

Weg voor je geld?

Toepassing van het profijtbeginsel bij de financiering van infrastructuur

Achtergrondrapporten



CE, Oplossingen voor milieu, economie en technologie



vrije Universiteit amsterdam

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

CE, *4cast*, Vrije Universiteit Amsterdam
Weg voor je geld?
Toepassing van het profijtbeginsel bij de financiering van infrastructuur
Achtergrondrapporten
Delft, CE, 2001

Trefwoorden:

Verkeer / Vervoer / Wegverkeer / Infrastructuur / Kosten / Investerings /
Rendement / Vervuiler betaalt /

Publicatienummer: 02.4839.09

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

CE
Oude Delft 180
2611 HH Delft
Tel: 015-2150150
Fax: 015-2150151
E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: Ministerie van Financiën, Inspectie der Rijksfinanciën
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jos Dings

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

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

Het CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkteerijnen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl.

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van een speurtocht naar een nieuw systeem voor de financiering van de kosten van het wegverkeer op basis van het profijtbeginsel. Centraal hierbij was de ontwikkeling van een systeem waarin de betalingsbereidheid van de *gebruiker* – in plaats van die van de politiek – de maat is voor het niveau van investeringen in nieuwe infrastructuur. Daarnaast komt ook het betalen voor de kosten van bestaande infrastructuur en van de veiligheids- en milieukosten aan de orde.

Dit project, gestart op initiatief van het Ministerie van Financiën, had niet zover kunnen komen zonder de hulp van Erik Verhoef van de Vakgroep Ruimtelijke Economie aan de VU Amsterdam en het bureau **4Cast** in Leiden. Erik heeft cruciale bouwstenen aangeleverd voor zowel het theoretische als het empirische deel van het project. **4Cast** is er vervolgens uitstekend in geslaagd de theoretische uitgangspunten om te zetten in modelberekeningen. De bijdragen van Verhoef en **4Cast** zijn beschikbaar als achtergrondrapportages bij dit project (Verhoef (2001) en **4Cast** (2002)).

Daarnaast was de steun en flexibele opstelling van het Ministerie van Financiën onmisbaar voor het slagen van onze zoektocht. En ten slotte willen we de leden van de begeleidingscommissie bedanken voor de hoogwaardige en constructieve feedback die we in de loop van het project mochten ontvangen. De begeleidingscommissie bestond uit:

- Ministerie van Financien: D.J. Kraan (Inspectie der Rijksfinanciën, Bureau Beleidsonderzoek, voorzitter), N.A.C. Schilder, J.G. Springer, A.M. Gielen, C.G.A. Wijnker, P.G.M. Adriaansen;
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat: P.C. Esmeijer, E. Schol, F.A. Rosenberg;
- Ministerie van Economische Zaken: G. Oren, F. van der Velde;
- CPB: C.C. Koopmans;
- RIVM: G.P. van Wee.

Ten slotte: de speurtocht is nog niet helemaal klaar. Conceptueel staat het systeem in de steigers, maar in de kwantitatieve uitwerking moet nog het een en ander gebeuren, zoals in de aanbevelingen staat verwoord. Pas dan kunnen echt richtinggevende uitspraken worden gedaan over investeringsvolumes op basis van de behoeften van de weggebruiker. We hopen dat dit verslag de nieuwsgierigheid prikkelt om ook de laatste stap te zetten.

Delft, juli 2002

Jos Dings, mede namens het projectteam.

Inhoud

Profijtbeginsel en infrastructuur
4cast

Optimale congestieheffingen en optimale wegcapaciteit
Vrije Universiteit Amsterdam, Erik T. Verhoef

Profijtbeginsel en infrastructuur

een rapport voor CE en de VU Amsterdam

4cast

Middelstegracht 89 x

2312 TT Leiden

Telefoon: +31 (0)71-513 9122

Fax: +31 (0)71-513 9407

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
Figuren	3
1 Inleiding.....	4
1.1 Achtergrond	4
1.2 Doel van de studie	4
1.3 Randvoorwaarden en voorbehoud	5
1.4 Opbouw van het rapport.....	5
2 Het rekensysteem.....	6
2.1 Inleiding.....	6
2.2 Prognosemethodiek.....	6
2.3 Korte modelbeschrijving.....	7
2.4 De structuur van systeem	8
2.4.1 Tourgeneratie module.....	9
2.4.2 Bereikbaarheid module	9
2.4.3 Vervoerswijze en bestemmingskeuze module.....	9
2.4.4 Periodekeuze module	10
2.4.5 Toedelings module	10
3 De toedelingsmodule	11
3.1 Inleiding.....	11
3.2 Schatting kostenfuncties.....	12
3.3 Marginale kosten	18
3.4 Toedeling	18
4 Omgevingsscenario.....	22
4.1 Economische lange termijn scenario's.....	22
4.2 Ruimtelijke data.....	24
5 Referentiescenario's (20BRA)	26
6 Resultaten Milieuscenario (20MGA)	34
6.1 Vervoerswijze- en bestemmingskeuze	34

6.2	Toedelingsuitkomsten.....	37
6.3	Opbrengsten optimale heffing	42
7	Resultaten marktscenario (20MGO)	50
7.1	Inleiding.....	50
7.2	Besliscriteria voor aanleg	51
7.3	Bouwprogramma	55
7.4	Resultaten vervoerwijze- en bestemmingskeuze.....	57
7.5	Toedelingsuitkomsten.....	59
7.6	Opbrengsten en evaluatie gekozen bouwprogramma	63
8	Conclusies en evaluatie	74
	Colofon.....	76

Figuren

<u>Figuur 2.1: Overzicht voor lange termijn prognoses</u>	6
<u>Figuur 2.2: de modules</u>	8
<u>Figuur 3.1: Speed flow curve LMS en aangepast model</u>	13
<u>Figuur 3.2: Verschil intensiteiten ochtendspits 1995 nieuwe modelsysteem en LMS, bij intensiteiten groter dan 200 Pae</u>	15
<u>Figuur 3.3: Vergelijking linkkladingen (Pae) ochtendspits 2020 referentie LMS en alternatief modelsysteem</u>	16
<u>Figuur 5.1: Uitbreiding Autonetwerk 2020 referentie</u>	32
<u>Figuur 6.1: Maximale VC-ratio gedurende een etmaal voor het scenario zonder optimale heffing</u> 40	
<u>Figuur 6.2: Maximale VC-ratio gedurende een etmaal voor het scenario met optimale heffing</u>	41
<u>Figuur 6.3: Optimale heffing ochtendspits zonder capaciteitsuitbreiding: hoofdwegennet</u>	44
<u>Figuur 6.4: Optimale heffing ochtendspits zonder capaciteitsuitbreiding: Randstad</u>	45
<u>Figuur 6.5: Optimale heffing avondspits zonder capaciteitsuitbreiding: Hoofdwegennet</u>	46
<u>Figuur 6.6: Optimale heffing avondspits zonder capaciteitsuitbreiding Randstad</u>	47
<u>Figuur 6.7: Optimale heffing restdag zonder capaciteitsuitbreiding</u>	48
<u>Figuur 6.8: Jaaropbrengst per strookkilometer op het hoofdwegennet (Euro 2001)</u>	49
<u>Figuur 7.1: Definitie Randstad (groen) en stedelijke gebieden(blauw):</u>	52
<u>Figuur 7.2 Verhouding opbrengsten en investeringskosten</u>	54
<u>Figuur 7.3: Bouwlocaties op basis van marginale kosten run</u>	56
<u>Figuur 7.4: Maximale VC-ratio gedurende een etmaal na bouwen</u>	62
<u>Figuur 7.5: Optimale heffing ochtendspits na capaciteitsuitbreiding: Randstad</u>	64
<u>Figuur 7.6: Optimale heffing avondspits na capaciteitsuitbreiding: Randstad</u>	64
<u>Figuur 7.7: Optimale heffing restdag na capaciteitsuitbreiding: Randstad</u>	65
<u>Figuur 7.8: Jaaropbrengst per strookkilometer op het hoofdwegennet (Euro 2001), na bouwen</u>	66
<u>Figuur 7.9: Opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen</u>	68
<u>Figuur 7.10: Opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen, hoofdwegennet</u>	68
<u>Figuur 7.11: Gebouwd met intensiteitstoename, gebouwd maar afname en nieuwe bouwlocaties</u>	70
<u>Figuur 7.12: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen</u>	72
<u>Figuur 7.13: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen</u>	72
<u>Figuur 7.14: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen, hoofdwegennet</u>	73
<u>Figuur 7.15: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen, hoofdwegennet</u>	73

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Ministerie van Financiën heeft interesse in de voor- en nadelen en de effecten van een nieuw financieringssysteem voor infrastructuur en dat gebaseerd is op het profijtbeginsel. De basisgedachte van het profijtbeginsel is dat de gebruiker betaalt en dat de behoeften die zich uiten in de bereidwilligheid tot betaling, maatgevend is voor het investeringsniveau. Het Ministerie van Financiën heeft daartoe het CE in Delft gevraagd zo'n systeem het nader in te vullen en kwalitatief en kwantitatief te evalueren.

In de eerste fase in de studie van CE was het opzetten en uitwerken van een theoretisch kader. Binnen dit theoretisch kader is gekeken naar een financieringssysteem voor vraagvolgende, knelpuntoplossende, infrastructuur. Het theoretisch kader is in samenwerking met de VU Amsterdam opgezet en heeft als basis het beginsel dat door Morhing en Harwitz in 1962 is toegepast. Eric Verhoef (2001) heeft het beginsel van Morhing en Harwitz verder uitgewerkt en komt daarbij tot de conclusie dat heffingsopbrengsten die op extra nieuwe capaciteit binnenkomen precies voldoende moeten zijn om deze extra capaciteit te financieren. Alleen dan kan worden gesproken van een maatschappelijk optimaal systeem. De heffingen kunnen dan gezien worden als optimale heffingen en de capaciteitsuitbreiding als de optimale wegcapaciteit.

De volgende stap in de studie is het maken van modelberekeningen waarmee een indruk kan worden gekregen over de hoogte van de optimale heffingen en de opbrengsten. In dit kader heeft CE contact gezocht met 4cast teneinde te onderzoeken wat de mogelijkheden c.q. onmogelijkheden zijn om het LMS hiervoor in te zetten. Dit heeft geleid tot een aantal overleggronden tussen AVV, het Ministerie van Financiën, de VU, CE en 4cast. Op basis van deze overleggronden is door CE en de VU in samenspraak met het Ministerie van Financiën besloten om 4cast opdracht te verlenen voor de praktische uitwerking van het systeem en het maken van modelberekeningen met dit systeem.

1.2 Doel van de studie

Doel van de studie is het opzetten van een praktisch rekensysteem dat gebaseerd is op het Profijtbeginsel en het maken van modelberekeningen teneinde een indruk te verkrijgen van een indruk van de opbrengsten van een systeem met optimale (congestie)heffingen.

Er zijn hierbij twee dimensies te onderscheiden. De eerste dimensie is het bepalen van de optimale heffingen bij een bepaalde wegcapaciteit en de tweede dimensie is de optimale wegcapaciteit gegeven de optimale (congestie)heffing.

De uitwerking van de eerste dimensie in een praktisch rekensysteem stond centraal in de werkzaamheden. De tweede dimensie is op een pragmatische manier benaderd door op basis van de uitkomsten van de bepaling van de optimale heffingen bij een gegeven wegcapaciteit, de wegcapaciteit volgens een door CE vastgesteld criterium aan te passen en opnieuw door te rekenen. Doel hiervan was om het effect op de optimale heffingen vast te stellen en een indruk te krijgen of het gekozen bouwprogramma optimaal is in de zin van het geformuleerde theoretisch kader. Het is duidelijk dat zo'n pragmatische benadering normaliter een iteratief proces vergt. Gezien de strakke tijdsplanning en de benodigde kosten hiervan viel dit buiten de scope van dit project. Theoretisch gezien is het mogelijk om uitgaande van bepaalde randvoorwaarden in één slag zowel de optimale heffingen als de optimale wegwitbreidingen te bepalen. Ook dit viel echter buiten de scope van het project.

1.3 Randvoorwaarden en voorbehoud

De Adviesdienst verkeer en vervoer heeft toestemming verleend voor het gebruik van het LMS maar heeft hieraan een aantal voorwaarden verbonden. Naast de gebruikelijke voorwaarden die door AVV aan derden gesteld wordt voor het gebruik van het LMS (opname LMS database, uitlevering relevante bestanden) zijn er een aantal aanvullende eisen geformuleerd. Het systeem wordt dusdanig aangepast dat het op een aantal belangrijke punten afwijkt van het LMS. De meest belangrijke eis is dat naar de resultaten van het model niet gerefereerd mag en kan worden als zijnde resultaten van het LMS

Het LMS heeft wel als basis gediend voor het rekensysteem. Het rekensysteem heeft daardoor een aantal karakteristieken die ook in het LMS terug te vinden zijn, zoals een simultane vervoerwijze- en bestemmingskeuze en een periodekeuzemodule. Het zal duidelijk zijn dat gezien de doelstelling van het project er binnen dit project een eerste aanzet is gemaakt voor het rekensysteem en dat er dus niet kan worden uitgegaan van een volledig uitontwikkeld modelsysteem. Verbeteringen zijn denkbaar en wenselijk.

1.4 Opbouw van het rapport

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het rekensysteem. Hoofdstuk 3 gaat in op de toedelingsmethodiek van het nieuwe modelsysteem. In hoofdstuk 4 en 5 wordt het omgevingsscenario en het achtergrondbeleid van de referentie beschreven. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de modelrun met marginale kosten gepresenteerd en in hoofdstuk 7 de resultaten nadat op basis van deze run extra capaciteit aangelegd is. Ten slotte worden in hoofdstuk 8 de resultaten geëvalueerd en conclusief getrokken.

2 Het rekensysteem

2.1 Inleiding

Het rekensysteem is zoals in Hoofdstuk 1 is vermeld, afgeleid van het LMS. Een belangrijk verschil met dit systeem is dat de toedelingsmethodiek is vervangen door een andere techniek in combinatie met een gewijzigd toedeelcriterium. De toedeling en het toedeelcriterium worden beschreven in Hoofdstuk 3.

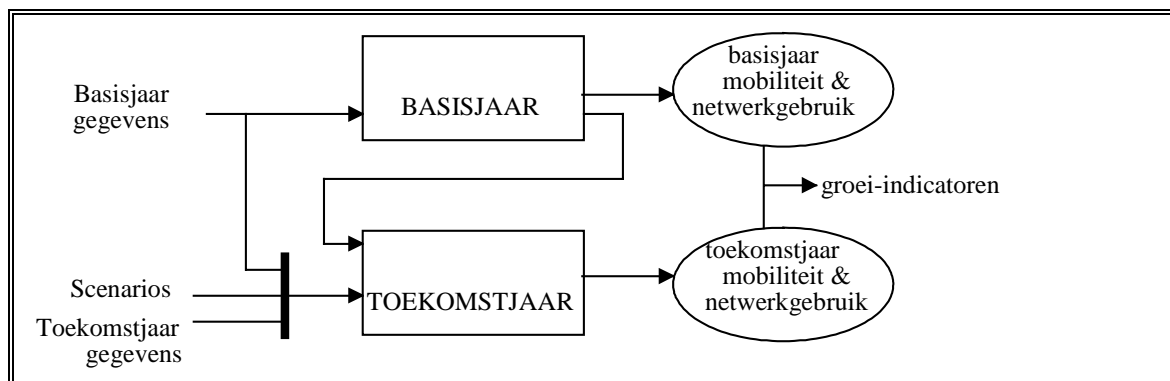
Hoewel op belangrijke punten verschillend met het LMS, zijn de structuur de systeemcomponenten en een aantal belangrijke modellen van het rekensysteem conform het LMS. De in dit hoofdstuk opgenomen beschrijving van het rekensysteem is grotendeels gebaseerd op de algemene beschrijving van het LMS uit de technische documentatie

2.2 Prognosemethodiek

In figuur 2.1 wordt het basisprincipe weergegeven van de wijze waarop de prognoses worden opgesteld. De kern is dat het rekensysteem omschreven kan worden als een marginaal model, m.a.w. het systeem voorspelt veranderingen ten opzichte van een referentie.

Deze referentie is in feite het basisjaar, waarbij de mobiliteit in het basisjaar is beschreven als een set van waargenomen herkomst- en bestemmingsmatrices, de zogenaamde Basismatrices. De Basismatrices zijn motiefspecifiek.

Figuur 2.1: Overzicht voor lange termijn prognoses



De veranderingen worden bepaald door de synthetische uitkomsten van een modelrun van het basisjaar te vergelijken met de synthetische uitkomsten van een modelrun voor het toekomstjaar en op basis hiervan vervoerwijze- en motief specifieke groeifactoren af te leiden. Deze factoren leveren gecombineerd met de Basismatrices, de vervoersstromen op die vervolgens per periode toegedeeld kunnen worden aan de netwerken. Dit gebeurt standaard alleen voor het autoverkeer (en vrachtverkeer).

Het afzetten van veranderingen ten opzichte van een bekende referentie wordt ook wel de 'Pivot point' methode genoemd.

2.3 Korte modelbeschrijving

Het doel van het rekensysteem is het bepalen van de optimale heffingen gegeven een bepaalde wegcapaciteit. De optimale heffingen zijn lokatie- en periodespecifiek. De hoogte van de heffingen wordt o.a. bepaald door de vervoersvraag. De vervoersvraag is daarbij eveneens afhankelijk van de hoogte van de heffingen. Naast de heffingen spelen demografische veranderingen, netwerkveranderingen en/of overige beleidsmatige veranderingen een rol.

De demografische veranderingen zullen veranderingen in de vervoersvraag opleveren en de beleidsmatige veranderingen zullen veranderingen in de vervoersvraag en het vervoersaanbod ten gevolge hebben. De veranderingen in vraag en aanbod zullen beide resulteren in veranderingen in de mobiliteit en veranderingen in de kwaliteit van het vervoerssysteem. Veranderingen in de kwaliteit van vervoerssysteem zijn vervolgens weer van invloed op de vervoersvraag.

Binnen dit proces is het veronderstelde reizigersgedrag van groot belang. Het reizigersgedrag kan worden gezien als een aantal keuzes die personen maken om de reisbehoefte te realiseren.

Deze keuzes zijn:

- de keuze voor rijbewijs- en autobezit
- de beslissing om al dan niet op reis te gaan
- de keuze van reisbestemming en vervoerwijze
- de keuze van vertrektijdstip
- de routekeuze

Het rekensysteem kent derhalve in hoofdzaak een 5-tal keuzemodellen die direct gerelateerd zijn aan de bovenvermelde keuzes. Voor de bepaling van de vervoersvraag zijn met name de eerste drie keuzemodellen belangrijk. Het vervoersaanbod wordt uit de netwerkgegevens bepaald. Bij de bepaling van de kwaliteit van het vervoerssysteem zijn de twee laatste keuzemodellen van belang. De keuzemodellen die gebruikt worden zijn, met uitzondering van de routekeuze, gedisaggregeerde logit-modellen.

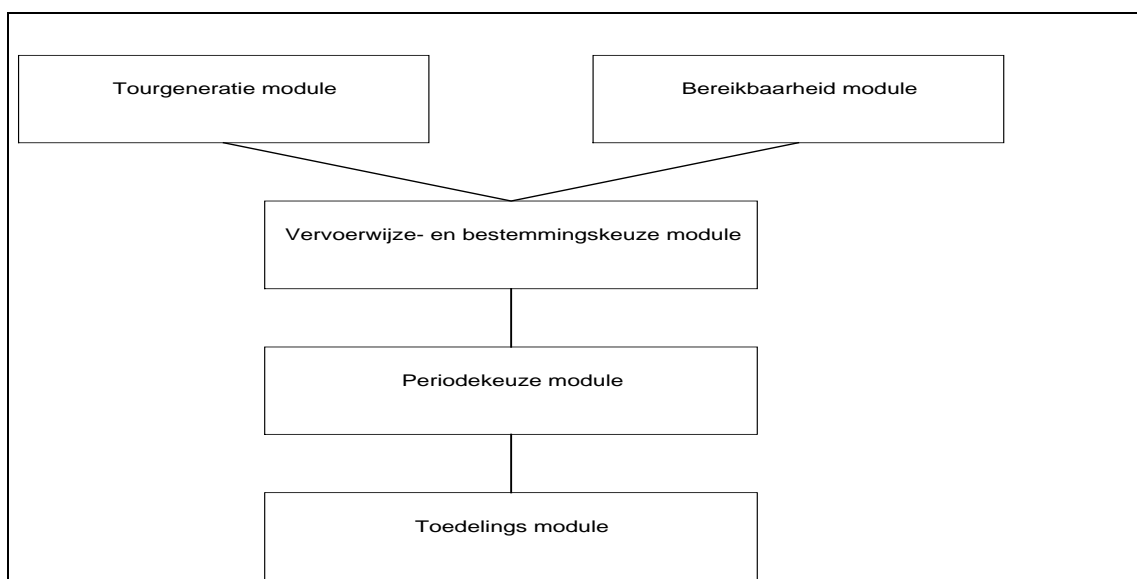
Demografische gegevens zijn gebiedsgebonden, terwijl het wegennetwerk veel meer locatie gericht is. Voor de aansluiting tussen beide wordt het studiegebied in zones opgedeeld met in iedere zone minstens één connectie met het wegennetwerk. De vervoersvraag bestaat dan uit een tabel met verplaatsingen tussen herkomst-zones en bestemmings-zones. Het vervoersaanbod bestaat uit de bereikbaarheidskenmerken, zoals reistijd en reiskosten (w.o. bv. de optimale heffingen) over het wegennetwerk tussen alle zones.

2.4 De structuur van systeem

Het rekensysteem is opgebouwd uit vijf modules. Figuur 2.2 laat een schema zien waarin de opbouw van het systeem wordt getoond. Het toont vier stappen die achtereenvolgens moeten worden uitgevoerd. Stap één bestaat uit twee delen die onafhankelijk kunnen worden uitgevoerd.

1. bepaal de reisfrequenties en de bereikbaarheidskenmerken
 - de reisfrequenties worden bepaald m.b.v. de rijbewijs- en autobezit modellen en de reisfrequentiemodellen
 - de bereikbaarheidskenmerken worden bepaald uit beschikbare databestanden d.w.z. de netwerken, de lijnvoering en de OVR-gegevens
2. bepaal simultaan de wijze van vervoer en de keuze van de bestemming
 - m.b.v. de vervoerswijze en bestemmingskeuze modellen
3. bepaal het tijdstip van vertrek voor de autobestuurder
 - m.b.v. periodekeuze modellen
4. deel het auto (en vracht)verkeer toe
 - m.b.v. routekeuze modellen

Figuur 2.2: de modules



2.4.1 Tourgeneratie module

In de tourgeneratie module wordt de reisfrequentie bepaald voor een gemiddelde werkdag. Een reis ('tour') is hierbij een gedefinieerd als een keten van verplaatsingen die op een bepaalde plek begint en daar ook weer eindigt. De tourfrequentie wordt geschat op basis van gegevens uit een zogenaamde prototype steekproef en het rijbewijs- en autobezit. De prototype steekproef is een representatieve steekproef onder alle typen huishoudens. Essentieel is dat de steekproef middels zone- en huishoudspecifieke ophoogfactoren voor iedere zone representatief wordt gemaakt. Het rijbewijs en autobezit zijn eveneens geschat m.b.v. huishoudgegevens uit prototype steekproef.

Bij de bepaling van de tourfrequenties worden reizigerssegmenten onderscheiden. De reizigerssegmenten zijn gedefinieerd op basis van maatschappelijke participatie, het autobezit, rijbewijsbezit, het al dan niet in aanmerking van een gereduceerd openbaar vervoer tarief en het inkomen.

2.4.2 Bereikbaarheid module

De invoer voor deze module bestaat uit gecodeerde beschrijvingen van het wegennetwerk en het treinnetwerk. De netwerken worden beschreven in termen van wegvaklengte, baanvaklengte, tolheffingen, rijnsnelheid en capaciteit. Voor het treinnetwerk wordt hieraan nog de lijnvoering toegevoegd met daarin per lijn informatie over treinsoort, de frequenties, de stopstations en de reistijden tussen de stations. Met behulp van deze beschrijvingen berekent deze module variabelen die de kwaliteit van de bereikbaarheid vastleggen. Voor de auto zijn dit o.a. de zogenaamde free flow reistijden, d.w.z. reistijden die afgeleid zijn van een onbelast netwerk. In de Time-of-day procedure wordt gebruik gemaakt van reistijden waarin verliestijden (w.o. congestie) zijn verwerkt. Deze worden afgeleid van een belast netwerk. Dit gebeurt echter niet in de bereikbaarheidsmodule maar in de toedelingsmodule.

2.4.3 Vervoerswijze en bestemmingskeuze module

In deze module wordt de verdeling van de geraamde reizen over mogelijke bestemmingen en vervoerwijzen geschat. Wat betreft de vervoerwijzen kan gekozen worden uit: autobestuurder, autopassagier, trein en overig openbaar vervoer en het 'langzame' alternatief (lopen, fietsen). De trein en het overig openbaar vervoer zijn aparte vervoerwijzen.

De onderscheiden motieven zijn woon-werk, woon-zakelijk, niet-woon zakelijk, onderwijs, woon-winkel en woon-overig, basisonderwijs en overig door kinderen.

De basis voor de verdeling vanuit een bepaalde herkomst is het 'nut' van iedere mogelijke vervoerwijze en bestemming combinatie. 'Mogelijk' heeft hier betrekking op de beschikbare vervoerwijzen voor een reizigers-segment. Het 'nut' van een vervoerwijze/bestemmingscombinatie wordt bepaald door de bereikbaarheid van de beschouwde bestemming voor de beschouwde vervoerwijze en de attractie van de beschouwde bestemming.

Voor de auto wordt gekeken of een relatie al dan niet via het gecodeerde netwerk wordt afgewikkeld. Vindt afwikkeling plaats via het niet-gecodeerde net, dan worden de variabelen die de bereikbaarheid vastleggen berekend op basis van regressievergelijkingen. Voor het overig openbaar vervoer wordt uitgegaan van bereikbaarheidskenmerken die afgeleid zijn uit OVR-gegevens. Voor het langzaam vervoer wordt in principe uitgegaan van een synthetisch netwerk tenzij een relatie een gedefinieerde barrière (bv. het IJsselmeer) passeert.

2.4.4 Periodekeuze module

De geschatte verplaatsingen zijn verplaatsingen gedurende 24 uur. Deze verplaatsingen zijn niet gelijkmatig verdeeld over de dag. In deze module wordt een verdeling over drie perioden geschat, ochtendspits (7-9), avondspits (16-18) en de rest van de dag. Het resultaat is een aantal HB-tabellen (herkomst- bestemmings-tabellen), voor iedere periode. Dit betreft alleen de autobestuurder.

De verdeling over de perioden kan plaatsvinden op basis van vaste periodefracties die corresponderen met de verdeling in het basisjaar, of het gevolg zijn van een berekening. Deze berekening wordt uitgevoerd met de zogenaamde periodekeuzemodellen, waarbij veranderingen in de periodekeuze ten opzichte van het basisjaar worden bepaald op basis van verandering van de verschillen van de reistijden- (en eventuele reiskosten zoals heffingen) tussen spits en buiten de spits tussen basisjaar en toekomstjaar.

