doses-respons relaties*

De afgelopen jaren zijn meta-analyses uitgevoerd om de effecten van lichamelijke inspanning op het overlijdensrisico te kwantificeren. Daarbij wordt een hoeveelheid aan matige inspanning gelijk aan 11 MET uur (inspanning gelijk aan de NNGB) als referentie genomen. De volgende reducties van het overlijdensrisico zijn gevonden voor volwassenen tussen ca. 20 en 90 jaar:

- 150 minuten per week matige inspanning geeft een reductie van 19% (Woodcock *et al.* 2011)
- 168 minuten per week lopen gaat samen met een reductie van 11% (Kelly *et al.* 2014)
- 100 minuten per week fietsen gaat samen met een reductie van 10% (Kelly *et al.* 2014)

De laatste twee schattingen uit de meta-analyse van Kelly *et al.* (2014) zijn gebaseerd op leeftijdsgroepen tussen de 20 en 93 jaar. Lopen en fietsen kunnen samengaan met andere soorten gezond gedrag. Daarom is voor de meta-analyse gebruik gemaakt van studies waarin gecontroleerd is voor andere vormen van matige fysieke inspanning zoals tuinieren en factoren zoals roken. De uitkomsten zijn door de World Health Organisation (WHO) overgenomen in het Health Economic Assessment

Tool (HEAT, zie [heatwalkingcycling.org](http://heatwalkingcycling.org), Kahlmeier *et al.* 2013). Deze tool is uitgewerkt om praktijkmensen te helpen bij maatschappelijke kostenbatenanalyses.

De inschattingen voor fietsen en lopen van Kelly *et al.* (2014) zijn conservatiever dan die van Woodcock *et al.* (2011) voor matige fysieke inspanning in het algemeen. Dat kan ermee te maken hebben dat de schattingen voor het totale overlijdensrisico gelden. Bij lopen en fietsen zou een deel van de winst door fysieke inspanning verloren kunnen gaan door verkeersonveiligheid en een grotere blootstelling aan uitlaatgassen, hoewel die nadelen klein lijken te zijn (De Hartog *et al.* 2010). Een andere verklaring zou kunnen zijn dat de mate van inspanning waarmee voor lopen en fietsen wordt gerekend (zie figuur 1) te hoog is, omdat de MET waarden bepaald lijken te zijn voor een constante activiteit terwijl in het verkeer tijd verloren gaat bij kruispunten. De ritsnelheid is lager dan de kruissnelheid. Interessant is dat bovenstaande studies het mogelijk maken om lopen en fietsen te vergelijken. Per tijdseenheid levert fietsen grotere gezondheidsvoordelen dan lopen. Echter, omdat de gemiddelde loopsnelheid lager is dan de gemiddelde fietssnelheid zijn de gezondheidsbaten per kilometer groter voor lopen dan voor fietsen. Het is dus gezonder om een rit lopend dan fietsend af te leggen.

De WHO gaat in de HEAT tool uit van een relatief eenvoudige lineaire relatie tussen de tijd besteed aan lopen en fietsen en de reductie van het overlijdensrisico (Kahlmeier *et al.* 2013). Er wordt verondersteld dat eenzelfde hoeveelheid extra tijd besteed aan lopen en fietsen bij inactieven ongeveer hetzelfde effect heeft als bij mensen die al actief zijn. Studies naar het effect van matige inspanning in het algemeen duiden wel op afnemende meeropbrengsten. De reductie van 19% die Woodcock *et al.* (2011) vond voor 11 MET uren steeg nog tot 24% bij 31 MET uur (overeenkomend met 7 uur per week). Een dergelijke inspanning is mogelijk op individueel niveau, maar is niet erg waarschijnlijk op populatieniveau. Voor effect-schattingen op populatieniveau lijkt het uitgangspunt van de WHO goed verdedigbaar.

#### *Kwantificering van effecten voor morbiditeit: doses-respons relaties*

Voor ziekten (morbiditeit) zijn helaas nog geen meta-analyses beschikbaar die het specifieke effect van lopen en fietsen hebben gekwantificeerd (Oja *et al.* 2011). Een uitzondering is de studie van Hamer and Chida (2008) waarin een reductie van 11% voor hart- en vaatziekten werd gevonden bij mensen die te voet of met de fiets naar hun werk gaan. Lopen en fietsen konden daarbij niet van elkaar worden onderscheiden. De enige manier om effecten te kwantificeren is daarom het gebruik van uitkomsten van studies naar matige fysieke inspanning in het algemeen. Reducties per ziekte voor 2,5 uur matige inspanning per week volgens een review van Woodcock *et al.* (2009) zijn:

- Dementie, 11% boven de 45 jaar
- Hart- en vaatziekten, 23% boven de 30 jaar
- Borstkanker bij vrouwen, 13% boven de 15 jaar
- Darmkanker, 8% voor mannen en 5% voor vrouwen boven de 15 jaar
- Depressie, 7% boven de 30 jaar

Vanwege het gebrek aan studies die specifiek gericht zijn op de relatie tussen morbiditeit en lopen en fietsen heeft de WHO besloten om HEAT voornamelijk te beperken tot mortaliteit.

Er is ook een sterk vereenvoudigde aanpak denkbaar om een beeld van de totale ziektelast te krijgen op basis van kennis over de opbouw van de ziektelast door een inactieve leefstijl. De ziektelast bestaat enerzijds uit verloren levensjaren (mortaliteit) en anderzijds levensjaren doorgebracht in ziekte (morbiditeit). Beiden kunnen

worden gebundeld in DALY's (Disability Adjusted Life Years) als maat voor de totale ziektelast, zie hoofdstuk 3 voor meer details hierover. De ziektelast gerelateerd aan inactiviteit wordt voor grofweg twee-vijfde bepaald door mortaliteit en drie-vijfde door morbiditeit (De Hollander *et al.* 2006). Er zijn inmiddels goede methoden beschikbaar om het effect van fietsen en lopen op mortaliteit te schatten. De bovengenoemde verdeling van de ziektelast geeft een beeld van hoe groot de onderschatting is als alleen het effect op verloren levensjaren is geschat, namelijk circa 60% van de totale ziektelast.

### 3.2 **Fysieke inspanning: gewone fiets versus en lopen en de elektrische fiets**

De vraag is in hoeverre de voordelen van fietsen ook opgaan voor het gebruik van elektrische fietsen. Fishman (2015) heeft recent literatuur over gezondheidseffecten van elektrische fietsen samengevat. Definitieve conclusies zijn nog niet te trekken maar het is waarschijnlijk dat de elektrische fiets per saldo een positief effect op de gezondheid heeft. Er is sprake van een matige fysieke inspanning die ligt tussen gebruik van een normale fiets en lopen in. De toename van de tijd besteed aan matige fysieke inspanning dankzij de elektrische fiets lijkt groter dan de daling van inspanning per tijdseenheid.

De eerste vraag die van belang is voor het effect op gezondheid, is de hoeveelheid lichamelijke inspanning per tijdseenheid. Die blijkt te kunnen bijdragen aan het halen van de NNGB. Er zijn verschillende studies verricht naar de inspanning *per tijdseenheid*. Een Nederlandse studie van Simons *et al.* (2009) betrof het afleggen van een parkoers van 4,3 km op een elektrische fiets: één keer zonder ondersteuning, één keer met ondersteuning in de eco-stand en één keer met maximale ondersteuning. In alle gevallen werd een matige inspanning tussen 3 en 6 MET bereikt. Met ondersteuning werd een hogere snelheid bereikt waardoor het traject in minder tijd werd afgelegd. Gojanovic *et al.* (2011) voerden een vergelijkbaar experiment uit in Zwitserland op heuvelachtig terrein. Hierbij legden deelnemers op eigen snelheid fietsend en lopend een traject van 5,1 km af. Voor lopen was een inspanning overeenkomend met 6,5 MET nodig. Met een fiets zonder trapondersteuning, met standaard trapondersteuning en met maximale trapondersteuning was dat respectievelijk 8,2 MET, 7,3 MET en 6,1 MET. Ook Langford (2013) vond voor de elektrische fiets een inspanning per tijdseenheid tussen die van lopen en fietsen. Theurel *et al.* (2012) en Sperlich *et al.* (2012) vonden vergelijkbare resultaten. Voor zover bekend heeft alleen de Geus *et al.* (2013) naar gezondheidseffecten op de iets langere termijn gekeken waarbij ongetrainde deelnemers zes weken werden gevolgd. Daarbij werden gunstige effecten gevonden op fysiologische maten zoals de belastbaarheid en maximale zuurstofopname.

Het tweede aspect dat van belang is voor het effect op gezondheid, is de vraag welk effect elektrisch fietsen heeft op de totale tijd die mensen besteden aan matige inspanning. Voor de mobiliteitseffecten van de elektrische fiets in Nederland is een marktanalyse uitgevoerd (Hendriksen *et al.* 2008). De meeste fietskilometers bleken nieuw (38%), gevolgd door substitutie van kilometers met de gewone fiets (34%) en de auto (18%). Kleinere aandelen van het gebruik komen van bus, tram, metro en trein (3%), snor-, brom- en motorfiets (3%) en lopen (2%). De relatief grote groep nieuwe kilometers zijn te verklaren door recreatieve fietstochten met de elektrische fiets. In China is er vooral sprake van vervanging van openbaar vervoer en daarnaast van de auto en de fiets; in de VS vooral van de auto en de fiets (MacArthur *et al.* 2014, Cherry *et al.* 2015). Omdat er vooral sprake is van nieuwe recreatieve ritten en vervanging van passieve ritten is er sprake van een stijging van de tijd besteed aan matige inspanning.

Doordat er door de elektrische fiets meer tijd besteed wordt aan matige fysieke inspanning zijn de gezondheidseffecten gerelateerd aan fysieke inspanning per saldo

positief. Een vergelijking van lopen, fietsen en elektrisch fietsen per kilometer geeft een ander beeld. Door de combinatie van inspanning per tijdseenheid en de benodigde tijd om een kilometer af te leggen, is de winst het grootste bij lopen, gevolgd door fietsen en elektrisch fietsen.

### 3.3 Luchtvervuiling

Verkeer is een van de bronnen van luchtvervuiling. De emissie van vervuilende stoffen is een gevolg van verbranding van fossiele brandstoffen, remmen- en bandenslijtage. De bijdrage van het wegverkeer verschilt per stof en daarom ook de ruimtelijke samenhang tussen de hoeveelheid verkeer en de concentratie van de stof. De ruimtelijke spreiding van fijn stof (PM10) en de fijnere fractie van fijn stof (PM2,5) wordt minder bepaald door verkeer dan die van ultra-fijnstof (PM0,1), koolstofmonoxide (CO), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en elementair koolstof (EC). De EC concentratie waar mensen gemiddeld in het verkeer aan blootgesteld worden is bijvoorbeeld zo'n tweeënhalf keer zo hoog als in winkels en ruim vijf keer zo hoog als thuis (Dons *et al.* 2011).

#### *Het effect van luchtvervuiling op gezondheid*

Luchtvervuiling is van belang voor de gezondheid vanwege de bijdrage aan met name hart- en vaatziekten en longaandoeningen (Hoek *et al.* 2013). Zo kunnen utrafijndeeltjes diep in de longen en mogelijk ook rechtstreeks in het vaatstelsel doordringen (Keuken *et al.* 2009). In een Nederlandse studie werd gevonden dat mensen die binnen 100 m van een snelweg of binnen 50 m van een verkeersader woonden (3% respectievelijk 2% van de bevolking) een 41% hogere sterftkans hebben. De kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten was met 95% verhoogd (Hoek *et al.* 2002). De kans om te overlijden aan andere aandoeningen dan hart- en vaatziekten en longkanker was niet verhoogd. Het vele onderzoek dat afgelopen jaren is gedaan is samengevat in met een meta-analyse (Hoek *et al.* 2013). Het effect op het overlijdensrisico van een verhoogde blootstelling aan:

- 10 µg/m<sup>3</sup> aan PM2,5: 6% hoger
- 10 µg/m<sup>3</sup> aan NO<sub>2</sub>: 5% hoger
- 1 µg/m<sup>3</sup> aan EC: 6% hoger

Bij blootstelling aan PM2,5 kon ook onderscheiden worden dat het overlijdensrisico voor hart- en vaatziekten (met name gerelateerd aan aderverkalking) 11% hoger was per 10 µg/m<sup>3</sup>. Het verband was zwakker voor longaandoeningen zoals longkanker, maar Hoek *et al.* (2013) geven aan dat de relatie mogelijk sterker zou zijn geweest voor stoffen die sterker aan verkeer gerelateerd zijn.

#### *Emissies in relatie tot voertuigkilometers en voertuigkenmerken*

De totale hoeveelheid emissies door wegverkeer wordt bepaald door de voertuigprestatie en voertuigkenmerken zoals verbruik en de aanwezigheid van een katalysator. Er zijn emissiefactoren (uitstoot per gereden kilometer) per type voertuig bepaald, waarmee het CBS op basis van de vervoersprestatie de bijdrage per voertuigtype aan de totale emissies schat. Voor bijna alle emissies waarover het CBS voor 2013 rapporteerde was de bijdrage van de personenauto binnen de bebouwde kom het grootste (CBS 2015), wat verklaarbaar is uit de relatief grote voertuigprestatie. Vrachtauto's en trekkers dragen met 38% veel bij aan stikstofdioxide. Een aantal jaar geleden zijn katalysatoren verplicht geworden om deze emissies terug te dringen maar deze bleken met name op stadswegen slecht te werken en de normen met een factor drie te overschrijden (Ligterink *et al.* 2009). Brom- en snorfietsen dragen met 38% relatief sterk bij aan vluchtige organische stoffen en met 24% aan methaan (CBS 2015). Uit onderzoek van de GGD Amsterdam en de Universiteit Utrecht blijkt dat brom- en snorfietsen weinig bijdragen aan stikstofdioxide maar veel aan ultrafijnstof (Van der Zee *et al.* 2012). De verwachting is dat de Euro 4



normen voor bromfietsen, die in 2017 van kracht zullen worden, het einde zullen betekenen voor de tweetaktmotoren, zodat de uitstoot van zowel fijnstof als ultrafijnstof zal dalen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2013).

#### *Verkeerskenmerken en blootstelling in relatie tot tweewielers*

De blootstelling aan vervuiling tijdens verkeersdeelname is met name gerelateerd aan het gebruik van tweewielers via hun aandeel in de modal split en spreiding van verkeer over de ruimte:

- Modal split:
  - De emissies nemen af bij substitutie van vervoermiddelen met een verbrandingsmotor door tweewielers met een elektrische motor of (gedeeltelijke) aandrijving door de berijder.
  - Doordat ze actief zijn ademen fietsers meer lucht en daarmee ook meer vervuiling in. Bij lopen zal het verschil iets kleiner zijn. Mensen die overschakelen naar lopen of fietsen krijgen daardoor meer vervuiling binnen dan wanneer ze autorijden.
- Spreiding van verkeer over de ruimte: hoe verder iemand van het gemotoriseerd verkeer (de bron) vandaan is, hoe kleiner de concentratie van verontreiniging waaraan hij/zij blootgesteld wordt.

#### *Schatting effect modal split*

De concentratie van luchtvervuiling langs wegen kan afhankelijk van de locatie (de achtergrondconcentratie verschilt door andere bronnen zoals industrie), hoeveelheid verkeer en afstand tot de weg worden gemodelleerd. Een voorbeeld is het CAR (Calculation of Air pollution from Road traffic) model dat is ontwikkeld voor het berekenen van de luchtkwaliteit langs straten (Den Boeft *et al.* 1996). De Hartog *et al.* (2010) gebruikten het CAR model voor een schatting van de verandering in blootstelling door substitutie van 12,5% van de korte autoritten door de fiets. Voor een typische verkeerader met 10.000 voertuigen per dag zou een reductie van de verkeersintensiteit met 12,5% de concentratie NO<sub>2</sub> met 1.3 µg/m<sup>3</sup> doen dalen en de concentratie PM10 met 0.4 µg/m<sup>3</sup>. Van Kempen *et al.* (2010) gingen voor een vergelijkbare schatting uit van een onderzoek van Vermeulen en Den Boer (2005) die de verandering in verkeersgerelateerde emissies schatten door substitutie van korte autoritten door fietsritten in de regio Rijnmond. Substitutie van 10% van de korte autoritten zou de concentratie NO<sub>2</sub> met 1 tot 2 µg/m<sup>3</sup> doen dalen. Ze geven aan dat de reductie groter zal zijn voor mensen die langs een verkeerader wonen dan voor mensen die daar verder vanaf wonen. De reductie van blootstelling aan NO<sub>2</sub> zou dan hoger uitkomen dan de schatting van De Hartog *et al.* (2010).

Voertuigtypen verschillen ook in de hoeveelheid luchtverontreiniging die gebruikers inademen. Fietsers ademen 2 tot 5 keer meer lucht in en daarmee ook meer luchtvervuiling (Zuurbier *et al.* 2009, Int Panis *et al.* 2010). De eerder genoemde effectstudies gericht op luchtvervuiling en gezondheid houden rekening met de concentratie van stoffen in de lucht maar niet met verschillen in ademfrequentie. De studies zijn echter toepasbaar door de gemiddelde concentratie waaraan iemand is blootgesteld te schalen aan de hand van het verschil in de totaal op een dag geïnhaleerde stoffen (De Hartog *et al.* 2010).

#### *Schatting effect spreiding verkeer over de ruimte*

Blootstelling aan luchtverontreiniging wordt bepaald door kenmerken van de bron en degene die wordt blootgesteld maar ook door de afstand tussen beiden. Vervuiling verdunt naarmate de afstand tot de bron toeneemt (Rijnders *et al.* 2001). Modellen zoals eerder genoemde CAR model zijn ontwikkeld om per straattypen effect van afstand tot de weg te modelleren. Dergelijke modellen zijn vooral ontwikkeld

voor de blootstelling bij woningen. Ook voor verkeersdeelnemers is de verdeling van verkeer over de ruimte van belang. Bij metingen tijdens het afleggen van routes tussen dezelfde herkomsten en bestemmingen met de auto en de fiets, bleek dat automobilisten aan ca. 5% hogere concentraties ultra-fijnstof werden blootgesteld (Boogaard *et al.* 2009). De blootstelling aan EC en NO<sub>2</sub> blijkt lager wanneer fietsers over rustige straten rijden (Hertel *et al.* 2008, Jarjour *et al.* 2013) of op fietspaden door de grotere afstand tot het gemotoriseerde verkeer (Strak *et al.* 2010, Hatzopoulou *et al.* 2013). Het voeren van beleid om fietsverkeer van het gemotoriseerde verkeer te ontvlechten en de aanleg van fietspaden kunnen dan ook de blootstelling beperken. De uitkomsten van bovengenoemde studies kunnen helpen om het effect op de gezondheid in te schatten.

#### *Morbiditeit versus mortaliteit*

Net als bij het effect van inactiviteit is het de vraag hoe betrouwbaar het is om zowel naar mortaliteit als morbiditeit te kijken. De meta-analyses geven vooral een betrouwbaar beeld van mortaliteit en veel minder van morbiditeit. Net als voor inactiviteit zou het denkbaar zijn om te kijken naar de verdeling van de ziektelast bij de ziekten die het meest bepalend zijn voor het effect van luchtverontreiniging, namelijk hart- en vaatziekten (daarbij vooral coronaire hartziekten en beroerten) en longkanker. Volgens schattingen van RIVM is bijna drievijfde van de ziektelast het gevolg van mortaliteit en tweevijfde van morbiditeit.

### **3.4 Geluid**

Een gezondheidsaspect dat deels gecorreleerd is met luchtverontreiniging is geluid. Boogaard *et al.* (2009) vonden een correlatie van 0,34 tussen de blootstelling aan ultra-fijnstof en geluid tijdens fietsritten. Met name voor omwonenden kan langdurige blootstelling aan een hoog geluidsniveau gezondheidsschade geven. Het kan bijvoorbeeld de kwaliteit van slaap negatief beïnvloeden. Volgens de studie van Van Kempen *et al.* (2010) is het effect van geluid op gezondheid aanzienlijk kleiner dan het effect van luchtverontreiniging.

### **3.5 Verkeersveiligheid**

De letsels bij verkeersongevallen werken direct door in de ziektelast. Maatregelen die het risiconiveau verlagen kunnen daarmee de ziektelast verlagen. Ook de modal split kan een rol spelen. Om het effect van een overstap van bijvoorbeeld de auto naar de fiets te schatten is niet alleen het risico voor de berijder of inzittende zelf maar ook het risico voor andere verkeersdeelnemers van belang. In een auto loopt de inzittende relatief weinig risico maar lopen voetgangers en (snor/brom)fietsers meer risico. Bij de fiets is dat omgekeerd. Met ongevalsvoorspelmodellen kan hiermee rekening worden gehouden. Een overstap van de auto naar de fiets blijkt nauwelijks effect te hebben op het totaal aantal verkeersdoden. Door het grote aantal ernstig verkeersgewonden bij enkelvoudige fietsongevallen neemt bij deze modal shift wel het aantal ernstig verkeersgewonden toe (Stipdonk and Reurings 2012, Schepers and Heinen 2013). Bij de brom- en snorfiets ligt het aantal ziekenhuisopnamen en doden per reizigerskilometer 2 tot 3 keer zo hoog als bij de fiets. Door de grotere snelheid zal ook het risico voor andere verkeersdeelnemers bij de brom- en snorfiets hoger liggen. Daarom zal een modal shift naar de brom- of snorfiets een minder gunstig effect op de verkeersveiligheid hebben (Schepers en Van der Voet, 2014).

### 3.6

#### **Overlap tussen effecten**

Bij het toepassen van de in dit hoofdstuk beschreven effecten moet rekening worden gehouden met overlap. De in paragraaf 1.1 beschreven studies hadden betrekking op 'all-cause mortality' door meer lopen en fietsen. Daarin zijn voor voetgangers en fietsers een grotere blootstelling aan risico's van luchtvervuiling en verkeersveiligheid al meegerekend. Echter, verminderde risico's voor andere verkeersdeelnemers en omwonenden zijn daarin nog niet verdisconteerd. Een andere mogelijk overlap is die tussen de risico's van luchtverontreiniging en geluidsoverlast. Risico's van luchtverontreiniging zijn veelal onderzocht aan de hand van de locatie waar mensen wonen en de concentratie van stoffen ter plekke, of zoals in de Nederlandse studie van Hoek *et al.* (2002) aan de hand van de afstand tot snelwegen en verkeersaders. Bij deze studieopzet zal een hogere concentratie stoffen gecorreleerd zijn met een hoger geluidsniveau. De effecten van luchtverontreiniging en geluid zouden elkaar daarom kunnen overlappen.

## 4 Het effect van modal shifts op gezondheid

In dit hoofdstuk worden inschattingen gemaakt van de gezondheidseffecten van het gebruik van tweewielers met als doel om de orde van grootte van de verschillende in hoofdstuk 2 besproken gezondheidsaspecten te duiden. Voor een indicatie maken we gebruik van drie (hypothetische) scenario's waarin:

- a) alle fietsritten worden vervangen door autoritten
- b) alle brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten
- c) lopen volledig wordt vervangen door fietsritten

Als maatstaven voor het kwantificeren van de gezondheidseffecten in deze scenario's gebruiken we (bespaarde) ziektelast en kosten (zie hoofdstuk 3). Voor concrete beleidsmaatregelen zullen waarschijnlijk specifiekere scenario's doorgerekend moeten worden.

Het hoofdstuk is als volgt opgebouwd. In paragraaf 4.1 bespreken we de gezondheidseffecten in elk van de drie scenario's. In de daarop volgende paragrafen gaan we in op de omvang van de verschillende effecten op ziektelast per scenario, waarbij we deze ziektelast zoveel mogelijk kwantificeren (4.2-4.4). Het doel hiervan is om de orde van grootte van de effecten te schatten en de systematiek van gezondheidseffectschattingen te laten zien. Waar schattingen verfijnd kunnen worden, wordt weergegeven hoe dat kan en hoe de uitkomsten daardoor beïnvloed kunnen worden. Paragraaf 4.5 gaat in op de effecten van elk scenario op de maatschappelijke kosten. Paragraaf 4.7 bediscussieert de resultaten.

### 4.1 Gezondheidseffecten in drie scenario's en methoden voor het schatten van effecten

#### *Gezondheidseffecten*

Op basis van de literatuur die in hoofdstuk 3 is besproken kunnen we in de drie scenario's de volgende gezondheidsaspecten onderscheiden:

- Lichaamsbeweging door fietsen en lopen, wat gezondheidswinst oplevert.
- Luchtvervuiling, waarbij het enerzijds gaat om veranderingen in de blootstelling aan emissies bij een modal shift en anderzijds om veranderingen in de hoeveelheid emissies door een modal shift. Het eerste effect betreft de gezondheid van de betreffende verkeersdeelnemers en bij het tweede effect gaat het (ook) om de gezondheid van anderen zoals andere verkeersdeelnemers en omwonenden.
- Geluidsoverlast: gemotoriseerd verkeer zorgt voor geluidsoverlast voor vooral omwonenden en mogelijk ook medeweggebruikers (voetgangers, fietsers).
- Verkeersveiligheid: modal shifts leiden tot veranderingen in het aantal ongevallen en in het aantal en type letsels.

Tabel 4.1 geeft de effecten die optreden per scenario, waarbij '+' aangeeft dat er een toename is van het betreffende effect (zoals meer lichaamsbeweging of meer luchtvervuiling) en '-' een afname.

Tabel 4.1 Effecten die gezondheid beïnvloeden per scenario

Effect		Vervoerswijze	Scenario		
			a	b	c
Lichaamsbeweging		Fiets	-	+	+
		Lopen			-
Luchtvervuiling	Blootstelling aan emissies	Fiets	-	+	+
		Lopen			-
		Brom-/snorfiets		-	
		Auto	+		
	Hoeveelheid emissies	Brom-/snorfiets		-	
		Auto	+		
Geluidsoverlast		Brom-/snorfiets		-	
		Auto	+		
Verkeersletsel		Fiets	-	+	+
		Lopen			-
		Brom-/snorfiets		-	
		Auto	+		

Geluidsoverlast nemen we in de effectschattingen niet mee, omdat uit eerdere studies naar de gezondheidseffecten van een modal shift van auto naar fiets blijkt dat dit een relatief klein effect is (Van Kempen et al., 2010) of niet goed geschat kan worden (De Hartog et al., 2010).

#### Methoden

Voor de berekeningen van ziektelast en kosten maken we voornamelijk gebruik van cijfers en resultaten van eerdere studies, in het bijzonder de studies die zijn besproken in hoofdstuk 2. Waar nodig worden (onderbouwde) aannamen gedaan als gegevens ontbreken. De berekeningen geven dan een globaal beeld van de omvang van de gezondheidseffecten in termen van ziektelast en kosten.

Voor het schatten van de gezondheidseffecten van *lichaamsbeweging* door fietsen maken we gebruik van onderzoek naar matige inspanning op ziekten (Woodcock et al., 2009). Het gaat om vijf ziekten: dementie, coronaire vaatziekten, borstkanker bij vrouwen, darmkanker en depressie. Woodcock et al. (2009) baseren de effecten op een overzicht van onderzoeken naar het effect van matige inspanning op de betreffende ziekten. Omdat er geen onderzoek is gedaan naar effecten van fietsen op morbiditeit gebruiken we resultaten van onderzoek naar matige inspanning in het algemeen. De effectschattingen koppelen we aan schattingen van het RIVM van de ziektelast (YLL en YLD) van de betreffende ziekten (Gommer et al., 2014). De ziektelast van depressie en van ziekten die worden veroorzaakt door hoge bloeddruk heeft het RIVM niet bepaald<sup>7</sup>, zodat we deze ziekten niet kunnen meenemen in de berekening. Voor de overige ziekten waarvoor Woodcock et al. (2009) een effect-schatting geven heeft het RIVM wel de ziektelast bepaald, zodat het effect op ziektelast kan worden bepaald.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Het RIVM heeft in het onderzoek naar ziektelast 59 ziekten geselecteerd die de grootste bijdrage leveren aan de ziektelast (Poos en Gijsen, 2013). Depressie en ziekten veroorzaakt door hoge bloeddruk vallen niet onder deze vijftig. De onderschatting die ontstaat door deze ziekten in onze berekeningen buiten beschouwing te laten is gering, aangezien deze ziekten tot een relatief geringe ziektelast leiden.

<sup>8</sup> De definitie van ziekten die Woodcock et al. (2009) hanteren komen goed overeen met die van het RIVM. Vergelijking van de ICD-10-codes van de ziekten die het RIVM hanteert (Poos en Gijsen, 2013) met de Global Burden of Disease codes die Woodcock et al. (2009) gebruiken, en die we hebben omgezet naar ICD-10-codes op basis van WHO (2013), laat zien dat er alleen lichte verschillen zijn in de definities van dementie en beroerte.

Het RIVM heeft YLL en YLD bepaald naar geslacht en drie leeftijdsgroepen: tot 15 jaar, 15 tot 65 jaar en 65+. Het effect van lichaamsbeweging is voor een aantal ziekten echter alleen bekend voor afwijkende leeftijdsgroepen (30+, 45+). Bij gebrek aan gegevens over ziektelast voor alleen deze doelgroepen passen we de effectschattingen van Woodcock et al. (2009) toe op de ziektelast van 15 tot 65-jarigen en 65-plussers. De overschatting die dat tot gevolg heeft is waarschijnlijk gering, omdat de betreffende ziekten in de jongere leeftijdsgroepen (30- en 45-) veel minder vaak voorkomen.

### **Methoden ziekte- en letsellast**

Het RIVM heeft het aantal DALYs in 2011 bepaald voor 59 ziekten en letselcategorieën, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen verloren levensjaren (YLL) en jaren geleefd met ziekte (YLD, ook wel ziektejaarequivalenten). De selectie van ziekten is onder meer gemaakt op basis van diverse criteria (zoals sterfte, morbiditeit, kosten en gevolgen voor arbeidsparticipatie) en inschattingen van experts (Poos & Gijsen, 2013). YLL wordt berekend door het aantal sterfgevallen (naar oorzaak en leeftijd) te vermenigvuldigen met de huidige resterende levensverwachting (Poos, 2013). Er wordt daarbij gebruik gemaakt van leeftijdsklassen van 5 jaar (waarbij verondersteld wordt dat de gemiddelde overlijdensleeftijd het midden van die klasse is). Het RIVM past, in navolging van de laatste internationale 'Global Burden of Disease' studie, geen weging naar leeftijd toe, dat wil zeggen dat elk verloren levensjaar even zwaar weegt ongeacht leeftijd.

Het RIVM berekent YLD voor de meeste ziekten op basis van prevalentie en wegingsfactoren voor de mate van verlies van kwaliteit van leven. Voor letsel en sommige kortdurende ziekten wordt gebruik gemaakt van incidentie in plaats van prevalentie. De wegingsfactoren zijn voor de meeste ziekten afkomstig uit de 'Dutch Disability Weights' studie. De wegingsfactoren zijn daarin bepaald op basis van inschattingen van medische experts, waarvoor verschillende methoden zijn gebruikt (Van Gool et al., 2014). Daarnaast zijn wegingsfactoren uit de internationale 'Global Burden of Disease' studie gebruikt.

SWOV heeft YLD van ernstig verkeersgewonden bepaald voor de periode 2000-2011 (Weijermars et al. 2014). Daarbij is een methode toegepast die is ontwikkeld door de Erasmus Universiteit (Haagsma et al., 2012). De methode maakt gebruik van 39 letselcategorieën. De YLD wordt berekend op basis van het aantal slachtoffers per categorie (uit de Landelijk Medische Registratie) en wegingsfactoren voor verlies van kwaliteit van leven ten gevolge van het letsel. Bij de wegingsfactoren maakt de methode onderscheid tussen letselgevolgen op korte termijn en blijvende letselgevolgen. De wegingsfactoren zijn bepaald aan de hand van beoordelingen door de algemene bevolking. Tevens hebben Haagsma et al. (2012) onderzocht wat het aandeel van slachtoffer met blijvende gevolgen is. Bij blijvende gevolgen wordt er rekening mee gehouden dat slachtoffers te maken hebben met verlies van kwaliteit van leven gedurende de resterende levensverwachting. Ten behoeve van deze studie heeft SWOV tevens YLL van verkeersslachtoffers bepaald, op basis van aantal verkeersslachtoffers naar leeftijd en huidige resterende levensverwachting zoals bepaald door het CBS. Evenals het RIVM past SWOV geen weging naar leeftijd toe.

Weggebruikers worden blootgesteld aan verschillende vervuilende stoffen, zoals fijnstof (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), ultrafijnstof (PM<sub>0,1</sub>) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>). De concentratie PM<sub>2,5</sub> is een veelgebruikte indicator voor blootstelling aan luchtvervuiling (De Hartog, 2010; Hoek, 2013; Woodcock, 2013) en in de berekening van effecten van *luchtvervuiling* gaan we dan ook uit van deze indicator. Om het effect van blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> op mortaliteit te schatten gebruiken we de berekeningswijze die De Hartog et al. (2010) toepassen om het effect van het vervangen van korte autoritten door fietsritten te bepalen. Dit betekent dat we het verschil in ingeademde stoffen in een modal shift vertalen naar een equivalente verandering in concentratie. Aan de hand van de relatie tussen deze verandering in concentratie en overlijdensrisico uit de meta-analyse van Hoek et al. (2013) kunnen we dan het effect op mortaliteit berekenen. Effecten op YLL bepalen we vervolgens op basis van resterende levensverwachting.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is er veel minder bekend over het effect van luchtvervuiling op morbiditeit en in meta-analyses (bijvoorbeeld Hoek et al. (2013) en Ostro (2004)) worden geen schattingen gegeven van de relatie tussen blootstelling aan luchtvervuiling en het risico om ziekten op te lopen. Op basis van een literatuuroverzicht geeft Ostro (2004) niettemin aan dat er een relatie is tussen blootstelling aan PM<sub>10</sub> en het aantal ziekenhuisopnamen voor hart- en vaatziekten en ziekten van ademwegen, in het bijzonder asthma. Om een indicatie te geven van het mogelijke effect van PM<sub>2,5</sub> op hart- en vaatziekten passen we de methode die we hebben gebruikt voor mortaliteit ook toe op morbiditeit.

Effecten van veranderingen in *emissies* op ziektelast bepalen we aan de hand van onderzoek naar de totale ziektelast ten gevolge van PM<sub>2,5</sub> (Hänninen en Knol, 2011) en de bijdrage daaraan van personenauto's en brom-/snorfietsers op basis van CBS-gegevens over emissies naar vervoerswijze.

Effecten op ziektelast ten gevolge van *verkeersongevallen* baseren we op berekeningen van YLL en YLD naar leeftijd, geslacht en vervoerswijze die SWOV ten behoeve van deze studie heeft aangeleverd.<sup>9</sup> Op basis van de totale letsellast naar vervoerswijze en veranderingen in mobiliteit (afgelegde afstand) maken we (groeve) inschattingen van effecten op letsellast door verkeersongevallen. We gaan daarbij uit van het gemiddelde aantal verkeersslachtoffers in de periode 2005-2009, omdat 2009 het meeste recente jaar is waarvoor de YLD van verkeersslachtoffers bepaald kan worden. Vanwege onzekerheden in de berekeningen van YLD nemen we gemiddelden voor een periode van 5 jaar. Voor scenario (a) maken we daarnaast gebruik van literatuur over de verkeersveiligheidseffecten van een modal shift van auto naar fiets (Schepers en Heinen, 2012; Stipdonk en Reurings, 2012).

## 4.2 Effecten op ziektelast bij vervangen fietsritten door autoritten

### *Lichaamsbeweging*

Woodcock et al. (2009) geven risicoreducties voor matige inspanning van 2,5 uur per week, die uiteenlopen van 5% (darmkanker vrouwen) tot 23% (coronaire hartziekten), zie paragraaf 2.1. De risicoreductie door fietsen hebben we bepaald op basis van de tijdsbesteding aan fietsen per week voor de leeftijdsgroepen waarvoor

<sup>9</sup> De indeling naar vervoerswijze is enigszins verschillend voor doden/YLL en ernstig verkeersgewonden/YLD, waardoor inzittenden van bestelauto's niet zijn meegenomen in de cijfers betreffende doden/YLL in dit rapport en bij ernstig verkeersgewonden/YLD brommobielen niet zijn inbegrepen.

het effect geldt<sup>10</sup>, waarbij we een lineair verband veronderstellen tussen de risicoreductie en deze tijdsbesteding.<sup>11</sup> De reductie van ziektelast door fietsen is vervolgens berekend door de risicoreductie door fietsen te vermenigvuldigen met de totale YLL en YLD van de betreffende ziekten.

De resultaten zijn opgenomen in Tabel 4.2. De berekeningen laten zien dat fietsen naar schatting een besparing van 80.000 DALYs oplevert, ofwel dat de ziektelast met 80.000 DALYs toeneemt als er niet meer gefietst zou worden. Het gaat om 30.000 bespaarde levensjaren (YLL) en 50.000 levensjaren geleefd met ziekte (gewogen voor verlies van kwaliteit van leven; YLD). Coronaire hartziekten (30.000 DALYs), beroerte (20.000 DALYs) en diabetes (17.000 DALYs) hebben daarin een groot aandeel, omdat de risicoreductie door lichaamsbeweging relatief hoog is en deze ziekten tot een relatief hoge ziektelast leiden. De verhouding YLL/YLD (38%/62%) in de bespaarde ziektelast wijkt licht af van de verhouding in de totale ziektelast van de betreffende ziekten (42%/58%), omdat de risicoreductie het grootst is voor de ziekten die tot relatief meer YLD leiden dan YLL.

#### *Luchtvervuiling*

Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 gebruiken we voor luchtvervuiling de methode van De Hartog et al. (2010). Tabel 4.3 geeft de cijfers die we in dit scenario gebruiken voor de schatting van de risicoreductie door verminderde blootstelling aan luchtvervuiling conform die methode. Zowel fietsers als automobilisten worden blootgesteld aan luchtvervuiling, maar door een hogere ademfrequentie ademen fietsers meer vervuilende stoffen in dan automobilisten. We gaan uit van een gemiddelde concentratie PM<sub>2,5</sub> van 10 µg/m<sup>3</sup>. Dit is de gemiddelde concentratie in zes stedelijke agglomeraties (2009-2011; Velders et al., 2014). Aan deze concentratie worden mensen blootgesteld wanneer zij niet aan het verkeer deelnemen. We gaan uit van de concentratie in stedelijk gebied, omdat daar de meeste mensen wonen en ook per hoofd van de bevolking de meeste fietskilometers worden afgelegd (Harms et al., 2014). Op basis van De Hartog et al. (2010) gaan we ervan uit dat de concentraties waaraan fietsers en automobilisten worden blootgesteld een factor 1,5 respectievelijk 1,75 hoger zijn. Schattingen van de hoeveelheid lucht die fietsers inademen lopen uiteen van 21 liter/minuut tot 50 liter/minuut (zie paragraaf 2.3). Volgens De Hartog et al. (2010) ademen mensen tijdens slaap 5 liter/minuut in en de rest van de dag 10 liter/minuut (idem voor autorijden).

Wat betreft de hoeveelheid ingeademde lucht gaan we uit van een laag scenario (21 liter/minuut, ofwel 1,3 m<sup>3</sup>/uur) en een hoog scenario (50 liter/minuut, ofwel 3,0 m<sup>3</sup>/uur). De kolom 'duur' geeft aan hoeveel uur per dag aan elke activiteit wordt besteed wanneer wordt gefietst ('fietsen') en wanneer fietsritten worden vervangen door autoritten ('auto'). De gemiddelde fietsduur per persoon is 12,2 minuten per dag (gemiddeld 2010-2013; bron: CBS). In hoeverre de reisduur, en dus de duur van blootstelling, verandert hangt af van de afgelegde afstand. Voor ritten korter dan 5 kilometer blijkt de fiets doorgaans sneller te zijn, mede vanwege tijd die nodig is voor parkeren (Van der Linden, 2012). Voor langere ritten is de auto echter sneller. We gaan er hier vanuit dat de duur van fietsritten gemiddeld hetzelfde is als van autoritten. De dosis PM<sub>2,5</sub> naar type activiteit is berekend als het product van de concentratie, duur van de activiteit en hoeveelheid ingeademde lucht. Wanneer fietsritten worden vervangen door autoritten daalt de dosis PM<sub>2,5</sub> die per persoon wordt ingeademd van 207-216 µg/dag tot 204 µg/dag, dat is een daling van 1,4-5,5%.

<sup>10</sup> De tijdsbesteding aan fietsen voor de betreffende leeftijdscategorieën is bepaald als het gemiddelde van deze tijdsbesteding in de tien onderliggende leeftijdscategorieën (boven 15 jaar) die het CBS onderscheidt in het Onderzoek Verplaatsingsgedrag in Nederland (OviN), gewogen naar bevolkingsomvang.

<sup>11</sup> Een lineair verband leidt mogelijk tot een onderschatting omdat de risicoreductie toeneemt naarmate de tijdsbesteding aan lichaamsbeweging minder is (Woodcock et al., 2011).