De berekening van de dagdeelfactoren is geen proces wat op zichzelf staat, maar maakt deel uit van een procedure die gericht is op het bewerkstelligen van evenwicht tussen vervoerwijze- en bestemmingskeuze, periodekeuze en routekeuze. Dit proces wordt de Time-Of-Day procedure genoemd. De kern van het proces is dat er iteratief een terugkoppeling plaats vindt via de periodekeuzemodule en de toedeling naar de vervoerwijze- en bestemmingskeuze.

2.4.5 Toedelings module

In de toedelingsmodule worden per periode de HB-tabellen voor het autoverkeer aan het netwerk toegedeeld. De gehanteerde toedelingsmethode is gebaseerd op het 'Wardrop Principe'. Een dergelijke toedeling wordt ook wel een evenwichtstoedeling genoemd. Dit principe komt er op neer dat het verkeer op een relatie zodanig over de routes wordt verdeeld dat de routes die gebruikt worden allemaal dezelfde weerstand hebben en dat die weerstand kleiner of gelijk is aan de weerstand op de routes die niet gebruikt worden. De weerstand waarop toegedeeld wordt zijn gegeneraliseerde reistijden of zoals in deze studie de marginale kosten. De marginale kosten worden bepaald door de reistijd aangevuld met een extra component die de optimale heffing reflecteert. Zowel de reistijd als de optimale heffing zijn afhankelijk van de capaciteit en de verkeersbelasting.

3 De toedelingsmodule

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de veranderingen aan het toedelingmodel die geleid hebben tot het nieuwe modelsysteem. Gezien het korte tijdsbestek waarin het systeem ontwikkeld moest worden, is er gekozen voor zekerheden. Dit houdt in dat voor alle mogelijk versturende elementen een benadering gekozen is die aansluit bij het theoretisch kader. Met meer inspanning zijn er betere oplossingen mogelijk.

Om het systeem te laten voldoen aan de randvoorwaarden van het theoretisch kader zijn de volgende aspecten van belang:

- De kostenfunctie is een functie van de intensiteit-capaciteits verhouding (V/C), van de toegedeelde stroom op een wegvak.
- Voor de afleiding van de marginale kosten moet een werkelijk evenwicht bepaald worden.

Het huidige toedelingsprogramma van het LMS is een complexe toedelingstechniek. De complexiteit bestaat er uit dat bij het bepalen van de linktijden rekening wordt gehouden met het effect van knelpunten bovenstrooms en benedenstrooms. Vanuit bovenstroomse knelpunten wordt de instroom op een link bepaald, de benedenstroomse knelpunten beïnvloeden de uitstroom op een link. Het gevolg van deze berekeningsmethodiek is dat de links niet onafhankelijk van elkaar zijn met als gevolg dat de afgeleide reistijdfunctie (noodzakelijk voor het afleiden van de marginale kosten) niet eenvoudig valt te bepalen en niet met zekerheid valt vast te stellen of voldaan wordt aan de eis van constante schaalopbrengsten in de reistijdberekeningen.

Daarom is ervoor gekozen om de toedelingstechniek aan te passen. Deze aanpassing betreft de kostenfunctie. *De linkafhankelijkheid binnen de linktijdberekening is daarbij komen te vervallen.*

Voor de juiste bepaling van de marginale kosten is het belangrijk dat het werkelijke evenwicht benaderd wordt. Bij de ontwikkeling bleek dat voor de benadering van het evenwicht bij de bepaling van de marginale kosten het aantal iteraties in de toedeling fors doet toenemen. In QBLOK wordt uitgegaan van een vaste stapgrootte (vergelijkbaar met volume-averaging), die in principe met een beperkt aantal iteraties een acceptabele reistijd bepaalt op de herkomst-bestemmingsrelaties. Voor de bepaling van de marginale kosten voldoet dit echter niet.

De bepaling van het evenwicht is een minimalisatie proces. De doelstellingsfunctie wordt bepaald door de met de stromen gewogen som van de gegeneraliseerde kosten

over alle links. Elke volgende toedeling geeft aan over welke routes een kortere gegeneraliseerde reistijd gerealiseerd wordt. Hoe zwaar deze iteratie in het resultaat meegenomen wordt, wordt bepaald door een optimale mixfactor. Deze mixfactor wordt bepaald met behulp van het “gulden snede zoek algoritme”.

3.2 Schatting kostenfuncties

In de huidige toedeling van het LMS worden bepaalde kostenfuncties gebruikt. Deze voldoen echter niet aan de randvoorwaarden voor de toepassing de methodiek voor de bepaling van de marginale kosten. Daarom zijn de kostenfuncties vervangen door functies die toepassing van de theorie mogelijk maakt. De linkafhankelijkheid binnen de linktijdberekening is daarbij komen te vervallen.

De kostenfunctie in de huidige toedelingsprogramma in het LMS is opgebouwd uit twee componenten. Eén bepaalt de reistijd als er nog geen congestie is, de zogenaamde delay functie, en één bepaald de extra reistijd als gevolg van congestie. Deze laatste component wordt sterk bepaald door de hierboven beschreven linkafhankelijkheid. Deze is niet afhankelijk van de lengte van een link, doordat door de linkafhankelijkheid een bottleneck eenmalig geteld wordt. Zonder deze linkafhankelijkheid is het niet mogelijk dergelijke afstandsonafhankelijke vertragingen te modelleren.

Hoewel de resultaten van het huidige LMS en het systeem dat de optimale heffingen moet bepalen mogen afwijken, is het zinvol om zo dicht mogelijk in de buurt van de uitgangspunten van het systeem te blijven.

In eerste instantie is aansluiting gezocht bij een reistijdfunctie die de vorm heeft van de standaard BPR functie. Hiermee bleek het niet goed mogelijk om de karakteristieken van het LMS te benaderen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de delay functie direct over te nemen en vanaf een V/C-ratio van 0.75 hier een term aan toe te voegen die aan de huidige curves van het LMS benaderd. De totale reistijdfunctie ziet er daarmee als volgt uit.

$$t = t_{ff} \cdot \left(1 + a * \left(\frac{V}{C} \right) + b * \left(\frac{V}{C} - 0.75 \right)^k \right)$$

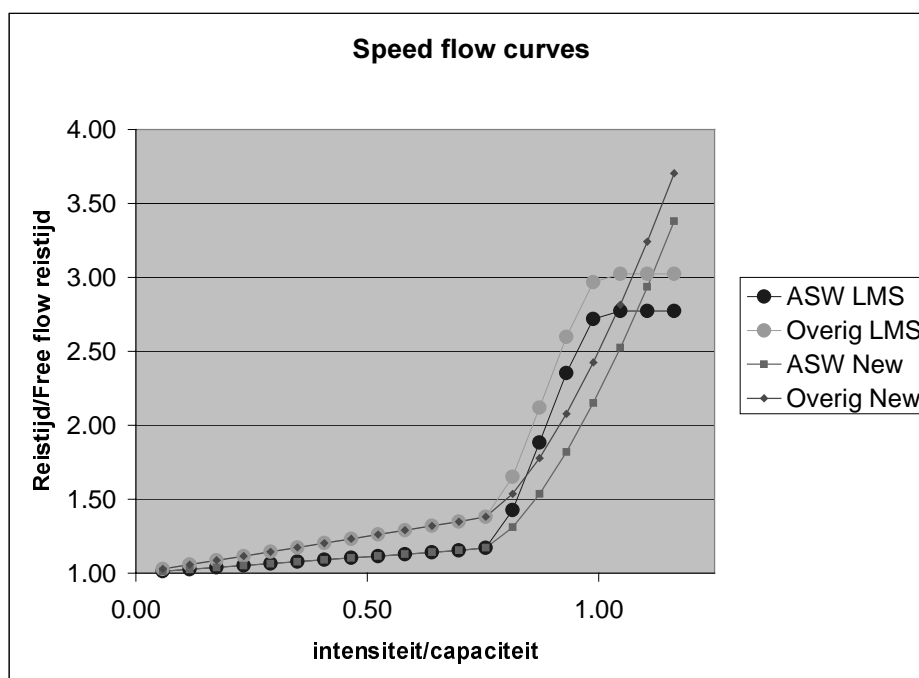
Er worden twee typen wegen onderscheiden, de autosnelwegen en de overige wegen. Voor de autosnelwegen wordt in het LMS weefvakken gemodelleerd. Dit houdt in dat de capaciteit gereduceerd wordt als de inkomende stromen aan bepaalde voorwaarden voldoen. Deze reductie kan verstorend werken met betrekking tot de randvoorwaarden, omdat de capaciteitsreductie afhankelijk is van de omvang van de inkomende stromen en daarmee niet constant is. De gemiddelde capaciteitsreductie in het LMS ten gevolge van weefvakken is 5%. Om de modellering van weefvakken niet helemaal te negeren, is er voor gekozen om overal op het autosnelwegennet waar het aantal inkomende rijstroken minimaal gelijk is aan het aantal doorgaande rijstroken, de capaciteit met 5% te verlagen. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met de verhouding tussen de samenkomende stromen.

Zoals al eerder aangegeven zijn de parameters gekozen zodat enigszins de structuur van de curves uit het LMS benaderd worden. De delay-functie¹ is direct overgenomen en wordt bepaald door parameter a. De congestie in de tweede component is bepaald op basis van een gemiddelde link met een reistijd van 120 seconden (2 kilometer). Om enigszins rekening te houden met de principes van QBLOK, is daarbij uitgegaan van twee opeenvolgende links met gelijke capaciteit (4300) voor de bepaling van de congestie van QBLOK. Deze principes bepalen dat de nieuwe curves onder die van QBLOK moeten liggen. De volgende parameters zijn bepaald:

Parameter	Autosnelwegen	Overige wegen
A	0.22222	0.5
b	8	8
k	1.5	1.5

De volgende figuur maakt een vergelijking tussen de gemodelleerde curves in QBLOK, uitgaande van twee opeenvolgende links, en die in deze studie gebruikt worden.

Figuur 3.1: Speed flow curve LMS en aangepast model



In de volgende tabellen worden de toedelingsresultaten gegeven die het resultaat zijn van de alternatieve curves voor het basisjaar 1995. Ter vergelijking met het LMS zijn indices gegeven ten opzichte van het LMS.

¹ Door het overnemen van de delayfunctie wordt net zoals bij het LMS, naast het ASW, op de andere type wegen met verschillende speed-flow functies gewerkt.

Kilometrage 1995 met index t.o.v. LMS

Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	21829130	23526283	102382673	147738086
Index	101	100.8	100.6	100.7
Overig Net	12414223	14182943	56783022	83380188
Index	94.8	95.6	98.3	97.3
Totale Net	34243353	37709226	159165695	231118275
Index	98.6	98.8	99.8	99.4

Totale reistijd in uren 1995 met index t.o.v. LMS

Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	263797	286119	1090759	1640676
Index	94.8	95	100.4	98.5
Overig Net	250484	286923	1055802	1593210
Index	86	86.6	97.6	93.5
Totale Net	514281	573043	2146561	3233886
Index	90.3	90.6	99	96

Gemiddelde snelheid 1995 met index t.o.v. LMS

Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	83	82	94	90
Index	106.5	106.1	100.2	102.2
Overig Net	50	49	54	52
Index	110.2	110.4	100.7	104.1
Totale Net	67	66	74	71
Index	109.2	109	100.7	103.6

Congestie-uren 1995 met index t.o.v. LMS

Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	26839	28586	5211	60636
Index	60.4	60.5	52.7	59.7
Overig Net	13358	13566	3600	30524
Index	34.5	32.2	42.1	34.1
Totale Net	40197	42152	8811	91160
Index	48.4	47.2	47.8	47.7

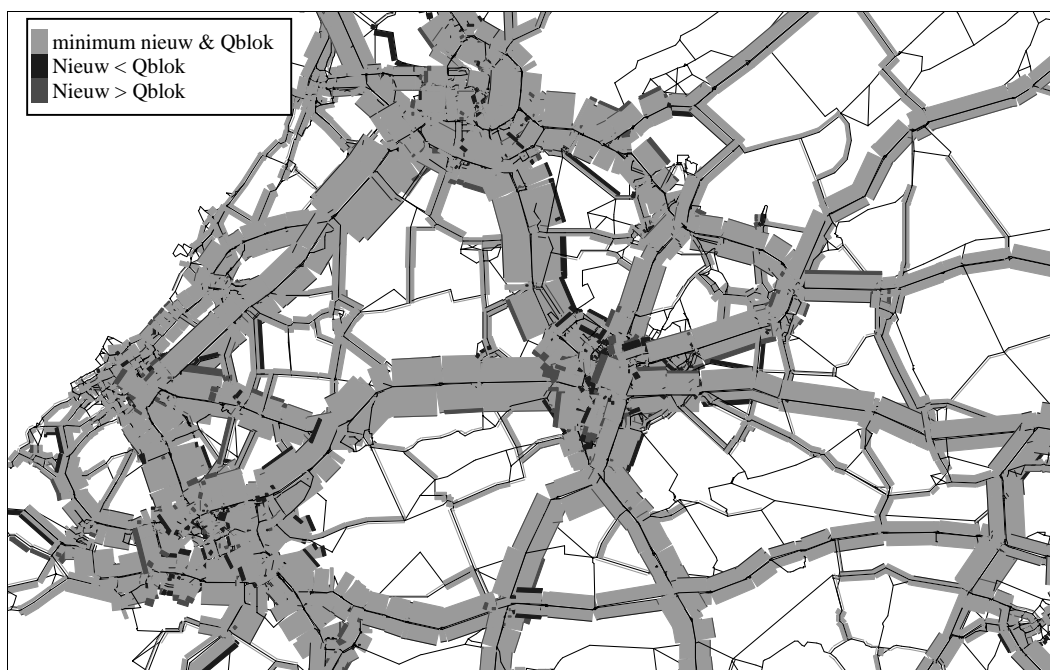
De congestie-uren worden bepaald door de extra verliestijd die gemodelleerd wordt in het tweede deel van de speedflow curve, dus bij een V/C-ratio boven de 0.75.

De congestieuren wijken qua omvang aanzienlijk af van de congestieuren van het LMS. Mogelijke redenen hiervoor zijn:

- Andere definitie van congestie-uren. De congestie-uren worden nu bepaald door de extra verliestijd die gemodelleerd wordt in het tweede deel van de speedflow curve, dus bij een V/C-ratio boven de 0.75¹;
- In het gebied met een V/C-ratio tussen de 0.75 en 1.00, ligt de reistijd en daarmee de vertraging lager dan het LMS, pas bij een VC-ratio boven de 1.00 zijn de reistijden hoger dan bij het LMS (zie figuur 3.1); en
- Blocking back principe ontbreekt.

De plot op de volgende geeft een indruk van de verschillen in de ochtendspits op wegen met meer dan 200 Pae. De totale bandbreedte geeft het maximum van de stromen, rood geeft waar het nieuwe modelsysteem meer verkeer modelleert, en blauw waar het LMS meer verkeer geeft.

Figuur 3.2: Verschil intensiteiten ochtendspits 1995 nieuwe modelsysteem en LMS, bij intensiteiten groter dan 200 Pae.



De congestie-uren worden bepaald door de extra verliestijd die gemodelleerd wordt in het tweede deel van de speedflow curve, dus bij een V/C-ratio boven de 0.75.

Op relatie niveau zijn de reistijden ook gemiddeld 5.6% korter dan in het LMS. Het is duidelijk dat er verschillen zijn. Doel van het project is om aan te tonen dat het theoretische principe van zelffinancierende infrastructuur modelmatig uit te werken is. Vanuit dat oogpunt zijn de hier weergegeven verschillen acceptabel.

Doordat de modelstructuur gebaseerd is op de verandering van reistijden, is het ook van belang om te kijken wat de gevolgen zijn van deze alternatieve toedelingmethode op de prognose. In de volgende tabellen worden uitkomsten van de vervoerswijzebestemmingskeuze gegeven voor het referentie scenario zonder marginale kosten.

¹ Gekozen is voor een VC-ratio van 0.75 als grens omdat vanaf deze VC-ratio in het LMS congestie wordt gemodelleerd.

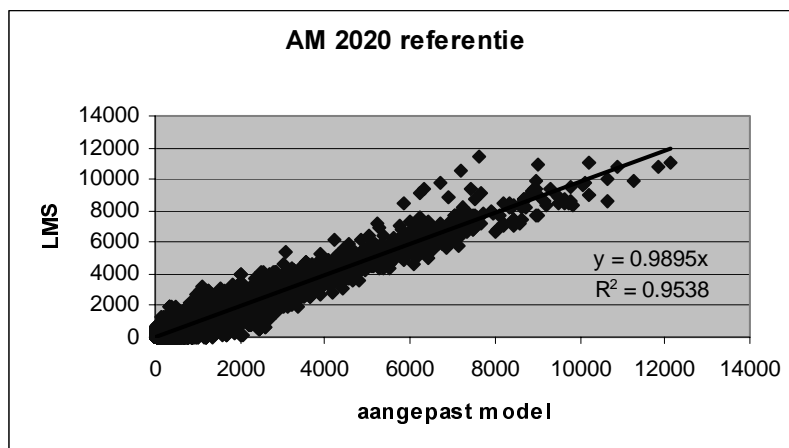
Daarbij wordt een index gegeven ten opzichte van een vergelijkbaar scenario met het LMS.

Kilometrage Nederland referentie 2020 zonder marginale kosten, met een index ten opzichte van de LMS resultaten

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	BTM	Langzaam	Totaal
Woon-Werk Index	139324 101.2	19011 100.5	32022 99.4	12803 99.4	15705 99.2	218864 100.6
R.Werk HB Index	25896 99.6	1614 100.6	2084 99.5	648 99.5	286 99.4	30528 99.6
Werk N-HB Index	30857 100.6	3747 100.6	692 99.7	389 99.6	590 99.7	36275 100.5
Opleiding Index	6146 101.5	1724 101.1	11419 99.7	7517 99.7	7143 99.9	33949 100.1
Winkelen Index	31337 100.8	13269 100.7	2487 100	2881 100	16618 99.9	66592 100.5
Overig Index	80740 100.5	41389 100.8	13397 100	6820 100	26443 100	168789 100.4
Basis Index	0 0	1113 100.2	18 100	307 100	7413 100	8851 100
Kinder Index	0 0	16801 100.3	883 100	368 100	8324 100	26376 100.2
Totaal Index	314300 100.8	98667 100.6	63002 99.6	31733 99.7	82522 99.8	590224 100.4

De totale geraamde vervoersvraag is dus vergelijkbaar met de uitkomsten van het LMS. Ook wanneer deze vergelijking gemaakt wordt voor de Randstad en de Rest van Nederland zijn de verschillen niet meer dan 1.7 index punt. De verschillen in de verdeling van deze vervoersvraag kunnen natuurlijk groter zijn. Daarvoor is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten na toedeling van het LMS en het nieuwe rekensysteem op link niveau. Hieronder is het resultaat weergegeven voor de ochtendspits. Voor de avondspits en de restdag zijn de verschillen vergelijkbaar.

Figuur 3.3: Linkladingen (Pae) ochtendspits 2020 referentie LMS uitgezet tegen linkladingen (pae) aangepast modelsysteem



Ten slotte is gekeken naar de indices ten opzichte van de respectievelijke referentie uitkomsten voor het basisjaar.

Kilometrage LMS					Kilometrage nieuwe rekensysteem				
Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal	Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	32742637	34839793	162882555	230464986	HWN	32957577	34859348	165709653	233526578
Index	151.4	149.3	160	157.1	Index	151	148.2	161.9	158.1
Overig Net	20275554	22771781	97007278	140054612	Overig Net	19294844	21973289	93739293	135007426
Index	154.8	153.5	167.9	163.4	Index	155.4	154.9	165.1	161.9
Totale Net	53018191	57611574	259889833	370519598	Totale Net	52252421	56832637	259448945	368534003
Index	152.7	150.9	162.9	159.4	Index	152.6	150.7	163	159.5

Reistijd LMS					Reistijd nieuwe rekensysteem				
Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal	Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	446697	479569	1805757	2732023	HWN	417899	451167	1808923	2677989
Index	160.5	159.2	166.3	164	Index	158.4	157.7	165.8	163.2
Overig Net	502757	582980	1916387	3002124	Overig Net	419765	484744	1813910	2718418
Index	172.5	176	177.2	176.2	Index	167.6	168.9	171.8	170.6
Totale Net	949454	1062549	3722144	5734147	Totale Net	837664	935911	3622832	5396408
Index	166.7	168	171.7	170.2	Index	162.9	163.3	168.8	166.9

Snelheid LMS					Snelheid nieuwe rekensysteem				
Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal	Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	73	73	90	84	HWN	79	77	92	87
Index	94.3	93.7	96.3	95.8	Index	95.3	94	97.6	96.8
Overig Net	40	39	51	47	Overig Net	46	45	52	50
Index	89.7	87.2	94.8	92.8	Index	92.7	91.7	96.1	94.9
Totale Net	56	54	70	65	Totale Net	62	61	72	68
Index	91.6	89.8	94.9	93.7	Index	93.7	92.3	96.6	95.6

Congestie uren LMS					Congestie uren nieuwe rekensysteem				
Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal	Periode	Am Peak	PM Peak	Off Peak	Etmaal
HWN	89860	97869	80102	267831	HWN	56115	67146	42094	165355
Index	202.3	207.2	809.4	263.7	Index	209.1	234.9	807.8	272.7
Overig Net	104811	130338	60791	295940	Overig Net	46173	56921	24350	127443
Index	270.9	309.2	710.6	331.1	Index	345.7	419.6	676.4	417.5
Totale Net	194671	228207	140893	563770	Totale Net	102287	124067	66444	292798
Index	234.2	255.3	763.6	295.2	Index	254.5	294.3	754.1	321.2

Hoewel het absolute niveau verschilt zijn de indices voor het HWN op dit niveau vergelijkbaar. Voor het OWN zijn de indices in het nieuwe rekensysteem hoger maar qua orde van grootte vergelijkbaar. Waarschijnlijk dat de hogere indices het gevolg zijn van de relatief t.o.v. het LMS veel lagere absolute omvang van de congestie op het OWN in het basisjaar.

3.3 Marginale kosten

Voor de marginale kosten wordt aan de reistijden functie een component toegevoegd die een optimale heffing bepaald. Deze component wordt bepaald door de afgeleide zoals beschreven in de paper van Verhoef (2001)

De afgeleide van reistijdfunctie ziet er als volgt uit:

$$\frac{dt}{dV} = t_{ff} * \left(a + b * k * \left(\frac{V}{C} - 0.75 \right)^{(k-1)} \right) * \left(\frac{1}{C} \right)$$

waarbij V het aantal totaal personenauto-eenheden is.

Het gebruik van verschillende reistijdwaarderingen¹ voor de gebruikersgroepen en de weging van het vrachtverkeer met de personenautofactor (Pae) zijn een complicerende factor bij de omzetting naar de functie voor de optimale heffing. De kosten voor het vrachtverkeer worden met deze factor verhoogd. De marginale kostenfunctie voor een gebruikersgroep i wordt bepaald door:

$$M_i = t * VOT_i + Pae_i * \frac{dt}{dV} * \sum_u (N_u * VOT_u)$$

waarbij N_u het aantal voertuigen per gebruikersgroep u is en Pae_i de Pae factor representeert. Deze factor is 1.9 voor vracht en 1 voor de overige gebruikersgroepen. De tweede term bepaald de optimale heffing. Doordat de heffing gerelateerd is aan de reistijden is heffing lokatie- en periodespecifiek.

In het modelsysteem wordt de HB matrix voor het vrachtverkeer vast gehouden. Het vrachtverkeer kan alleen reageren door middel van een andere routekeuze.

3.4 Toedeling

Zoals hierboven is aangegeven is een functie van de toedelingsmodule het toedelen van de autoverplaatsingen tussen herkomsten en bestemmingen aan het autonetwerk.

Op basis van de hiervoor beschreven reistijd/kosten functies, hebben we te maken met een congestie-gevoelige todelingstechniek: op basis van de aangeboden wegvakcapaciteit, de vervoersomvang en aannames omtrent het routekeuzegedrag vindt

¹ Gebruikersgroepen onderscheiden zich door een verschil in de reistijdwaardering (VOT). De volgende reistijdwaarderingen zijn in het model toegepast :

Reistijdwaarderingen in 1995 Euro	
gebruikersgroep	Euro/min
vracht	0.4265534
woon-werk	0.1098148
zakelijk	0.379814
overig	0.0757812

bron: AVV (omgerekend vanuit guldens)

een verdeling van het verkeer plaats over het netwerk. Voor het routekeuze gedrag wordt uitgegaan van het **Wardrop-principe**, d.w.z. alle gebruikte routes tussen een herkomst en bestemmingspaar zijn even lang en korter dan alle niet gebruikte routes. De toedeling kan dus geïmpliceerd worden als een evenwichtstoedeling.

Over het algemeen vindt een congestie gevoelige toedeling iteratief plaats. De resultaten van opeenvolgende iteraties worden daarbij gecombineerd op basis van gewichten. Veel toedelingsmethoden bepalen deze gewichten op basis van technieken voor het minimaliseren van een convexe doelstellingsfunctie. Nadeel van deze technieken is dat bij toepassing in 'large scale' netwerken met een hoog congestie niveau, veel rekentijd noodzakelijk is. In QBLOK wordt uitgegaan van een vaste stapgrootte (vergelijkbaar met volume-averaging), die in principe met een beperkt aantal iteraties een acceptabele reistijd bepaalt op de herkomst-bestemmingsrelaties. Voor de bepaling van de marginale kosten voldoet dit echter niet. De volgende figuur geeft de algemene structuur van een evenwichtstoedeling weer.

Algoritme1: algoritme evenwichtstoedeling

Stap	Procedure
0	initialiseer* alle ladingen en de iteratie teller $V^0(L) = 0$ voor alle L . $i = 1$ en bereken de linktijden op alle L op basis van de free flow snelheden De optimale heffing is 0 en daarmee worden de marginale kosten bij initialisatie bepaald door de free flow linktijden.
1	Bepaal voor elk O-D paar de kortste route op basis van gegeneraliseerde reistijden en deel de matrix toe. Dit geeft de linkladingen $F^i(L)$.
2	bereken de optimale mixfactor w , de nieuwe ladingen $V^i(L) = (1-w)*V^{i-1}(L) + w*F^i(L)$
3	bereken nieuwe linktijden op basis van de nieuwe ladingen $V^i(L)$
4	Als convergentie dan stop anders ga terug naar stap 1

Voor de bepaling van de optimale mixfactor in Stap 2 wordt gebruik gemaakt van het "Gulden snede zoek algoritme" (Numerical recipes in Fortran 77(1988)). Daarbij wordt in een optimaal aantal stappen bepaald voor welke waarde van de mixfactor de nieuwe ladingen zoals bepaald in stap 2 de doelstellingsfunctie minimaal is. De doelstellingsfunctie die geminimaliseerd wordt is de met de ladingen gewogen som van de gegeneraliseerde linktijden of marginale kosten:

$$\min_w \left(\sum_L \left((1-w)*V^{i-1}(L) + w*F^i(L) \right) * T \left((1-w)*V^{i-1}(L) + w*F^i(L) \right) \right)$$

hierin is T de gegeneraliseerde reistijdfunctie of marginale kosten.