Tabel 4.2 Reductie ziektelast door meer lichaamsbeweging door fietsen

	Leeftijd	Geslacht	Risicoreductie (150 min per week) <sup>1</sup>	Tijdsbesteding fietsen per week (min) <sup>2</sup>	Risicoreductie fiet- sen	Ziektelast <sup>3</sup>		Reductie ziektelast		
						YLL	YLD	YLL	YLD	DALYs
						Dementie	45-65	m	11%	73,3
		v	11%	79,7	5,8%	998	1.008	58	59	117
	65+	m	11%	79,2	5,8%	5.649	7.697	909	1.028	1.936
		v	11%	52,9	3,9%	40.076	35.005	1.554	1.357	2.911
	Totaal					57.385	54.739	2.556	2.499	5.055
Coronaire hartziekten	30-65	m	23%	72,0	11,0%	30.764	40.575	3.395	4.477	7.872
		v	23%	77,2	11,8%	10.257	15.698	1.214	1.858	3.073
	65+	m	23%	79,2	12,1%	38.151	70.448	4.632	8.554	13.186
		v	23%	52,9	8,1%	29.572	47.366	2.397	3.840	6.237
	Totaal					108.744	174.088	11.639	18.730	30.368
Beroerte	30-65	m	23%	72,0	11,0%	10.957	17.792	1.209	1.963	3.172
		v	23%	77,2	11,8%	10.649	15.569	1.261	1.843	3.104
	65+	m	23%	79,2	12,1%	22.331	39.847	2.712	4.838	7.550
		v	23%	52,9	8,1%	34.236	39.345	2.775	3.190	5.965
	Totaal					78.174	112.553	7.957	11.834	19.791
Diabetes	30-65	m	19%	72,0	9,1%	6.973	40.904	636	3.729	4.364
		v	19%	77,2	9,8%	3.482	31.125	341	3.044	3.385
	65+	m	19%	79,2	10,0%	7.830	41.119	785	4.124	4.910
		v	19%	52,9	6,7%	10.876	51.262	728	3.433	4.161
	Totaal					29.161	164.411	2.490	14.330	16.820
Borstkanker	15-65	v	13%	75,6	6,6%	41.026	15.164	2.689	994	3.683
	65+	v	13%	52,9	4,6%	20.268	11.141	929	511	1.439
	Totaal					61.294	26.305	3.618	1.504	5.122
Darmkanker	15-65	m	8%	73,3	3,9%	15.438	3.393	603	133	736
		v	5%	75,6	2,5%	15.712	2.656	396	67	463
	65+	m	8%	79,2	4,2%	18.997	5.985	802	253	1.055
		v	5%	52,9	1,8%	19.362	5.633	341	99	440
	Totaal					69.510	17.667	2.143	552	2.695
Totaal						404.269	549.763	30.403	49.449	79.852

<sup>1</sup> Bron: Woodcock et al. (2009); bij de meeste ziekten is er geen onderscheid naar leeftijd en geslacht bekend

<sup>2</sup> Gewogen gemiddelde, berekend op basis van CBS-gegevens (OviN)

<sup>3</sup> Bron: Gommer et al. (2014)

Tabel 4.3 Berekening van de dosis PM<sub>2,5</sub> die per persoon wordt ingeademd tijdens fietsen en bij vervanging van fietsritten door autoritten

activiteit	concentratie (µg/m <sup>3</sup> )	ademhaling (m <sup>3</sup> /uur)		duur (uur)		dosis per persoon (µg/dag)		
		laag	hoog	fietsen	auto	fietsen		Auto
						hoog	laag	
slaap	16,9	0,3	0,3	8,0	8,0	40,6	40,6	40,6
rust	16,9	0,6	0,6	15,8	15,8	160,2	160,2	160,2
fiets	25,5	1,3	3,0	0,2	0,0	6,5	15,5	0
auto	29,6	0,6	0,6	0,0	0,2	0	0	3,6
<b>totaal</b>				24	24	207,3	216,3	204,3

De afname van de dosis PM<sub>2,5</sub> kunnen we vervolgens vertalen naar een equivalente afname van de concentratie door de gemiddelde concentratie te berekenen, gewogen naar de tijdsduur per activiteit, en deze te vermenigvuldigen met de relatieve afname van de dosis per persoon.<sup>12</sup> De equivalente afname van de concentratie bedraagt dan 0,24 tot 0,93 µg/m<sup>3</sup>. De reductie van het risico bepalen we vervolgens aan de hand van de equivalente afname van de concentratie en het effect op mortaliteit. In een meta-analyse vonden Hoek et al. (2013) dat een verhoging van 10 µg/m<sup>3</sup> blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> effect leidt tot een 6,2% hoger overlijdensrisico (zie hoofdstuk 3). De risicoreductie bedraagt dan 0,1% tot 0,6%.<sup>13</sup> Het gaat hier om de risicoreductie uitgaande van de gemiddelde fietsduur. Voor het bepalen van het aantal bespaarde doden en het aantal verloren levensjaren is deze berekening uitgevoerd per leeftijdscategorie. Omdat het effect op jongeren tot 30 jaar (Ostro, 2004) en ouderen boven 90 jaar onzeker is worden deze categorieën niet in de berekening meegenomen.

De afname van het aantal doden als er niet meer gefietst zou worden is berekend door de risicoreductie (per leeftijdscategorie) te vermenigvuldigen met het aantal sterfgevallen voor elke afzonderlijke leeftijd. De daling van het aantal verloren levensjaren is vervolgens berekend door de afname van het aantal doden per leeftijd te vermenigvuldigen met de resterende levensverwachting op de betreffende leeftijd, en vervolgens te sommeren over alle leeftijden. Tabel 4.4 geeft de resultaten.

Tabel 4.4 Afname aantal doden en verloren levensjaren (YLL) door minder blootstelling aan luchtvervuiling

	Scenario	
	Laag	Hoog
Afname doden	110	440
Afname YLL	1.800	7.000

We passen dezelfde methode ook toe op morbiditeit. Hoek et al. (2013) schatten het effect van langdurige blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> op het overlijdensrisico ten gevolge van hart- en vaatziekten, en met name coronaire hartziekten, op 11% per 10µg/m<sup>3</sup>. Voor deze (indicatieve) berekeningen veronderstellen we dat dit effect ook van toepassing is op morbiditeit. Omdat Hoek et al. geen significant effect vonden op overlijdensrisico ten gevolge van ziekten van ademwegen beperken we ons tot coronaire hartziekten. De risicoreductie door fietsen hebben we berekend op dezelfde wijze als voor mortaliteit en bedraagt 0,22 tot 0,93%. Daarbij is onderscheid gemaakt naar geslacht en twee leeftijdscategorieën, aansluitend bij de RIVM-cijfers over YLD. Het effect op YLD berekenen we door deze reductie te vermenigvuldigen

<sup>12</sup> In een formule (zie De Hartog et al., 2010): equivalente afname concentratie = ((dosis fietsen/dosis auto)-1)\*tijd-gewogen concentratie.

<sup>13</sup> We berekenen daarbij het relatieve risico (RR) volgens de volgende formule (De Hartog, 2010): RR = EXP(ln(1,061)\* equivalente afname concentratie). De risicoreductie is gelijk aan RR-1.

met de YLD van coronaire hartziekten. De afname van YLD door fietsen, ofwel de afname als er niet meer gefietst zou worden, bedraagt dan (afgerond) 400 tot 1.500, zie tabel 4.5.

Tabel 4.5 Berekening afname YLD door blootstelling aan PM2,5.

		Risicoreductie		YLD coronaire hartziekten	Afname YLD door fietsen	
		scenario			scenario	
		Laag	hoog	laag	hoog	
30-65	man	0,22%	0,87%	40.575	90	352
	vrouw	0,24%	0,93%	15.698	37	146
65+	man	0,24%	0,93%	70.448	168	656
	vrouw	0,17%	0,67%	47.366	80	319
Totaal				174.088	375	1.473

Het vervangen van fietsritten door autoritten leidt verder tot een toename van emissies door auto's. De ziektelast veroorzaakt door PM2,5 wordt geschat op 135.500 DALYs (Hänninen & Knol, 2011).<sup>14</sup> PM2,5 heeft daarmee verreweg de grootste bijdrage aan de ziektelast die wordt veroorzaakt door milieufactoren, namelijk een aandeel van 77% van negen onderzochte milieufactoren. Het aandeel van deze milieufactoren in de totale ziektelast in Nederland is circa 6% (RIVM, 2014). Een groot deel (71%) van de ziektelast veroorzaakt door PM2,5 betreft verloren levensjaren.<sup>15</sup>

Ongeveer 2/3<sup>e</sup> van de fijnstofconcentratie wordt veroorzaakt door bronnen in het buitenland en 1/3<sup>e</sup> door binnenlandse bronnen. De bijdrage van binnenlands wegverkeer aan fijnstof is beperkt: Keuken & Ten Brink geven aan dat koolstofemissies (elementair en organisch koolstof) door wegverkeer maximaal 5% bijdragen aan de concentraties PM2,5 en PM10 en Van der Swaluw et al. (2013) schatten de bijdrage van wegverkeer aan fijnstofconcentraties op 4%. Op basis daarvan gaan we in onze berekeningen ervan uit dat verkeer 4% bijdraagt aan de ziektelast ten gevolge van luchtvervuiling. Het gaat dan om 5.400 DALYs (4% van 135.500). Uit CBS-gegevens blijkt dat personenauto's verantwoordelijk zijn voor 42% van de totale PM2,5-emissie (gemiddeld 2010-2013)<sup>16</sup>, en dus voor ongeveer 2.300 DALYs (42% van 5.400). Als alle fietsritten worden vervangen door autoritten neemt het aantal auto-kilometers toe met ongeveer 7%.<sup>17</sup> De toename van de ziektelast door meer emissies bedraagt dan ongeveer 150 DALYs, waarvan circa 100 YLL en 50 YLD.

#### Verkeersongevallen

In het (hypothetische) scenario waarin alle fietsritten worden vervangen door autoritten zijn er geen ongevallen met fietsers meer, maar er is wel een toename van het aantal ongevallen waarbij auto's betrokken zijn. Tabel 4.6 laat zien dat er in de periode 2005-2009 190 doden per jaar vielen onder fietsers wat leidt tot een verlies van 5.050 levensjaren per jaar. Meer dan de helft daarvan betreft 65-plussers. Het aandeel van 65-plussers in de YLL is uiteraard veel kleiner door hun kortere resterende levensverwachting. Als fietsritten worden vervangen door autoritten is de

<sup>14</sup> Hänninen & Knol (2011) bepaalde de ziektelast van zowel PM10 als PM2,5. Vanwege overlap in de gezondheidseffecten van PM10 en PM2,5 presenteren zij alleen de resultaten voor PM2,5.

<sup>15</sup> Hänninen & Knol (2011) rapporten dit percentage alleen als gemiddelde voor een aantal Europese landen. Het percentage voor Nederland hebben we berekend op basis van gegevens aangeleverd door de eerste auteur van dat rapport.

<sup>16</sup> Het gaat hier om verbrandingsemissies en emissies door slijtage van banden, wegdek en slijtage. Het CBS neemt aan dat de alle deeltjes door verbranding kleiner zijn dan 2,5 micrometer, zodat de PM2,5-emissies door verbranding zijn gelijk aan de PM10-emissies.

<sup>17</sup> Het aantal reizigerskilometers van fietsers is 14,5 miljard en het aantal reizigerskilometers van automobilisten 143 miljard waarvan 68% als bestuurder en 32% als passagier (gemiddelden 2010-2013; bron: CBS). De toename van het aantal reizigerskilometers van bestuurders is berekend als  $(14,5 \cdot 68\%) / 431$

winst van YLL door vermeden fietsdoden dus 5.050. Daar staat tegenover dat er een toename van dodelijke ongevallen met auto's is. Het totaal aantal doden onder automobilisten is 325 en het daaraan gerelateerde aantal verloren levensjaren 12.890. Bij automobilisten heeft de leeftijdsgroep 15-39 een groot aandeel in het totaal (72%), waardoor de gemiddelde YLL per persoon (40) hoger is dan voor fietsers (27). Zoals hierboven aangegeven neemt het aantal autokilometers in dit scenario met 7% toe, wat betekent dat ook het aantal verkeersdoden en de YLL daarvan toeneemt. Deze toename is groter dan 7% van het aantal verkeersdoden onder automobilisten, omdat het ongevalsrisico bij korte autoritten hoger is dan het gemiddelde risico van automobilisten en de auto een risico vormt voor andere kwetsbare verkeersdeelnemers zoals voetgangers. Schepers en Heinen (2012) laten met 'accident prediction models' zien dat het vervangen van korte autoritten door fietsritten per saldo nauwelijks effect heeft op het aantal verkeersdoden maar dat er wel een sterke stijging is van het aantal ernstig gewonden. Volgens een andere studie (Stipdonk en Reurings, 2012) is er ook een kleine toename van het aantal doden als korte autoritten worden vervangen door fietsritten. Een verklaring voor het verschil tussen beide studies is dat Stipdonk en Reurings (2012) ook de afgelegde afstand op snelwegen meenemen. Zij geven echter aan dat wanneer daarvoor gecorrigeerd zou worden, er mogelijk geen netto effect is op het aantal doden. Op basis van deze studies gaan we ervan uit dat het aantal verkeersdoden en de YLL daarvan per saldo ongeveer gelijk blijft.<sup>18</sup>

Tabel 4.6 Verkeersdoden en YLL van fietsers en automobilisten per jaar, gemiddeld 2005-2009; bron: SWOV

	Fiets		Auto	
	Doden	YLL	Doden	YLL
0 - 14	15	1.060	7	510
15-39	29	1.640	173	9.240
40-64	49	1.360	81	2.470
65+	98	990	64	660
Totaal	190	5.050	325	12.890

Tabel 4.7 geeft het aantal ernstig verkeersgewonden en de bijbehorende YLD van fietsers en automobilisten naar leeftijd in de periode 2005-2009. De cijfers hebben betrekking op ernstig verkeersgewonden met een letselnst van MAIS-2 of hoger, conform de definitie van een ernstig verkeersgewonde in Nederland. Het gemiddeld aantal ernstig gewonde fietsers is 9.240 en de daaraan gerelateerde YLD bedraagt 16.200. Twee derde van het aantal ernstig verkeersgewonden valt in de leeftijdscategorieën boven 40 jaar. Het aandeel van 40-plussers in de YLD is lager (circa 50% van de totale YLD), omdat de duur van (blijvend) letsel langer is bij jongeren. Een groot deel van de YLD van fietsers (12.800) ontstaat door verkeersongevallen waar geen motorvoertuig bij betrokken is.

Als fietsritten worden vervangen door autoritten is de winst van vermeden ernstig verkeersgewonden door fietsongevallen dus 16.200 YLD. Schepers en Heinen (2012) en Stipdonk en Reurings (2012) laten zien dat het aantal in het ziekenhuis opgenomen verkeersgewonden (en dus de YLD), in tegenstelling tot het aantal doden, wel toeneemt vanwege het grote aandeel van gewonden door enkelvoudige fietsongevallen. We nemen aan dat de toename van de YLD door meer autoritten

<sup>18</sup> Uit beide studies blijkt verder dat meer fietsen in plaats van autorijden leidt tot meer doden onder ouderen en minder onder jongeren. Dit betekent dat het effect op YLL gunstiger is dan het effect op het aantal doden, omdat de YLL per jongere hoger is dan per oudere. Als het vervangen van autoritten door fietsritten per saldo geen effect heeft op het aantal doden, zoals Schepers en Heinen (2012) aangeven, kan er dus zelfs een afname van de YLL zijn.

even groot is als de afname van YLD van fietsers in motorvoertuigongevallen (3.000 YLD). Per saldo is er een toename van 12.800 YLD in dit scenario (de YLD van fietsongevallen zonder motorvoertuig).

Tabel 4.7 Ernstig verkeersgewonden (EVG) en YLD van fietsers (in motorvoertuigongevallen en niet-motorvoertuigongevallen) en automobilisten per jaar, gemiddeld 2005- 2009; bron: SWOV

	Fiets						Auto	
	EVG			YLD			EVG	YLD
	Totaal	Mtvg	N-Mtvg	Totaal	Mtvg	N-Mtvg		
0 – 14	1.290	240	1.050	3.800	900	2.900	80	300
15-39	1.870	430	1.440	4.700	1.300	3.400	1.410	3.600
40-64	3.310	520	2.790	5.200	800	4.300	790	1.200
65+	2.770	410	2.370	2.600	300	2.200	370	200
Totaal	9.240	1.600	7.640	16.200	3.400	12.800	2.650	5.300

Tabel 4.8 vat de effecten op YLL, YLD en DALYs met betrekking verkeersveiligheid in dit scenario samen. Er is per saldo een gunstig effect op gezondheid: een afname van 13.000 DALYs.

Tabel 4.8 Effecten op YLL, YLD en DALYs in scenario (a)

	YLL	YLD	DALYs
Fiets		-5.050	-16.200
Auto		5.050	3.400
Totaal		0	-12.800

#### Samenvatting

Tabel 4.9 geeft een overzicht van alle gezondheidseffecten van het vervangen van fietsritten door autoritten. Dit laat zien dat het vervangen van fietsritten door autoritten leidt tot een toename van 59.000 tot 65.000 DALYs. Het positieve effect (dat wil zeggen afname van DALYs) van minder blootstelling aan luchtvervuiling en minder verkeersongevallen wegen duidelijk niet op tegen het effect van het wegvallen van lichaamsbeweging.

Tabel 4.9 Samenvatting effecten in scenario (a)

	YLL	YLD	DALYs
Lichaamsbeweging	30.400	49.400	79.900
Blootstelling luchtvervuiling	-1.800 tot -7.000	-400 tot -1.500	-2.200 tot -8.500
Emissies	100	50	150
Verkeersongevallen	0	-12.800	-12.800
Totaal	24.000 tot 29.000	35.000 tot 36.000	59.000 tot 65.000

### 4.3 Effecten op ziektelast bij vervangen brom-/snorfietsritten door fietsritten

#### *Lichaamsbeweging*

Het gezondheidseffect van meer lichaamsbeweging als brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten bepalen we op dezelfde wijze als in scenario (a), dat wil zeggen op basis van het effect van matige inspanning in het algemeen op het risico om bepaalde ziekten op te lopen. De extra tijdsbesteding aan fietsen berekenen we op basis van de afstand die gemiddeld per hoofd van de bevolking wordt afgelegd op een brom-/snorfiets (naar geslacht en leeftijdscategorie)<sup>19</sup> en de gemiddelde fietssnelheid. De gemiddelde fietssnelheid is 12,7 km/uur, berekend op basis van CBS-gegevens (OViN) over de afstand die per persoon per dag wordt gefietst en de tijdsbesteding aan fietsen (gemiddelde totale bevolking, 2010-2013).

Tabel 4.10 geeft de cijfers waarop de berekening is gebaseerd en de uitkomsten. In de betreffende leeftijdscategorieën wordt 400 meter (vrouwen 65+) tot ruim 4 kilometer (mannen 15-65 jaar) gemiddeld per week afgelegd op een brom-/snorfiets. De extra tijdsbesteding als deze ritten op de fiets zouden worden afgelegd loopt uiteen van 1,7 minuut per week tot ongeveer 20 minuten per week. Deze tijdsbesteding is veel minder dan in dan in scenario (a) zodat ook de reductie van het risico om ziekten op te lopen en de resulterende reductie van ziektelast veel lager zijn. Er is een besparing van ongeveer 7.000 DALYs, waarvan 4.200 jaren geleefd met ziekte (YLD) en 2.800 verloren levensjaren (YLL). Merk op dat we de risicoreducties wederom hebben toegepast op het aantal DALYs voor de gehele leeftijdsgroep 15-65 jaar, hetgeen tot een overschatting leidt (zie 4.2).<sup>20</sup>

#### *Luchtvervuiling*

Om het effect van het vervangen van brom-/snorfietsritten door fietsritten te bepalen gebruiken we dezelfde methode en cijfers als in scenario (a). We gaan ervan uit dat er geen verschil is in de concentratie waaraan brom-/snorfietsers en fietsers worden blootgesteld. De hoeveelheid ingeademde lucht is wel hoger voor fietsers door hun hogere ademhalingsfrequentie en omdat de ritduur langer is door een lagere gemiddelde snelheid. We gaan ervan uit dat brom-/snorfietsers evenveel lucht per minuut inademen als automobilisten, dat wil zeggen een factor 2,1 tot 5 minder dan fietsers. Gemiddeld wordt er 1,1 minuten per dag per persoon op een brom-/snorfiets gereden (gemiddeld 2010-2013; bron: CBS)<sup>21</sup>. De gemiddelde snelheid van een brom-/snorfiets is 22,5 km/uur en van een fietser 12,7 km/uur (gemiddeld 2010-2013; bron: CBS). Wanneer alle bromfietsritten door fietsritten vervangen zouden worden zou de benodigde fietsduur 1,9 minuut per dag per persoon zijn ( $1,1 \times 22,5 / 12,7$ ). Tabel 4.11 bevat de cijfers en de resulterende dosis PM<sub>2,5</sub> per persoon per dag. Uitgaande van de gemiddelde tijdsduur die wordt besteed aan brom-/snorfietsen stijgt deze dosis van 202,9 µg/dag naar 203,5-204,9 µg/dag (een stijging van 0,4 tot 1,0%).

<sup>19</sup> Daarbij zijn wederom de tien onderliggende leeftijdscategorieën van het CBS in het Onderzoek Verplaatsingsgedrag in Nederland (OViN) gebruikt. Voor een aantal leeftijdscategorieën publiceert het CBS geen gegevens over afgelegde afstand op brom-/snorfiets naar geslacht. In dat geval is het gemiddelde voor mannen en vrouwen genomen. Uit CBS-onderzoek (Molnár- in 't Veld et al., 2014) blijkt dat het OViN de bromfietsmobiliteit met een factor 2,1 onderschat. We hebben daarom de OViN-cijfers met deze factor opgehoogd.

<sup>20</sup> Anderzijds wordt er juist in de jongere leeftijdsgroepen meer gebruikgemaakt van brom-/snorfietsen. Daardoor is er mogelijk ook een effect op ziektelast van jongeren, wat de overschattingen (deels) teniet kan doen.

<sup>21</sup> Hierbij zijn de OViN-cijfers met een factor 2,1 opgehoogd, zie voetnoot 19.

Tabel 4.10 Reductie ziektelast als alle brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten

	Leeftijd	Geslacht	Risicoreductie (150 min per week) <sup>1</sup>	Brom-/snorfietstkilometer per persoon per week <sup>2</sup>	Extra tijdsbesteding fietsen per week (min)	Risicoreductie fietsen	Ziektelast <sup>3</sup>		Reductie ziektelast		
							YLL	YLD	YLL	YLD	DALYs
							Dementie	45-65	m	11%	3,5
		v	11%	1,9	8,8	0,3%	998	1.008	6	7	13
	65+	m	11%	0,5	2,1	0,1%	5.649	7.697	25	28	52
		v	11%	0,4	1,7	0,1%	40.076	35.005	49	43	92
	Totaal						57.385	54.739	88	89	177
Coronaire hartziekten	30-65	m	23%	3,3	15,4	1,1%	30.764	40.575	726	958	1.685
		V	23%	2,1	9,9	0,7%	10.257	15.698	156	239	394
	65+	m	23%	0,5	2,1	0,2%	38.151	70.448	125	231	356
		V	23%	0,4	1,7	0,1%	29.572	47.366	76	121	197
	Totaal						108.744	174.088	1.083	1.549	2.632
Beroerte	30-65	m	23%	3,3	15,4	1,1%	10.957	17.792	259	420	679
		V	23%	2,1	9,9	0,7%	10.649	15.569	162	237	398
	65+	m	23%	0,5	2,1	0,2%	22.331	39.847	73	131	204
		V	23%	0,4	1,7	0,1%	34.236	39.345	87	101	188
	Totaal						78.174	112.553	581	888	1.469
Diabetes	30-65	m	19%	3,3	15,4	0,9%	6.973	40.904	136	798	934
		V	19%	2,1	9,9	0,6%	3.482	31.125	44	391	434
	65+	m	19%	0,5	2,1	0,1%	7.830	41.119	21	111	133
		V	19%	0,4	1,7	0,1%	10.876	51.262	23	108	131
	Totaal						29.161	164.411	224	1.408	1.632
Borstkanker	15-65	V	13%	3,0	14,1	0,6%	41.026	15.164	503	186	689
	65+	V	13%	0,4	1,7	0,1%	20.268	11.141	29	16	45
	Totaal						61.294	26.305	532	202	734
Darmkanker	15-65	m	8%	4,2	19,8	0,5%	15.438	3.393	163	36	199
		V	5%	3,0	14,1	0,2%	15.712	2.656	74	13	87
	65+	m	8%	0,5	2,1	0,1%	18.997	5.985	22	7	28
		V	5%	0,4	1,7	0,0%	19.362	5.633	11	3	14
	Totaal						69.510	17.667	270	58	328
Totaal							404.269	549.763	2.778	4.194	6.972

<sup>1</sup> Bron: Woodcock et al. (2009)

<sup>2</sup> Gewogen gemiddelde, berekend op basis van CBS-gegevens (OviN)

<sup>3</sup> Bron: Gommer et al. (2014)

Tabel 4.11 Berekening van de dosis PM<sub>2,5</sub> die per persoon wordt ingeademd tijdens fietsen en bij vervanging van brom-/snorfietsritten door fietsritten

activiteit	concentratie (µg/m <sup>3</sup> )	ademhaling (m <sup>3</sup> /uur)		duur (uur)		dosis per persoon (µg/dag)		
		laag	hoog	Brom-/snorfiets	Fiets	Brom-/snorfiets	Fiets	
							laag	hoog
slaap	16,9	0,3	0,3	8,00	8,00	40,6	40,6	40,6
rust	16,9	0,6	0,6	15,98	15,97	162,1	161,9	161,9
fiets	25,5	1,3	3,0	0	0,03	0,0	1,0	2,4
Brom-/snorfiets	25,5	0,6	0,6	0,02	0	0,3	0,0	0,0
<b>totaal</b>				<b>24</b>	<b>24</b>	<b>202,9</b>	<b>203,5</b>	<b>204,9</b>

De equivalente toename van de concentratie die hieruit volgt is 0,05 tot 0,16 µg/m<sup>3</sup> en de toename van het overlijdensrisico 0,03 tot 0,10%. De toename van het aantal doden en het aantal verloren levensjaren (berekend op basis van risicodalingen per leeftijdscategorie) is relatief gering: 10 tot 32 doden en 240 tot 780 YLL. De afname van YLD gerelateerd aan coronaire hartziekten kan op dezelfde wijze als in scenario (a) worden berekend. Daarbij kan echter geen onderscheid naar geslacht worden gemaakt omdat geen gegevens over tijdsduur van bromfietsritten naar leeftijd en geslacht gepresenteerd worden door CBS.<sup>22</sup> Ook de toename van YLD is gering: 90 tot 260, zie Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Toename aantal doden en verloren levensjaren (YLL) door blootstelling aan luchtvervuiling

	Scenario	
	Laag	Hoog
Doden	10	32
YLL	240	780
YLD	90	260

De afname van emissies als er geen brom-/snorfietsritten meer zijn berekenen we op dezelfde wijze als voor auto's in scenario (a). Zoals hierboven beschreven is wegverkeer verantwoordelijk voor 5.400 DALYs ten gevolge van luchtvervuiling. De bijdrage van brom-/snorfietsen aan PM<sub>2,5</sub>-emissies is 3,1% (gemiddeld 2010-2013; bron: CBS)<sup>23</sup>, zodat we de ziektelast veroorzaakt door brom-/snorfietsen schatten op 170 DALYs (5.400\*3,1%), waarvan 120 YLL en 50 YLD (op basis van Hänninen en Knol, 2011).

We hebben hier een grove schatting gepresenteerd. Met een verfijndere methode zou de uitkomst voor gezondheidseffecten gerelateerd aan luchtvervuiling in scenario (b) gunstiger uitpakken. Dit heeft twee oorzaken. Ten eerste hebben we gerekend met fijnstof (PM). In verhouding tot de normen voor andere voertuigen stoten brom- en snorfietsen niet uitzonderlijk veel fijnstof uit. Echter, brom- en snorfietsen stoten in verhouding tot andere voertuigen veel meer ultrafijnstof (PN) uit (Hensema et al, 2013). De gezondheidseffecten van ultrafijnstof zijn groter dan die van fijnstof. Daarbij komt dat brom- en snorfietsen zich dicht bij het fietsverkeer bevinden wat extra schade met zich meebrengt doordat fietsers een hogere ademfrequentie hebben en daardoor relatief veel van het ultrafijnstof van de brom- en snor-

<sup>22</sup> Dezelfde leeftijdsverdeling als in scenario (a) is gebruikt (30-65 en 65+). Er zijn echter geen gegevens bekend over brom-/snorfietsgebruik door 75-plussers. We gaan er in de berekeningen vanuit dat deze leeftijdsgroep geen gebruik maakt van brom-/snorfiets.

<sup>23</sup> Alleen verbrandingsemissies; gegevens over slijtage-emissies zijn niet beschikbaar voor brom-/snorfietsers.



fietsen inademen. Dat probleem waar nog geen rekening mee is gehouden in de schatting zou verdwijnen in scenario b.

#### Verkeersongevallen

In dit scenario is er een afname van het aantal brom-/snorfietsongevallen en een toename van het aantal fietsongevallen. Tabel 4.13 geeft het aantal verkeersdoden en verloren levensjaren van brom-/snorfietsers en fietsers. Er vielen in de periode 2005-2009 gemiddeld 76 doden per jaar onder brom-/snorfietsers en dat leidde tot circa 2.580 verloren levensjaren per jaar. Als brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten is er dus een afname van 2.600 YLL. Daar staat tegenover dat er een toename is van doden ten gevolge van fietsongevallen. Er wordt 2,3 miljard kilometer per jaar afgelegd op een brom-/snorfiets (gemiddeld 2010-2012, inclusief brommobielen; bron: Molnár- in 't Veld et al., 2014) en er wordt 14,4 miljard kilometer per jaar gefietst (gemiddeld 2010-2012; bron: CBS).<sup>24</sup> Als brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten neemt het aantal fietskilometers dus met 16% toe. Op basis daarvan schatten we dat het aantal verloren levensjaren van fietsers toeneemt met 790 (16% van 5.050 YLL).

Tabel 4.13 Verkeersdoden en YLL van brom-/snorfietsers en fietsers per jaar, gemiddeld 2005-2009; bron: SWOV

	Brom-/snorfiets		Fiets	
	Doden	YLL	Doden	YLL
0 – 14	1	50	15	1.060
15-39	32	1.830	29	1.640
40-64	16	450	49	1.360
65+	28	240	98	990
Totaal	76	2.580	190	5.050

Tabel 4.14 geeft het aantal ernstig verkeersgewonden en de bijbehorende YLD van brom-/snorfietsers en fietsers. Het aantal ernstig gewonde brom-/snorfietsers is gemiddeld 2.560. De daaraan gerelateerde YLD is circa 7.400 en de winst is dus 7.400 YLD als er brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten. De toename van YLD door fietsongevallen berekenen we op dezelfde wijze als voor YLL en bedraagt circa 2.500 YLD (15% van 16.200 YLD).

Tabel 4.14 Ernstig gewonde brom-/snorfietsers en fietsers (EVG) en bijbehorende YLD per jaar, gemiddeld 2005-2009; bron: SWOV

	Brom-/snorfiets		Fiets	
	EVG	YLD	EVG	YLD
0 – 14	30	100	1.290	3.800
15-39	1.780	6.100	1.870	4.700
40-64	580	1.000	3.310	5.200
65+	170	100	2.770	2.600
Totaal	2.560	7.400	9.240	16.200

<sup>24</sup> Omdat in het Onderzoeks Verplaatsingsgedrag in Nederland (OviN) het aantal brom-/snorfietskilometers wordt onderschat maken we gebruik van het onderzoek van Molnár- in 't Veld et al. (2014). Aangezien zij het aantal brom-/snorfietskilometers hebben bepaald tot en met 2012 nemen we het gemiddelde voor 2010-2012. Het aantal brom-/snorfietskilometers is inclusief brommobielen, omdat de SWOV-cijfers mbt YLL ook inclusief brommobielen is. De YLD is echter er exclusief brommobielen, zodat we daarbij uitgaan van de mobiliteit exclusief brommobielen (2,2 miljard kilometer, gemiddeld 2010-2012; 15% van het aantal fietskilometers).

Tabel 4.15 vat de effecten op YLL, YLD en DALYs met betrekking verkeersveiligheid in dit scenario samen. Het aantal DALYs neemt met 6.600 af.

Tabel 4.15 Effecten op YLL, YLD en DALYs in scenario (a)

	YLL	YLD	DALYs
Brom-/snorfiets	-2.580	-7.400	-10.000
Fiets	790	2.500	3.300
Totaal	-1.790	-4.900	-6.600

#### Samenvatting

Tabel 4.16 geeft een overzicht van alle gezondheidseffecten van het vervangen van brom-/snorfietsritten door fiets. In dit scenario is er een afname van circa 13.000 DALYs (dat wil zeggen een positief gezondheidseffect) door een positief verkeersveiligheidseffect en een toename van lichaamsbeweging door fietsen.

Tabel 4.16 Samenvatting effecten in scenario (b)

	YLL	YLD	DALYs
Lichaamsbeweging	-2.800	-4.200	-7.000
Blootstelling luchtvervuiling	200 tot 800	100 tot 300	300 tot 1.000
Emissies	-100	-50	-150
Verkeersongevallen	-1.800	-4.900	-6.600
Totaal	-3.900 tot -4.400	-8.800 tot -9.000	-12.700 tot -13.500

## 4.4 Effecten op ziektelast bij vervangen lopen door fietsen

### Lichaamsbeweging

Voor het bepalen van het gezondheidseffect van het vervangen van lopen door fietsen gebruiken we dezelfde methode als voor het effect op lichaamsbeweging in scenario (a), dat wil zeggen op basis van het effect van matige inspanning in het algemeen op het risico om een bepaalde ziekte op te lopen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is het gezondheidseffect van lopen *per kilometer* groter dan het effect van fietsen, omdat de snelheid bij lopen lager is en de tijdsbesteding per kilometer dus groter.<sup>25</sup> Voor mortaliteit vonden Kelly et al. (2014) een kleiner effect *per tijdseenheid* voor lopen dan voor fietsen (zie hoofdstuk 2). Omdat dit voor morbiditeit niet bekend is kan geen goede schatting worden gemaakt van het gezondheidseffect. We geven hier ter illustratie wel een berekening waarbij we een gelijk effect per tijdseenheid voor lopen en fietsen veronderstellen.

Tabel 4.17 geeft de berekening van de gezondheidseffecten van lopen in Nederland, zonder nog rekening te houden met vervanging door fietsen. De tabel is identiek aan tabel 4.2 die de berekening voor fietsen geeft, waarbij de tijdsbesteding aan fietsen is vervangen door tijdsbesteding aan lopen. Deze indicatieve berekening laat zien dat lopen een forse gezondheidswinst oplevert (78.000 DALYs wanneer hetzelfde effect per tijdseenheid als voor fietsen wordt verondersteld).

De toename van ziektelast als lopen wordt vervangen door fietsen is het verschil tussen de toename van ziektelast als er niet meer zou worden gelopen (78.000 DALYs) en de afname van ziektelast door fietsritten die daarvoor in de plaats komen. Deze afname van ziektelast door fietsen kan worden bepaald op basis van de ge-

<sup>25</sup> Zoals Van Wee et al. (2006) echter suggereren is lopen voor (zeer) korte afstanden mogelijk sneller, bijvoorbeeld omdat het stalen van een fiets ook tijd kost.

middelste loop- en fietssnelheid. Deze gemiddelde snelheden zijn respectievelijk 5,6 en 12,7 km/uur, berekend op basis van CBS-gegevens (OViN) over de afstand die per persoon per dag te voet respectievelijk op de fiets wordt afgelegd en de tijdsbesteding aan lopen en fietsen (gemiddelde totale bevolking, 2010-2013). De snelheid van lopen op basis van het OViN lijkt aan de hoge kant. Gaan we uit van deze OViN cijfers, dan is de tijdsbesteding voor fietsen 44% (5,6/12,7) van de looptijd. Het extra fietsen levert dan een afname van de ziektelast van 35.000 DALYs (44% van 80.000 DALYs). Per saldo is er dus een toename van 43.000 DALYs te verwachten wanneer lopen wordt vervangen door fietsen als we een gelijk gezondheidseffect per tijdseenheid veronderstellen. In werkelijkheid zal de daling van de ziektelast kleiner zijn omdat de fiets niet zo snel is voor de relatief korte ritten die nu te voet afgelegd worden. De gebruiker moet naar de stalling lopen, de fiets pakken, op de bestemming parkeren en dan naar zijn bestemming lopen (allemaal activiteiten die fysieke inspanning vragen). Mogelijk zal de totale tijd besteed aan fysieke inspanning daardoor maar beperkt afnemen als lopen wordt vervangen door fietsen. Dat kan overigens anders liggen in landen waar bij de verdere introductie van de fiets ook langere ritten van voetgangers vervangen worden.

#### *Luchtvervuiling*

Het gezondheidseffect van blootstelling aan luchtvervuiling hangt af van de duur van de blootstelling en de ademfrequentie. Wanneer lopen wordt vervangen door fietsen wordt de duur van blootstelling aan luchtvervuiling verlaagd door het verschil in snelheid (lopen is langzamer dan fietsen). Anderzijds is gesuggereerd dat de ademfrequentie van fietsers hoger is dan die van voetgangers omdat fietsen per tijdseenheid intensiever is, maar daarover zijn geen empirische studies bekend. Om die reden is het lastig te zeggen wat het uiteindelijke gezondheidseffect is.

Tabel 4.17 Reductie ziektelast door lopen

	Leeftijd	Geslacht	Risicoreductie (150 min per week) <sup>1</sup>	Tijdsbesteding lo- pen per week (min) <sup>2</sup>	Risicoreductie lo- pen	Ziektelast <sup>3</sup>		Reductie ziektelast		
						YLL	YLD	YLL	YLD	DALYs
						Dementie	45-65	m	11%	56,7
		v	11%	78,3	5,7%	998	1.008	57	58	115
	65+	m	11%	74,2	5,4%	5.649	7.697	851	963	1.814
		v	11%	64,1	4,7%	40.076	35.005	1.884	1.646	3.530
	Totaal					57.385	54.739	2.820	2.709	5.530
Coronaire hartziekten	30-65	m	23%	55,7	8,5%	30.764	40.575	2.625	3.462	6.088
		v	23%	76,2	11,7%	10.257	15.698	1.198	1.834	3.032
	65+	m	23%	74,2	11,4%	38.151	70.448	4.340	8.015	12.355
		v	23%	64,1	9,8%	29.572	47.366	2.907	4.656	7.563
	Totaal					108.744	174.088	11.071	17.967	29.038
Beroerte	30-65	m	23%	55,7	8,5%	10.957	17.792	935	1.518	2.453
		v	23%	76,2	11,7%	10.649	15.569	1.244	1.819	3.063
	65+	m	23%	74,2	11,4%	22.331	39.847	2.541	4.533	7.074
		v	23%	64,1	9,8%	34.236	39.345	3.365	3.867	7.233
	Totaal					78.174	112.553	8.085	11.738	19.823
Diabetes	30-65	m	19%	55,7	7,0%	6.973	40.904	492	2.883	3.375
		v	19%	76,2	9,7%	3.482	31.125	336	3.004	3.340
	65+	m	19%	74,2	9,4%	7.830	41.119	736	3.864	4.600
		v	19%	64,1	8,1%	10.876	51.262	883	4.163	5.046
	Totaal					29.161	164.411	2.447	13.915	16.361
Borstkanker	15-65	v	13%	62,8	5,4%	41.026	15.164	2.232	825	3.057
	65+	v	13%	64,1	5,6%	20.268	11.141	1.126	619	1.745
	Totaal					61.294	26.305	3.358	1.444	4.802
Darmkanker	15-65	m	8%	47,7	2,5%	15.438	3.393	393	86	479
		v	5%	62,8	2,1%	15.712	2.656	329	56	384
	65+	m	8%	74,2	4,0%	18.997	5.985	752	237	989
		v	5%	64,1	2,1%	19.362	5.633	414	120	534
	Totaal					69.510	17.667	1.887	499	2.386
Totaal						404.269	549.763	29.668	48.272	77.940

<sup>1</sup> Bron: Woodcock et al. (2009)

<sup>2</sup> Gewogen gemiddelde, berekend op basis van CBS-gegevens (OviN)

<sup>3</sup> Bron: Gommer et al. (2014)

### Verkeersongevallen

Tabel 4.18 geeft het aantal verkeersslachtoffers onder voetgangers en de daaraan gerelateerde YLL en YLD. Er vielen in de periode 2005-2009 gemiddeld 76 doden en 870 ernstig verkeersgewonden per jaar onder voetgangers. De letsellast als gevolg daarvan is 4.700 DALYs, waarvan 2.300 YLL en 2.400 YLD. Hierbij gaat het om voetgangers die in een verkeersongeval zijn omgekomen, dat wil zeggen dat er een rijdend voertuig bij het ongeval betrokken is. Enkelvoudige voetgangerongevallen vallen daar dus niet onder, maar zijn wel relevant om het totale gezondheidseffect van lopen in beeld te brengen. Volgens Methorst et al. (2010) is het aantal doden onder voetgangers ongeveer 1,5 maal hoger wanneer ook enkelvoudige ongevallen

worden meegenomen (gebaseerd op een analyse van de periode 2003-2007). Het aantal verkeersgewonden die in het ziekenhuis worden opgenomen is dan zelfs ruim vier maal zo hoog. De afname van letsellast ten gevolge van voetgangerongevallen is in dit scenario dus ook veel hoger dan 4.700 DALYs als ook enkelvoudige ongevallen worden meegenomen.