Voor de bepaling van de mixfactor wordt ervan uitgegaan dat deze tussen de 0 en 1 ligt, waarbij de waarde van de doelstellingsfunctie bij 0 kleiner is dan bij 1. Of meer algemeen $f(a) < f(d)$. Vervolgens worden twee punten $b < c$ in dit interval (a,d) gekozen waar de doelstellingsfunctie bepaald wordt. Als $f(b)$ kleiner is als $f(a)$ en $f(c)$ dan ligt het minimum (onder de voorwaarde van convexiteit) in interval (a,c) . Door een nieuw punt x te kiezen in het interval (b,c) kan de procedure herhaald worden. De theoretisch optimale verdeling van een interval wordt bepaald door de gulden snede.

Het algoritme voor het gulden snede zoekalgoritme ziet er dan als volgt uit.

Algoritme 2: Gulden snede zoekalgoritme voor bepaling minimum functie

Stap	Procedure
2.0	initialiseer: $GS = (3 - \sqrt{5})/2$ $w_0 = 0$ $w_3 = 1$ $w_1 = w_0 + GS * (w_3 - w_0)$ $w_2 = w_1 + GS * (w_3 - w_1)$ bepaal $f_1 = f(w_1)$ en $f_2 = f(w_2)$
2.1	Als $f(w_2) < f(w_1)$ dan $w_0 = w_1, w_1 = w_2$ en $f_1 = f_2$, $w_2 = w_1 + GS * (w_3 - w_1)$ en bepaal $f_2 = f(w_2)$ anders $w_3 = w_2, w_2 = w_1$ en $f_2 = f_1$, $w_1 = w_2 + GS * (w_0 - w_2)$ en bepaal $f_1 = f(w_1)$
2.2	Als $abs(w_2 - w_1) > \text{tolerantie}$ dan terug naar stap 2.1; de gebruikte tolerantie is $1E-4$.
2.3	Als $f_1 < f_2$ dan $w = w_1$ anders $w = w_2$

Wanneer zoals hier het geval is de doelstellingsfunctie convex is, is het minimum uniek bepaald.

De bepaling van de stapgrootte is slechts een onderdeel van het veel grotere minimalisatie probleem van de evenwichtstoedeling. Wanneer de mixfactor 0 is, zou het minimum bepaald zijn. Een bekend probleem bij een dergelijk complex minimalisatie proces is de convergentie. Om te bepalen of het proces geconvergeerd is, is een convergentiemaat nodig. Deze maat moet aangeven hoeveel de afwijking is van het optimum. Daarbij is echter het probleem dat niet bekend is wat het optimum is.

In de literatuur worden verschillende convergentie maten gegeven. Er kan gekeken worden naar de verandering in linkvolumes (mean square error) of naar de verandering in linkreistijden. Nadeel van een dergelijke convergentiemaat is dat bij een afnemende mixfactor de veranderingen op linkniveau automatisch ook kleiner worden.

Vanuit het evenwichtsdnken op HB niveau kan er ook gekeken worden hoe de totale gegeneraliseerde reistijd in de laatste toedeling zich verhoudt tot de voorlaatste gemixte

reistijden. Dit is een vergelijking op het niveau van de totale gegeneraliseerde reistijd op het netwerk. De relatieve convergentiemaat ziet er als volgt uit:

$$\frac{\sum_L F^i(L) * T(V^{(i-1)}(L)) - \sum_L V^i(L) * T(V^i(L))}{\sum_L F^i(L) * T(V^{(i-1)}(L))}$$

Wanneer het verschil minder is dan 0.25% en de kwadratische som van de verandering op individuele links kleiner is dan 1 wordt convergentie verondersteld.

Wanneer de doelstellingsfunctie slechts marginaal verandert (minder dan 10 minuten verbetering) is de convergentiecriteria afgezwakt tot 1.25%. Als extra voorwaarde is dan gesteld dat de maximale verandering op linkvolumes 0.5 Pae is.

Wanneer de doelstellingsfunctie minder dan 1 minuut verbetert, is het convergentiecriteria afgezwakt tot 2.5%.

4 Omgevingsscenario

4.1 Economische lange termijn scenario's

Door het CPB zijn drie scenario's opgesteld voor Nederland, die alternatieve toekomstbeelden of scenario's schetsten voor de periode tot 2020. Deze drie scenario's hebben verschillende aannames omtrent 5 belangrijke kernthema's, 'driving forces' genoemd. Deze zijn:

- internationale economische-politieke ontwikkelingen,
- demografische trends,
- sociaal-culturele factoren,
- technologische ontwikkeling,
- economische trends.

Per scenario wordt gestreefd naar consistente uitgangspunten van de vijf factoren. De drie scenario's zijn: Divided Europe (DE), European Coordination (EC) en Global Competition (GC).

Op dit moment is voor het NVVP referentiescenario alleen het EC-scenario gebruikt.

Aannames per scenario voor de 5 'driving forces' globaal weergegeven

	Divided Europe	European Coördination	Global Competition
Internationaal	stagnerende Europese integratie	Europa van meer snelheden	Europa a la carte
Demografie	immigratie laag	immigratie hoog	immigratie matig
Sociaal Cultureel	belangen tegenstellingen	sociale cohesie	individualisering
Technologie	trage diffusie	minder efficiënte diffusie	sterke groei en diffusie
Economie	trage groei West-Europa	vrij hoge groei West-Europa	hoge groei West-Europa

In DE werkt noch het markt- noch het coördinatiemechanisme in Europa goed en dit geldt zowel op nationaal als internationaal niveau. De economische problemen worden niet goed aangepakt en niet opgelost. De Europese concurrentiepositie verslechtert en de economische groei blijft in Europa derhalve achter bij die in Noord-Amerika en Azië, waar de economische groei wel sterk is. Zwakke economische groei, trage technologische ontwikkeling, weinig ontplooiingsmogelijkheden op sociaal-cultureel gebied en geringe voortgang bij het oplossen van milieuproblemen, typeren Nederland

en Europa. De Bevolking groeit in Nederland met 0,2% per jaar. De volume-stijging van het bruto binnenlands product (BBP) van 1.5% per jaar is bescheiden, de arbeidsproductiviteit groeit matig en de werkloosheid is aanhoudend hoog.

In EC speelt beleidscoördinatie een belangrijke rol. Aan solidariteit en sociale cohesie wordt groot belang gehecht. Er treedt een verdergaande Europese integratie op volgens het ‘meer snelheden’-model. Mondiaal is er zeker een isolationisme tussen de blokken in de wereld. Vergeleken met GC is het beeld iets minder gunstig. Een wereldwijde specialisatie met alle voordelen van dien wordt bemoeilijkt door het naast elkaar bestaan van economische blokken in de wereld. Bovendien verloopt kennisdiffusie in dit scenario wat minder vlot. Het BBP groeit in Nederland met 2.75% per jaar. De bevolkingsgroei is in dit scenario met 0.5% per jaar het hoogst. De groei van het BBP per hoofd van de bevolking ligt dus ruwweg midden tussen de beide andere scenario’s.

In GC ligt de nadruk op een zeer dynamische technologische ontwikkeling, sterke internationalisering en een grote rol van het marktmechanisme. In dit scenario is de economische groei in Europa en ook in Nederland het hoogst. Op EU-nivo geldt het model van ‘Europa a la carte’. Liberalisatie, deregulering en felle concurrentie leiden tot een sterke economische dynamiek. GC is een scenario voor de sterken met krachtige individualiserings-tendensen. De verzorgingsstaat wordt soberder ingericht, maar uitvoering van klassieke overheidstaken op het gebied van onderwijs, infrastructuur en openbaar bestuur krijgen meer accent. Tevens ziet de overheid het waarborgen van een goede marktwerking als een voorname taak. De groei van het BBP is in dit scenario met 3.25% per jaar het hoogst. De bevolkingsgroei komt gemiddeld uit op 0.4% per jaar overeenkomstig met het middenscenario van het CBS. Per hoofd van de bevolking is de economische groei dus meer dan twee keer zo groot als in DE. De hoge economische groei wordt mede mogelijk gemaakt door een zeer sterke stijging van de arbeidsparticipatie.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende veronderstelde economische en demografische ontwikkelingen per scenario.

tabel A Schematisch overzicht exogene ontwikkelingen per scenario

	ontwikkel. 1974-1995	DE 1996-2020	EC 1996-2020	GC 1996-2020
Groei voet Wereldhandel	4.6%	4.0%	6.1%	7.4%
Groei voet BBP EU	2.3%	1.4%	2.4%	2.8%
Groei voet BBP NL	2.2%	1.5%	2.7%	3.3%
Bevolkingsgroei	0.6%	0.2%	0.55%	0.36%
Groei voet werkgelegenheid	0.72%	0.30%	0.99%	1.15%
Invoerprijs energie	4.0%	3.4%	6.1%	3.2%
index	1974=100	1995=100	1995=100	1995=100
Groei Wereldhandel	257	256	414	555
Groei BBP EU	161	140	177	194
Groei BBP NL	158	143	190	218
Bevolkingsgroei	113	105	114	109
Groei werkgelegenheid	116	107	127	132
Demografie	omvang in 1995			
aantal huishoudens	6.480.000	116	120	125
aantal inwoners	15.420.000	105	115	109

Onderstaande tabel geeft concreet de modelinvoer weer voor wat betreft de exogene variabelen die voor de berekeningen met de modellen zijn gehanteerd voor het EC-scenario. Het betreft een selectie van sociaal economische data die voor de raming van mobiliteit relevant is.

	1995=100	DE Toe/afname 1995-2010	EC toe/afname 1995-2020	GC toe/afname 1995-2020
Aantal arbeidsplaatsen	5.864.000	108	128	133
- landbouw	275.000	54	76	68
- overheid/diensten	3.793.000	126	144	145
- detailhandel	550.456	86	122	117
Aantal contracturen	100	91	91	96,5
aantal werkenden	100	119	141	138
Reëel vrij besteedbaar inkomen/werker	100	126	165	190

4.2 Ruimtelijke data

De personenvervoersvraag wordt in belangrijke mate bepaald door demografische en sociaal-economische factoren. De ontwikkeling in deze factoren is derhalve sterk bepalend voor veranderingen in de omvang van vervoer en verkeer. Belangrijke invloedsfactoren zijn auto- en rijbewijsbezit, bevolkingsomvang en -samenstelling, het aantal huishoudens, de economische ontwikkeling, ontwikkeling (huishoud)inkomen en werkgelegenheid. Deze factoren zijn voor het EC-scenario beschreven in het werkdocument 89 [CPB,1996] van het CPB. Een aantal van de betreffende variabelen is medio 1999 geactualiseerd. De in dit document omschreven ontwikkelingen per scenario zijn vertaald naar de voor de gebruikte modellen relevante invoervariabelen. Voor een deel was het mogelijk de geactualiseerde CPB-gegevens direct te gebruiken. Voor een aantal invoervariabelen was het noodzakelijk specifieke aanvullende veronderstellingen te hanteren. Het betreft hier o.a.:

- De ruimtelijke spreiding van wonen en werken. Uitgaande van door het CPB aangeleverde randtotalen op COROP-niveau, is in samenwerking met het RIVM en de RPD, met o.a. de modellen OPERA en RUIMTEscanner een scenario-consistente verdeling van de ontwikkelingen tot op het niveau van LMS-(sub)zones gemaakt.
- De data voor basisjaar 1995 sluit voor de bevolkingsgegevens nauw aan bij het NRM basisbestand 1994. Door op gemeente niveau aan te sluiten bij de gegevens van het RIVM is optimaal gebruik gemaakt van de beschikbare gegevens. Voor de arbeidsplaatsen is direct uitgegaan van de gegevens van TNO. Voor de prognose jaren is voor de bevolking nauw aangesloten bij de procedures zoals die gebruikt zijn bij de berekeningen voor de CPB lange termijn 97 verkenningen. Alleen voor het aantal huishoudens zijn op COROP niveau de gegevens van het RIVM gehanteerd. De verandering van huishoudgrootte en de verandering van de verdeling over de leeftijdscategorieën is overgenomen uit CPB LT'97.

Landelijke totalen subzonale gegevens

	1995	2020 EC
Arbeitsplaatsen landbouw	274937	209573
Arbeitsplaatsen overheid/diensten	3792579	5430472
Arbeitsplaatsen detailhandel	550456	672033
Arbeitsplaatsen totaal	5863811	7499564
Autobezit	5580991	0
Oppervlakte land (ha.)	3497196	3497196
Aantal ll. Basisonderwijs	1561862	1666960
Aantal ll. VO t/m MBO	1130036	1366127
Aantal ll. HBO/WO	431849	507511
Mannelijke werkzame Beroepsbevolking	3830605	4274615
Vrouwelijke werkzame Beroepsbevolking	2216735	3547069
Aantal mannen 0-14 jaar	1424970	1531943
Aantal mannen 15-34 jaar	2417730	2300725
Aantal mannen 35-64 jaar	2968717	3557692
Aantal mannen 65+ jaar	813607	1483855
Aantal vrouwen 0-14 jaar	1362679	1449527
Aantal vrouwen 15-34 jaar	2315650	2168018
Aantal vrouwen 35-64 jaar	2900821	3488819
Aantal vrouwen 65+ jaar	1219969	1802339
Aantal huishoudens	6484122	7807685
Aantal personen	15424136	17782935
Mannelijke parttime Beroepsbevolking	237498	475318
Vrouwelijke parttime Beroepsbevolking	1095069	1863270

Op basis van een historische analyse is de ontwikkeling (1970-1995) voor grootheden als luchtweerstand, rolweerstand, voertuiggewicht, motorrendement, slagvolume en brandstofverbruik geëxtrapoleerd tot 2020. Hierop zijn scenariospecifiek correcties toegepast voor voertuigtechnische verbeteringen en wijziging van aankoopgedrag. Zo is uitgegaan van de veronderstelling dat in GC relatief veel zware, comfortabele en onzuinige voertuigen worden aangeschaft, terwijl in EC sprake is van een minder materieel consumptiepatroon, resulterend in een verschuiving naar de aanschaf van lichtere, zuinige auto's.

5 Referentiescenario's (20BRA)

Voor het referentie scenario is aangesloten bij de meest actuele referentie van het NVVP. Ten opzichte van deze referentie zijn de betaalstroken vervallen en zijn de autokosten opgehoogd met een basis kilometerheffing voor marginale maatschappelijke kosten.

Infrastructuur

De basis voor de infrastructuur is het vastgestelde MIT 2002, en we de fasen 0 (realisatie) en 1 (planfase). De gehanteerde uitgangspunten zijn voor het wegverkeer naar de gebruikte modellen vertaald in de vorm van een voor 2020 geldend modelnetwerk. Daarbij zijn tevens een aantal geplande verbeteringen van het secundair wegennet meegenomen. In het netwerk zijn een aantal veranderingen aangebracht op basis van recentere inzichten.

Expliciete benuttingsmaatregelen: Spitsstroken

Door het ministerie zijn voor de korte termijn een aantal spitsstroken gedefinieerd. Een deel van deze spitsstroken is in 2020 vervangen door in het MIT 2002 opgenomen infrastructuur uitbreidingen. Rekening is gehouden met de volgende spitsstroken en uitvoering:

Reeds gerealiseerd:

A4 Knpt Burgerveen –Hoofddorp:	richting Hoofddorp
A12 par. b. Laagraven-Kanaaleiland,	richting Kanaaleiland
A15 Papendrecht-Wijngaarden:	richting Wijngaarden
A27 Houten-knpt Lunetten:	richting Lunetten
A27 Houten-knpt Everdingen:	richting Everdingen
A28 Den Dolder-De Uithof:	richting de Uithof
A50 Knpt. Ewijk-knpt Valburg:	richting Valburg

Nog te realiseren boven op het MIT 2002:

A7 Zaandam-Purmerend,	richting Purmerend
A12 Zoetermeer-Gouda,	beide richtingen
A50 Beekbergen-Deventer oost(A1)	beide richtingen
A1 Knpt Beekbergen-Deventer oost	beide richtingen
A4 westbaan	Burgerveen-Hoofddorp
A9 Velsen-Badhoevedorp	beide richtingen spitsstroken op de vluchtstrook
A10/A4 knp. Amstel-Badhoevedorp	beide richtingen
A1/A6/A9	A1 uitbreiding wisselstrook, A1-A6 richting Lelystad, A9 beide richtingen
A12 Utrecht Oost-Duitse grens	beide richtingen

De expliciete benuttingsmaatregelen zijn geoperationaliseerd door een toevoeging van een strook waarvan de capaciteit 72% bedraagt van een volwaardige extra rijstrook. Dit komt overeen met een capaciteit van ongeveer 1650 pae. Voor de snelheid wordt in het model uitgegaan van 90 km/u. Van de spitsstroken is aangenomen dat ze in beide spitsen opengesteld worden.

Treinnetwerk:

Voor de treinlijnvoering is uitgegaan van het lijnvoering die is gebruikt bij de LMS berekeningen voor het bereikbaarheidsmodel (BOR). De basis van deze lijnvoering is het zogenaamde referentiemodel voor 2010 van RailNed. In de IR en AR lijnvoering zijn wijzigingen aangebracht voor de representatie van Light Rail projecten zoals Randstadrail, Regionet, Randstadspoor, Agglonet en de Rijn Gouwe lijn. De lijnvoeringen hiervoor zijn afgeleid uit de lijnvoering van Daccent (VDA). Alleen de delen van lijnen zijn overgenomen die direct op de grote steden gericht zijn. In een aantal gevallen is de lijn verlengd omdat anders een verslechtering zou optreden ten opzichte van het referentiemodel. De lijnnummers verwijzen naar de oorspronkelijke lijnnummering in de lijnvoering van Daccent. Een letter is toegevoegd om in de uiteindelijke lijnvoering de veranderingen te kunnen traceren.

De volgende veranderingen zijn aangebracht:

verandering IR (bestand: linvl2-c.bor 18-8-2000)

lijn	referentiemodel 2010	Freq	lijn	BOR	Freq
42	Ekz-Bkf-Bkg-Hks-Hnk-Hn-Hn-Ass-Asd	2x	41x	Ekz-Bkf-Bkg-Hks-Hnk-Hn-Pmr-Zd-Ass-Asd	3x
			42x	Utg-Zd-Ass-Asd-Asa-Dvd-Asb-Hldt-Ac-Lsl-Bkl-Wd	1x
			43x	Utg-Zd-Ass-Asd-Asa-Dvd-Asb-Hldt	2x

verandering AR (bestand: linvl2-c.bor 18-8-2000)

lijn	referentiemodel 2010	frq	Lijn	BOR	frq	Opmerking
	Toegevoegd		124x	Ijm-Dhw-Sptm-Sptz-Bll-Hlm-Hlms-Hw-Gzv-Ass-Ashp-Asd-Asoh-Asdm-Asa-Dvd-Asb-Hldt	3x	
			133x	Bkl-Masn-Mas-Utlg-Utz-Ut-Utb-Utk-Bnk-Db-Mrn-Klp-Ed	3x	
			136x	Ut-Utou-Uto-Bhvw-Bhv-Dld-Amf-Amfk-Amfv-Nkkc-Nkk	3x	
100	Hnk-Hn-Pmo-Pmr-Pmw-Zdk-Zd-Asdr-Asdl-Shl-Hfd	2x	121x	Hnk-Hn-Ohz-Pmo-Pmr-Pmw-Zdk-Zd-Ass-Asdv-Asdr-Asdl-Asaj-Bhp-Shl-Hfd	3x	
101	Amr-Hlo-Cas-Utg-Kma-Wm-Kzd-Kbw-Zd-Asdr-Asdl-Shl-Hfd	2x	122x	Amr-Hlo-Cas-Utg-Kma-Wm-Wmg-Kzd-Kbw-Zd-Ass-Asdv-Asdr-Asdl-Asaj-Bhp-Shl-Hfd	3x	Amr-Utg + 122
103	Pmo-Pmr-Pmw-Zdk-Zd-Ass-Asd-Asdm-Wgm-Dmn-Wp-Alpo-Almm-Alm-Almp-Almb-Ambo	2x		frequentie verhoging	3x	
104	Amr-Hlo-Cas-Utg-Kma-Wm-Kzd-Kbw-Zd-Ass-Asd	2x	126x	Amr-Hlo-Cas-Utg-Kma-Wm-Wmg-Kzd-Kbw-Zd-Ass-Ashp-Asd-Asoh-Asdm-Wgm-Dmn-Wp-Ndb-Hvsn-Hvs	3x	Amr-Utg + 126
107	Utg-Kma-Wm-Kzd-Kbw-Zd-Ass-Asd-Asdm-Asa-Dvd-Asb-Ac-Bkl-Masn-Mas-Utlg-Ut	2x	125x	Utg-Kma-Wm-Wmg-Kzd-Kbw-Zd-Ass-Ashp-Asd-Asoh-Asdm-Wgm-Dmn-Wp-Ndb-Hvsn-Hvs-Hvsp-Hor-Mtd-Uto-Utou-Ut	3x	
108	Lls-Ambo-Almb-Almp-Alm-Almm-Alpo-Wp-Dmnz-Dvd-Rai-Asdz-Shl-Hfd	2x	127x	Lls-Ambo-Almb-Almp-Alm-Almm-Alpo-Wp-Dmnz-Dvd-Rai-Asdz-Asav-Bhp-Shl-Hfd	3x	Lls-Ambo + 127
109	Utg-Hk-Bv-Drh-Sptm-Sptz-Bll-Hlm-Hlms-Hw-Gzv-Ass-Asd-Asdm-Asa-Dvd-Asb	2x	123x	Utg-Hka-Hk-Bv-Drh-Sptm-Sptz-Bll-Hlm-Hlms-Hw-Gzv-Ass-Ashp-Asd-Asoh-Asdm-Asa-Dvd-Asb-Hldt	3x	
110	Asd-Ass-Gzv-Hw-Hlms-Hlm-Ovn-Zvt	2x		frequentie verhoging	3x	
116	Gvc-Vb-Ypb-Ztm-Ztmo-Gd-Gdgo	2x	138x	Gvc-Vb-Ypb-Ndpo-Ztm-Ztmo-Gd-Gdgo	3x	
			139x	Gvc-Vb-Ypb-Ndpo-Ztm	3x	
118	Rtd-sdm-Nwl-Vdo-Vdg-Vdw-Mss-Msw-Hld-Hlds	2x		frequentie verhoging	3x	
119	Asd-Ass-Gzv-Hw-Hlms-Hlm	2x		frequentie verhoging	3x	

121	Rth-Rtbw-Rtkw-Rtwp-Rdr-Rdrn- Pnkz-Pnk-Ndpz- Ldo-Ldf-Ldv-Vbl-Laa-Gvc	4x	146x	Rtd-Rzhz-Rzhn-Rthl-Rdr-Rdrn-Pnkz-Pnk-Ndpz-Ndpo-Ldo-Ldv-Vbl-Laa-Gvc	6x
122	Ledn-Ldhw-Ldl-Ztw-Hzw-Apnl-Apn-Bsk-Bsks-Wadn-Wad-Wads-Wadc-Gdp-Gd	4x	141x 141y	Ledn-Ldhw-Ldl-Ztw-Hzw-Apnl-Apn-Bsk-Bsks-Wadn-Wad-Wads-Wadc-Gdw-Gdp-Gd	2x 4x
123	Wdm-Wd-Vtn-Utlw-Utlc-Ut-Utb-Utl-Htn-Htnc-Cl-Gdm	2x	132x	Wdm-Wd-Vtnw-Vtn-Utlw-Utlc-Utmj-Ut-Utb-Utl-Htn-Htnc-Cl-Gdm	3x
124	Wdm-Wd-Vtn-Utlw-Utlc-Ut-Utb-Utl-Htn-Htnc-Cl-Gdm-TI	2x	131x	Wdm-Wd-Vtnw-Vtn-Utlw-Utlc-Utmj-Ut-Utb-Utl-Htn-Htnc-Cl-Gdm-Tlp-TI	3x
136	Gcc-Laa-Gvm-Vst-Dvkn-Ledn	2x	137x	Gcc-Laa-Gvm-Ldmn-Vst-Dvkn-Ledn-Ldmw-Wrm-Vh	6x
218	Rtd-sdm-Nwl-Vdo-Vdg-Vdw-Mss-Msw	2x		frequentie verhoging	3x

Opgemerkt wordt dat de rechtstreekse verbinding Spijkenisse-Rotterdam CS-Den Haag CS in Randstadrail, gemodelleerd is als Rotterdam CS-Den Haag. De reden hiervoor is dat de relatie Spijkenisse-Den Haag niet groot is en dat het traject Spijkenisse-Rotterdam CS voornamelijk gebruikt (gaat) worden door lokaal verkeer of als voor- en natransportmiddel voor Rotterdam CS. Verbetering voor het lokale verkeer en het voor- en natransport vindt reeds plaats door een versnelling van het basisnet en door de introductie van een Hoogwaardige Openbaarvervoer Verbinding (HOV) tussen Spijkenisse en Rotterdam.

Kwaliteit overig OV

Voor wat betreft de kwaliteitsverbetering van het overig openbaar vervoer zijn een aantal lijnen toegevoegd w.o. de hierboven genoemde verbinding Spijkenisse-Rotterdam.

Algemene Benutting

Voor wat betreft benuttingsmaatregelen is uitgegaan van implementatie van het verkeersbeheersingsprogramma conform het MIT. Voor zowel 2010 als 2020 is deze implementatie naar modelinput vertaald als een toename van de strookcapaciteit van het hoofdwegennet met 4%

Prijnsbeleid auto, basis-kilometerheffingen

Voor de hoogte van de kale brandstofkosten per personenautokilometer in 2020 wordt uitgegaan van 2,7 euroct. (bron: schatting CE, prijspeil 2002, inclusief BTW). Bovenop de kale brandstofkosten wordt rekening gehouden met marginale maatschappelijke kosten van 5,7 euroct (bron CE 1999¹). De totale variabele autokosten per kilometer komen daarmee op 8,4 euroct. Rekeninghoudend met een inflatie van 16,4% wordt de index voor het rekensysteem:

Index t.o.v. 1995:

2020: 122.3

Systeem van optimale congestieheffingen:

Een systeem van optimale congestieheffingen conform het Profijtbeginsel (zie paragraaf 3.3). De hoogte en de lokatie van de heffing worden door het systeem bepaald. Het systeem wordt toegepast op zowel het hoofdwegennet als het niet-hoofdwegennet.

¹ Dings, J.M.W. e.a. Efficiente prijzen voor het verkeer, CE, Delft, 1999

Tarieven OV

Voor wat betreft de ontwikkeling van de OV-tarieven kunnen als geïnstrumenteerd beleid de sectorafspraken m.b.t. maximale tariefontwikkeling worden gehanteerd. Voor het spoor gaat het daarbij om afspraken tot 2000 voor max. 5% tariefstijging nominaal en voor het overige OV voor max. 2,5% nominaal. Strikt genomen bieden beide uitgangspunten weinig houvast voor een te hanteren niveau in 2010 en 2020. Als 'conservatief' uitgangspunt is gehanteerd dat de tarieven voor de gebruikers t.o.v. 1998 reëel constant blijven. Dus zowel voor spoor als overig OV:

index 2020: 107

Voor spoor en overig OV is geen differentiatie van de tariefontwikkeling naar periode en/of naar motief gehanteerd. De differentiatie in 1995 vormt derhalve het uitgangspunt. Er wordt uitgegaan van voortzetting van het systeem van de Studenten OV-jaarkaart in een vorm vergelijkbaar met die zoals van toepassing op dit moment.