Tabel 4.18 Aantal doden en ernstig verkeersgewonden onder voetgangers, gemiddeld 2005-2009; bron: SWOV

	Doden	EVG	YLL	YLD	DALYs
0-14	7	240	470	1.100	1.600
15-39	17	180	920	600	1.500
40-64	20	200	590	400	1.000
65+	32	240	310	200	500
Totaal	76	870	2.290	2.400	4.700

Tegenover de afname van letsellast van voetgangerongevallen staat in dit scenario uiteraard een toename van fietsongevallen en de daaraan verbonden letsellast. Er wordt per jaar 5,5 miljard kilometer te voet afgelegd (gemiddeld 2010-2013; bron: CBS). Als deze afstand wordt gefietst neemt het aantal fietskilometers met 38% toe. Als de letsellast van fietsongevallen ook met 38% zou toenemen, gaat het om een toename die in dezelfde orde van grootte ligt als de afname van letsellast door voetgangerongevallen. Als ook de letsellast van enkelvoudige voetgangerongevallen wordt meegenomen is er in dit scenario mogelijk een afname van de letsellast door ongevallen.

#### *Samenvatting*

In dit scenario zijn er verschillende onzekerheden waardoor het effect op ziektelast niet goed kan worden gekwantificeerd. Zo is het niet bekend of het effect op morbiditeit van lichaamsbeweging door fietsen (per tijdseenheid) verschilt van het effect van lopen. Ook is er geen informatie over verschillen in ademfrequentie, en dus de hoeveelheid ingeademde stoffen, tussen voetgangers en fietsers. De duur van lichaamsbeweging en blootstelling aan luchtvervuiling neemt wel af wanneer lopen wordt vervangen door fietsen, wat enerzijds een negatief gezondheidseffect (kortere lichaamsbeweging) en anderzijds een positief gezondheidseffect (minder lang blootstelling aan luchtvervuiling) heeft. Door het ontbreken van de genoemde informatie kunnen we echter geen uitspraak doen over de uiteindelijke effecten. Verder speelt mee dat de letsellast ten gevolge van enkelvoudige voetgangerongevallen niet bekend is. Een afname van de letsellast lijkt echter plausibel wanneer enkelvoudige voetgangerongevallen worden meegenomen, aangezien de afname van letsellast van voetgangers (exclusief enkelvoudige voetgangerongevallen) waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte ligt als de toename van letsellast van fietsers.

#### 4.5 Effecten op maatschappelijke kosten

Deze paragraaf beschrijft een schatting van effecten op kosten gerelateerd aan lichaamsbeweging, blootstelling aan luchtvervuiling en verkeersongevallen (zie paragraaf 3.2 voor een beschrijving van de methode en basiscijfers). Kosten van verandering in emissies nemen we niet mee omdat in de voorgaande paragrafen is gebleken dat het gezondheidseffect daarvan relatief zeer gering is in de besproken scenario's. We berekenen de kosten voor het jaar 2011, omdat dit het meest recente jaar is waarvoor basiscijfers beschikbaar zijn. Cijfers uit eerdere jaren drukken we uit in het prijspeil van 2011 op basis van het prijsindexcijfer van het bruto binnenlands product (bron: CBS).

Tabel 4.19 geeft de resultaten voor scenario (a) waarin fietsritten worden vervangen door autoritten (afgerond op €50 miljoen). Er is in dit scenario een toename van de maatschappelijke kosten van circa €4 tot €7 miljard. De immateriële kosten zijn daarin bepalend (€4,1 tot €6,8 miljard). Deze bestaan uit kosten door minder lichaamsbeweging (€5,6 tot € 9,1 miljard), waar een afname van immateriële kosten ten gevolge van minder luchtvervuiling en verkeersongevallen tegenover staat. De medische kosten nemen per saldo met €300 miljoen toe. Daar staan een (relatief lichte) toename van productie door minder verkeersslachtoffers (€100 miljoen) en een besparing van ongevalskosten (€200 miljoen) tegenover.

Tabel 4.19 Effecten op maatschappelijke kosten in scenario (a), miljoen euro 2011

		Lichaams- beweging	Lucht- vervuiling	Verkeers- slachtoffers	Totaal
Medische kosten		450	-	-100	300
Productieverlies		300	-50	-350	-100
Immateriële kosten	Laag	5.600	-200	-1.350	4.050
	Hoog	9.050	-300	-1.950	6.800
Kosten verkeersongevallen		-	-	-200	-200
Totaal	Laag	6.300	-250	-1.950	4.100
	Hoog	9.800	-350	-2.600	6.850

Tabel 4.20 geeft de resultaten in scenario (b) waarin alle brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten (afgerond op 10 miljoen). In dit scenario is er een afname van de maatschappelijke kosten van circa €1,6 miljard door positieve gezondheidseffecten door meer lichaamsbeweging en minder verkeersslachtoffers. Evenals in scenario (a) overheersen de immateriële kosten, die met 0,9 tot 1,4 miljard euro dalen.

Tabel 4.20 Effecten op maatschappelijke kosten in scenario (b), miljoen euro 2011

		Lichaams- beweging	Lucht- vervuiling	Verkeers- slachtoffers	Totaal
Medische kosten		-80	-	-10	-90
Productieverlies		-50	10	-50	-90
Immateriële kosten	Laag	-450	40	-470	-880
	Hoog	-730	60	-720	-1.380
Kosten verkeersongevallen		-	-	-20	-20
Totaal	Laag	-580	50	-560	-1.090
	Hoog	-860	80	-800	-1.590

#### 4.6 Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk is de systematiek van gezondheidseffectschattingen gepresenteerd aan de hand van grove schattingen voor modal shift scenario's. De berekeningen zijn erop gericht om de orde van grootte van de verschillende deelaspecten (lichaamsbeweging, luchtvervuiling en verkeersveiligheid) te laten zien. Meer nauwkeurige berekeningen vereisen (zeer) veel gegevens, die niet allemaal beschikbaar zijn, en dergelijke berekeningen vallen ook buiten het doel van deze studie. Met name in de modal shift waarin lopen wordt vervangen door fietsen zijn er diverse onzekerheden, waardoor zelfs een grove kwantificering van alle effecten op ziektelast niet goed mogelijk is.

De gezondheidseffecten van lopen, fietsen en brom-/snorfietsgebruik zijn op verkennende wijze in beeld gebracht voor drie scenario's:

- a) alle fietsritten worden vervangen door autoritten
- b) alle brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten
- c) lopen volledig wordt vervangen door fietsritten

Voor scenario (a) en (b) hebben we op basis van grove schattingen een beeld gegeven van de omvang van de effecten op ziektelast (in DALYs). Voor scenario (c) zijn er diverse onzekerheden waardoor kwantificering van alle effecten niet goed mogelijk is.

Tabel 4.21 geeft een overzicht van de resultaten in scenario (a) en (b). De modal shift van fiets naar auto leidt tot een toename van 59.000 tot 65.000 DALYs, waarbij het ongunstige gezondheidseffect van minder lichaamsbeweging domineert. De per saldo negatieve effecten op gezondheid leiden tot een stijging van de maatschappelijke kosten van circa €4 tot €7 miljard. Deze kosten bestaan vrijwel geheel uit immateriële kosten (verlies van kwaliteit van leven en levensjaren). Effecten op medische kosten, productieverlies en overige kosten van verkeersongevallen zijn relatief gering: medische kosten stijgen met €300 miljoen, er is een lichte toename van de productiviteit door minder verkeersslachtoffers (€100 miljoen) en overige kosten van verkeersongevallen nemen met ongeveer €200 miljoen af.

Het vervangen van brom-/snorfietsritten door fietsritten is gunstig voor de gezondheid (een afname van circa 13.000 DALYs) door meer lichaamsbeweging en minder verkeersletsel. Effecten van blootstelling aan luchtvervuiling en emissies door brom-/snorfietsen zijn relatief gering. In dit scenario is er een besparing van maatschappelijke kosten van €1,1 tot €1,6 miljard, die wederom voor een groot deel bestaan uit besparing van immateriële kosten (€0,9 tot €1,4 miljard). Medische kosten dalen met ongeveer €100 miljoen, productie neemt toe met €90 miljoen en er is een kleine besparing van overige kosten van verkeersongevallen (€20 miljoen).

In scenario (c) neemt de duur van lichaamsbeweging toe door de lagere snelheid van voetgangers ten opzichte van fietsers, wat tot een positief gezondheidseffect kan leiden. Er is echter geen onderzoek gedaan naar het effect op morbiditeit van lichaamsbeweging door lopen. Mogelijk wijkt het gezondheidseffect van lopen (per tijdseenheid) af van het effect van fietsen, zodat het uiteindelijke gezondheidseffect onduidelijk is. Voetgangers worden in dit scenario ook langer blootgesteld aan luchtvervuiling. Dit heeft op zich een negatief gezondheidseffect, maar ook de ademfrequentie van voetgangers (waarover geen informatie is) is bepalend voor het gezondheidseffect. Verder zijn in dit scenario, naast ongevallen van fietsers waarbij een rijdend voertuig is betrokken, ook enkelvoudige voetgangersongevallen bepalend voor het uiteindelijke effect op gezondheid. Deze ongevallen zijn in de verkeersongevallenstatistiek niet opgenomen en er is dan ook geen informatie over de letselast van deze ongevallen. Omdat de afname van letselast van voetgangers,

exclusief enkelvoudige voetgangersongevallen, waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte ligt als de toename van letsellast van fietsers, is een afname van de letsellast van alle ongevallen plausibel.

Tabel 4.21 Samenvatting effecten op ziektelast en kosten (miljoen euro) in twee scenario's

	YLL	YLD	DALYs	Effect op kosten
<i>(a) Fiets -&gt; auto</i>				
Lichaamsbeweging	30.400	49.400	79.900	6.300 tot 9.800
Blootstelling luchtvervuiling	-1.800 tot -7.000	-400 tot -1.500	-2.200 tot -8.500	-250 tot -350
Emissies	100	50	150	-
Verkeersongevallen	0	-12.800	-12.800	-1.950 tot -2.600
Totaal	24.000 tot 29.000	35.000 tot 36.000	59.000 tot 65.000	4.100 tot 6.850
<i>(b) Brom-/snorfiets -&gt; fiets</i>				
Lichaamsbeweging	-2.800	-4.200	-7.000	-580 tot -860
Blootstelling luchtvervuiling	200 tot 800	100 tot 300	400 tot 1.100	50 tot 80
Emissies	-100	-50	-150	-
Verkeersongevallen	-1.800	-4.900	-6.600	-560 tot -800
Totaal	-3.900 tot -4.400	-8.800 tot -9.000	-12.700 tot -13.500	-1.090 tot 1.580

De berekening van verkeersveiligheidseffecten kent verschillende onzekerheden. De effecten op het aantal slachtoffers zijn bijvoorbeeld op een vrij grove wijze geschat, deels gebruik makend van andere studies. Een ander punt is dat effecten op licht letsel (lager dan MAIS-2) niet zijn meegenomen, waardoor de verkeersveiligheidseffecten zijn onderschat. De letsellast van slachtoffers die zijn opgenomen in het ziekenhuis met en letsel ernstiger dan MAIS-2 wordt geschat op 20% van de totale letsellast van alle ziekenhuisgewonden (Polinder et al., 2015). Daarnaast betreft ongeveer een derde van de letsellast van verkeersslachtoffers die niet in het ziekenhuis zijn opgenomen (Weijermars et al., 2014). Omdat effecten op lichaamsbeweging bepalend zijn voor het uiteindelijke effect op gezondheid heeft dit echter geen wezenlijke invloed op de conclusies.

In deze studie zijn voor verschillende gezondheidsaspecten verschillende methoden gebruikt en zijn de gegevens afkomstig van verschillende bronnen die betrekking hebben op verschillende jaren (lichaamsbeweging 2011, verkeersslachtoffers 2009 en mobiliteitsgegevens 2010-2013). Het verschil in de omvang van verschillende effecten in de modal shifts is echter zodanig groot, dat dit geen invloed heeft op de conclusies, temeer omdat de gebruikte cijfers zoals aantal verkeersslachtoffers en mobiliteit van jaar tot jaar niet sterk fluctueren.



## 5 Het effect van fietspaden en fietsstroken op gezondheid

Waar in het vorige hoofdstuk naar gezondheid in relatie tot modal shifts is gekeken, gaat dit hoofdstuk in op de gezondheidseffecten van fietsinfrastructuur. Gezien de complexiteit van de berekening wordt in dit hoofdstuk niet naar de totale ziektelast gekeken maar alleen naar mortaliteit. Ook wordt er in de uitkomsten geen onderscheid gemaakt tussen fietspaden en fietsstroken. Er zal worden uitgegaan van een scenario waarin er evenveel fietspaden als fietsstroken bijkomen. Het schatten van het effect van fietspaden en fietsstroken is complex vanwege het scala aan directe en indirecte effecten en de deelpopulaties waarop die effecten betrekking hebben. Dit wordt beschreven in paragraaf 5.1. Paragraaf 5.2 tot en met 5.5 gaat daarna over de effecten van fietsinfrastructuur op de hoeveelheid fietsgebruik, blootstelling aan luchtvervuiling en verkeersveiligheid en hoe deze effecten doorvertaald kunnen worden naar effecten op het overlijdensrisico. Paragraaf 5.6 presenteert een scenario waarvoor de effecten ingeschat zullen worden. Paragraaf 5.7 beschrijft de resultaten. Een samenvatting en reflectie is opgenomen in paragraaf 5.8.

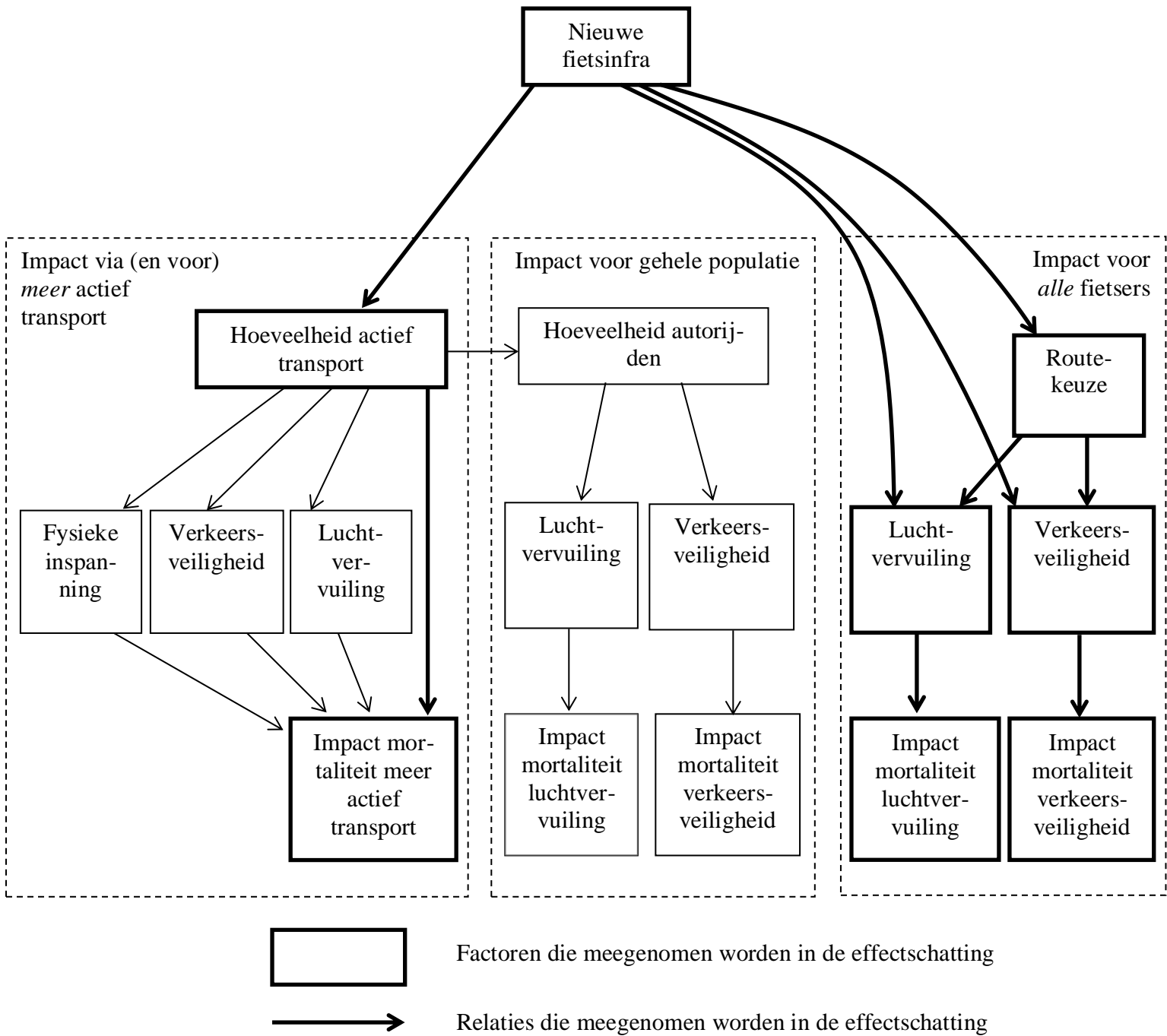
### 5.1 Effecten van fietspaden en fietsstroken

Figuur 5.1 beschrijft hoe fietsinfrastructuur de gezondheid kan beïnvloeden. Een eerste effect dat wordt beoogd met deze infrastructuur is een stijging van het fietsgebruik wat gunstig is voor de gezondheid. Meer fietsen kan ook ten koste gaan van lopen wat ongunstig zou zijn voor de gezondheid. Voor de gezondheidsimpact is dan ook de hoeveelheid actief transport van belang (de linkerzijde van figuur 5.1). In studies naar effecten van fietsinfrastructuur is vooralsnog geen reductie van de hoeveelheid tijd besteed aan lopen gevonden (Katteler et al. 1987, Goodman et al. 2013, Goodman et al. 2014). Daarom kijken we in dit hoofdstuk alleen naar de extra tijd besteed aan fietsen. Zoals beschreven in het vorige hoofdstuk heeft een modal shift van autorijden naar fietsen effecten via de hoeveelheid fysieke inspanning, blootstelling aan luchtvervuiling en verkeersveiligheidsrisico's. Er zijn inmiddels studies waarin de hoeveelheid fietsen wordt gerelateerd aan *all-cause* mortality (Kelly et al., 2014). Daarin zijn die verschillende aspecten gebundeld. Figuur 5.1 heeft om die reden een directe pijl van hoeveelheid actief transport naar mortaliteit in relatie tot de hoeveelheid actief transport. Qua populatie hebben effecten alleen betrekking op de toename van actief transport en de mensen die hiervoor verantwoordelijk zijn.

Voor zover de toename van fietsen samengaat met een afname van autorijden zijn er ook gezondheidsvoordelen voor de bevolking als geheel (het middelste deel van figuur 5.1). Voertuigen stoten minder uitlaatgassen uit en andere verkeersdeelnemers worden minder aan de risico's van zwaar verkeer blootgesteld. Een aanrijding met een fiets levert in het algemeen minder letsel op dan een aanrijding met een auto. Zoals beschreven in hoofdstuk 4 is de omvang van de gerelateerde gezondheidseffecten beperkt. Daarom worden deze buiten beschouwing gelaten in dit hoofdstuk.

Tot slot zijn er enkele directe effecten voor fietsers die van toepassing zijn ongeacht of de hoeveelheid fietsgebruik verandert (het rechterdeel van figuur 5.1). Fietsers op een fietspad zitten verder van motorvoertuigen en hun uitlaatgassen vandaan dan op de rijbaan. Door de afstand verdunnen de concentraties vervuilende stoffen. Fietspaden en fietsstroken kunnen daarnaast het risico van fietsongevallen verminderen. Er is ook een indirect effect via veranderingen in routekeuzegedrag, omdat fietspaden en fietsstroken aantrekkelijk gevonden worden. Dit kan leiden tot ver-

plaatsing van fietsstromen binnen het netwerk en daardoor tot een verandering van de gemiddelde concentratie van vervuilende stoffen en verkeersveiligheidsrisico's waaraan fietsers worden blootgesteld.