Kwaliteit overig OV

Voor wat betreft de kwaliteitsverbetering van het overig openbaar vervoer zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- er is conform de algemene beslisregel uitgegaan van realisatie van in het MIT genoemde projecten (inclusief de resultaten van het aanvullend bestuurlijk overleg). Deze projecten zijn in de modelberekeningen niet als concrete nieuwe lijnen ingevoerd, maar als een verhoging van het kwaliteitsniveau van het OV in de door de projecten verbonden gebieden (op de relaties tussen de door de betreffende verbeteringen verbonden gebieden is de OV-snelheid verhoogd tot 20 km/h binnen de steden en 30 km/h daarbuiten).
- Ter representatie van de kwaliteitsverbetering van het openbaar vervoer conform implementatie van 'De Boer' is bovenop het bestaande voorzieningenniveau een snelheidstoename verondersteld (tot 5 km: +10%; 5-15 km: verloop van +10% tot 5%; boven 15 km: + 5%).

Parkeerbeleid

De implementatie van een stringent parkeerbeleid is in een gematigde vorm verondersteld. Dit is nader uitgewerkt in de volgende twee elementen:

- uitbreiding van het bestaande areaal voor betaald parkeren, conform opgave vanuit de regio, en.
- 150% reële verhoging parkeerkosten t.o.v. 1995 op alle lokaties waar voor parkeren moet worden betaald .

ABC-Locatiebeleid

Als representatie van de daadwerkelijk te verwachten implementatie van het locatiebeleid, is ten opzichte van de eerdere referentie uitgegaan van sterkere implementatie van de parkeernormering uit het ABC-locatiebeleid. Dit is gedaan door de parkeernormering van toepassing te laten zijn op 100% van de toename van de werkgelegenheid op de betrokken lokaties in resp. 1995-2020.

De gebruikte normen zijn:

A-lokatie Randstad:

bestaande werkgelegenheid: 0.15

A-lokatie buiten de Randstad	Nieuwe werkgelegenheid: 0.10
	bestaande werkgelegenheid: 0.20
B-lokatie Randstad:	Nieuwe werkgelegenheid: 0.15
	bestaande werkgelegenheid: 0.30
B-lokatie buiten de Randstad	Nieuwe werkgelegenheid: 0.20
	bestaande werkgelegenheid: 0.35
	Nieuwe werkgelegenheid: 0.30

Vervoermanagement

Als representatie van de daadwerkelijk te verwachten implementatie van vervoermanagement, is ten opzichte van de eerdere referentie uitgegaan van de implementatie van vervoermanagement met een hogere effectiviteit. Introductie bij 25% van de bedrijven met meer dan 50 werknemers met een effectiviteit van 100% van de thans bekende gemiddelde effecten.

Vervoersmanagement is in het LMS op dezelfde wijze geïmplementeerd als de parkeerbeperkingen waarbij echter geen alternatieve parkeerlokatie wordt toegestaan. Er wordt met een norm gewerkt in de vorm van een percentage waarmee via het totaal aantal arbeidsplaatsen het toegestane aantal autoaankomsten wordt aangegeven. Het totaal aantal auto aankomsten wordt vergeleken met dit aantal waarbij het teveel aan autoaankomsten wordt verdeeld over de andere vervoerwijzen. De verdeling vindt plaats op basis van hun onderlinge aantrekkelijkheid.

De norm die wordt gehanteerd is afhankelijk van het gestelde beleidsdoel en is proefondervindelijk bepaald. In principe dient de norm iedere keer opnieuw te worden afgeleid, maar wordt om praktische redenen vaak constant gehouden. De gebruikte norm is gebaseerd op de Referentie 3

Fietsbeleid

Als representatie van reistijdwinsten door verbeterde fietsinfrastructuur, wordt een afstandsreductie verondersteld voor de wat langere fietsverplaatsingen (tussen 0 en 2,85 km geen verandering; tussen 2,85 en 3.0 km afstand verkort tot 2,85 km; boven 3.0 km afstand verkort met 5%).

Snelhedenbeleid

Uitgegaan is van uitbreiding van 30 km/h zones in steden. In de berekeningen is dit geoperationaliseerd door voor de eerste en de laatste 500 meter van een verplaatsing de snelheid van 45 km/h naar 30 km/h te reduceren bij herkomst resp. bestemming van deze verplaatsingen in verstedelijkte gebieden.

Goederenvervoerbeleid

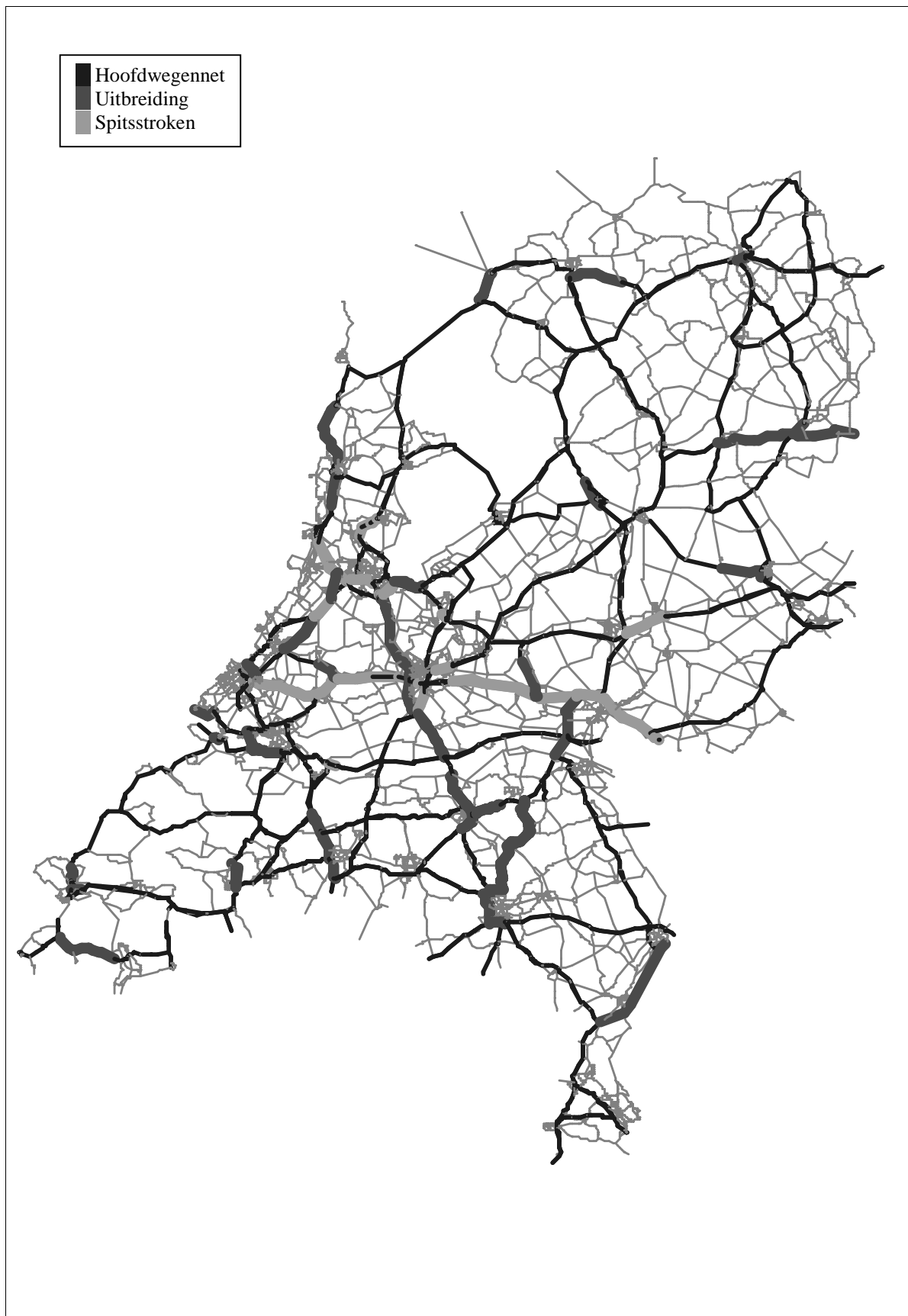
In het EC scenario is rekening gehouden met ten opzichte van de eerdere referentie beperktere inzet van TIB. Voor 2020 betekent dit een reductie van 3,5% op de 2020 EC-vrachtmatrix.

Autobezit

De MRB wordt verlaagd tot een niveau waarbij de kapitaalkosten van de ontsluitende infrastructuur wordt gedekt. Uit berekeningen van CE blijkt dat hiertoe de MRB met 75% kan dalen. Voorzien is derhalve dat $\frac{3}{4}$ MRB en de volledige BPM worden afgeschaft. Als gevolg hiervan neemt het autobezit toe met 1,6% van 8.777.004 naar

8.790.801. Deze omvang is in het verleden bepaald voor een volledig afschaffing van de MRB en de BPM. Daarbij moet overigens wel opgemerkt worden dat de wijze van afschaffing bij deze variant anders was, omdat het hier ging om een variabilisatie van de MRB en BPM. Aangezien er geen andere informatie beschikbaar was is toch van deze variant uitgegaan.

Figuur 5.1: Uitbreiding Autonetwerk 2020 referentie



Tabel 5.1: Overzicht modelinstellingen

	<i>Module</i>	2020BRA
Omgevingsscenario	<i>Tourgen</i>	EC4
Inkomensgroei	<i>Tourgen</i>	165
Inkomenseffect 0-25 kf	<i>Tourgen</i>	
Inkomenseffect 25-40 kf	<i>Tourgen</i>	
Inkomenseffect 40-65 kf	<i>Tourgen</i>	
Inkomenseffect 65-85 kf	<i>Tourgen</i>	
Inkomenseffect >85 kf	<i>Tourgen</i>	
Trein	<i>Ptransp</i>	2010NS99 aangevuld met Randstadrail, Regionet, Randstadspoor, Agglonet en Rijne Gouwe
AB locaties normering (new def)	<i>ABC-Lok</i>	0.15,0.30/0.20,0.350.10,0.20,0. 15,0.30
HOV	<i>NSES</i>	BOR
30km zones	<i>NSES</i>	Ja
Snelheid basnet:15+km(BTM)	<i>NSES</i>	10%
Langzaam verkeer 3+ km(fiets)	<i>NSES</i>	-5%
Vervoermanagement	<i>NSES</i>	5957
Kwaliteitsverbetering OV	<i>NSES</i>	
parkeerprijs index	<i>NSES</i>	150
Brandstofprijs index	<i>NSES</i>	
brandstof/km index(efficiency)	<i>NSES</i>	
Index autokilometerkosten	<i>NSES</i>	122,3
Index autokm kosten 0-25kf	<i>NSES</i>	
Index Autokm. 25-40kf	<i>NSES</i>	
Index autokm. kosten 40-65kf	<i>NSES</i>	
Index autokm. kosten 65-85	<i>NSES</i>	
Index autokm kosten > 85 kf	<i>NSES</i>	
stad/streek kosten index	<i>NSES</i>	107
Treinkosten index: totaal	<i>NSES</i>	107
Trein osten index: wo-we	<i>NSES</i>	107
Minimale parkeerkosten voor wowe	<i>NSES</i>	Geen
auto's	<i>Tourgen</i>	8 790.801
half-hour reductions in workday	<i>Tourgen</i>	0
Extra holiday days	<i>Tourgen</i>	+5
Annual work hour reduction	<i>Tourgen</i>	0.15%
uitbreiding betaald parkeren	<i>Tourgen</i>	Geen
.internationaal index	<i>Tourgen</i>	200
Vracht file	<i>Merge</i>	Vam20ec
Vracht TOD spits (am/pm/op)	<i>Merge</i>	13%,12.4%,74.6%
Transport in Balans	<i>Merge</i>	-3,5%
CapFac=autonoom+BIV	<i>Qblok</i>	+12%
Tolheffing	<i>Qblok</i>	Geen
Congestieheffing am/pm/op	<i>Qblok</i>	Optimale congestieheffing door het systeem bepaald
Basis Congestieheffing	<i>Netwerk</i>	Door het systeem bepaald o.b.v. Morhing en Harwitz
Extra infrastructuur	<i>Netwerk</i>	MIT 2002
Benutting	<i>Netwerk</i>	conform MIT/BOR extra spitsstroken
Opmerking		Optimale heffing bij gegeven wegcapaciteit

6 Resultaten Milieuscenario (20MGA)

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van het referentie scenario met marginale kosten, ofwel het scenario waarin de optimale heffingen bepaald worden bij een gegeven referentie capaciteit.

6.1 Vervoerwijze- en bestemmingskeuze

Voor de bepaling van het effect van de invoering van de optimale heffing worden hier de resultaten gepresenteerd met een index ten opzichte van de run zonder optimale heffing. Het betreft het totaal kilometrage voor heel Nederland, de Randstad en de Rest van Nederland. Ter illustratie zijn voor de verhouding met 1995, de resultaten van de run zonder optimale heffing in de onderstaande tabel afgezet ten opzichte van 1995.

Kilometrage 2020 zonder optimale heffing voor Nederland (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 1995 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	139324	19011	32022	7528	15705	5274
Index	133.9	109.3	175.9	120.4	108.4	172.5
R.Werk HB	25896	1614	2084	333	286	315
Index	182.8	111	167.2	127.1	125.8	165.2
Werk N-HB	30857	3747	692	261	590	128
Index	182.6	149.6	170.6	144.4	143.5	163.9
Opleiding	6146	1724	11419	5300	7143	2217
Index	108.8	87.2	112.8	81.9	91.3	109
Winkelen	31337	13269	2487	2275	16618	606
Index	131.9	107.1	86.2	85.6	110.2	87.8
Overig	80740	41389	13397	4292	26443	2528
Index	128.7	108.1	84.2	87.5	106.6	86.8
Basis	0	1113	18	301	7413	6
Index	0	83	90.9	79.3	106.9	90.2
Kinder	0	16801	883	251	8324	117
Index	0	92.5	85.5	100.3	117.7	84.6
Totaal	314300	98667	63002	20541	82522	11191
Index	138.3	105.5	126.5	96.2	107.4	122.9

Kilometrage 2020 met marginale kosten voor Nederland (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	115528	20662	33414	13479	16609	199691
Index	82.9	108.7	104.3	105.3	105.8	91.2
R.Werk HB	27937	1580	1996	630	279	32423
Index	107.9	97.9	95.8	97.2	97.7	106.2
Werk N-HB	31212	3839	695	391	592	36729
Index	101.1	102.5	100.4	100.6	100.4	101.3
Opleiding	5513	1767	11577	7617	7176	33650
Index	89.7	102.5	101.4	101.3	100.5	99.1
Winkelen	29145	13321	2492	2889	16684	64531
Index	93	100.4	100.2	100.3	100.4	96.9
Overig	72656	41572	13421	6834	26526	161009
Index	90	100.4	100.2	100.2	100.3	95.4
Basis	0	1088	18	307	7418	8832
Index	0	97.8	100.1	100.1	100.1	99.8
Kinder	0	15701	891	372	8424	25389
Index	0	93.5	100.9	101.2	101.2	96.3
Totaal	281990	99530	64504	32520	83710	562254
Index	89.7	100.9	102.4	102.5	101.4	95.3

Een optimale heffing zou een reductie van ruim 10% van het autoverkeer betekenen. Het zakelijk verkeer is minder gevoelig voor kosten en neemt toe als gevolg van de afname van de congestie. De reductie van de autopassagier bij de kinderen wordt veroorzaakt doordat voor deze groepen een deel van de autokosten aan de autopassagier toegerekend wordt. De afname van het totaal kilometrage geeft aan dat er naast een verandering van de vervoerwijze ook een verschuiving plaatsvindt in de bestemmingskeuze. Met name de langere verplaatsingen nemen af.

Kilometrage 2020 met marginale kosten voor Randstad (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	37609	8137	17512	7199	7971	78429
Index	73.9	111.9	105.3	106.7	107.4	88.2
R.Werk HB	10624	596	830	296	128	12476
Index	111	97.3	95.3	96.8	97.4	108.5
Werk N-HB	13397	1759	331	208	273	15968
Index	101.6	103	100.5	100.7	100.6	101.7
Opleiding	1738	621	5106	3032	2711	13208
Index	84.3	103.4	101.6	101.7	100.6	98.8
Winkelen	10548	5562	1031	1251	6066	24459
Index	90.3	100.6	100.2	100.3	100.6	95.9
Overig	27883	15822	4725	2927	9585	60941
Index	87.1	100.7	100.2	100.3	100.4	93.9
Basis	0	329	7	125	2507	2969
Index	0	96.2	100.1	100.1	100.1	99.7
Kinder	0	6500	379	173	3072	10123
Index	0	92.3	101.1	101.5	101.8	95.5
Totaal	101800	39326	29922	15213	32312	218573
Index	85.3	101.3	103.2	103.5	102.2	93.6

Doordat in de Randstad relatief meer congestie is, is de reductie van het autoverkeer in de Randstad zoals te verwachten groter dan in de rest van Nederland. Ook de toename van het zakelijk verkeer is groter.

Kilometrage 2020 met marginale kosten voor buiten de Randstad (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	77919	12525	15902	6279	8638	121262
Index	88.1	106.7	103.3	103.7	104.3	93.3
R.Werk HB	17312	984	1166	334	151	19947
Index	106.1	98.2	96.2	97.6	97.9	104.8
Werk N-HB	17814	2080	364	184	319	20761
Index	100.8	102	100.3	100.5	100.2	100.9
Opleiding	3775	1145	6471	4585	4466	20442
Index	92.4	102	101.2	101.1	100.4	99.3
Winkelen	18597	7759	1461	1637	10618	40072
Index	94.6	100.2	100.2	100.2	100.3	97.6
Overig	44773	25750	8696	3907	16942	100068
Index	91.9	100.3	100.2	100.2	100.2	96.3
Basis	0	760	11	182	4911	5863
Index	0	98.6	100.1	100.1	100	99.9
Kinder	0	9201	513	199	5353	15265
Index	0	94.3	100.8	101	100.9	96.8
Totaal	180190	60204	34582	17307	51398	343681
Index	92.4	100.6	101.7	101.6	101	96.3

6.2 Toedelingsuitkomsten

In de onderstaande tabellen zijn de resultaten van de toedelingen samengevat. De resultaten zijn ook hier afgezet ten opzichte van het scenario zonder optimale heffing. De uitkomsten zijn opgesplitst naar Randstad en de rest van Nederland en er wordt onderscheid gemaakt naar het hoofdwegennet en het overig gemodelleerde autonetwerk. Verder worden de resultaten per dagdeel gepresenteerd en er wordt een totaal etmaal beeld gegeven. Achtereenvolgens worden de volgende variabelen gegeven:

- kilometrage op het gemodelleerde netwerk;
- totale reistijd;
- gemiddelde snelheid;
- congestie uren;

Kilometrages (x1000) 2020 met marginale kosten, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	5597	13021	18619	6471	15298	21769	24907	69238	94144	36974	97557	134532
Index	87.9	100.7	96.5	93.1	101.8	99.1	94.9	102.6	100.4	93.4	102.2	99.6
HWN	11313	16909	28221	12044	18189	30233	57422	90292	147714	80779	125390	206169
Index	80.8	89.2	85.6	83.3	89.2	86.7	86.4	91	89.1	85.1	90.5	88.3
Totale Net	16910	29930	46840	18515	33487	52002	82329	159530	241859	117753	222947	340701
Index	83	93.9	89.6	86.5	94.6	91.5	88.8	95.7	93.2	87.5	95.3	92.4

Reistijd (uren) 2020 met marginale kosten, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	116774	246487	363261	138726	292403	431129	494927	1284167	1779094	750426	1823057	2573484
Index	74.1	94	86.5	78.5	94.9	88.9	91.1	101.1	98.1	85.5	99	94.7
HWN	123853	182599	306452	133339	198511	331851	597415	955506	1552921	854608	1336616	2191224
Index	63.3	82.1	73.3	64.7	81	73.6	82.1	88.4	85.8	75.7	86.3	81.8
Totale Net	240627	429086	669713	272065	490915	762980	1092343	2239673	3332015	1605034	3159674	4764708
Index	68.2	88.5	80	71.1	88.7	81.5	85.9	95.2	92	80	93.2	88.3

Snelheid (km/u) 2020 met marginale kosten, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	48	53	51	47	52	50	50	54	53	49	54	52
Index	118.5	107.2	111.5	118.5	107.3	111.4	104.1	101.5	102.4	109.2	103.2	105.3
HWN	91	93	92	90	92	91	96	94	95	95	94	94
Index	127.6	108.6	116.8	128.6	110.2	117.9	105.2	103	103.8	112.4	104.8	107.9
Totale Net	70	70	70	68	68	68	75	71	73	73	71	72
Index	121.8	106	112.1	121.6	106.6	112.2	103.3	100.5	101.4	109.4	102.2	104.7

Congestie-uren (uren) 2020 met marginale kosten, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

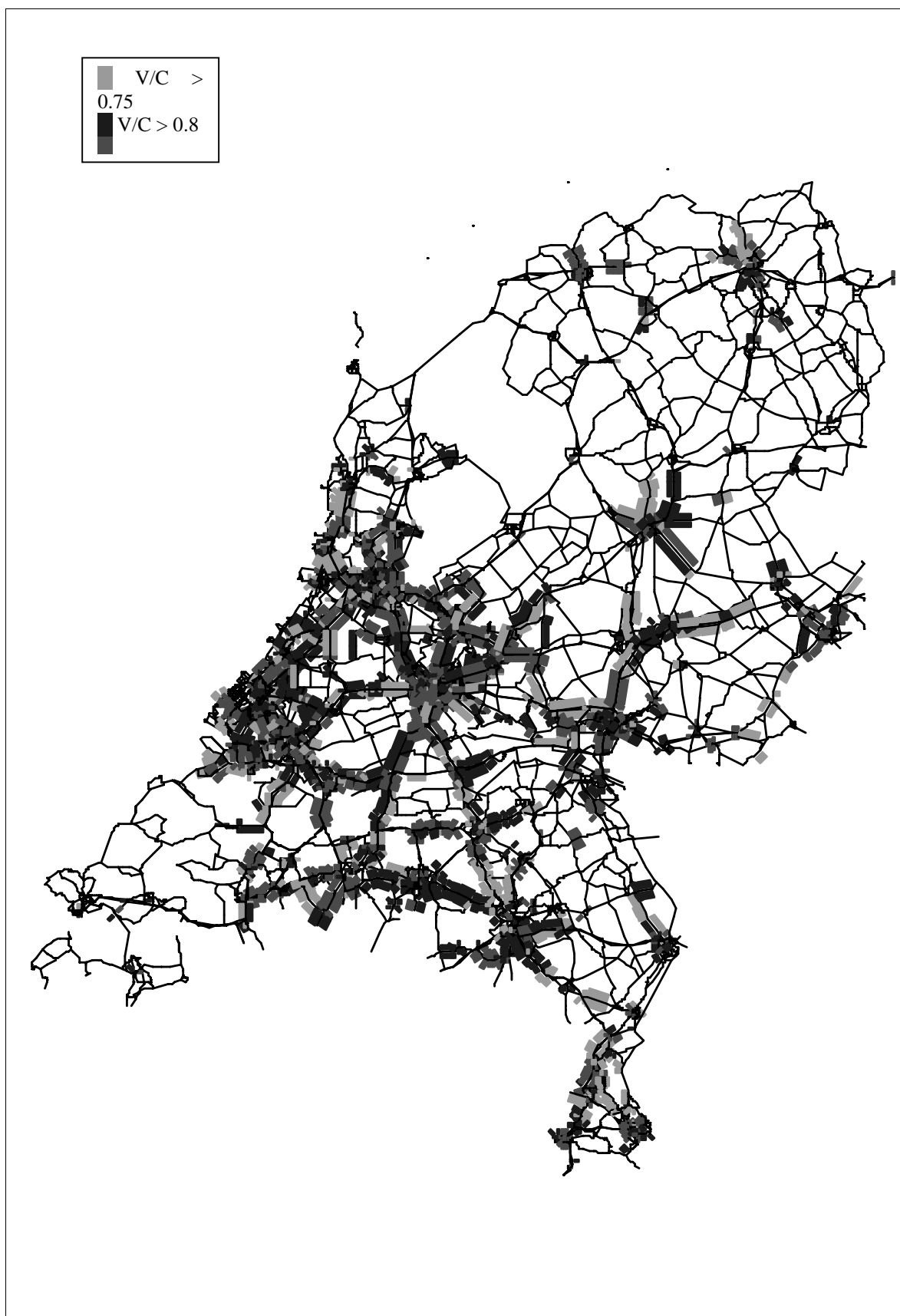
Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	1156	1107	2263	1756	1704	3460	318	396	714	3230	3208	6437
Index	4.1	6.3	4.9	5	7.8	6.1	2.1	4.5	2.9	4.1	6.6	5.1
HWN	828	632	1460	1252	1085	2336	418	794	1212	2497	2511	5008
Index	2	4.1	2.6	2.7	5.2	3.5	1.7	4.4	2.9	2.2	4.6	3
Totale Net	1984	1740	3723	3008	2789	5796	736	1190	1926	5727	5719	11446
Index	2.9	5.3	3.6	3.7	6.5	4.7	1.9	4.5	2.9	3	5.6	3.9

Aan de afname van het kilometrage is te zien dat er naast een totale afname van het verkeer, er ook een verschuiving is naar het niet hoofdwegennet. Op het hoofdwegennet is de reductie groter dan daarbuiten. Daarnaast is de reductie in de spitsen groter dan in de rustiger restdag. Dit is ook terug te zien in de reistijd en de gemiddelde snelheid. De voordelen zijn zoals te verwachten het grootste op het drukke hoofdwegennet in de Randstad. De congestie-uren laten zien dat met een optimale heffing een vrijwel filevrije situatie zou ontstaan. Deze situatie ontstaat door op sommige plaatsen zeer hoge heffingen, tot wel enkele euro's per kilometer.