Figuur 5.1 Effecten van fietspaden en fietsstroken op gezondheid

De factoren en relaties die onderdeel uitmaken van deze studie zijn met dikkere lijnen gemarkeerd in figuur 5.1. Deze worden verder ingevuld in de volgende paragrafen.

## 5.2 Effecten van fietsinfrastructuur op mobiliteit

Fietspaden en fietsstroken kunnen zowel de modaliteitskeuze als routekeuze beïnvloeden. Dat fietsinfrastructuur beide typen gedrag beïnvloedt plaatst onderzoekers voor een uitdaging. Er zijn veel studies met de conclusie dat na de aanleg van fietsinfrastructuur meer langs een weg gefietst wordt (Pucher en Buehler 2010). Het is dan echter nauwelijks mogelijk om te bepalen of die extra fietsers hun route verlegd hebben of voorheen met de auto of te voet gingen. Een uitzondering is wellicht de Deense studie van Jensen (2006). Na de aanleg van fietspaden langs een weg steeg de hoeveelheid fietsers met 19% terwijl het aantal motorvoertuigen met 10% daalde. Dat suggereert dat grofweg de helft van de extra fietsers voorheen met de auto ging. Aangezien de meeste studies op basis van tellingen geen onderscheid tussen routekeuze en modaliteitskeuze mogelijk maken laten we deze studies in het vervolg buiten beschouwing. De volgende twee subparagrafen beschrijven andere typen studies naar modaliteitskeuzegedrag en routekeuzegedrag.

### 5.2.1 *Effecten op modaliteitskeuze en hoeveelheid fietsen*

Er zijn al verschillende literatuurstudies uitgevoerd over factoren die fietsgebruik beïnvloeden. Die komen allemaal tot de conclusie dat er nauwelijks goede evaluatiestudies beschikbaar zijn die het mogelijk maken om conclusies over causaliteit te trekken (Heinen *et al.* 2010; Scheepers *et al.* 2014). Vaak wordt wel gevonden dat er een correlatie is tussen de hoeveelheid fietsgebruik en fietsinfrastructuur. Dill en Carr (2003) vonden dat 1 km extra aan fietsstroken per vierkante kilometer samenging met ongeveer 1,6% extra aandeel fiets in de modal split. Er zijn nog talloze correlatieve studies maar die geven onvoldoende informatie om een doses-response relatie te beschrijven. Echter, ook bij de studie van Dill en Carr (2003) blijft het de vraag of het verband aan fietsinfrastructuur is toe te schrijven. Een omgekeerd verband is ook mogelijk (wegbeheerders leggen fietsinfrastructuur aan om grotere aantallen fietsers te faciliteren). Gelukkig zijn er enkele voor-na studies, zoals recent in Engeland (Goodman *et al.* 2013, Goodman *et al.* 2014). Ook in die studies is een significante stijging gevonden van het aandeel fiets in de modal split. Helaas is de beschrijving van de interventie onvoldoende om een doses-response relatie te beschrijven. Voor zover bekend is de voor-na studie van Barnes *et al.* (2006) de enige die daarvoor wel geschikt is. Daarin werd gevonden dat 1 km extra aan fietsstroken per vierkante kilometer leidt tot ongeveer 1% extra aandeel fiets in de modal split.

Bovengenoemde studies zijn afkomstig uit landen met een laag fietsgebruik. De enige voor-na studie gericht op fietsinfrastructuur in Nederland is de evaluatie van de aanleg van een fietsroutenetwerk in Delft in de jaren '80. Daarin werden onder andere fietspaden en fietsstroken aangelegd. De uitbreiding kwam overeen met een dichtheid van ongeveer 0,9 km/km<sup>2</sup> (kilometer aan lengte per vierkante kilometer). Uitgaande van de studies van Dill en Carr (2003) en Barnes *et al.* (2006) zou je daarmee een stijging van het aandeel fiets in de modal split van tussen de 0,9% en 1,5% mogen verwachten (0,9x1% en 0,9x1,6%). In Delft werd een stijging van het aandeel van ca. 40% naar 43% gevonden (Wilmink en Hartman, 1987), ofwel een stijging van het aandeel fiets in de modal split van rond de 3%. Echter, in Delft werden ook ongelijkvloerse kruispunten aangelegd en werd fietsen in twee richtingen op een aantal eenrichtingsstraten toegestaan. De stijging in Delft zal daarom toe te schrijven zijn aan de combinatie van maatregelen en niet alleen aan nieuwe fietspaden en fietsstroken.

Hoewel harde conclusies op basis van de evaluatie van het fietsroutenetwerk in Delft niet kunnen worden getrokken, suggereren ze wel dat een stijging in dezelfde orde van grootte als gevonden door bijvoorbeeld Barnes *et al.* (2006) en Dill en Carr

(2003) ook in Nederland aannemelijk is. Omdat de studie van Barnes et al. (2006) methodologisch het sterkste is, gaan we in het vervolg van dit hoofdstuk uit van de uitkomsten van die studie (1% extra aandeel fiets in de modal split voor iedere extra kilometer fietsinfrastructuur per vierkante kilometer, ofwel 1%/km/km<sup>2</sup>).

### 5.2.2

#### *Effecten op routekeuze*

Net als bij onderzoek naar modaliteitskeuzegedrag geldt voor onderzoek naar routekeuzegedrag dat het meeste onderzoek correlationeel is. Deze studies vergelijken waargenomen routes (met GPS of vragenlijsten) met kortste routes (bijvoorbeeld uit analyses met een Geografisch Informatie Systeem). Uitspraken over factoren die de routekeuze beïnvloeden kunnen worden afgeleid uit de kenmerken van de kortste routes en alternatieve route-opties. Meest bepalend voor de routekeuze van fietsers binnen steden is de reistijd (Broach *et al.* 2012; Gommers en Bovy, 1987; Menghini *et al.* 2010). Daarbij streven fietsers bovendien naar directe routes waarbij niet teveel afgeslagen hoeft te worden (Raford *et al.* 2007). Routekenmerken die ook enige invloed hebben zijn de hoeveelheid gemotoriseerd verkeer en fietsinfrastructuur. Fietsers prefereren rustige routes boven routes met veel gemotoriseerd verkeer. Echter, daarvoor kan gecompenseerd worden door fietspaden en fietsstroken aan te leggen langs drukke wegen (Broach *et al.* 2012; Gommers en Bovy, 1987; ; Howard en Burns, 2001; Menghini *et al.* 2010). Fietspaden en fietsstroken zijn onderling slechts beperkt vergeleken. Wel is er 'stated preference' onderzoek waarin is gevonden dat fietsers fietspaden meer waarderen dan fietsstroken (Mulley *et al.* 2013). Het is op basis van bovenbeschreven onderzoeken nog niet mogelijk om te schatten hoeveel extra fietsers er op een weg te verwachten zijn door de aanleg van fietspaden.

Voor zover bekend is de enige voor-na studie gericht op routekeuze bij fietsers verricht in het kader van de evaluatie van het fietsroutenetwerk van Delft. Uit de studie van Gommers en Bovy (1987) kan de verdeling van fietskilometers over wegtypen in de voor- en na-situatie worden afgeleid. Door uit te gaan van de verdeling van fietskilometers over wegtypen kan een effect door verandering van de hoeveelheid fietsgebruik worden uitgesloten (als het fietsgebruik stijgt maar niet de routekeuze, blijft de procentuele verdeling van fietskilometers over wegtypen onveranderd). Probleem is wel dat bij de introductie van het fietsroutenetwerk niet alleen de lengte van fietspaden en fietsstroken langs gebiedsontsluitingswegen (in het rapport aangeduid als 'stadswegen') steeg met respectievelijk 3,0km en 3,3km (ofwel 4% respectievelijk 4,4% van de 75km aan gebiedsontsluitingswegen). Ook de lengte aan solitaire fietspaden steeg. Dat verklaart waarom in de verdeling van fietskilometers in de voor- en na-situatie zoals afgebeeld in tabel 5.1 een stijging is te zien voor alle typen fietsinfrastructuur. Om het effect van fietspaden en fietsstroken te isoleren is daarom een kolom toegevoegd waarin het aandeel fietskilometers op solitaire fietspaden constant is gehouden.

Tabel 5.1 Aandeel fietskilometers in procenten per wegtype in Delft

Wegtype	Verdeling van fietskilometers		
	voor	na	na, met hetzelfde aandeel fietskilometers op solitaire fietspaden als in de voor-situatie <sup>a</sup>
Gow, fiets op de rijbaan	8,5	5,8	5,9
Gow, fietsstrook	25,5	25,5	26,1
Gow, fietspad	21,7	24,8	25,3
Erftoegangsweg	36,8	34,3	35,0
Solitaire fietspad	7,6	9,6	7,6
Anders	0,4	0,4	0,4
Totaal	100	100	100

a Het percentage fietskilometers op solitaire fietspaden is in de rechter kolom op 7.6% gehouden in de na-situatie om te corrigeren voor de gegroeide lengte van solitaire fietspaden

### 5.3 Effecten van fietsinfrastructuur op blootstelling aan luchtvervuiling

Er is een direct effect van fietspaden op de blootstelling van fietsers aan luchtvervuiling omdat de afstand tussen fietsers en motorvoertuigen (de bron) toeneemt. Fietsstroken zullen naar verwachting nauwelijks een direct effect hebben op de blootstelling aan luchtvervuiling omdat auto's fietsers even dicht passeren als op een rijbaan met gemengd verkeer (Parkin en Meyers 2010). De verdunning van de concentratie luchtvervuiling op fietspaden blijkt alleen bij stoffen die sterk met verkeer samenhangen. Fijnstof (PM<sub>2,5</sub>) dat als indicator werd gebruikt in het vorige hoofdstuk is daarvoor minder geschikt. Voor de effectschatting in dit hoofdstuk is als indicator een stof nodig met grotere contrasten en onderzoek naar de concentratie op fietsinfrastructuur. Daarnaast moet er kennis zijn over het effect op gezondheid. Een stof die voldoet aan deze criteria is roet (of Black Carbon, verder aangeduid als BC) (Boogaard *et al.* 2011; Hoek *et al.* 2013). Voor deze effectschatting wordt daarom gebruik gemaakt van BC.

Op fietspaden is een lagere BC concentratie gevonden in vergelijking met fietsstroken en gemengd verkeer. Het verschil varieerde tussen 12% en 25% (MacNaughton *et al.* 2014; Hatzopoulou *et al.* 2014). Vanwege veranderingen in routekeuzen zijn ook verschillen tussen wegtypen van belang. Op wegen met minder gemotoriseerd verkeer zijn de emissies en daardoor de BC concentraties lager. Twee studies vergeleken rustigere en drukkeren wegen waarbij 'rustig' overeenkomt met wat over het algemeen op erftoegangswegen verwacht mag worden en 'druk' met wat op gebiedsontsluitingswegen verwacht mag worden. Jarjour *et al.* (2013) en Strak *et al.* (2010) vonden 15% respectievelijk 28% lagere BC concentraties op rustige wegen.

### 5.4 Effecten van fietsinfrastructuur op verkeersveiligheid

In de internationale literatuur zijn reducties van het aantal fietsongevallen na aanleg van fietsstroken gevonden tussen de 9% en 50% (Elvik *et al.* 2009; Reynolds *et al.* 2009). In Nederland vonden Welleman en Dijkstra (1988) juist een hoger risico bij fietsstroken. De effecten van fietspaden in de internationale literatuur variëren tussen een toename met 7% en een afname van 38% (Elvik *et al.* 2009; Thomas en De Robertis, 2013; Lusk *et al.* 2011). De resultaten van Welleman en Dijkstra (1988) passen in deze range. Zij vonden 24% minder ongevallen op wegvakken met fietspaden in vergelijking met rijbanen met gemengd verkeer. Voorrangskruispunten maakten hierbij onderdeel uit van de wegvakken.

In de studie van Welleman en Dijkstra (1987) is rekening gehouden met de intensiteit van het fietsverkeer en gemotoriseerd verkeer. In veel internationale studies was dat niet het geval. Elvik *et al.* (2009) geven aan dat de stijging van fietsonge-

vallen na aanleg van fietspaden ook kan samenhangen met een stijging van het aantal fietsers. Het gebruik van de resultaten is moeilijk omdat onduidelijk is welk deel van de effecten toe te schrijven is aan verandering in het risico, routekeuze of modaliteitskeuze. De resultaten van de studie van Welleman en Dijkstra (1987) zijn het beste te interpreteren omdat het gaat om verandering in het risico. Op basis van die studie valt er nauwelijks een effect van fietsstroken te verwachten. Voor fietspaden is er sprake van een risicoreductie die bovendien voor voorrangskruispunten bevestigd is in meer recent onderzoek (Schepers *et al.* 2011). Een deel van de winst van die risicoreductie zal teniet gedaan worden doordat fietsers hun routes verleggen en meer langs gebiedsontsluitingswegen fietsen. Ook met fietspaden liggen de risico's op gebiedsontsluitingswegen hoger dan op erftoegangswegen (Schepers *et al.* 2013). De uiteindelijke verkeersveiligheidsvoordelen zijn daardoor onzeker.

## 5.5 Doorvertaling naar mortaliteit

Deze paragraaf beschrijft hoe een stijging van het fietsgebruik zoals beschreven in paragraaf 5.2 en gereduceerde blootstelling aan luchtvervuiling zoals beschreven in paragraaf 5.3 doorwerken in mortaliteit. Op basis van een recente meta-analyse, de eerste voor fietsen, is geschat dat het relatieve overlijdensrisico door 100 minuten fietsen per week daalt met 10% (ofwel 1 promille per minuut). Dit effect is toepasbaar op leeftijden tussen de 20 en 90 jaar. Ook voor blootstelling aan luchtvervuiling is een meta-analyse beschikbaar. Volgens Hoek *et al.* (2013) gaat een stijging van de BC concentratie met  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  samen met een stijging van het relatieve overlijdensrisico van 6,1%. Bij berekeningen voor luchtvervuiling wordt er in het algemeen vanuit gegaan dat de effecten toepasbaar zijn op mensen vanaf 30 jaar (Miller en Hurley, 2006).

## 5.6 Scenario

In de navolgende paragrafen worden de effecten inschat voor een hypothetisch scenario van een Nederlandse stad met 100.000 inwoners die 3,3 km aan nieuwe fietsstroken en 3 km aan nieuwe fietspaden aanlegt. Dit is afgeleid van de veranderingen die bij de aanleg van het fietsroutenetwerk in Delft zijn doorgevoerd. Voor dit scenario is gekozen omdat het daarmee mogelijk wordt om gebruik te maken van de effecten op routekeuzegedrag zoals gevonden bij de eerder beschreven evaluatie van het fietsroutenetwerk in Delft. Dat komt overeen met ongeveer 0,5 km fietsstroken en fietspaden per vierkante kilometer en een aandeel in de lengte van gebiedsontsluitingswegen van 4,4% voor fietsstroken en 4% voor fietspaden. Voor alle andere kenmerken gaan we uit van gemiddelden zoals die in Nederland voorkomen, bijvoorbeeld een aandeel fiets in de modal split van 26% (CBS 2015).

## 5.7 Gezondheidseffectschatting voor het scenario

### 5.7.1 Effect via een stijging van het fietsgebruik

In het scenario stijgt de dichtheid van fietsstroken en fietspaden met  $0,5 \text{ km}/\text{km}^2$ . Uitgaande van de studie van Barnes *et al.* (2006) leidt dat tot een stijging van het aandeel fiets in de modal split van 0,5%. De verandering van het aandeel fietsverkeer in de modal split moet worden gerelateerd aan de tijd die mensen besteden aan fietsen. Uitgaande van de spreiding in fietsgebruik zoals we die kennen in Nederlandse gemeenten is de tijd besteed aan fietsen (gemiddeld 74 minuten per week) ongeveer evenredig met het aandeel fiets in de modal split (gemiddeld 26%) (CBS 2015). Dit betekent dat 1% in de modal split overeenkomt met ongeveer 3 minuten. In ons scenario verwachten we een groei van het aandeel fiets in de modal split van 0,5%, ofwel ca. 1,5 minuten extra per week. Dit komt overeen met een reductie van het overlijdensrisico van circa 1,5 promille.

### 5.7.2

#### *Effect door verandering van de blootstelling aan luchtvervuiling*

De berekening voor luchtvervuiling is vergelijkbaar met de berekening in het vorige hoofdstuk. Echter, het gaat in dit geval om een verandering in de concentratie van stoffen waaraan fietsers worden blootgesteld op verschillende wegtypen terwijl het bij het scenario met modal shifts in het vorige hoofdstuk vooral om veranderingen in de duur van de blootstelling en ademfrequentie per modaliteit ging. Verder wordt in deze paragraaf naar BC gekeken terwijl in hoofdstuk 4 naar PM<sub>2,5</sub> werd gekeken. De berekening gaat in de volgende stappen:

- Uitgangspunt voor BC concentraties: gemiddelde straatconcentraties van 4 µg/m<sup>3</sup> (Keuken and Ten Brink, 2010). Deze waarde, die gemeten is op verkeersbelaste locaties, is aangenomen als hoogste concentratie voor gebiedsontsluitingswegen met fietsstroken of gemengd verkeer. Er wordt vanuit gegaan dat de BC concentratie waaraan mensen buiten het verkeer worden blootgesteld gelijk is aan de achtergrondconcentratie van 2,2 µg/m<sup>3</sup> (Keuken and Ten Brink 2010). De concentratie in gebouwen ligt waarschijnlijk nog lager (Dons *et al.* 2011), maar omdat de achtergrondconcentratie niet samenhangt met het scenario zou een lagere concentratie geen invloed hebben op de berekening.
- Schalen van straatconcentraties per wegtype: straatconcentraties zijn geschaald op basis van de in paragraaf 5.3 beschreven literatuur. Er wordt gerekend met een 12% tot 24% lagere BC concentratie op fysiek gescheiden fietspaden vergeleken bij gebiedsontsluitingswegen met fietsstroken of gemengd verkeer (Hatzopoulou *et al.* 2013; MacNaughton *et al.* 2014). Voor erftoegangswegen en solitaire fietspaden wordt gerekend met een 15% tot 28% lagere BC concentratie (Jarjour *et al.* 2013; Strak *et al.* 2010) vergeleken met de gemiddelde concentratie op gebiedsontsluitingswegen. Er wordt met bovengenoemde bandbreedtes gewerkt om de gevoeligheid van de berekening in beeld te brengen. De hoogste waarde in de bandbreedte leidt tot de grootste impact door luchtvervuiling.
- Tijd besteed aan fietsen per wegtype: de tijd besteed aan fietsen (gemiddeld 74 minuten per week ofwel 0,176 uur/dag boven de 20 jaar; CBS 2015) is verdeeld over wegtypen op basis van het aandeel fietskilometers per wegtype dat werd gevonden bij de evaluatie van het fietsroutenetwerk in Delft (zie tabel 5.1: verdeling voorsituatie in de linker kolom versus gecorrigeerde verdeling in de rechterkolom). Dit is mogelijk omdat eenzelfde scenario is gekozen als hetgeen werd doorgevoerd in Delft in de jaren '80.
- In lijn met De Hartog *et al.* (2010) gaan we er vanuit dat mensen tijdens slaap 5 liter/minuut en gedurende de rest van de dag 10 liter/minuut inademen. Schattingen van de hoeveelheid lucht die fietsers inademen lopen uiteen van 21 liter/minuut tot 50 liter/minuut (zie paragraaf 2.3). We passen de hoogste en laagste waarde toe om de gevoeligheid van de uitkomsten in beeld te brengen. Merk op dat 1 liter/minuut overeenkomt met 0,03 m<sup>3</sup>/uur.

De berekening is weergegeven in tabel 5.2. De reductie van het overlijdensrisico in het scenario varieert tussen 0 en 0,05 promille.