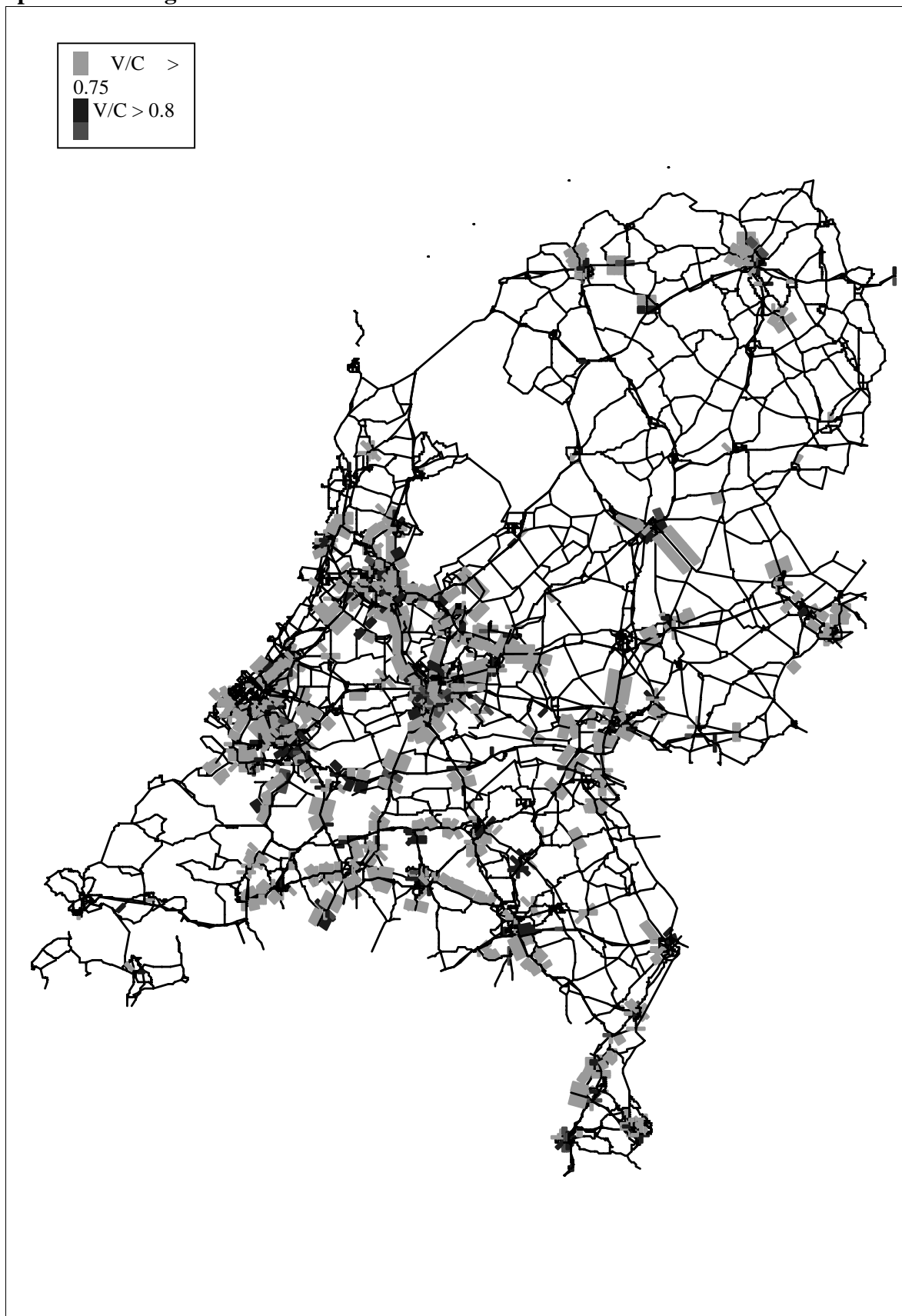
Opvallend is dat met een reductie van 8% op het totale kilometrage, de congestie vrijwel verdwijnt. Dit betekent dat er een grote verandering in de spreiding is. De daling van congestie wordt ook veroorzaakt doordat er langere congestievrije routes gekozen worden. Dit komt tot uiting in de reistijd. Er is niet onderzocht of deze veranderde spreiding nog aansluit bij de zonale attractie. Mogelijk verandert de bestemmingskeuze bij dergelijke hoge kosten zodanig dat niet meer alle arbeidsplaatsen voorzien worden, of dat er juist meer aankomsten zijn dan arbeidsplaatsen.

De plots op de volgende pagina's geven de intensiteit-capaciteits verhouding (V/C-ratio) voor het scenario zonder en het scenario met optimale heffing bij gelijke capaciteit.

Figuur 6.1: Maximale V/C-ratio gedurende een etmaal voor het scenario zonder optimale heffing



Figuur 6.2: Maximale V/C-ratio gedurende een etmaal voor het scenario met optimale heffing



6.3 Opbrengsten optimale heffing

Dit positieve verkeersbeeld wordt bewerkstelligd met een optimale heffing. In deze paragraaf wordt een beeld gegeven van hoe deze heffing eruitziet. Naast de totale opbrengst is het natuurlijk van belang wat het niveau van de heffingen is.

De volgende tabel geeft een overzicht van de opbrengsten per dagdeel en uitgesplitst naar hoofdwegennet en overig gemodelleerd wegennet. De opbrengsten zijn omgerekend naar Euro's van 2001. Het jaartotaal wordt verkregen door de gemiddelde werkdag opbrengst te vermenigvuldigen met 255. In het volgende hoofdstuk wordt deze factor verantwoord.

Opbrengsten optimale heffing zonder capaciteitsuitbreiding (in Euro 2001)

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	984,810	821,022	1,805,832
Avondspits	1,527,153	1,157,774	2,684,927
Restdag	1,773,350	1,246,106	3,019,456
Gemiddelde werkdag	4,285,313	3,224,903	7,510,216
Jaartotaal	1,092,754,833	822,350,179	1,915,105,012

Opvallend is de hoge opbrengst van de restdag. Dit hangt samen met het veronderstelde aantal drukke uren in de restdag. In overeenstemming met het LMS is ervan uitgegaan dat een gemiddelde restdaguur met een factor 6 opgehoogd moet worden om de totale restdag congestie te krijgen.

Voor de bepaling of een wegvak in aanmerking komt voor uitbreiding wordt er gekeken naar de opbrengst per strookkilometer. In hoofdstuk 7 wordt hier uitgebreid op ingegaan. Hier wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde opbrengst per strookkilometer.

Gemiddelde opbrengst per strookkilometer in Euro 2001

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	74	11	21
Avondspits	114	16	31
Restdag	133	17	35
Gemiddelde werkdag	320	44	86
Jaartotaal	81,724	11,126	21,941

Een gemiddelde opbrengst van 82.000 Euro op het hoofdwegennet is natuurlijk onvoldoende voor uitbreiding. De maximale opbrengst op een strookkilometer is 14.25 miljoen Euro.

Voor de gebruiker gaat het niet om de opbrengsten, maar om wat er betaald moet worden. Dit wordt uitgedrukt in een congestieheffing per gereden kilometer. Deze varieert per dagdeel en per locatie. De volgende tabel geeft de gemiddelde congestieheffing per kilometer voor de drie perioden.

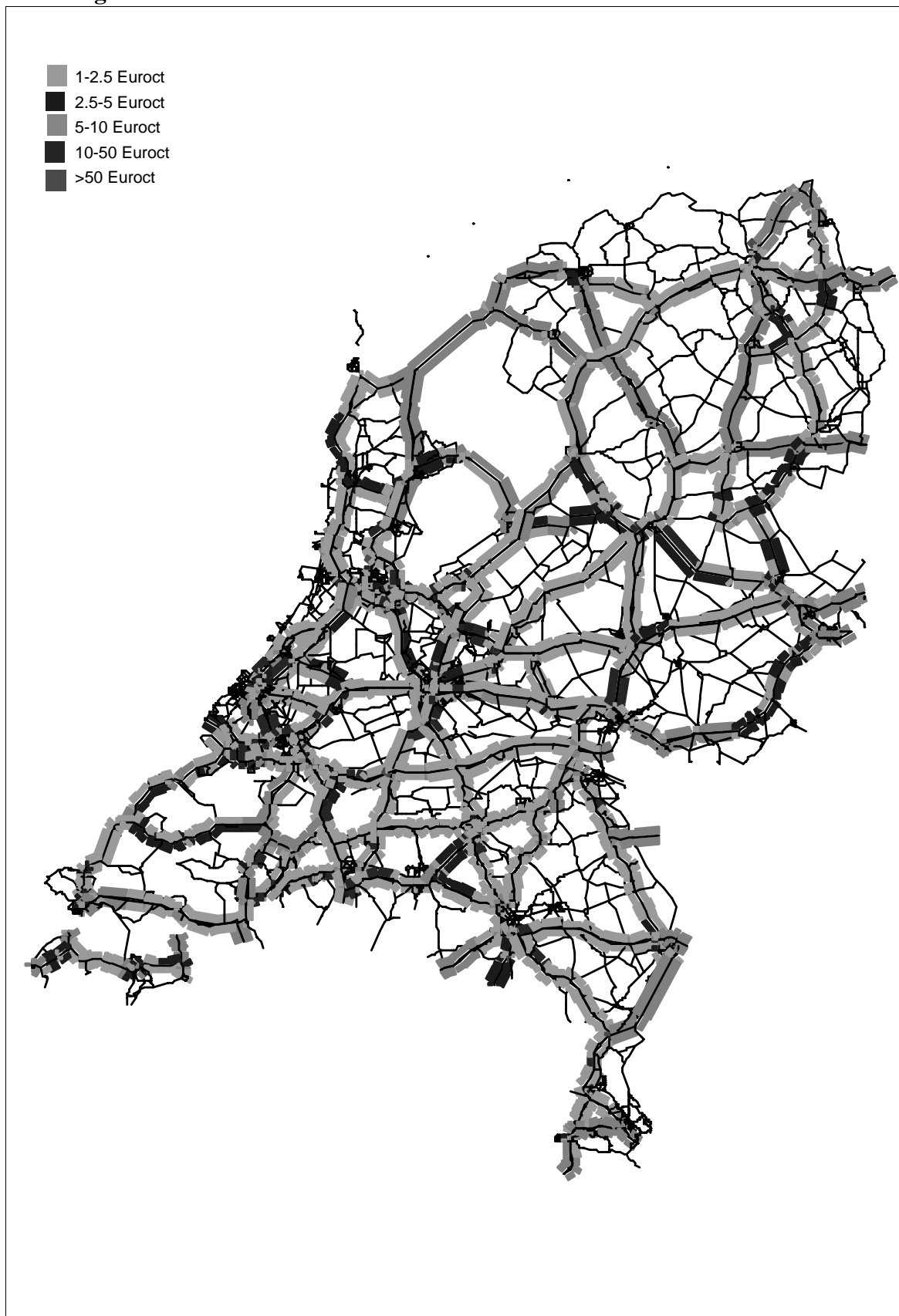
Gemiddelde congestieheffing¹ per gereden kilometer in Eurocenten 2001

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	3.49	4.25	3.80
Avondspits	5.05	5.13	5.08
Restdag	2.29	2.46	2.36
Gemiddelde werkdag	3.15	3.49	3.29

De hoogte van deze gemiddelde heffingen zijn niet ongewoon. De variatie is echter enorm, de maximale heffing per kilometer is in de ochtend- en avondspits zelfs ruim 4 euro. De volgende plots geven voor elk van de drie perioden de spreiding van de heffingen weer.

¹ Het gemiddelde is verkregen door de verkregen opbrengsten te delen door het afgelegde kilometrage

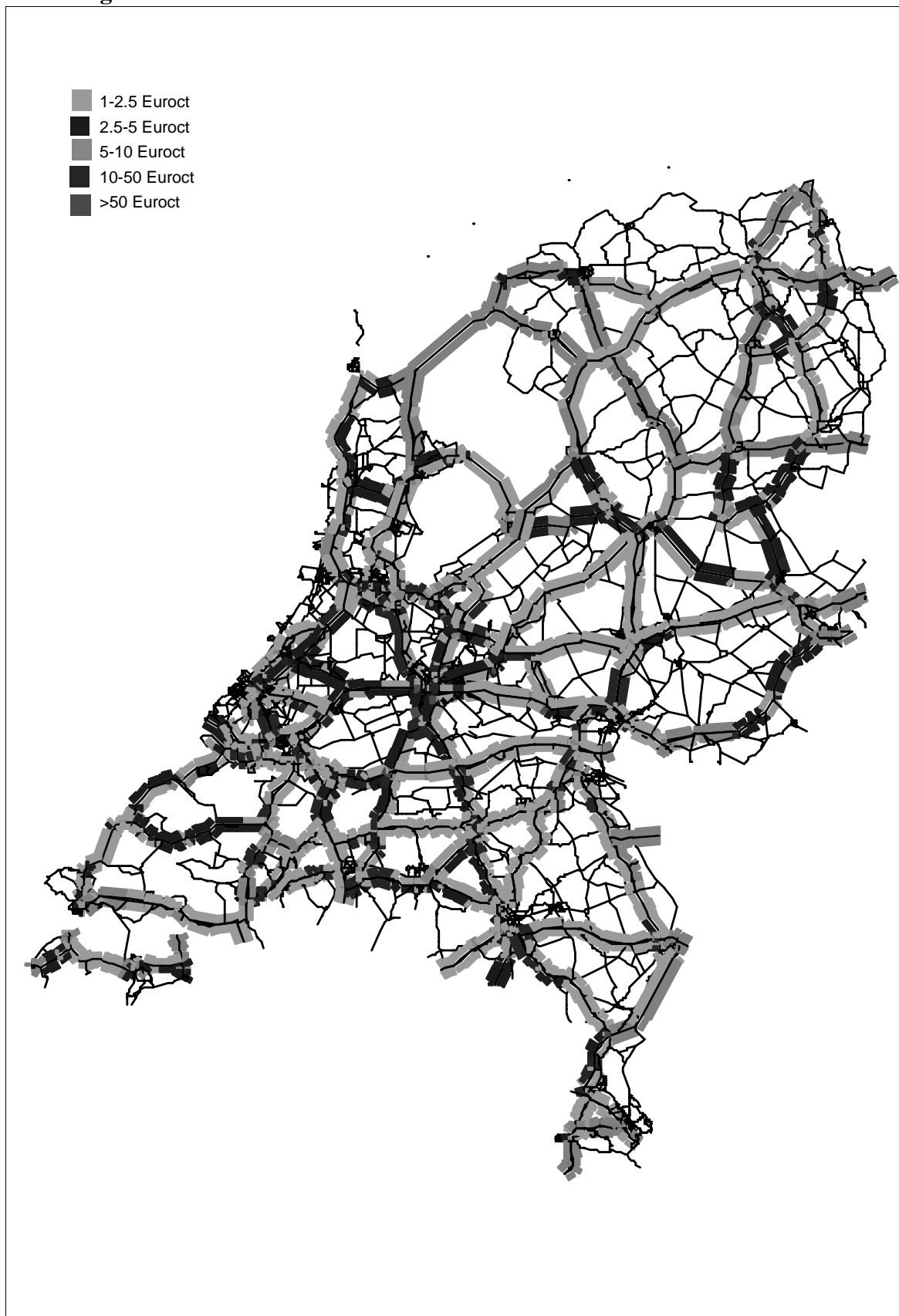
Figuur 6.3: Optimale heffing ochtendspits zonder capaciteitsuitbreiding: hoofdwegennet



Figuur 6.4: Optimale heffing ochtendspits zonder capaciteitsuitbreiding: Randstad



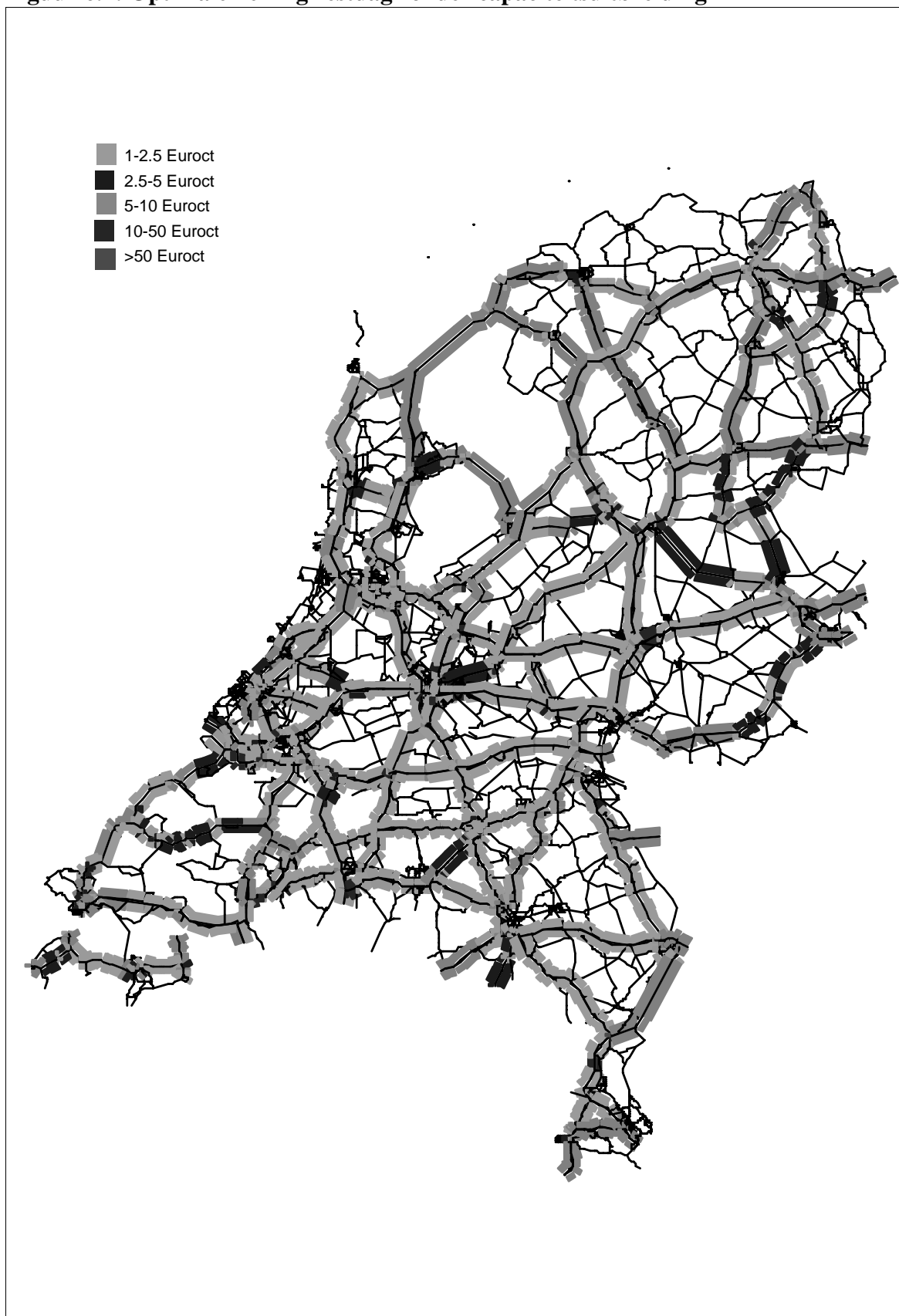
Figuur 6.5: Optimale heffing avondspits zonder capaciteitsuitbreiding: Hoofdwegennet



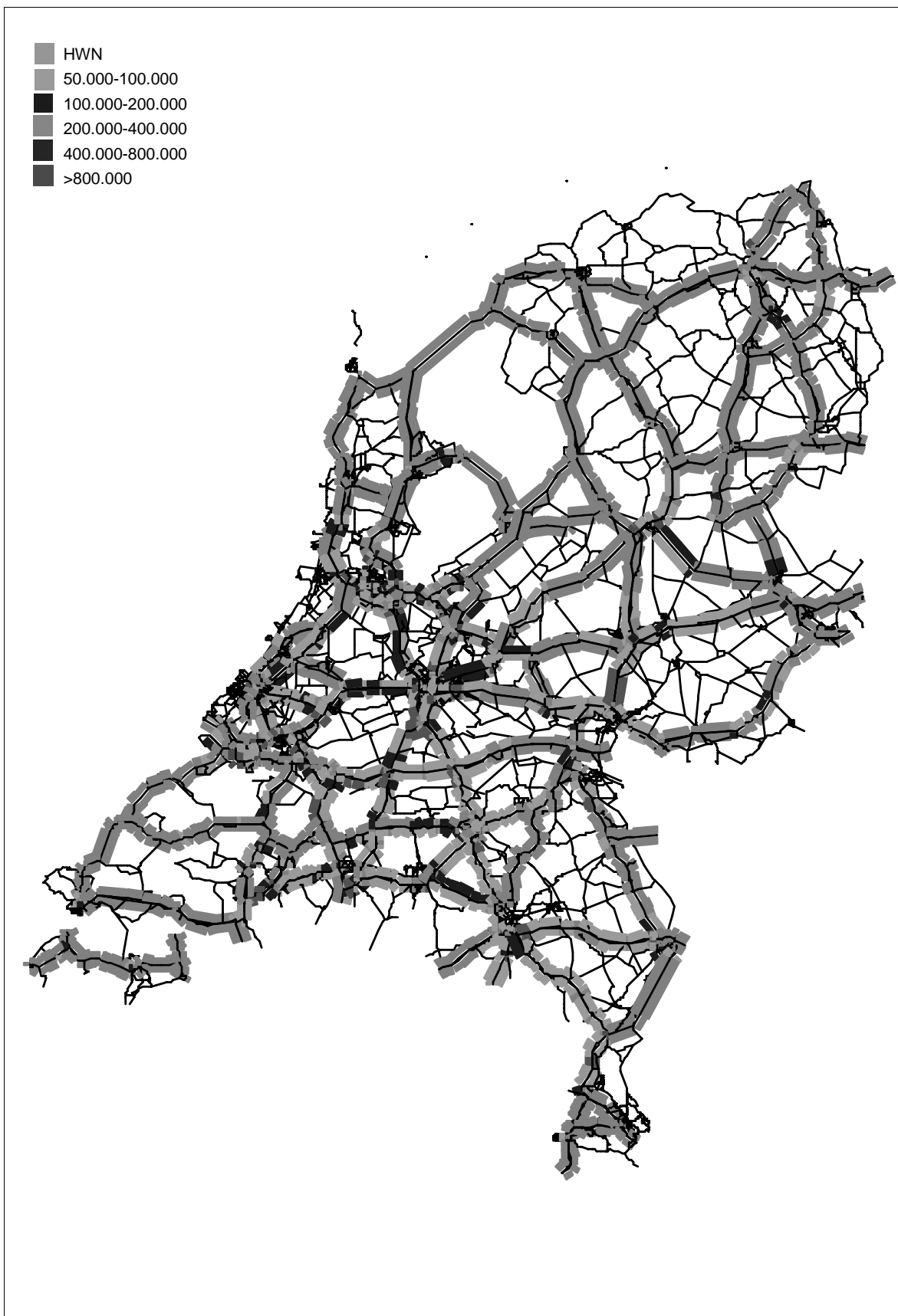
Figuur 6.6: Optimale heffing avondspits zonder capaciteitsuitbreiding Randstad



Figuur 6.7: Optimale heffing restdag zonder capaciteitsuitbreiding



Figuur 6.8: Jaaropbrengst per strookkilometer op het hoofdwegennet (Euro 2001)



7 Resultaten marktscenario (20MGO)

7.1 Inleiding

Het idee achter het profijtbeginsel is dat op basis van een vergelijking van de optimale heffingsopbrengsten in vergelijking met de investeringskosten bepaald kan worden waar bijbouwen verantwoord is. De optimale heffing op de nieuwe infrastructuur moet zodanig zijn dat hiermee de investering kan worden terug verdiend. Uitbreiding heeft echter direct tot gevolg dat de heffing afneemt. Dit moet gecompenseerd worden door een hoger gebruiksniveau. Bij een te grote uitbreiding zal de opbrengst derhalve onvoldoende zijn. In Verhoef (2001) wordt aangegeven hoe bij een geïsoleerd wegvak zonder concurrentie bij een *continue* uitbreiding van de capaciteit de optimale uitbreiding en heffing bepaald kan worden; de opbrengst van de congestieheffing op de nieuwe capaciteit dient voldoende te zijn om die nieuwe capaciteit te financieren. Het wegnen en de totale gedragsreacties zijn echter een complex geheel, waar uitwisseling is tussen vervoerwijzen, bestemmingen, reistijdstippen en routes. De optimale heffing bij gegeven capaciteit is mede afhankelijk van concurrerende routes. Uitbreiding op de ene route, kan uitbreiding op de alternatieve route overbodig maken.

Het vaststellen van een investeringscriterium bleek zeer complex. Immers door alle mogelijke gedragsreacties is het niet mogelijk om de toenemende vraag goed in te schatten. Uitbreiding van één wegvak is onvoldoende als de toenemende vraag door andere wegvakken beperkt wordt. Aan de andere kant kan uitbreiding op de ene plaats uitbreiding op een andere plek rendabel of onrendabel maken. Het feit dat uitbreidingen discontinue zijn, dat wil zeggen met hele rijstroken, maakt een goede bepaling nog lastiger. Binnen dit project is een poging gedaan om tot een uitbreiding van het wegnen te komen, die een situatie creëert die dicht bij de optimale situatie ligt.

Gedurende de uitwerking van het project zijn ideeën ontwikkeld met betrekking tot het simultaan bepalen van de optimale capaciteit met de optimale heffing. Mogelijkerwijs kan de optimale capaciteit, net als de optimale heffing, rechtstreeks bepaald worden door, kort gezegd, de marginale capaciteitskosten in de kostenfunctie op te nemen. Dit biedt mogelijk aanknopingspunten om het systeem verder te ontwikkelen voor het beter bepalen van een maatschappelijk optimaal systeem. Gezien de complexiteit van de keuze van de uitbreidingslocaties zou dit een beter resultaat opleveren. Echter budgettaire en tijdsrestricties stonden deze verfijning niet toe. Er is daarom op basis van een schatting wat de optimale capaciteit zou kunnen zijn een modelrun uitgevoerd. De schatting wat de optimale capaciteit zou kunnen zijn is verkregen door diverse criteria voor aanleg uit te testen.

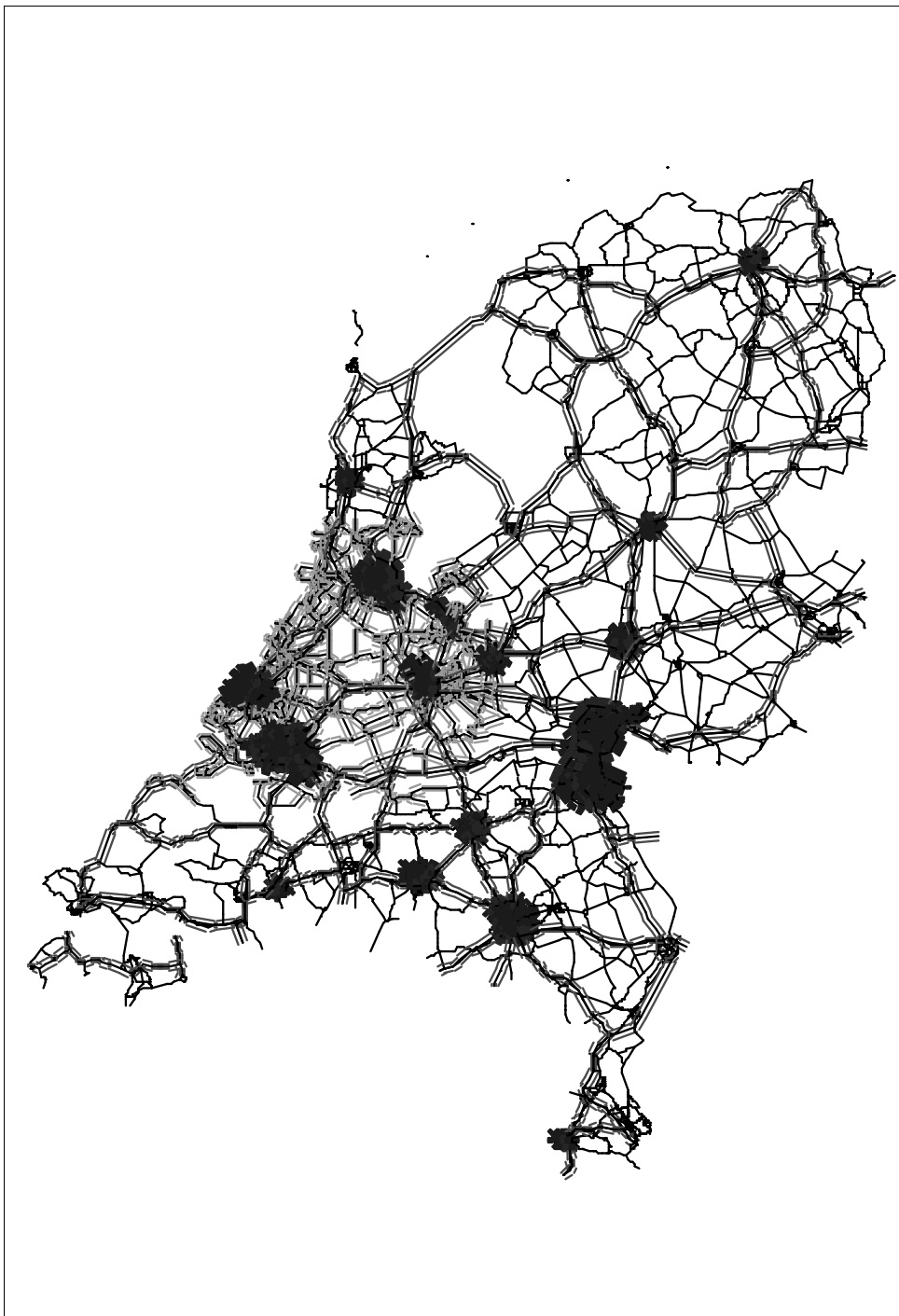
7.2 Besliscriteria voor aanleg

Het besliscriterium voor aanleg wordt bepaald door de investeringskosten en door de opbrengsten vóór aanleg. De investeringskosten zijn in principe per locatie verschillend, afhankelijk van onder andere de ondergrond en het aantal noodzakelijke kunstwerken. Ook de beschikbare ruimte speelt hierin een belangrijke rol. Voor dit onderzoek is ervan uitgegaan dat bestaande infrastructuur uitgebreid wordt. Er worden dus geen nieuwe wegen aangelegd. Voor de aanlegkosten is onderscheid gemaakt voor bouwen in of buiten de Randstad en er is een opslag voor bouwen in stedelijke omgevingen. Op basis van de beschikbare recente aanleg kosten en informatie uit het MIT zijn door CE de volgende tarieven afgeleid. Daarbij is uitgegaan van een afschrijving over 30 jaar en maatschappelijke reeël discontovoet van 4%

Investeringskosten per jaar per strookkilometer in miljoen Euro (2001)

Basis prijs per kilometer	0.191
Opslag voor Randstad	0.177
Opslag voor stedelijke omgeving	0.250

De volgende plot geeft aan welke wegen tot de Randstad worden gerekend en welke tot de stedelijke omgevingen.

Figuur 7.1: Definitie Randstad (groen) en stedelijke gebieden (blauw):

Voor de bepaling voor investering worden deze kosten afgezet tegen de opbrengst per kilometer op jaarbasis. Het modelsysteem bepaald heffingen per dagdeel voor een gemiddelde werkdag. De restdag periode betreft de hele periode buiten de spitsen. Gemodelleerd wordt een representatief restdag uur. Voor de congestie wordt daarbij uitgegaan van 6 uren. Ook de opbrengst wordt op basis hiervan opgehoogd. De spitsperiodes betreffen 2 uur. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat er 252 gemiddelde

werkdagen in een jaar zijn. Uit congestie cijfers¹ is gebleken dat ongeveer 1% van de congestie (voertuigverliesuren) op feestdagen of in het weekend valt. Totaal wordt de opbrengst van een gemiddelde werkdag derhalve met een factor 255 opgehoogd tot een jaartotaal. De kaart op de volgende pagina laat zien hoe de opbrengsten zich verhouden tot de investeringskosten.

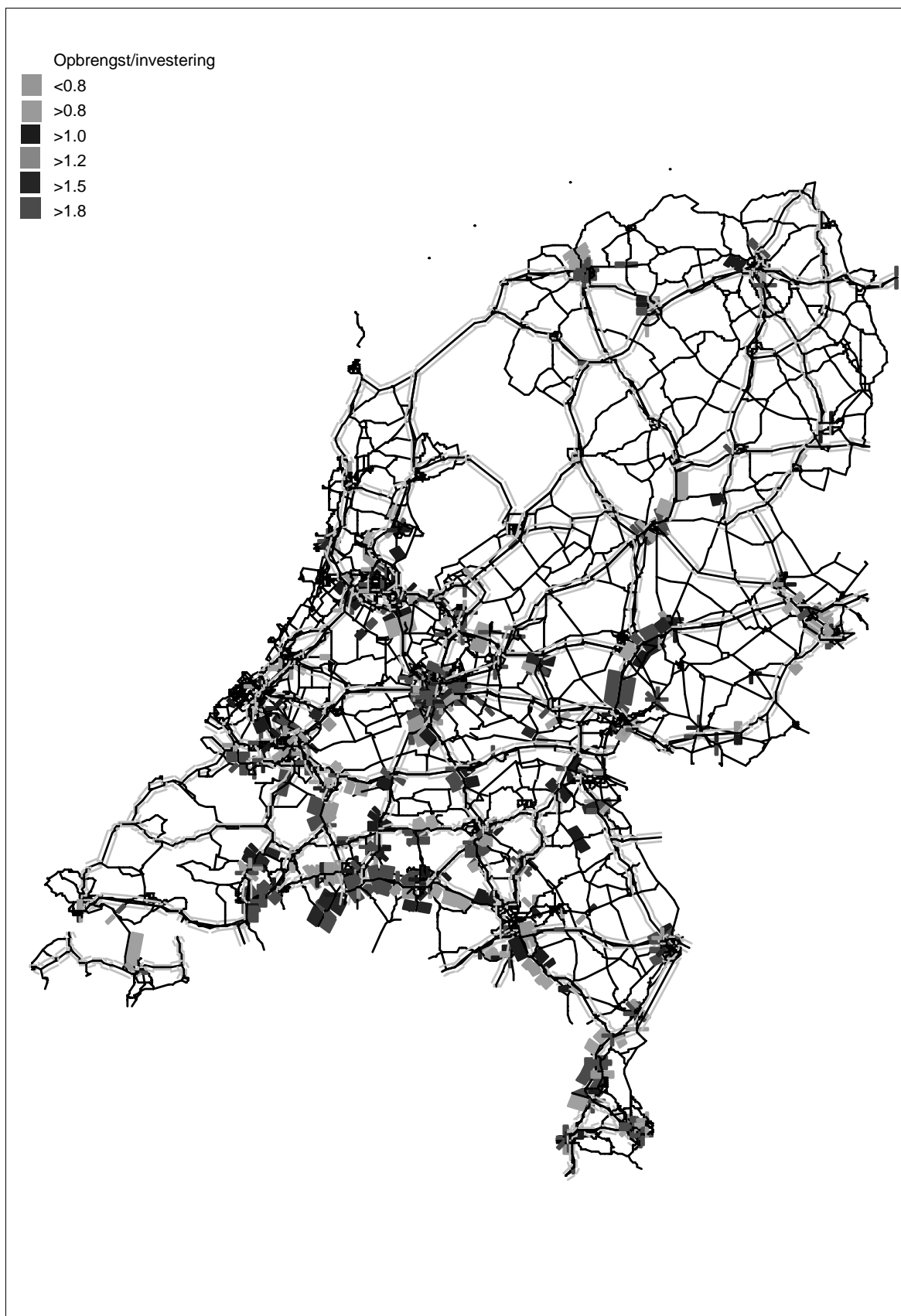
Wanneer de opbrengst hoger is dan de investeringskosten, komt een wegvak in aanmerking voor uitbreiding. Hoeveel die uitbreiding moet zijn is zoals gezegd eerder aangegeven zeer moeilijk te bepalen. Door een vergelijking te maken tussen de uitkomsten van de run met en de run zonder marginale kosten is een inschatting gemaakt van de toegenomen vraag bij uitbreiding. Verder is gekeken hoe de vraag verandert wanneer de etmaal vraag constant gehouden wordt. Het bleek dat met meer dan 2 stroken uitbreiden op basis van een enkele model run niet te rechtvaardigen valt. Uiteindelijk heeft CE besloten tot het volgende besliscriterium:

Wegvak stroken	Opbrengst*/kosten	uitbreiding # stroken
2x1	>1.8	1
2x2	>1.4	1
	>2.2	2
2x3	>1.3	1
	>1.8	2
2x4	>1.2	1
	>1.6	2
2x5	>1.1	1
	>1.5	2

* opbrengst voor de uitbreiding

¹ Files op het Nederlandse hoofdwegenet in 1997, AVV/NEA, 1999

Figuur 7.2 Verhouding opbrengsten en investeringskosten



7.3 Bouwprogramma

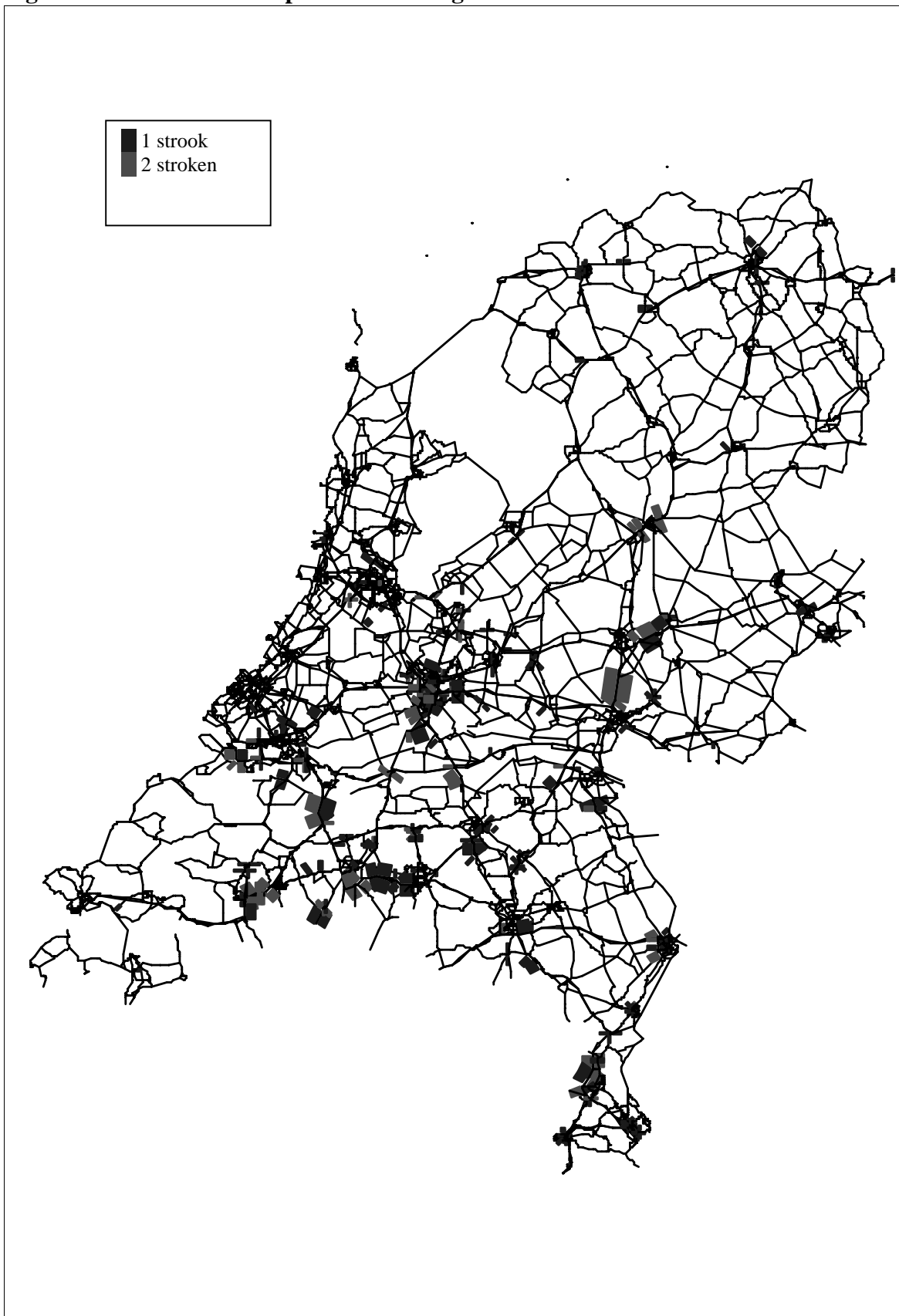
De lokaties waar op basis van dit besliscriterium uitgebreid wordt, zijn bepaald op basis van de modelrun met marginale kosten. Deze lokaties zijn aangevuld met een aantal lokaties op het hoofdwegennet die bepaald zijn op basis van de gevolgen van uitbreidingen bij constante etmaal vraag. Deze modelrun is het resultaat van een test, waarbij de besliscriteria enigszins afwijken van de hierboven beschreven criteria. Het voordeel van het meenemen van deze uitbreidingslocaties is dat ook uitgebreid wordt aansluitend aan de wegvakken die in de eerste slag uitgebreid worden. Voor drie wegvakken bleek de uitbreiding onvoldoende en zijn er meer dan 2 stroken toegevoegd.

De volgende tabel geeft een overzicht van de uitbreidingen van het wegennet. Het betreft de lengte van trajecten waar uitgebreid wordt en strookkilometers.

Type	basis lengte	basis strook	extra lengte	extra strook	totaal lengte	totaal strook
HWN	209	313	75	104	284	417
Overig wegennet	181	199	0	0	181	199
Totaal	392	512	75	104	465	616

In totaal wordt er dus 616 strookkilometer bijgebouwd over een lengte van 465 kilometer. Op de kaart op de volgende bladzijde zijn de extra bouwtrajecten aangegeven. Ter vergelijking: de realisatie- en planfase van het MIT 2002 betreft in totaal ongeveer 1100 extra strookkilometers op het hoofdwegennet tussen 2002 en 2010 (deze zijn in de referentie opgenomen), en in de NVVP mixrun wordt ongeveer 1300 kilometer extra gebouwd tot 2020.

Figuur 7.3: Bouwlocaties op basis van marginale kosten run



7.4 Resultaten vervoerwijze- en bestemmingskeuze

In de volgende tabellen worden de resultaten van op het niveau van de vervoerswijze- bestemmingskeuze gepresenteerd. Het betreft het totaal kilometrage voor heel Nederland en uitgesplitst naar de Randstad en de rest van Nederland. De indices zijn weer ten opzichte van de run zonder optimale heffing en zonder uitbreiding.

Kilometrage 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding voor Nederland (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	121173	20342	33018	13271	16340	204143
Index	87	107	103.1	103.7	104	93.3
R.Werk HB	28309	1564	1974	624	277	32748
Index	109.3	96.8	94.7	96.3	96.9	107.3
Werk N-HB	31388	3826	692	390	591	36887
Index	101.7	102.1	100.1	100.2	100.1	101.7
Opleiding	5691	1776	11527	7581	7164	33739
Index	92.6	103	100.9	100.9	100.3	99.4
Winkelen	29624	13395	2491	2887	16669	65065
Index	94.5	100.9	100.2	100.2	100.3	97.7
Overig	74223	41823	13416	6831	26509	162802
Index	91.9	101	100.1	100.2	100.2	96.5
Basis	0	1091	18	307	7418	8834
Index	0	98.1	100.1	100.1	100.1	99.8
Kinder	0	15846	890	372	8413	25521
Index	0	94.3	100.8	101.1	101.1	96.8
Totaal	290408	99663	64027	32263	83380	569741
Index	92.4	101	101.6	101.7	101	96.5

De totale groei van het autoverkeer ten opzichte van de run met optimale heffing, maar zonder uitbreiding van de infrastructuur is 3%. De groei is het grootste voor woon-werkverkeer. De totale vervoersprestatie neemt toe met ruim 1%. Voor de Randstad zijn de veranderingen groter dan buiten de Randstad.

Kilometrage 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding voor Randstad (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	39784	7996	17296	7081	7842	79998
Index	78.2	110	104	105	105.7	89.9
R.Werk HB	10813	588	820	293	127	12641
Index	112.9	96	94.1	95.7	96.4	110
Werk N-HB	13507	1752	330	207	272	16069
Index	102.4	102.6	100.2	100.3	100.3	102.3
Opleiding	1805	627	5085	3016	2705	13237
Index	87.5	104.4	101.1	101.2	100.4	99.1
Winkelen	10751	5600	1031	1250	6059	24691
Index	92.1	101.3	100.2	100.3	100.5	96.8
Overig	28535	15911	4723	2925	9577	61672
Index	89.1	101.2	100.2	100.2	100.4	95
Basis	0	330	7	125	2507	2970
Index	0	96.6	100.1	100.1	100.1	99.7
Kinder	0	6569	378	173	3066	10186
Index	0	93.3	101	101.4	101.6	96.1
Totaal	105195	39374	29670	15071	32155	221465
Index	88.1	101.4	102.4	102.5	101.7	94.8

Kilometrage 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding voor buiten de Randstad (in 1000-tallen), indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Vervoerwijze	Autorijder	Passagier	Trein	Overig OV	Langzaam	Totaal
Woon-Werk	81389	12346	15722	6191	8498	124145
Index	92	105.2	102.2	102.2	102.6	95.6
R.Werk HB	17496	975	1154	331	150	20107
Index	107.2	97.4	95.2	96.9	97.3	105.6
Werk N-HB	17881	2074	363	183	318	20819
Index	101.2	101.7	100	100.1	100	101.2
Opleiding	3887	1150	6442	4565	4459	20502
Index	95.1	102.4	100.8	100.7	100.2	99.6
Winkelen	18873	7795	1460	1637	10610	40374
Index	96	100.7	100.1	100.1	100.2	98.3
Overig	45687	25912	8693	3906	16932	101130
Index	93.8	100.9	100.1	100.1	100.2	97.3
Basis	0	761	11	182	4911	5864
Index	0	98.7	100.1	100.1	100	99.9
Kinder	0	9277	512	199	5347	15335
Index	0	95	100.7	100.9	100.8	97.2
Totaal	185213	60290	34357	17193	51225	348277
Index	95	100.7	101	100.9	100.6	97.6

7.5 Toedelingsuitkomsten

In de onderstaande tabellen zijn de resultaten van de toedelingen samengevat. De resultaten zijn ook hier afgezet ten opzichte van het scenario zonder optimale heffing, zodat de indices vergeleken kunnen worden met de resultaten in paragraaf 6.2 zonder capaciteitsuitbreiding. De uitkomsten zijn opgesplitst naar Randstad en de rest van Nederland en er wordt onderscheid gemaakt naar het hoofdwegennet en het overig gemodelleerde autonetwerk. Verder worden de resultaten per dagdeel gepresenteerd en er wordt een totaal etmaal beeld gegeven. Achtereenvolgens worden de volgende variabelen gegeven:

- kilometrage op het gemodelleerde netwerk;
- totale reistijd;
- gemiddelde snelheid;
- congestie-uren;

Alle variabelen betreffen Pae, waarbij vracht met een factor 1.9 is opgehoogd. De congestie-uren zijn hier gedefinieerd als de extra verliestijd die gemodelleerd wordt in het tweede deel van de speedflow curve, dus bij een V/C-ratio boven de 0.75.

Kilometrages (x1000) 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	5768	12993	18761	6717	15203	21920	25355	67963	93318	37841	96159	134000
Index	90.6	100.5	97.2	96.6	101.2	99.8	96.6	100.7	99.6	95.6	100.8	99.3
HWN	11866	17867	29733	12536	19279	31815	59753	94351	154104	84155	131497	215652
Index	84.8	94.2	90.2	86.7	94.5	91.3	89.9	95.1	93	88.6	94.9	92.3
Totale Net	17635	30860	48494	19253	34482	53735	85108	162315	247423	121996	227656	349652
Index	86.6	96.8	92.8	89.9	97.4	94.6	91.8	97.4	95.4	90.7	97.3	94.9

Reistijd (uren) 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	119253	244013	363266	142595	287809	430404	498437	1252211	1750648	760285	1784034	2544318
Index	75.7	93	86.5	80.7	93.4	88.8	91.7	98.6	96.5	86.6	96.9	93.6
HWN	129886	192070	321956	138729	209324	348053	622163	994719	1616882	890779	1396113	2286892
Index	66.4	86.4	77	67.4	85.4	77.1	85.5	92	89.4	78.9	90.1	85.4
Totale Net	249139	436083	685222	281324	497132	778457	1120600	2246931	3367531	1651063	3180147	4831210
Index	70.6	90	81.8	73.5	89.9	83.2	88.2	95.5	93	82.3	93.8	89.5

Snelheid (km/u) 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	48	53	52	47	53	51	51	54	53	50	54	53
Index	119.6	108	112.4	119.7	108.3	112.4	105.3	102.2	103.1	110.4	104	106
HWN	91	93	92	90	92	91	96	95	95	94	94	94
Index	127.6	109.1	117.1	128.7	110.7	118.3	105.1	103.3	104	112.4	105.3	108.1
Totale Net	71	71	71	68	69	69	76	72	73	74	72	72
Index	122.7	107.5	113.5	122.3	108.4	113.7	104.1	101.9	102.6	110.2	103.7	106

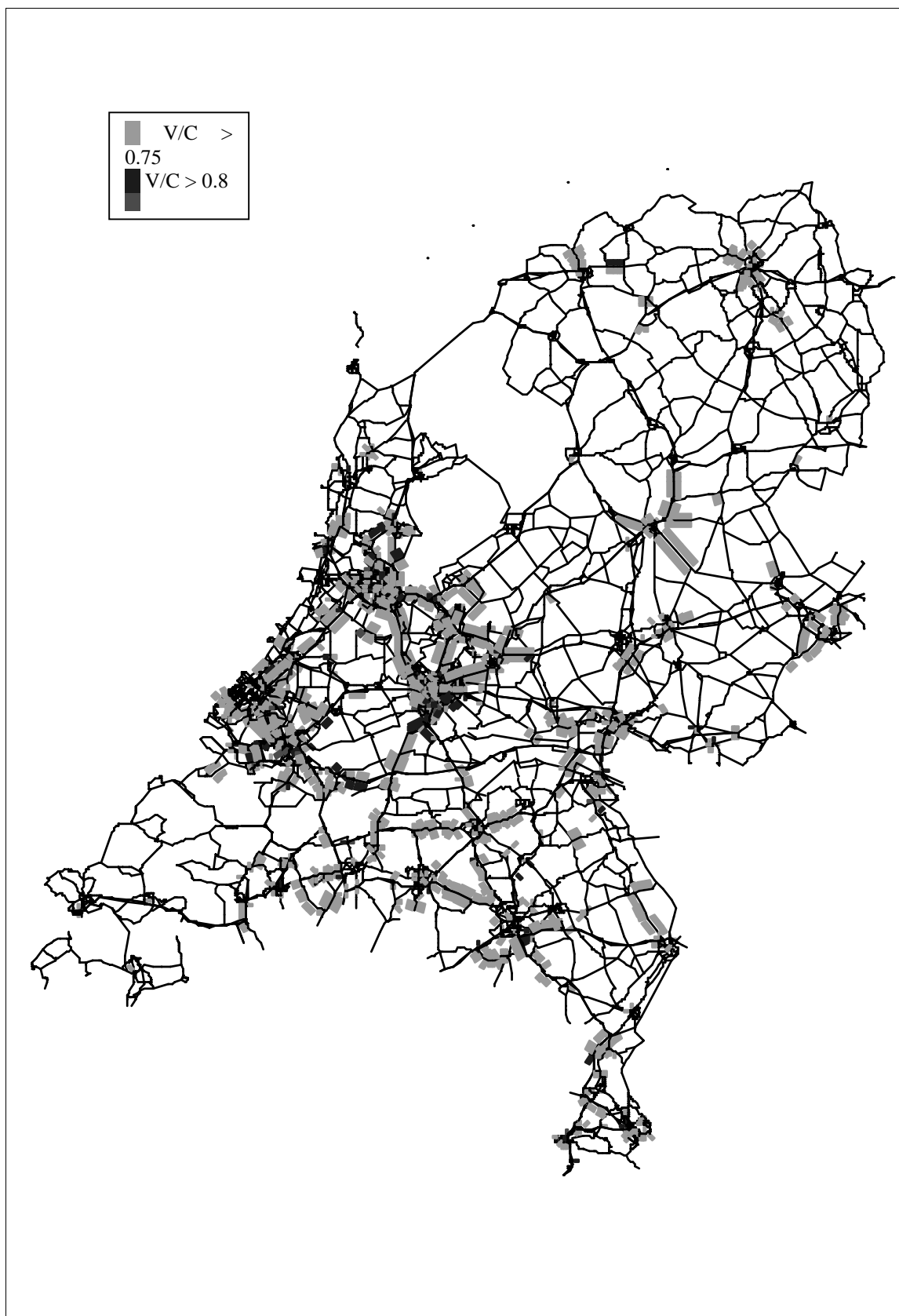
Congestie-uren (voertuiguren) 2020 met marginale kosten en capaciteitsuitbreiding, indices ten opzichte van 2020 zonder optimale heffing

Lokatie	Ochtendspits			Avondspits			Restdag			Etmaal		
	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland	Randstad	rest NL	Nederland
Overig Net	725	373	1099	907	272	1179	105	50	155	1738	695	2433
Index	2.5	2.1	2.4	2.6	1.2	2.1	0.7	0.6	0.6	2.2	1.4	1.9
HWN	390	41	431	880	189	1070	71	24	95	1342	254	1596
Index	1	0.3	0.8	1.9	0.9	1.6	0.3	0.1	0.2	1.2	0.5	1
Totale Net	1116	414	1530	1788	461	2249	177	74	250	3080	949	4029
Index	1.6	1.3	1.5	2.2	1.1	1.8	0.4	0.3	0.4	1.6	0.9	1.4

Uitbreiding van de infrastructuur geeft een toename van het kilometrage. Deze toename is in de spitsen groter dan daarbuiten wat duidt op een verschuiving van de periode keuze. Er is een kleine toename van de gemiddelde snelheid, en de congestie-uren nemen nog verder af dan bij de scenario met alleen de optimale heffing.

De plot op de volgende pagina geeft de maximale V/C-ratio aan gedurende een etmaal.

Figuur 7.4: Maximale V/C-ratio gedurende een etmaal na bouwen



7.6 Opbrengsten en evaluatie gekozen bouwprogramma

In deze paragraaf wordt ingegaan op de opbrengsten en er wordt een analyse gegeven van de situatie op de bouwlocaties.