Tabel 5.2 Geschatte mortaliteitsimpact gerelateerd aan luchtvervuiling

	Concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tijd per wegtype voor (h)	Tijd per wegtype scenario (h)	Ademfrequentie ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Geïnhaleerde doses voor ( $\mu\text{g}/\text{day}$ )	Geïnhaleerde doses scenario ( $\mu\text{g}/\text{day}$ )
<i>Grootste impact bandbreedte</i>						
Slaap	2.2	8.0	8.0	0.3	5.28	5.28
Rust	2.2	15.8	15.8	0.6	20.89	20.89
Gow, gemengd verkeer	4.0	0.015	0.011	3.0	0.18	0.12
Gow, fietsstroken	4.0	0.045	0.046	3.0	0.54	0.55
Gow, fietspaden	3.1	0.038	0.045	3.0	0.35	0.41
Etw	3.1	0.065	0.062	3.0	0.60	0.58
Naar tijd gewogen gemiddelde concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2.21					
Totaal		24	24		27.84	27.83
Equivalentente verandering in de gemiddelde concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>a</sup>						-0.0008
Reductie overlijdensrisico (promille) <sup>b</sup>						0.05
<i>Kleinste impact bandbreedte</i>						
Slaap	2.2			0.3	5.28	5.28
Rust	2.2			0.6	20.89	20.89
Gow, gemengd verkeer	4.0			1.3	0.07	0.05
Gow, fietsstroken	4.0			1.3	0.23	0.23
Gow, fietspaden	3.1			1.3	0.17	0.20
Etw	3.1			1.3	0.22	0.21
Naar tijd gewogen gemiddelde concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2.21					
Totaal					26.86	26.86
Equivalentente verandering in de gemiddelde concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>a</sup>						0.0001
Reductie overlijdensrisico (promille) <sup>b</sup>						0.00

a Equivalentente verandering in de gemiddelde BC concentratie: naar tijd gewogen gemiddelde concentratie voorsituatie \* (geïnhaleerde doses scenario / geïnhaleerde doses voorsituatie) - naar tijd gewogen gemiddelde concentratie voorsituatie (De Hartog *et al.* 2010)

b Reductie overlijdensrisico:  $\text{EXP}(\ln(1.061) * \text{Equivalentente verandering BC}) - 1$

### 5.7.3 Effect via verkeersveiligheid

Zoals beschreven in paragraaf 5.4 is het effect op verkeersveiligheid te onzeker om mee te nemen in de analyse. Om de gevoeligheid van de uitkomsten voor verkeersveiligheid inzichtelijk te maken rekenen we door wat de effecten op het overlijdensrisico zijn als het aantal fietsdoden op gebiedsontsluitingswegen met fietspaden 20% lager is dan op gebiedsontsluitingswegen met gemengd verkeer. Het scenario waarmee gerekend wordt is afgeleid van het Delftse fietsroutenetwerk waar het aandeel gebiedsontsluitingswegen met fietspaden binnen de bebouwde kom met 4% groeide. Om de toelichting van de berekening te vereenvoudigen, beschrijven we deze alsof het scenario op het hele land betrekking heeft.



De effecten kunnen als volgt geschat worden:

- Het aantal doden bij fiets-motorvoertuigongevallen op gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom tussen 2010 en 2013 was circa 58 per jaar (SWOV 2015).
- Het aantal doden dat betrekking heeft op het scenario kan geschat worden aan de hand van het aandeel in de lengte van gebiedsontsluitingswegen (4% voor fietspaden)
- Een reductie van 20% van het aantal doden op deze lengte komt overeen met naar schatting een 0,5 doden per jaar ( $58 \times 4\% \times 20\%$ )
- Het totaal aantal doden tussen 2010 en 2013 was 138.000 per jaar (alle doods-oorzaken bij elkaar). Een reductie van het aantal doden met 0,5 komt overeen met een daling van het overlijdens risico van 0,004 promille:  $1000 \times (1 - (138.000 - 0,5) / 138.000)$ .

De uitkomst laat zien dat het gewicht van verkeersveiligheid in de totaaluitkomsten relatief klein is.

## **5.8 Samenvatting, discussie en interpretatie**

Om het effect op de levensverwachting in het scenario uit te rekenen zou de berekening uitgesplitst moeten worden naar leeftijdsgroepen. Dat geeft een effect op het overlijdensrisico per leeftijdsgroep dat als impact in berekeningen met levenstabellen ingevoerd kan worden. Een goede eerste schatting is dat een daling van het overlijdensrisico van 1 promille voor alle volwassenen overeenkomt met een stijging van de levensverwachting met 3 dagen (Miller en Hurley 2006). In het scenario zou het effect van fietspaden door meer lichaamsbeweging (een reductie van 1,5 promille) uitkomen op 4 tot 5 dagen ( $1,5 \times 3$ ). Effecten op de levensverwachting door een verminderde blootstelling aan luchtvervuiling en verkeersveiligheidsrisico's zijn in vergelijking hiermee klein.

Opgemerkt moet worden dat er in de effectberekening voor alle gezondheidsaspecten onzekerheden zitten. In relatie tot de gezondheidsverbetering door een stijging van het fietsgebruik is de grootste onzekerheid dat er weinig goed onderzoek is om ex-ante te schatten hoeveel extra fietsgebruik dankzij fietsinfrastructuur te verwachten is. De schattingen die in dit hoofdstuk zijn gepresenteerd moeten daarom niet te absoluut beschouwd worden. Een voorzichtige conclusie die wel getrokken kan worden is dat, uitgaande van het onderzoek dat nu beschikbaar is, het grootste positieve gezondheidseffect van fietsinfrastructuur te verwachten is van een stijging van de hoeveelheid fysieke inspanning. Een kleine stijging van het fietsgebruik heeft al een substantieel positief effect op de gezondheid. Er zijn ook voordelen via de andere gezondheidsaspecten te bereiken maar de berekening is hiervoor minder gevoelig.

De stijging van de levensverwachting van ruim 4 dagen lijkt klein maar in relatie tot de omvang van de maatregelen in het scenario zou dit geen slecht resultaat zijn, zeker omdat over een langere periode doden bespaard kunnen worden. Een kosten baten analyse zou nodig zijn om een beter beeld te vormen van de vraag of de kosten opwegen tegen de baten. Dat valt buiten de scope van dit hoofdstuk.

## 6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

In dit rapport stond de vraag centraal in hoeverre er een meer integrale benadering van gezondheidsaspecten mogelijk is ter ondersteuning van besluitvorming ten aanzien van infrastructuur en regelgeving voor tweewielers. Hiervoor is literatuur verkend en zijn hypothetische scenario's doorgerekend.

### 6.1 Schattingen gezondheidseffecten scenario's

Nieuwe regels kunnen leiden tot modal shifts. Daarom zijn in hoofdstuk 4 gezondheidseffecten van modal shifts ingeschat. De effecten werden hierbij uitgedrukt in DALYs om de ziektelast (bestaande uit zowel mortaliteit als morbiditeit) in beschouwing te nemen. De berekeningen suggereren dat het vervangen van fietsritten door autoritten per saldo een sterk negatief gezondheidseffect heeft, waarbij het effect van lichaamsbeweging door fietsen overheerst. Dit komt overeen met andere studies naar de effecten van deze modal shift (Van Kempen et al., 2010; De Hartog et al., 2010). Lichaamsbeweging door fietsen levert een gezondheidswinst van ongeveer 80.000 DALYs op ten opzichte van autorijden. Dat is ongeveer 2,5% van de totale ziektelast ten gevolge van ziekte en letsel in Nederland.<sup>26</sup> Ruim 3% van de ziektelast in Nederland is het gevolg van lichamelijk inactiviteit (Hilderink, 2014). Wanneer er niet gefietst zou worden zou dit percentage dus bijna twee maal zo hoog zijn. In het scenario waarin alle brom-/snorfietsritten worden vervangen door fietsritten is er ook een substantieel effect op verkeersveiligheid, omdat het ongevalsrisico van brom-/snorfietsen veel hoger is dan het risico voor fietsers (SWOV, 2013). Dit scenario is daarom zowel vanuit het perspectief van lichaamsbeweging als verkeersveiligheid positief voor de gezondheid.

In hoofdstuk 5 werden de gezondheidseffecten van fietsinfrastructuur ingeschat. Hierbij is van mortaliteit uitgegaan en bleef morbiditeit buiten beschouwing. De uitkomsten suggereren dat ook voor dit scenario het positieve effect van lichaamsbeweging door fietsen overheerst. Er is daarnaast een kleine gezondheidswinst mogelijk door een verminderde blootstelling aan luchtvervuiling en verbeterde verkeersveiligheid maar deze effecten zijn klein vergeleken bij het effect door het gestegen fietsgebruik waardoor mensen zich meer fysiek inspannen.

### 6.2 Maten voor het uitdrukken van gezondheidseffecten

In hoofdstuk 4 zijn de effecten van modal shift scenario's op de totale ziektelast (mortaliteit en morbiditeit) uitgedrukt in DALYs (Disability Adjusted Life Years). In hoofdstuk 5 is alleen naar mortaliteit gekeken en zijn effecten uitgedrukt in verandering van de levensverwachting.

De ziektelast, uitgedrukt in bijvoorbeeld DALYs, is in principe het meest volledig. Daarmee kan bij verkeersveiligheid zowel naar dodelijke als niet-dodelijke letsels gekeken worden (Panneman *et al.*, 2015). Soms kan vanwege beperkingen in de beschikbare kennis toch beter voor mortaliteit worden gekozen. De WHO kijkt in haar 'HEAT' tool voor het berekenen van gezondheidsvoordelen van fietsen en lopen alleen naar mortaliteit omdat de effecten op morbiditeit te onzeker zijn. Er zou te weinig onderzoek zijn waarin ziekten specifiek aan lopen en fietsen zijn gerelateerd (Kahlmeijer *et al.*, 2013). De WHO gaat uit van studies gericht op *all-cause* mortaliteit waarbij de hoeveelheid lopen en fietsen wordt gerelateerd aan het overlijdensrisico, ongeacht doodsoorzaak (voordelen van meer bewegen zijn daarin als het ware

<sup>26</sup> Uitgaande van de selectie van 59 ziekten en letsels waarvoor het RIVM de ziektelast heeft bepaald.

gecorrigeerd voor nadelen zoals het grotere ongevalsrisico bij fietsen) (Kelly et al., 2014). In hoofdstuk 4 is het effect op morbiditeit ingeschat door gebruik te maken van onderzoek naar de gezondheidseffecten van lichaamsinspanning in het algemeen. Daarin werd gebruik gemaakt van de aanpak van gerenommeerde onderzoekers op het terrein van gezondheidseffectschattingen (Woodcock et al., 2009). Er werd daarbij gekeken naar effecten op specifieke ziekten want schattingen voor 'all-cause morbidity' gerelateerd aan fietsen bestaan nog niet.

Een adequate manier om te kiezen voor een maat zou zijn om te kijken naar welke maat de meest volledige inschatting geeft. Dat zou in theorie de ziektelast moeten zijn waarbij onder de DALYs zowel verloren levensjaren (YLL) als ziektejaarsequivalenten (YLD) zijn begrepen. Volgens hoofdstuk 4 levert lichaamsbeweging door fietsen een gezondheidswinst van ongeveer 80.000 DALYs. Daarop zouden de nadelige effecten door verkeersonveiligheid en extra blootstelling aan luchtvervuiling in mindering gebracht moeten worden zodat een netto effect van 59.000 tot 65.000 DALYs resteert. Uitgaande van de uitkomsten van studies naar all-cause mortality (Kelly et al., 2014) en de Nederlandse cijfers over fietsen, is het overlijdensrisico van Nederlandse volwassenen gemiddeld ca. 7% lager dankzij fietsen (Fishman et al., 2015). Het jaarlijks aantal verloren levensjaren onder Nederlandse volwassenen is ongeveer een miljoen waarmee de gezondheidswinst door fietsen op ca. 70.000 YLL geschat kan worden. Er is daarbij gekeken naar effecten op mortaliteit in relatie tot alle ziekten. Dat cijfer ligt maar iets onder de schatting op basis van hoofdstuk 4. De verklaring voor dit kleine verschil is dat in de benadering van hoofdstuk 4 weliswaar naar zowel mortaliteit en morbiditeit wordt gekeken maar dat dit alleen voor specifieke ziekten gedaan wordt. *All-cause mortality* omvat alle ziekten.

Vooralsnog kan er geen hard advies gegeven worden voor een te hanteren maat. Het schatten van de totale ziektelast in DALYs lijkt een mooi streven als daarvoor voldoende kennis en gegevens beschikbaar zijn. Verder kan gekeken worden naar de doelgroep van de resultaten. Maten als DALYs zijn goed te begrijpen voor specialisten en kunnen helpen om te bepalen welke ziekten en gezondheidsproblemen het meeste bijdragen aan de ziektelast. Voor beleidsmakers op terreinen buiten de gezondheidszorg zullen maten als aantallen bespaarde doden en levensverwachting wellicht beter te begrijpen zijn. Zou voor een maat gerelateerd aan mortaliteit worden gekozen, dan dient wel goed nagegaan te worden of dat geen vertekening geeft in het gewicht van verschillende gezondheidsaspecten. Dat kan bijvoorbeeld door na te gaan welke ziekten het meest beïnvloed worden en hoe de ziektelast bij die ziekten is opgebouwd.

### **6.3 Haalbaarheid gezondheidseffectschattingen**

Deze verkennende studie laat zien dat het bij een aantal vraagstukken gerelateerd aan tweewielerbeleid goed mogelijk is om inzicht te geven in de orde van grootte van het effect van verschillende aspecten zoals veiligheid, blootstelling aan luchtvervuiling en lichaamsbeweging op gezondheid. Dat kan voor besluitvormers meerwaarde geven ten opzichte van een meer kwalitatieve inschatting zoals in een recente studie over gedragsregels voor speed-pedelecs (Schepers en Van der Voet, 2014). Anderzijds vereist dit wel een grote beschikbaarheid van gegevens en kennis over bijvoorbeeld doses-response relaties. Voor een nieuw voertuig als de speed-pedelec zullen veel aannamen nodig zijn omdat empirische gegevens ontbreken. Hoofdstuk 4 bevatte een scenario gericht op voetgangers waar ook bleek dat te veel gegevens ontbraken om tot voldoende valide uitspraken te komen. Een hiaat bij voetgangers is bijvoorbeeld dat enkelvoudige ongevallen niet onder de definitie van verkeersongeval vallen en er daardoor nauwelijks gegevens over verzameld worden. In die gevallen is een systematische analyse en kwalitatieve inschatting een goed

alternatief om besluitvormers toch van informatie voor een integrale afweging te voorzien.

Wat betreft kennis ten behoeve van gezondheidseffectschattingen voor tweewielerbeleid is in het algemeen het effect op het gebruik van actieve vervoerswijzen (fietsen en lopen) het zwakste. Er is bijvoorbeeld nauwelijks onderzoek beschikbaar over het effect van de beschikbaarheid van fietsinfrastructuur op het fietsgebruik en eventuele concurrentie tussen fietsen en lopen. De enige voor-na studie over het effect van fietsinfrastructuur op fietsgebruik in Nederland is de evaluatie van het fietsroutenetwerk in Delft in de jaren '80 (Wilmink en Hartman, 1987). Een indruk van de orde van grootte van het effect op basis van internationale literatuur is voortsnog het hoogst haalbare. Bij iedere opgave is het dan ook de vraag is of er een voldoende onderbouwde aanname gemaakt kan worden om toch zinvol de orde van de grootte van verschillende effecten in te schatten. Door eerst een literatuurstudie uit te voeren kan vooraf ingeschat worden of de kennis voor een bepaald vraagstuk ver genoeg rijkt voor een kwantitatieve gezondheidseffectschatting. Zo niet, dan is een kwalitatieve analyse een goed alternatief. Daarbij kunnen in ieder geval de type gezondheidseffecten worden geïdentificeerd.

#### **6.4 Bruikbaarheid in de praktijk**

Deze studie laat zien dat het mogelijk is om een meer integraal beeld van gezondheidseffecten van maatregelen te geven als meerdere gezondheidsaspecten beïnvloed worden en over al die aspecten voldoende kennis beschikbaar is. Dit kan besluitvormers helpen om een afweging te maken. Vraagstukken waarbij dit in voorkomende gevallen overwogen zou kunnen worden betreffen gedragsregels voor brom- en snorfietsen (helm en plaats op de weg), voorzieningen als de ov studentenkaart en nieuwe fietsinfrastructuur. Bij maatregelen waarbij de effecten sterk beperkt zijn tot één aspect is de toegevoegde waarde beperkt, bijvoorbeeld invoering van ESC (Electronic Stability Program) in auto's. De toegevoegde waarde is aanvullende informatie voor besluitvormers. Het is geen vervanging voor doelstellingen en normen die op verschillende beleidsterreinen zijn geformuleerd.

- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C., Leon, A.S., 2011. 2011 compendium of physical activities: A second update of codes and met values. *Medicine and science in sports and exercise* 43 (8), 1575-1581.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.M., Strath, S.J., O'Brien, W.L., Bassett, D.R., Schmitz, K.H., Emplaincourt, O., 2000. Compendium of physical activities: An update of activity codes and met intensities. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (9), S498-S504.
- Barnes, G., Thompson, K., Krizek, K., Year. A longitudinal analysis of the effect of bicycle facilities on commute mode share. In: *Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Transportation Research Board, Washington, DC.
- Blincoe, L.J., Miller, T.R., Zaloshnja, E. & Lawrence, B.A., 2014. The economic and societal impact of motor vehicle crashes 2010. National Highway Traffic Safety Administration, Washington.
- Bobinac, A., van Exel, N.J.A., Rutten, F.F.H., Brouwer, W.B.F., 2013. Valuing QALY gains by applying a societal perspective. *Health Economics*, 22(10), 1272-1281.
- Boogaard, H., Borgman, F., Kamminga, J., Hoek, G., 2009. Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and driving in 11 Dutch cities. *Atmospheric Environment* 43 (27), 4234-4242.
- Boogaard, H., Kos, G., Weijers, E.P., Janssen, N.a.H., Fischer, P.H., Van Der Zee, S.C., De Hartog, J.J., Hoek, G., 2011. Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultrafine particle number. *Atmospheric Environment* 45 (3), 650-658.
- Brent, R.J. 2003. *Cost-benefit analysis and health care*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- Broach, J., Dill, J., Gliebe, J., 2012. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference gps data. *Transportation Research Part A* 46 (10), 1730-1740.
- CBS, 2015. Statline: [www.statline.cbs.nl](http://www.statline.cbs.nl).
- Cherry, C., Yang, C.H., Jones, L., He, M., 2015. Dynamics of electric bike use in kunming china. Submitted for Transport Policy.
- De Blaeij, A.T., 2003. The value of a statistical life in road safety; Stated preference methodologies and empirical estimates for the Netherlands. Tinbergen Institute Research Series, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- De Geus, B., Kempnaers, F., Lataire, P., Meeusen, R., 2013. Influence of electrically assisted cycling on physiological parameters in untrained subjects. *Eur J Sport Sci* 13 (3), 290-294.
- De Hartog, J.J., Boogaard, H., Nijland, H., Hoek, G., 2010. Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental health perspectives* 118 (8), 1109.
- De Hollander, A.E.M. Hoeymans, N., Melse, J.M., Van Oers J.A.M., Polder, J.J., 2006. *Zorg voor gezondheid. Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2006*. RIVM, Bilthoven.

- De Neeling, J.N.D. 2003. Kostenutiliteitsanalyse. Gezondheidsraad, Den Haag.
- De Wit, M., Methorst, R., 2012. Kosten verkeersongevallen in Nederland; Ontwikkelingen 2003-2009. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart DVS, Delft.
- Den Boeft, J., Eerens, H.C., Den Tonkelaar, W.a.M., Zandveld, Y.J., 1996. Car international: A simple model to determine city street air quality. *Science of The Total Environment* 189-190, 321-326.
- Dill, J., Carr, T., 2003. Bicycle commuting and facilities in major u.S. Cities: If you build them, commuters will use them. *Transportation Research Record* 1828, 116-123.
- Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., Wets, G., 2011. Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon. *Atmospheric Environment* 45 (21), 3594-3602.
- EC 2015. European Core Health Indicators (ECHI). [ec.europa.eu/health/indicators/echi](http://ec.europa.eu/health/indicators/echi). European Commission, Brussels
- Elvik, R., Vaa, T., Erke, A., et al., 2009. *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group Publishing, Bingley.
- Fishman, E., 2015. E-bikes in the mainstream: Reviewing a decade of research. Submitted to *Transport Reviews*.
- Fishman, E., Schepers, J.P., Kamphuis, C., 2015. Dutch cycling: Quantifying the economic health benefits. *AJHP*, in press
- Gojanovic, B., Welker, J., Iglesias, K., Daucourt, C., Gremion, G., 2011. Electric bicycles as a new active transportation modality to promote health. *Medicine and science in sports and exercise* 43 (11), 2204-2210.
- Gommer, A.M., Poos, M.J.J.C., Van Gool, C.H., 2014. Welke ziekten veroorzaken de grootste ziektelast (in DALY's)? In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 14 februari 2014. RIVM, Bilthoven.
- Gommers, M.J.P.F., Bovy, P.H.L., 1987. Evaluatie fietsroutenetwerk delft: Routekeuzegedrag en netwerkgebruik (evaluation of the delft bicycle network: Route choice and network use). Technische Universiteit Delft, Delft.
- Goodman, A., Panter, J., Sharp, S.J., Ogilvie, D., 2013. Effectiveness and equity impacts of town-wide cycling initiatives in england: A longitudinal, controlled natural experimental study. *Social Science & Medicine* 97, 228-237.
- Goodman, A., Sahlqvist, S., Ogilvie, D., 2014. New walking and cycling routes and increased physical activity: One- and 2-year findings from the uk iconnect study. *American Journal of Public Health* 104 (9), 38-46.
- Hakkaart- van Roijen, Tan, L.S.S., Bouwmans, C.A.M., 2010. Handleiding voor kostenonderzoek; Methoden en standaard kostprijzen voor economische evaluaties in de gezondheidszorg. Geactualiseerde versie 2010. College voor Zorgverzekeringen, Diemen.
- Hamer, M., Chida, Y., 2008. Active commuting and cardiovascular risk: A meta-analytic review. *Prev Med* 46 (1), 9-13.
- Hänninen O., Knol A., (red.) 2011. *European Perspectives on Environmental Burden of Disease. Estimates for Nine Stressors in Six European Countries*. National Institute for Health and Welfare (THL), Helsinki.