Opbrengsten optimale heffing na capaciteitsuitbreiding (in Euro 2001)

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	906,789	713,652	1,620,441
Avondspits	1,481,766	942,479	2,424,245
Restdag	1,533,732	1,087,910	2,621,641
Gemiddelde werkdag	3,922,287	2,744,040	6,666,327
Jaartotaal	1,000,183,225	699,730,190	1,699,913,415

Gemiddelde opbrengst per strookkilometer in Euro 2001

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	66	10	18
Avondspits	107	13	28
Restdag	111	15	30
Gemiddelde werkdag	284	37	76
Jaartotaal	72,541	9,441	19,339

Gemiddelde heffing per gereden kilometer in Eurocenten 2001

	HWN	Overig net	Totaal
Ochtendspits	3.05	3.67	3.29
Avondspits	4.66	4.15	4.45
Restdag	1.90	2.17	2.00
Gemiddelde werkdag	2.76	2.98	2.84

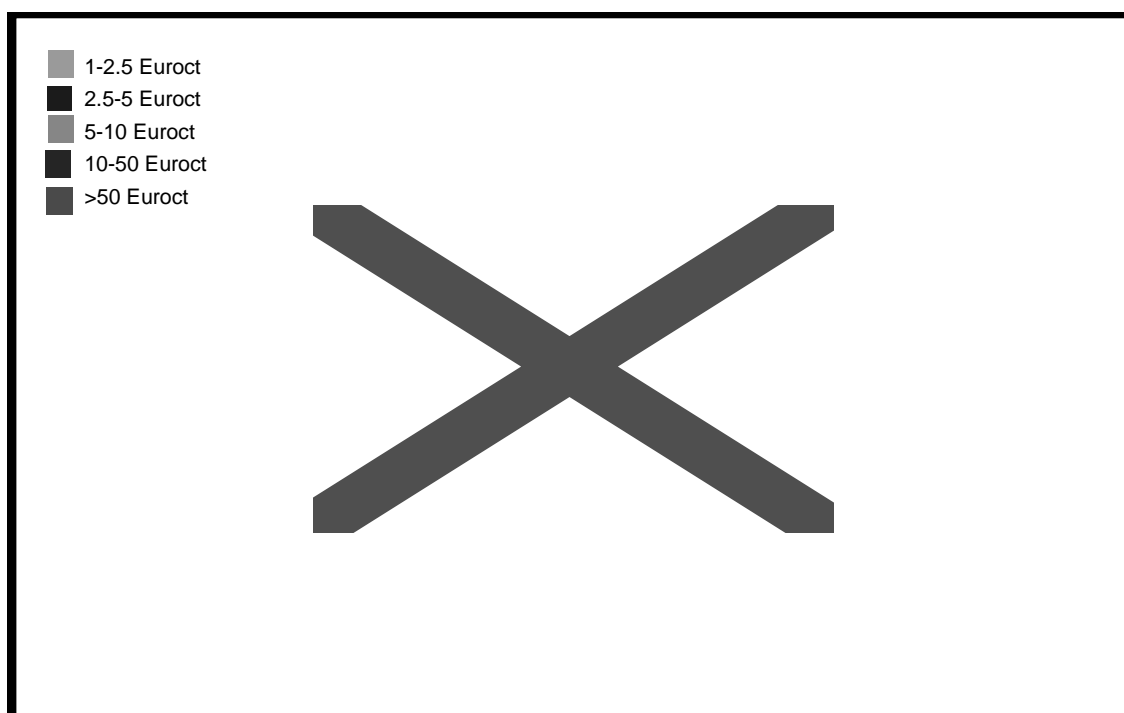
De verschillen met de opbrengsten uit het scenario zonder capaciteitsuitbreiding zijn relatief klein. Op de plaatsen waar de capaciteit uitgebreid is daalt de opbrengst, op andere plaatsen stijgt hij doordat dat nu de bottleneck is geworden. Analyse van de opbrengsten op de bouwlocaties leert dat deze opbrengsten onvoldoende zullen zijn om deze uitbreidingen te financieren. Kennelijk zijn de uitbreidingen te groot, of zijn er elders resterende knelpunten die de optimale benutting van de extra capaciteit in de weg zit. Door de concurrentie met betrekking tot de routekeuze, gebeurt het dat ondanks een uitbreiding van de infrastructuur de intensiteit afneemt.

De plots op de volgende pagina geven de optimale heffingen na bouwen in de Randstad.

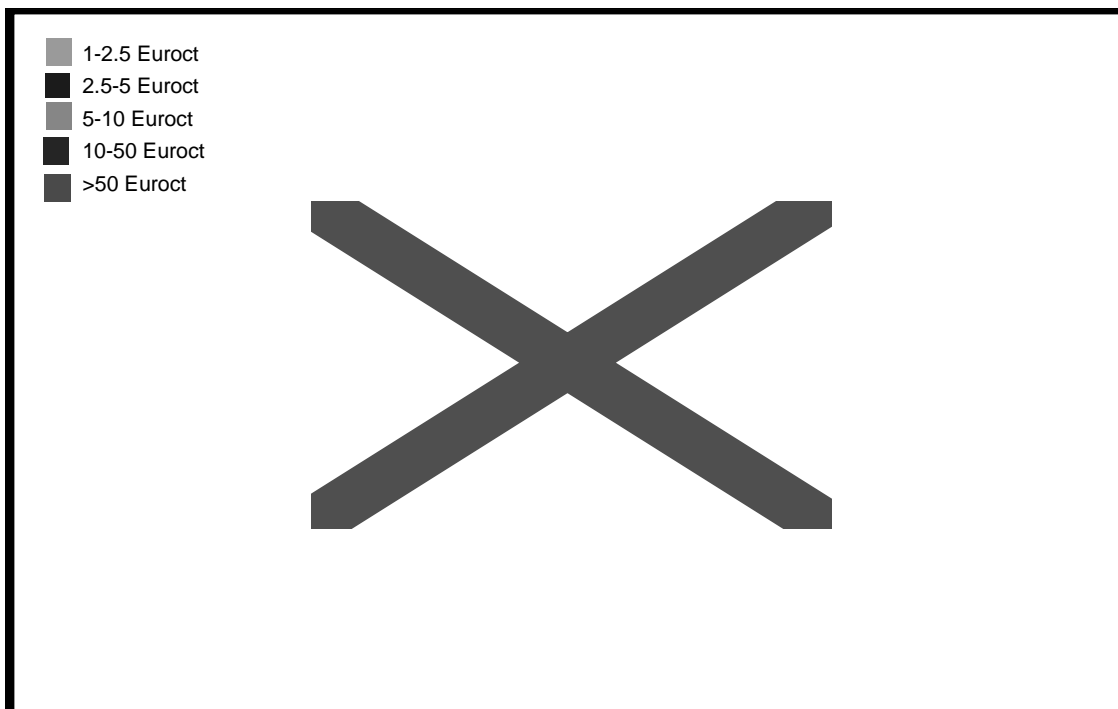
Figuur 7.5: Optimale heffing ochtendspits na capaciteitsuitbreiding: Randstad



Figuur 7.6: Optimale heffing avondspits na capaciteitsuitbreiding: Randstad

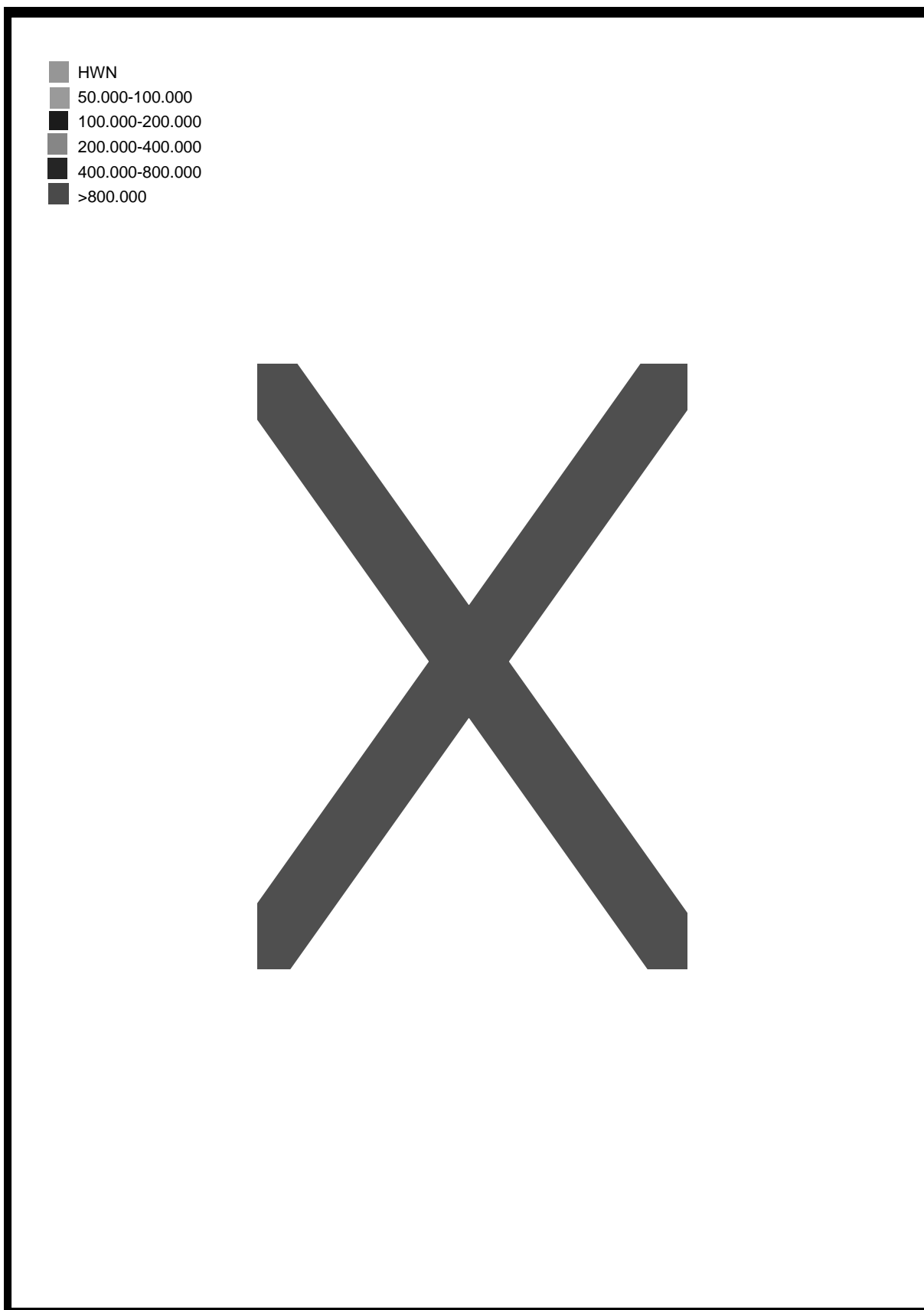


Figuur 7.7: Optimale heffing restdag na capaciteitsuitbreiding: Randstad



De volgende plot geeft een overzicht van de jaaropbrengsten op het hoofdwegennet die na bouwen gerealiseerd worden.

Figuur 7.8: Jaaropbrengst per strookkilometer op het hoofdwegennet (Euro 2001), na bouwen

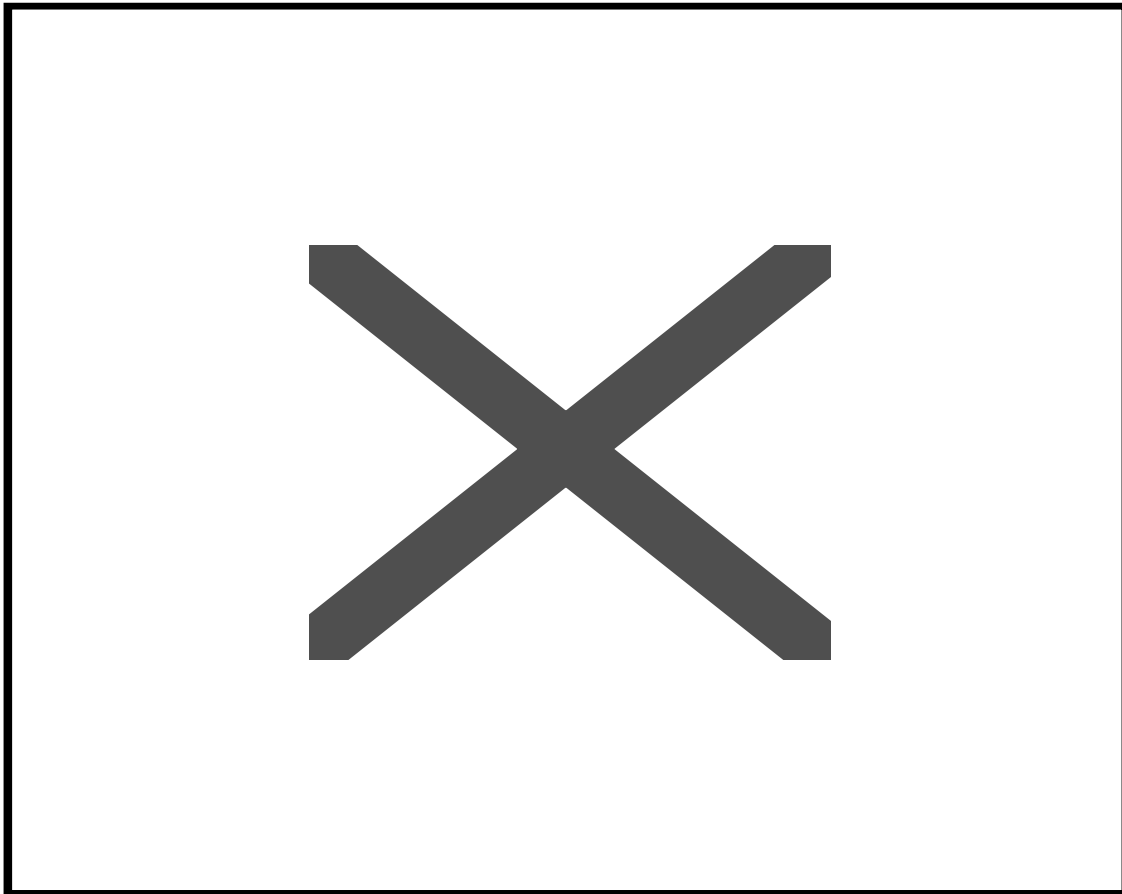


Analyse van de nieuw ontstane knelpunten levert een aantal lokaties op waar op basis van de gehanteerde criteria uit paragraaf 7.2 gebouwd moet worden. Dit betreft ongeveer 172 wegkilometer (201 strookkilometer), waarvan 104 (129) wegkilometers op het hoofdwegennet. Dit duidt erop dat de capaciteitsuitbreiding niet optimaal is.

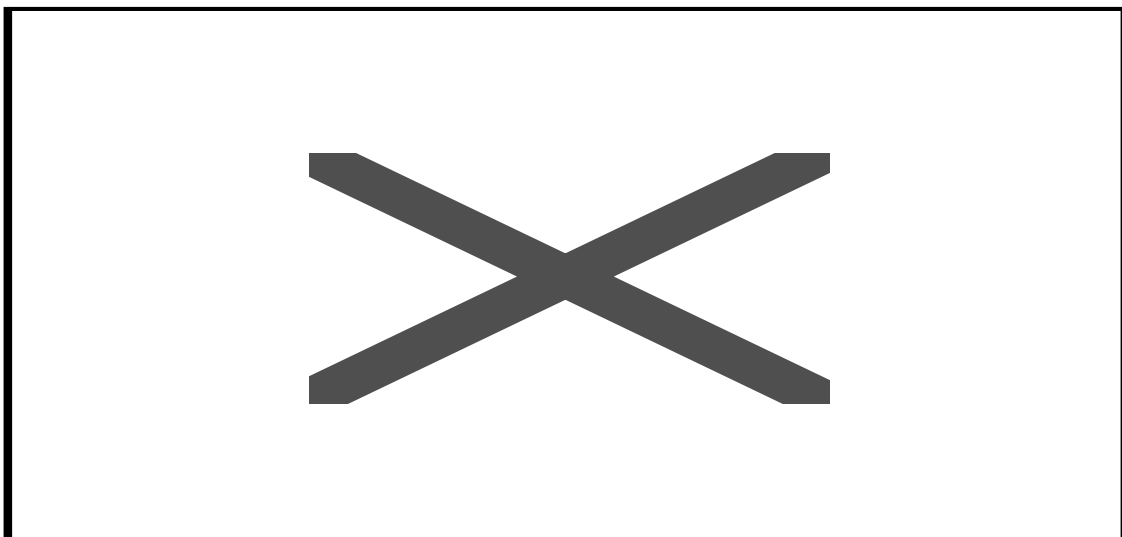
Op 668 wegkilometer (1209 strookkm) waarvan 227 (478) op het HWN, komt de opbrengsten/kostenfactor na het bouwprogramma nog boven de 1 uit. Ter vergelijking: na het extra bouwen is in 2020 het totale HWN 6847 (13788) kilometer en het OWN, voor zover in het modelnetwerk opgenomen, 21488 (24736) kilometer. Dus op 3.3% (3.5%) van het HWN en op 2%(3%) van het OWN komen de opbrengsten van de congestieheffing nog uit boven de kapitaalkosten van uitbreiding.

Hierbij moet worden opgemerkt dat ook in een perfecte optimale run voor een (flink) aantal wegvakken de ratio opbrengsten / kapitaalkosten groter dan 1 is. Immers, in een optimale situatie met *continue* capaciteit zijn de opbrengsten *precies gelijk* aan de kosten; in een optimale situatie met *discontinue* capaciteit zullen op alle wegvakken de opbrengsten *zo dicht mogelijk* bij de kosten liggen: soms erboven en soms eronder. Op ca. 96% van de wegvakken op het HWN zijn de opbrengsten lager zijn dan de kapitaalkosten van uitbreiding. Voor het OWN is dit 98%

De volgende figuren is een vergelijking gemaakt tussen de opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen. Op de X-as staan wegvakken waarbij deze factor voor of na bouwen boven de één komt, geklassificeerd naar het aantal basisrijstroken en aantal bijgebouwde rijstroken en binnen een klasse gesorteerd naar de hoogte van de opbrengst/kostenfactor. Geen stroken erbij (+0) houdt in dat de opbrengstkostenfactor boven de 1 ligt, maar dat niet aan het besliscriterium voldaan is.

Figuur 7.9: Opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen.

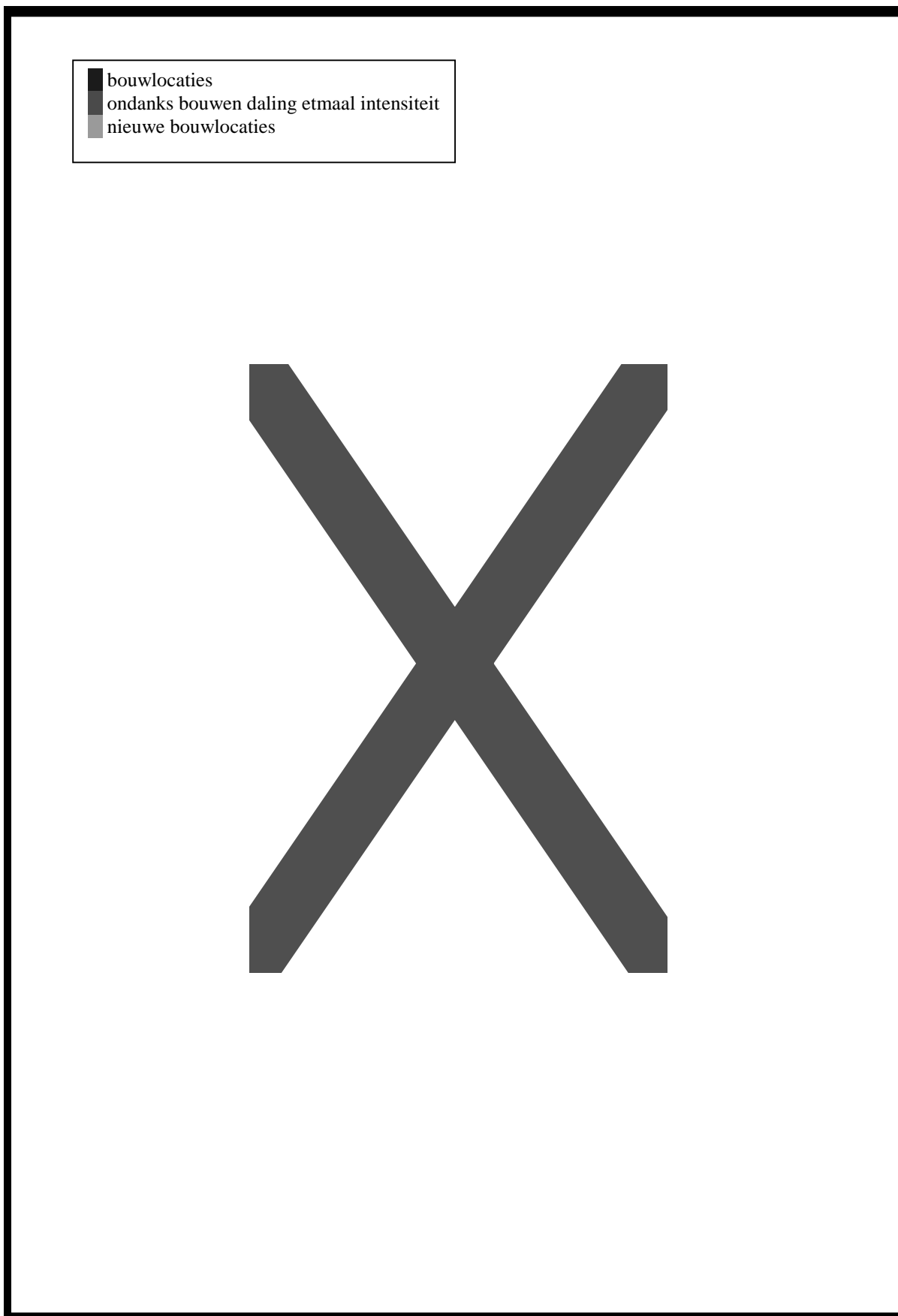
Uit Figuur 7.9 blijkt dat de opbrengst/kostenfactor erg gevoelig is voor de totale netwerk situatie. Het komt voor dat de opbrengst/kostenfactor nadat er gebouwd is op andere plaatsen fors stijgt, maar ook omgekeerd kan een daling optreden. Op de lokaties waar gebouwd wordt varieert de afname sterk. In de volgende figuur wordt ingezoomd op de hoofdwegennet waar uitgebreid is.

Figuur 7.10: Opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen, hoofdwegennet.

Op basis van de figuren 7.9 en 7. 10 is niet te beoordelen of de besliscriteria juist zijn geweest. Hiervoor is meer onderzoek nodig. Wel is duidelijk dat het niet mogelijk is om in één slag de uitbreidingslocaties optimaal te bepalen.

Op de volgende pagina wordt een overzicht gegeven van de wegvakken waar gebouwd wordt, waar ondanks dat er gebouwd wordt het verkeersvolume afneemt en wegvakken waar op basis van de criteria ook nog gebouwd zou moeten worden.

Figuur 7.11: Gebouwd met intensiteitstoename, gebouwd maar afname en nieuwe bouwlocaties.



Bij een nadere analyse van de wegvakken waar gebouwd is, moet onderscheid gemaakt worden naar wegvakken waar de intensiteit toeneemt en daar waar die afneemt. Als de intensiteit afneemt mag ervan uitgegaan worden dat de uitbreiding overbodig is.

De volgende tabel geeft een overzicht van de wegvakken waar gebouwd wordt en de etmaal intensiteit toeneemt.

Bouw criterium op wegvakken met uitbreiding voor en na bouwen, en de gemiddelde groei in de etmaal intensiteit.

	uitbreiding #stroken	Opbrengst/kosten voor bouwen			Opbrengst/kosten na bouwen			groei etmaal stroom
		gemiddelde	minimum	maximum	gemiddelde	minimum	maximum	
OWN	1	4.61	1.39	47.88	0.34	0.04	1.74	1.28
	2	4.62	1.84	23.31	0.33	0.12	0.85	1.15
	Totaal	4.61	1.39	47.88	0.34	0.04	1.74	1.27
HWN	1	3.35	1.31	41.17	0.25	0.03	1.06	1.17
	2	3.79	1.54	11.03	0.14	0.05	0.27	1.21
	3	40.86	7.11	74.61	0.29	0.12	0.46	1.62
	4	11.72	11.72	11.72	0.11	0.11	0.11	1.33
	Totaal	3.95	1.31	74.61	0.20	0.03	1.06	1.19
Totaal		4.39	1.31	74.61	0.29	0.03	1.74	1.24

Bouw criterium op wegvakken zonder uitbreiding, waar volgens de uitkomsten van de run met bouwen en volgens de besliscriteria uit par. 7.2 gebouwd zou moeten worden.

	Opbrengst/kosten voor bouwen			Opbrengst/kosten na bouwen			groei etmaal stroom
	gemiddelde	minimum	maximum	gemiddelde	minimum	maximum	
OWN	0.99	0.12	1.77	3.69	1.33	23.02	1.18
HWN	0.95	0.14	1.39	2.21	1.29	9.24	1.11
Totaal	0.98	0.12	1.77	3.17	1.29	23.02	1.16

Een aantal wegvakken waar in eerste instantie geen uitbreiding plaatsvindt, krijgt in de modelrun met bouwen een hoge opbrengst/kosten. Het betreft een aantal korte aansluitingen rond de wegvakken waar uitbreiding heeft plaatsgevonden.

In de volgende figuren wordt een totale vergelijking gemaakt van de opbrengst/kostenfactor voor en na bouwen, voor het totale gecodeerde wegennet en voor het hoofdwegennet. Op de x-as zijn de wegvakken uitgezet gesorteerd op grootte van de opbrengst/kostenfactor voor bouwen. De verandering buiten het hoofdwegennet is groter dan op het hoofdwegennet. Deze gegevens kunnen een basis vormen voor de ontwikkeling van andere besliscriteria.

Figuur 7.12: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen



Figuur 7.13: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen



Figuur 7.14: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen, hoofdwegennet



Figuur 7.15: Vergelijking opbrengst/kosten factor voor en na bouwen, hoofdwegennet



8 Conclusies en evaluatie

Bij de start van dit onderzoek was nog niet duidelijk of de methodiek voor het bepalen van de optimale heffingen in een complex modelsysteem met zo veel keuzemogelijkheden in de praktijk haalbaar is. De resultaten zijn boven verwachting, en bieden aanknopingspunten voor verder onderzoek.

De verwachting was dat de todelingsmethodiek van het LMS grote problemen zou geven bij de toepassing van de theorie van de marginale kosten. Daarom is een alternatief modelsysteem ontwikkeld dat een benadering is van het LMS. Zoals in hoofdstuk drie naar voren komt zijn er echter ook wezenlijke verschillen in de raming van de congestie-uren. Het is dan ook niet mogelijk om de resultaten van het LMS zonder meer te vergelijken met de modeluitkomsten van het alternatieve modelsysteem.