- Harms, L., Bertolini, L., Te Brömmelstroet, M., 2014. Spatial and social variations in cycling patterns in a mature cycling country exploring differences and trends. *Journal of Transport & Health*, 1 (4), 232–242.
- Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Dugum, H., Pickett, G., Miranda-Moreno, L., Kulka, R., Andersen, R., Goldberg, M., 2013. The impact of traffic volume, composition, and road geometry on personal air pollution exposures among cyclists in montreal, canada. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 23 (1), 46-51.
- Heinen, E., Van Wee, B., Maat, K., 2010. Commuting by bicycle: An overview of the literature. *Transport reviews* 30 (1), 59-96.
- Hendriksen, I., Engbers, L., Schrijver, J., Van Gijlswijk, R., Weltevreden, J., Wilting, J., 2008. Elektrisch fietsen; marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden. TNO, Leiden.
- Hendriksen, I.J., Zuiderveld, B., Kemper, H.C., Bezemer, D., 2000. Effect of commuter cycling on physical performance of male and female employees. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2), 504-10.
- Hensema, A., Van Mensch, Vermeulen, R., 2013. Tail-pipe emissions and fuel consumption of standard and tampered mopeds. TNO, Delft.
- Hertel, O., Hvidberg, M., Ketzel, M., Storm, L., Stausgaard, L., 2008. A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure—a study on bicycle and bus trips in urban streets. *Science of the total environment* 389 (1), 58-70.
- Hildebrandt, V.H., Chorus, A.M.J., Stubbe, J.H., 2010. Trendrapport bewegen en gezondheid 2008/2009. TNO, Leiden.
- Hilderink, H.B.M., 2014. Ziekte last in DALY's: Wat is de bijdrage van risicofactoren? In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 5 juni 2014. RIVM, Bilthoven.
- Hirth, R.A., Chernew, M.E., Miller, E., Fendrick, A.M., Weissert, W.G., 2000. Willingness to pay for a quality-adjusted life year: in search of a standard. *Health Economics*, 20 (3), 332-342
- Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., Kaufman, J.D., 2013. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: A review. *Environmental Health* 12 (1), 43.
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., Van Den Brandt, A., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: A cohort study. *The Lancet* 360 (9341), 1203-1209.
- Hoevenaer-Blom, M.P., Wendel-Vos, G.C., Spijkerman, A.M., Kromhout, D., Verschuren, W.M., 2011. Cycling and sports, but not walking, are associated with 10-year cardiovascular disease incidence: The morgen study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 18 (1), 41-7.
- Howard, C., Burns, E.K., 2001. Cycling to work in phoenix: Route choice, travel behavior, and commuter characteristics. *Transportation Research Record* 1773 (1), 39-46.
- Int Panis, L., De Geus, B., Vandenbulcke, G., Willems, H., Degraeuwe, B., Bleux, N., Mishra, V., Thomas, I., Meeusen, R., 2010. Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. *Atmospheric Environment* 44 (19), 2263-2270.

- Jarjour, S., Jerrett, M., Westerdahl, D., De Nazelle, A., Hanning, C., Daly, L., Lipsitt, J., Balmes, J., 2013. Cyclist route choice, traffic-related air pollution, and lung function: A scripted exposure study. *Environmental Health* 12 (1), 14.
- Jensen, S.U., 2006. Effekter af sykelstier og cykelbaner - før-og-efter evaluering af trafiksikkerhed og trafikmængde ved anlæg af ensrettede sykelstier og cykelbaner i københavns kommune. Trafitec, Lyngby.
- Kahlmeier, S., Kelly, P., Foster, C., Götschi, T., Cavill, N., Dinsdale, H., Woodcock, J., Schweizer, C., Rutter, H., Lieb, C., Oja, P., Racioppi, F., 2013. Health economic assessment tools (HEAT) for walking and for cycling; Methodology and user guide. Economic assessment of transport infrastructure and policies. World Health Organisation, Copenhagen.
- Katteler, H., Erl, E., Förg, O., Brög, W., Kropman, J., 1987. Evaluatie fietsroutenetwerk delft; vervoermiddelgebruik en keuzebepervingen (evaluation of the delft bicycle network; modal choice and constraints). ITS, Nijmegen.
- Kelly, P., Kahlmeier, S., Götschi, T., Orsini, N., Richards, J., Roberts, N., Scarborough, P., Foster, C., 2014. Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 11 (1), 132.
- Keuken, M., Wilmink, I., Tromp, P., De Kluzenaar, Y., 2009. Emissies, verspreiding en gezondheidseffecten van ultrafijnstof door wegverkeer. TNO, Utrecht.
- Keuken, M.P., Ten Brink, H.M., 2010. Traffic Emissions of Elemental Carbon (EC) and Organic Carbon (OC) and their Contribution to PM2.5 and PM10 Urban Background Concentrations. RIVM, Bilthoven.
- Kunselaar, E., Renes, G., 2012. Gezondheid in maatschappelijke kosten-batenanalyses van omgevingsbeleid. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Langford, B.C., 2013. A comparative health and safety analysis of electric-assist and regular bicycles in an on-campus bicycle sharing system. University of Tennessee.
- Ligterink, N., De Lange, R., Vermeulen, R., Dekker, H., 2009. On-road nox emissions of euro-v trucks. TNO, Den Haag.
- Lusk, A.C., Furth, P.G., Morency, P., et al., 2011. Risk of injury for bicycling on cycle tracks versus in the street. *Injury Prevention* 17, 131-135.
- Macarthur, J., Dill, J., Person, M., 2014. E-bikes in the north america: Results from an online survey. Paper presented at the TRB Annual Meeting 2014, Washington, D.C.
- Macnaughton, P., Melly, S., Vallarino, J., Adamkiewicz, G., Spengler, J.D., 2014. Impact of bicycle route type on exposure to traffic-related air pollution. *Science of The Total Environment* 490, 37-43.
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., Axhausen, K.W., 2010. Route choice of cyclists in zurich. *Transportation research part A* 44 (9), 754-765.
- Methorst, R., Van Essen, M., Ormel, W., Schepers, P., 2010. Letselgevallen van voetgangers en fietsers; een verrassend beeld. Rijkswaterstaat, Delft.
- Miller, B.G., Hurley, J.F., 2006. Comparing Estimated Risks for Air Pollution with Risks for other Health Effects. Institute of Occupational Medicine, Edinburgh.
- Ministerie Van Infrastructuur en Milieu, 2013. Kamerbrief ienm/bsk-2013/292792; uitvoering van de moties 45 en 46. Den Haag.



- Murray, C.J.L., Lopez, A.D., 1996. The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020. Harvard University Press, Cambridge.
- OECD 2015. OECD Health Statistics 2014. [www.oecd.org/els/health-systems/oecd-health-statistics-2014-frequently-requested-data.htm](http://www.oecd.org/els/health-systems/oecd-health-statistics-2014-frequently-requested-data.htm). Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Oja, P., Titze, S., Bauman, A., De Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B., Kohlberger, T., 2011. Health benefits of cycling: A systematic review. *Scandinavian journal of medicine and science in sports* 21 (4), 496-509.
- Ostro, B. 2004. Outdoor air pollution. Assessing the environmental burden of disease at national or local levels. WHO, Geneva.
- Panneman, M.J.M., Haagsma, J.A., Gommer, A.M., 2014. Ziektelast van letsels door ongevallen. In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 5 juni 2014. RIVM, Bilthoven.
- Parkin, J., Meyers, C., 2010. The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic. *Accident Analysis and Prevention* 42, 159-165.
- Polinder, S., Haagsma, J., Bos, N., Panneman, M., Klein Wolt, K., Brugmans, M., Weijermars, W., Van Beeck, E., 2015. Burden of road traffic injuries: Disability-adjusted life years in relation to hospitalization and the maximum abbreviated injury scale. *Accident Analysis and Prevention*, 80, 193–200.
- Pomp, M., Schoemaker, C.G., Polder, J.J., 2014. Op weg naar maatschappelijke kosten-batenanalyses voor preventie en zorg; Themarapport Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2014. RIVM, Bilthoven.
- Poos M.J.J.C., Van Gool, C.H., Gommer, A.M., 2014. Ziektelast in DALY's: Wat is de ziektelast in Nederland? In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 5 juni 2014. RIVM, Bilthoven.
- Poos, M.J.J.C., 2013. Resterende levensverwachting in 2011 en berekening verloren levensjaren. In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl). 30 augustus 2013. RIVM, Bilthoven.
- Poos, M.J.J.C., Gijzen, R., 2013. Hoe zijn de ziekten en aandoeningen voor het Kompas geselecteerd? In: *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 3 september 2013. RIVM, Bilthoven.
- Pucher, J., Buehler, R., 2010. Walking and cycling for healthy cities. *Built Environment* 36 (4), 391-414.
- Raford, N., Chiaradia, A., Gil, J., 2007. Space syntax: The role of urban form in cyclist route choice in central london. *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*. Washington DC.
- Reynolds, C.C., Harris, M.A., Teschke, K., et al., 2009. The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environmental Health* 8, 47.
- Rijnders, E., Janssen, N.A., Van Vliet, H., Brunekreef, B., 2001. Personal and outdoor nitrogen dioxide concentrations in relation to degree of urbanization and traffic density. *Environmental health perspectives* 109 (Suppl 3), 411.
- RIVM 2013. Kosten van ziekten. [www.kostenvanziekten.nl](http://www.kostenvanziekten.nl). RIVM, Bilthoven.

- RIVM 2014. Een gezonder Nederland. Volksgezondheidstoekomstverkenning 2014. [www.eengezondernederland.nl](http://www.eengezondernederland.nl). RIVM, Bilthoven.
- Romein, G., Renes, G. Algemene leidraad voor maatschappelijkekosten-batenanalyse. CBP/PBL, Den Haag.
- RVZ 2006. Zinnige en duurzame zorg. Raad voor de Volksgezondheid en Zorg, Zoetermeer.
- Scheepers, C.E., Wendel-Vos, G.C.W., Den Broeder, J.M., Van Kempen, E.E.M.M., Van Wesemael, P.J.V., Schuit, A.J., 2014. Shifting from car to active transport: A systematic review of the effectiveness of interventions. *Transportation Research Part A* 70 264-280.
- Schepers, J. P., Kroeze, P. A., Sweers, W., Wüst, J. C., 2011. Road factors and bicycle–motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections. *Accident Analysis and Prevention* 43(3), 853-861.
- Schepers, P., Heinen, E., Methorst, R., Wegman, F. C.M., 2013. Road safety and bicycle usage impacts of unbundling vehicular and cycle traffic in Dutch urban networks. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 13 (3), 221-238.
- Schepers, P., Heinen, E., 2013. How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety? *Accident Analysis and Prevention* 50, 1118-1127.
- Schepers, P., Van der Voet, M., 2014. Effecten van mogelijke gedragsregels voor speed-pedelecs. Rijkswaterstaat, Delft.
- Simons, M., Van Es, E., Hendriksen, I., 2009. Electrically assisted cycling: A new mode for meeting physical activity guidelines? *Medicine and science in sports and exercise* 41 (11), 2097-2102.
- Sperlich, B., Zinner, C., Hebert-Losier, K., Born, D.P., Holmberg, H.C., 2012. Biomechanical, cardiorespiratory, metabolic and perceived responses to electrically assisted cycling. *European Journal of Applied Physiology* 112 (12), 4015-4025.
- Stipdonk, H., Reurings, M., 2012. The effect on road safety of a modal shift from car to bicycle. *Traffic injury prevention* 13 (4), 412-421.
- Strak, M., Boogaard, H., Meliefste, K., Oldenwening, M., Zuurbier, M., Brunekreef, B., Hoek, G., 2010. Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occupational and environmental medicine* 67 (2), 118-124.
- SWOV, 2012. Waardering van immateriële kosten van verkeersdoden. Factsheet januari 2012. SWOV, Den Haag.
- SWOV, 2013. Risico in het verkeer. Factsheet juli 2013. SWOV, Den Haag.
- SWOV, 2015: Cognos: <https://www.swov.nl/>
- Theurel, J., Theurel, A., Lepers, R., 2012. Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. *Ergonomics* 55 (7), 773–781.
- Thomas, B., DeRobertis, M., 2013. The safety of urban cycle tracks: A review of the literature. *Accident Analysis and Prevention* 52, 219-227.
- Van der Linden, P., 2012. Wie is de haas en wie de schildpad?. Binnengemeentelijke verplaatsingen: reisduur en kosten van fiets, auto en stads-OV. Fietsersbond, Utrecht.
- Van der Swaluw, E., Denier van der Gon, H., Hendriks, C., Hoogerbrugge, R., Matthijsen, J., Keuken, M., Schaap, M., Weijers, E., Wichink Kruit, R., 2013.

Summary of the second Netherlands Research Program on Particulate Matter (BOP II. RIVM, Bilthoven.

- Van Der Zee, S., Dijkema, M., Van Der Laan, J., Hoek, G., 2012. De bijdrage van scheepvaartemissies aan de gemeten concentraties stikstofoxiden en ultrafijn stof langs vaarwegen in amsterdam en diemen GGD Amsterdam, Utrecht.
- Van Gool, C.H., Poos, M.J.J.C., Gommer, A.M., 2014. Ziekte last in DALY's: Wat zijn wegingsfactoren en hoe zijn ze bepaald? In: Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid. [www.nationaalkompas.nl](http://www.nationaalkompas.nl), 5 juni 2014. RIVM, Bilthoven.
- Van Kempen, E.E.M.M., Swart, W., Wendel-Vos, G.C.W., Steinberger, E., Knol, A.B., Stipdonk, H.L., Reurings, M.C.B., 2010. Exchanging Car Trips by Cycling in the Netherlands. RIVM National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven.
- Van Wee, B., Rietveld, P., Meurs, H., 2006. Is average daily travel time expenditure constant? In search of explanations for an increase in average travel time. *Journal of Transport Geography*, 14, 109–122.
- Velders G.J.M., Aben J.M.M., Geilenkirchen G.P., Den Hollander H.A., Noordijk H., van der Swaluw E., de Vries W.J., Wesseling J., van Zanten M.C., 2014. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland; Rapportage 2014. RIVM, Bilthoven.
- Vermeulen, J.P.L., Den Boer, L.C., 2005. Top tien voor een betere luchtkwaliteit; indicatie van effecten. CE, Delft.
- Weijermars, W.A.M., Bos, N.M., Stipdonk, H.L., 2014. Lasten van verkeersletsel ontleed; Een nieuwe benadering van verkeersveiligheid. R-2014-25. SWOV, Leidschendam.
- Welleman, A.G., Dijkstra, A., 1988. Veiligheidsaspecten van stedelijke fietspaden (safety aspects of urban bicycle tracks). SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam.
- WHO, 2013. WHO methods and data sources for Global Burden of Disease estimates 2000-2011. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2014. Global Reference List of 100 Core Health Indicators. Working version 5. World Health Organization, Geneva.
- Wijnen, W., 2014. Kosten van verkeersongevallen in internationaal perspectief. R-2014-6. SWOV, Den Haag.
- Boogaard, H., Kos, G., Weijers, E.P., Janssen, N.a.H., Fischer, P.H., Van Der Zee, S.C., De Hartog, J.J., Hoek, G., 2011. Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultrafine particle number. *Atmospheric Environment* 45 (3), 650-658.
- Broach, J., Dill, J., Gliebe, J., 2012. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference gps data. *Transportation Research Part A* 46 (10), 1730-1740.
- Dill, J., Carr, T., 2003. Bicycle commuting and facilities in major u.S. Cities: If you build them, commuters will use them. *Transportation Research Record* 1828, 116-123.

- Gommers, M.J.P.F., Bovy, P.H.L., 1987. Evaluatie fietsroutenetwerk delft: Routekeuzegedrag en netwerkgebruik (evaluation of the delft bicycle network: Route choice and network use). Technische Universiteit Delft, Delft.
- Goodman, A., Panter, J., Sharp, S.J., Ogilvie, D., 2013. Effectiveness and equity impacts of town-wide cycling initiatives in england: A longitudinal, controlled natural experimental study. *Social Science & Medicine* 97, 228-237.
- Goodman, A., Sahlqvist, S., Ogilvie, D., 2014. New walking and cycling routes and increased physical activity: One- and 2-year findings from the uk iconnect study. *American Journal of Public Health* 104 (9), 38-46.
- Heinen, E., Van Wee, B., Maat, K., 2010. Commuting by bicycle: An overview of the literature. *Transport reviews* 30 (1), 59-96.
- Howard, C., Burns, E.K., 2001. Cycling to work in phoenix: Route choice, travel behavior, and commuter characteristics. *Transportation Research Record* 1773 (1), 39-46.
- Jensen, S.U., 2006. Effekter af sykelstier og cykelbaner - før-og-efter evaluering af trafikikkerhed og trafikmængde ved anlæg af ensrettede sykelstier og cykelbaner i københavns kommune. Trafitec, Lyngby.
- Katteler, H., Erl, E., Förg, O., Brög, W., Kropman, J., 1987. Evaluatie fietsroutenetwerk delft; vervoermiddelgebruik en keuzebeperkingen (evaluation of the delft bicycle network; modal choice and constraints). ITS, Nijmegen.
- Keuken, M.P., Ten Brink, H.M., 2010. Traffic emissions of elemental carbon (ec) and organic carbon (oc) and their contribution to pm2.5 and pm10 urban background concentrations. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven.
- Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., Axhausen, K.W., 2010. Route choice of cyclists in zurich. *Transportation research part A* 44 (9), 754-765.
- Pucher, J., Buehler, R., 2010. Walking and cycling for healthy cities. *Built Environment* 36 (4), 391-414.
- Raford, N., Chiaradia, A., Gil, J., 2007. Space syntax: The role of urban form in cyclist route choice in central london. *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*. Washington DC.
- Scheepers, C.E., Wendel-Vos, G.C.W., Den Broeder, J.M., Van Kempen, E.E.M.M., Van Wesemael, P.J.V., Schuit, A.J., 2014. Shifting from car to active transport: A systematic review of the effectiveness of interventions. *Transportation Research Part A* 70 264-280.
- Welleman, A.G., Dijkstra, A., 1988. Veiligheidsaspecten van stedelijke fietspaden (safety aspects of urban bicycle tracks). SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam.
- Wilmink, A., Hartman, J.B., 1987. Evaluatie fietsroutenetwerk Delft. Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B.G., Ashiru, O., Banister, D., Beevers, S., Chalabi, Z., Chowdhury, Z., Cohen, A., Franco, O.H., Haines, A., Hickman, R., Lindsay, G., Mittal, I., Mohan, D., Tiwari, G., Woodward, A., Roberts, I., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: Urban land transport. *Lancet* 374 (9705), 1930-43.
- Woodcock, J., Franco, O.H., Orsini, N., Roberts, I., 2011. Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: Systematic review and meta-analysis of cohort studies. *International Journal of Epidemiology* 40 (1), 121-138.

- Woodcock, J., Givoni, M., Morgan, A.S., 2013. Health impact modelling of active travel visions for England and Wales using an integrated transport and health impact modelling tool (ITHIM). *PLoS ONE*, 8 (1).
- Zuurbier, M., Hoek, G., Van Den Hazel, P., Brunekreef, B., 2009. Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: An experimental study. *Environ Health* 8 (48), 1-10.