De totale opbrengst is sterk afhankelijk van de speed-flow curves in het modelsysteem. Er is getracht zo dicht mogelijk aan te sluiten bij het LMS, maar verschillen zullen er altijd blijven. Het feit dat het alternatieve modelsysteem minder congestie raamt, kan tot gevolg hebben dat de opbrengsten lager uitvallen dan met het LMS het geval geweest zou zijn. Verder kan nog opgemerkt worden dat er geen rekening gehouden is met de marginale kosten voor de autopassagier. Dit houdt in dat de marginale kosten een onderschatting zijn.

De resultaten van het alternatieve modelsysteem staan dus op zichzelf. Het invoeren van marginale kosten in het referentie scenario voor 2020 leidt tot een reductie van 10% in het autokilometrage, en een toename van 2.4% van het treingebruik. Daarmee wordt vrijwel alle congestie opgelost, maar dit wordt ook veroorzaakt doordat via congestievrije routes verder wordt omgereden.

De opbrengst van de optimale heffing bij vaste capaciteit in de referentie situatie is 2 miljard euro op jaarbasis, waarvan 1.1 miljard wordt opgebracht op het hoofdwegennet. Op basis van de uitkomsten is een uitbreiding van de capaciteit bepaald van in totaal 616 strookkilometer, waarvan 417 op het hoofdwegennet. Daarbij is rekening gehouden met hogere investeringsniveau's in stedelijke omgevingen in de Randstad. Deze uitbreiding geeft een toename van 3% van het autokilometrage. De congestie neemt verder af ten opzichte van het scenario zonder uitbreiding. De gemiddelde snelheid neemt totaal met ongeveer 1% toe. Op het hoofdwegennet in de Randstad is er bijna geen verandering in de gemiddelde snelheid. De extra capaciteit wordt kennelijk in gelijke mate benut als de bestaande capaciteit in de situatie zonder uitbreiding. De hogere gemiddelde snelheid ontstaat met name door uitbreiding op niet hoofdwegennet.

De totale opbrengst op jaarbasis daalt marginaal van 2.0 naar 1.7 miljard euro. Voor het hoofdwegennet is de daling van 1.1 naar 1.0 miljard euro.

Het bleek een complex probleem om aan de hand van de optimale heffingen een goed besliscriterium te bepalen voor de optimale capaciteitsuitbreiding. Gebleken is dat dit niet in één slag mogelijk is. De capaciteitsuitbreidingen die zijn bepaald leiden dan ook niet tot de optimale situatie. Gebleken is dat op sommige uitbreidingslocaties de intensiteit afneemt, en op andere locaties nieuwe uitbreidingen noodzakelijk zijn.

Gebleken is dat de opbrengst/kosten factor bij locaties waar de verkeersstroom sterk spitsgericht is, vaak niet boven de 1 uitkomt. Hierdoor kan de congestieheffing in een periode fors oplopen, maar doordat er in andere perioden veel minder behoefte aan capaciteit is wordt er toch niet uitgebreid.

Er moet meer onderzoek gedaan worden op welke wijze deze capaciteitsuitbreiding precies bepaald moet worden. Gedurende de uitwerking van het project zijn ideeën ontwikkeld met betrekking tot het simultaan bepalen van de optimale capaciteit met de optimale heffing. Mogelijkerwijs kan de optimale capaciteit, net als de optimale heffing, rechtstreeks bepaald worden door de marginale capaciteitskosten toe te voegen aan de kostenfunctie. Dit biedt aanknopingspunten om het systeem verder te ontwikkelen voor het beter bepalen van een maatschappelijk optimaal systeem.

Colofon

Opdrachtgever:

CE
Oude Delft 180
2611 HH Delft

Contactpersoon: Jos Dings
Tel. 015 – 2 150 150
Fax. 015 – 2 150 151
Email dings@ce.nl

VU Amsterdam
Vakgroep Ruimtelijke Economie
De Boelelaan 1105
1081 HV Amsterdam

Contactpersoon: Erik Verhoef
Tel. 020 – 2 150 150
Fax. 020 – 4.446.004
Email everhoef@feweb.vu.nl

Opdrachtnemer:

4cast bv.
Middelstegracht 89x
2311 TT LEIDEN

Contactpersoon Dick Bakker/Peter Mijjer
Tel. 071 – 513 9122
Fax. 071 – 513 9407
Email dmb@4-cast.nl/phm@4-cast.nl

Titel:

Profijtbeginsel en infrastructuur: optimale congestieheffingen

Rapportnummer:

P02-0010

versie:

01

Document naam

L:\P02-0010\docs\p02-0010c.doc

Datum:

26 september 2002

Opgesteld door:

Dick Bakker/Peter Mijjer

Optimale congestieheffingen en optimale wegcapaciteit

Erik T. Verhoef
Dept. of Spatial Economics
Free University, Amsterdam

1. Introductie

Verkeerscongestie vormt één van de belangrijkste uitdagingen voor het hedendaags verkeers- en vervoersbeleid. Enigszins gechargeerd kan gesteld worden dat de ‘traditionele’ beleidsrespons op verkeerscongestie altijd heeft bestaan uit het aanbieden van extra wegcapaciteit: extra rijstroken op snelwegen, geheel nieuwe wegen, extra tunnels, enzovoort. Dit beleid is in principe *vraagvolgend*: het aanbod van capaciteit wordt aangepast teneinde aan de groeiende vraag tegemoet te komen. Met het voortschrijden van de techniek – in het bijzonder elektronische voertuigidentificatie en automatische heffingsinning – komt een van oudsher door economen gepropageerde¹ *vraagsturende* respons binnen de praktische mogelijkheden: congestieheffingen. Een belangrijke vraag is hoe deze twee op het eerste gezicht verschillende mogelijkheden om als wegbeheerder met congestie om te gaan zich tot elkaar verhouden.

In deze notitie zal uiteengezet worden dat (en waarom) capaciteitsbeleid en prijsbeleid gericht op de beheersing van verkeerscongestie vanuit economisch perspectief nauw met elkaar verbonden zijn. We zullen in het bijzonder ingaan op één van de bekendste resultaten uit de vervoerseconomie, toegeschreven aan Mohring and Harwitz (1962), namelijk dat onder bepaalde voorwaarden de opbrengsten uit optimale congestieheffingen juist voldoende zijn om de kosten van de optimale wegcapaciteit te financieren. Het wegensysteem is daarmee zelf-financierend, hetgeen niet alleen economische voordelen heeft (er is geen noodzaak om versturende belastingen elders in de economie te heffen teneinde de optimale wegcapaciteit te financieren), maar ook politieke: er is een transparante link tussen de doelstelling (congestieoptimalisatie) en ‘incidence’ (weggebruikers) van de heffing enerzijds, en de aanwending van de opbrengsten (aanbieden van wegcapaciteit) anderzijds.

De notitie is als volgt opgebouwd. In paragraaf 2 bespreken we de optimale congestieheffing bij een gegeven wegcapaciteit. Paragraaf 3 bespreekt de keuze van de optimale wegcapaciteit bij het gebruik van dergelijke optimale heffingen. Paragraaf 4 gaat kort in op de relatie tussen het Mohring-Harwitz resultaat en kosten-baten analyse. In paragraaf 5 bespreken we enige complicaties die ontstaan bij een transitie van een alternatieve financieringsmethodiek naar

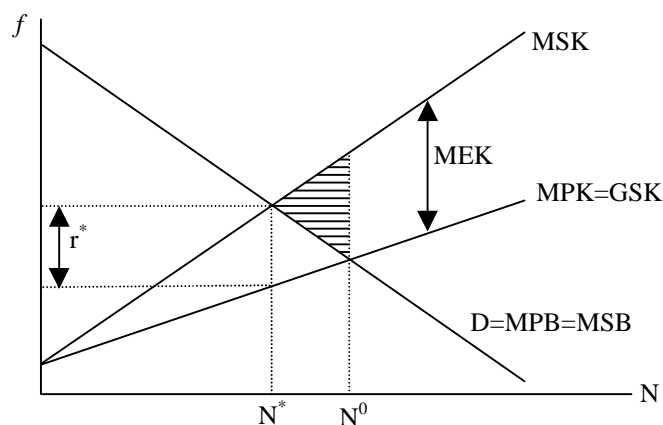
¹ Arthur Pigou heeft reeds in 1920 gewezen op de economische optimaliteit van regulerende congestieheffingen.

één gebaseerd op de ‘zelf-financierings gedachte’. Paragraaf 6 geeft een cijfermatige illustratie, en paragraaf 7 sluit af.

2. Optimale congestieheffingen bij een gegeven wegcapaciteit: korte termijn

Het meest eenvoudige economische model van congestie en congestieheffingen is weergegeven in Figuur 1 (waarin voor het gemak maar zonder verlies aan algemeenheid lineaire verbanden worden verondersteld). In dit model maken vrijwel identieke automobilisten gebruik van één wegstuk. Het enige kenmerk dat verschillende gebruikers onderscheidt is hun maximale betalingsbereidheid voor het gebruik van de weg. Zodoende is er een (niet-inelastische) vraagcurve D voor weggebruik, die de marginale private (MPB) en marginale sociale (MSB) baten geeft.²

De capaciteit van de weg is gegeven, en bij een toenemend gebruik daalt de snelheid op de weg en stijgen daarmee de ‘gegeneraliseerde kosten’, waarvan de tijdskosten een belangrijk onderdeel vormen. De marginale private kostencurve MPK kent derhalve een stijgend verloop. De MPK is gelijk aan de gemiddelde sociale kosten (GSK): de reistijden zijn gelijk voor alle weggebruikers, zodat de gegeneraliseerde kosten die de laatst toetreden gebruiker ondervindt (MPK) gelijk zijn aan die ondervonden door alle weggebruikers waarmee hij de weg deelt (GSK). De marginale sociale kostencurve MSK ligt per definitie boven de MPK, aangezien het toetreden van een weggebruiker extra tijdverliezen voor alle andere weggebruikers met zich meebrengt. De waarde van deze extra tijdverliezen vormen de marginale externe (congestie-)kosten; MEK.



Figuur 1. Optimale congestieheffing bij een gegeven wegcapaciteit

De vrije markt uitkomst bij N^0 , waar de marginale private kosten gelijk zijn aan de marginale baten. Het optimale weggebruik daarentegen ligt bij N^* , waar de marginale sociale kosten gelijk zijn aan de marginale baten. Dit optimum kan gerealiseerd worden door een heffing r^* (gelijk aan de marginale externe congestiekosten $MEK = MSK - MPK$ in het optimum) aan

² Doordat er geen externe baten van weggebruik zijn (deze baten zijn intern dan wel ‘pecuniary benefits’) vallen MPB en MSB samen in Figuur 1.

weggebruik op te leggen: de gebruikers rechts van N^* vinden de som van MPK en r^* dan te hoog en zullen afzien van weggebruik. De maatschappelijke welvaartswinst die hiermee kan worden gerealiseerd is gegeven door het gearceerde vlak. Deze welvaartswinst komt voort uit het feit dat door het terugdringen van het weggebruik van N^0 tot N^* totale baten verloren gaan die worden weergegeven door de vierhoek begrensd door de horizontale as, de verticale lijnen ter hoogte van N^0 en N^* , en de MSB-curve. De maatschappelijke kostenbesparing daarentegen wordt gegeven door de vierhoek begrensd door de horizontale as, de verticale lijnen ter hoogte van N^0 en N^* , en de MSK-curve. Tenslotte merken we op dat de totale heffingsopbrengsten in het optimum gegeven zijn door $N^* \cdot r^*$.

3. Optimale congestieheffingen bij een optimale wegcapaciteit: lange termijn

In Figuur 1 is verondersteld dat de wegcapaciteit gegeven is. Indien de wegcapaciteit gevarieerd kan worden – zoals op de lange termijn het geval zal zijn – kan de wegbeheerder de ligging van MPK en MSK als het ware vrij kiezen. Door extra te investeren in wegcapaciteit zullen beide kostencurves vlakker gaan verlopen, hetgeen weerspiegelt dat hetzelfde weggebruik bij een grotere capaciteit met een hogere snelheid en dus tegen lagere kosten kan worden afgewikkeld. De vraag is vervolgens hoe de wegbeheerder de optimale capaciteit kiest.

Om de optimale wegcapaciteit te vinden dient de wegbeheerder drie welvaartscomponenten tegen elkaar af te wegen. De eerste hiervan betreft de totale baten van weggebruik, TB, in Figuur 1 gegeven als het gebied begrensd door de twee horizontale assen, de verticale lijn ter hoogte van het weggebruik en de MSB curve. In wiskundige notatie:

$$TB = \int_0^N D(n)dn \quad (1)$$

De tweede welvaartscomponent zijn de totale variabele maatschappelijke kosten van weggebruik (C^w), welke gelijk zijn aan het weggebruik N máál de gemiddelde sociale kosten (GSK in Figuur 1; in het vervolg afgekort tot c^w) bij dat niveau van weggebruik N :

$$C^w = N \cdot c^w(N, K) \quad (2)$$

De notatie $c^w(N, K)$ geeft aan dat de reistijden en daarmee de gemiddelde kosten c^w afhangen van zowel het weggebruik N als van de capaciteit K . De derde welvaartscomponent betreft de kosten van het aanbieden van de capaciteit $C^k(K)$. Dit zijn vaste kosten op de korte termijn (dat wil zeggen: onafhankelijk van het weggebruik), maar (per definitie) variabele kosten op de lange termijn. De notatie $C^k(K)$ geeft aan dat de kosten van capaciteit in het algemeen zullen afhangen van (toenemen met) de gekozen capaciteit K . In het geval capaciteit tegen gegeven gemiddelde kosten c^k kan worden uitgebreid, geldt:

$$C^k = K \cdot c^k \quad (3)$$

In principe hebben we nu alle ingrediënten om het Mohring-Harwitz resultaat – de opbrengsten uit optimale congestieheffingen zijn onder bepaalde omstandigheden juist voldoende om het optimale aanbod van capaciteit te financieren – af te leiden.

Allereerst is het van belang de ‘bepaalde omstandigheden’ waaronder het resultaat geldt expliciet te maken. Deze zijn gegeven door de volgende twee aannames:

A1. Er zijn constante schaalopbrengsten in congestie-technologie: als het weggebruik en de wegcapaciteit met een bepaalde (maar dezelfde) factor toenemen, blijven de reistijden en dus de gemiddelde reiskosten gelijk. Vergelijking (2) kan dus worden geschreven als:

$$C^w = N \cdot c^w \left(\frac{N}{K} \right) \quad (2')$$

A2. Er zijn constante schaalopbrengsten in capaciteitsuitbreiding (m.a.w.: vgl (3) geldt).

Zonder deze twee aannames vervalt het resultaat, zoals we hieronder in de analytische afleiding zullen tonen.

De twee taken van de wegbeheerder bestaan uit het gelijktijdig:

T1. optimaliseren van het weggebruik gegeven de capaciteit die hij heeft gekozen, door een heffing als in Figuur 1 toe te passen

T2. het optimaliseren van de capaciteit gegeven de optimalisatie van het weggebruik

Een dergelijk optimaliseringsvraagstuk, waarbij meer dan één keuzevariabelen simultaan geoptimaliseerd moeten worden (hier: weggebruik en capaciteit), wordt wel aangeduid als een multivariaat optimaliseringsprobleem. Dergelijke problemen laten zich over het algemeen gemakkelijker analytisch dan grafisch oplossen, om de eenvoudige reden dat een grafische oplossing een tekening in meer dan twee dimensies vereist. De twee taken T1 en T2 kunnen echter wel afzonderlijk grafisch worden geïllustreerd. We doen dit nadat we de analytische oplossing hebben gegeven.

Analytische afleiding van het Mohring-Harwitz resultaat

In analytische zin bestaat de taak van de wegbeheerder uit het vinden van de optimale combinatie van het weggebruik N (door een optimale heffing te gebruiken) en capaciteit K (direct te ‘kiezen’). Zoals hierboven uiteengezet, dienen voor dit optimum 3 welvaartscomponenten tegen elkaar te worden afgewogen, zodanig dat het maatschappelijk surplus W (totale baten minus totale kosten) is gemaximaliseerd:

$$\text{Max}_{N,K} W(N, K) = \int_0^N D(n)dn - N \cdot c^w \left(\frac{N}{K} \right) - c^k \cdot K \quad (4)$$

Merk op dat we aannames A1 en A2 al in de formulering hebben verwerkt. Het welvaartsoptimum ligt daar waar noch een marginale verandering in N , noch een marginale verandering in K , tot een verandering in het surplus leidt. Dit wordt weerspiegeld in de (eerste-orde) voorwaarden voor een optimum:

$$D(N) - c^w - N \cdot c_N^w = 0 \quad (5a)$$

$$-N \cdot c_K^w - c^k = 0 \quad (5b)$$

waar c_N^w (c_K^w) de afgeleide van c^w met betrekking tot N (K) weergeeft. Vergelijking (5a) reflecteert taak T1; vergelijking (5b) T2.

Aangezien weggebruikers zullen toetreden tot het punt waar marginale baten $D(N)$ gelijk zijn aan de som van de marginale private kosten c^w plus de optimale heffing r^* , geldt:

$$D(N) - c^w - r^* = 0 \quad (6)$$

Vergelijken we (5a) en (6), dan resulteert de volgende optimale heffing:

$$r^* = N \cdot c_N^w \quad (7)$$

Vergelijking (7) stelt dat de optimale heffing gelijk moet zijn aan de marginale externe congestiekosten, net als in Figuur 1 al was getoond: de uitdrukking aan de rechterkant geeft het weggebruik máál het marginale effect op de reiskosten.

De totale heffingsopbrengsten R zijn gelijk aan het optimale weggebruik N^* máál de optimale heffing in (7):

$$R = N^* \cdot N^* \cdot c_N^w \quad (8)$$

(waar relevant vullen we de optimale waarden van N en K , N^* en K^* , alvast in).

Vergelijking (5b) stelt dat de marginale kosten van capaciteitsuitbreiding c^k gelijk moet zijn aan de marginale baten daarvan, welke gegeven zijn door het weggebruik N máál de daling in gemiddelde reiskosten ten gevolge van capaciteitsuitbreiding, $-c_K^w$. De totale capaciteitskosten C^k zijn gelijk aan $K \cdot c^k$, ofwel (gebruik makend van (5b)), aan:

$$C^k = -K^* \cdot N^* \cdot c_K^w \quad (9)$$

Merk op dat we de aanname A2 van constante marginale capaciteitskosten c^k nodig hebben om de totale capaciteitskosten überhaupt te kunnen bepalen (gegeven K^* en c^k).

Het Mohring-Harwitz resultaat stelt nu dat (8) en (9) aan elkaar gelijk zijn, mits tevens aan aanname A1 is voldaan. Aanname A1 is nodig om c_N^w en c_K^w op elkaar te kunnen herleiden. Indien (2') inderdaad geldt, kunnen we de afgeleiden c_N^w en c_K^w namelijk allebei herschrijven tot een afgeleide van c^w naar de ratio N/K , $c_{N/K}^w$. Gebruik makend van de kettingregel van differentiëren vinden we namelijk:

$$c_N^w = \frac{1}{K} \cdot c_{N/K}^w \quad (10a)$$

$$c_K^w = -\frac{N}{K^2} \cdot c_{N/K}^w \quad (10b)$$

Vullen we (10a) in in (8), dan resulteert:

$$R = \frac{N^* \cdot N^*}{K^*} \cdot c_{N/K}^w \quad (11)$$

Vullen we (10b) in in (9), dan vinden we:

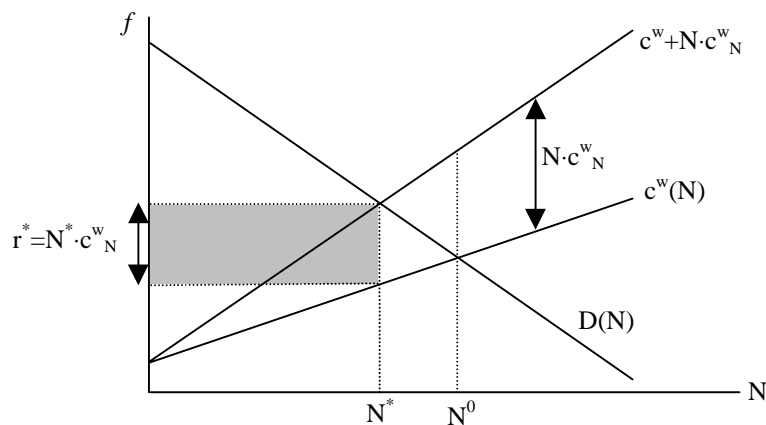
$$C^k = \frac{N^* \cdot N^*}{K^*} \cdot c_{N/K}^w \quad (12)$$

De optimale heffingsopbrengsten in (11) zijn gelijk aan de kosten samenhangend met het aanbod van de optimale capaciteit in (12).

Grafische illustratie van het Mohring-Harwitz resultaat

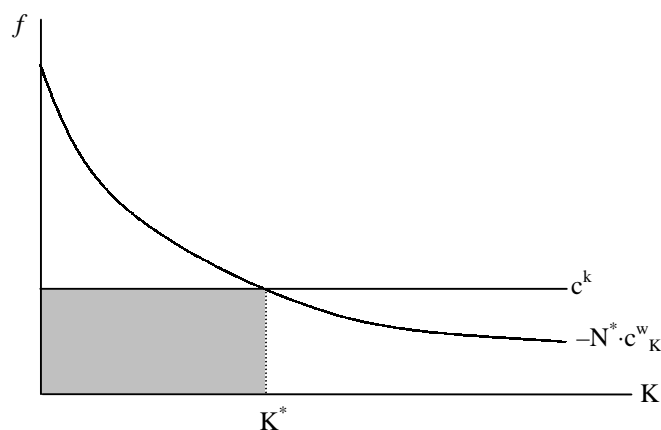
Vergelijkingen (5a) en (5b) zijn de essentiële voorwaarden die de optimale keuze van N en K definiëren. Deze twee kunnen eenvoudig grafisch geïllustreerd worden.

Vergelijking (5a) is in feite niets meer dan een analytische uitdrukking van Figuur 1, en stelt dat gegeven de keuze van de optimale capaciteit, het weggebruik geoptimaliseerd dient te worden. Figuur 2 toont dit nogmaals, nu gebruik makend van de in het analytische deel gehanteerde notatie.



Figuur 2. Optimale congestieheffing bij een gegeven wegcapaciteit

De optimale heffing in (7) en de opbrengsten daarvan in (8) en (11) – het gearceerde rechthoek – zijn eenvoudig in de figuur terug te vinden.



Figuur 3. Optimale capaciteitskeuze bij een gegeven weggebruik

Figuur 3 toont de optimalisatie van de capaciteit, gegeven het geoptimaliseerde weggebruik. De horizontale curve c^k toont de constante marginale (en gemiddelde) kosten van capaciteitsuitbreiding. De marginale baten van uitbreiding bestaan uit het weggebruik N^* ,

máál de verlaging van de gemiddelde reiskosten, $-c^w_K$. Het optimum ligt bij K^* . Verdere uitbreiding kost daar meer (c^k) dan dat het aan maatschappelijke baten oplevert ($-N^* \cdot c^w_K$). Op dit punt (K^*) is aan (5b) voldaan, en gelden totale capaciteitskosten zoals gegeven door (9) en (12), weergegeven door het gearceerde rechthoek.

Ook Figuur 3 toont aan dat zonder aanname A2, van constante marginale capaciteitskosten c^k , onmogelijk is om de totale capaciteitskosten te kunnen bepalen (gegeven K^* en c^k). Tevens tonen beide figuren dat het zonder aanname A1 onmogelijk is om de oppervlaktes van de beide rechthoeken op elkaar te herleiden.

4. Relatie met kosten-batenanalyse

In de praktijk worden investeringsbeslissingen omtrent wegcapaciteitsuitbreiding – idealiter – genomen, gebruikmakend van kosten-batenanalyse (KBA). Het is daarom van belang te benadrukken dat de bovenstaande analyse volledig consistent is met de in KBA te volgen methodiek. De reden is eenvoudig: zowel in bovenstaande analyse als in KBA is het doel om die uitkomst te vinden waar het maatschappelijk surplus (totale baten minus totale kosten) gemaximaliseerd is. Met andere woorden: een correcte KBA met betrekking tot optimale wegcapaciteit en optimale heffingen moet tot dezelfde uitkomst als hierboven gegeven leiden, aangezien hetzelfde maximalisatievraagstuk (4) moet worden opgelost. Standaardcomponenten in een KBA, zoals de baten van weggebruik, de kosten van capaciteitsvoorziening, en de waardering van reistijden, zitten allen in de hier gehanteerde doelstellingsfunctie verwerkt. Dit neemt uiteraard niet weg dat zowel voor een KBA als voor de hierboven gegeven afleiding, additionele kosten (bijvoorbeeld milieukosten) op een recht-toe-recht-aan methode kunnen worden meegenomen (uiteraard geldt in dat geval het zelf-financieringsresultaat niet langer: er komen additionele heffingsopbrengsten binnen vanwege milieuheffingen, terwijl de optimale wegcapaciteit kleiner zal zijn).

5. Enige complicaties bij de transitie naar een nieuwe financieringsmethodiek

Een volgende belangrijke praktische vraag is hoe het hierboven besproken resultaat geïnterpreteerd dient te worden bij een overgang van een alternatieve financieringsmethodiek – bijvoorbeeld zoals de huidige Nederlandse praktijk, welke gebaseerd is op vaste belastingen (BPM, MRB) – naar één die gebaseerd is op ‘zelf-financiering’ door variabele (congestie-) heffingen. Is het bijvoorbeeld het geval dat alle gegenereerde heffingsopbrengsten in wegcapaciteit geïnvesteerd dienen te worden, en dat we op die wijze het optimum (in termen van capaciteit en heffingen) vanzelf bereiken? Dat zal blijken *niet* het geval te zijn. In deze paragraaf zullen we bezien of er een andere, soortgelijke vuistregel af te leiden is, die de wegbeheerder aan de hand van heffingsopbrengsten de weg wijst naar een optimale capaciteitskeuze. In deze paragraaf geven we een theoretische afleiding van een dergelijke vuistregel, en interpreteren we het resultaat. Paragraaf 6 geeft als illustratie een numeriek voorbeeld.

In deze paragraaf bezien we het volgende probleem. Stel, er bestaat reeds een weg, die in het verleden is gefinancierd volgens een methodiek anders dan de ‘zelf-financiering regel’. De kostenstructuur voor deze weg is echter zodanig dat deze regel toepasbaar zou zijn geweest – met andere woorden, aan aannames A1 en A2 is voldaan. De wegbeheerder wenst over te stappen naar de zelf-financierings methodiek (wellicht om geen financieringsproblemen voor investeringen meer te hebben, wellicht ook om congestie via een heffing te optimaliseren), en wenst derhalve optimale congestieheffingen te hanteren. Kan deze wegbeheerder dan uit de ontvangen heffingen af leiden of capaciteitsuitbreiding al dan niet gewenst is? En, kunnen dergelijke uitbreidingen inderdaad uit heffingsopbrengsten gefinancierd worden, of meer in het algemeen: zal de hierboven besproken budgetneutraliteit blijven gelden?

Alvorens we deze vragen analytisch te lijf gaan, is het inzichtelijk om allereerst uiteen te zetten waarom de wellicht meest de hand liggende beslissingsregel – alle heffingsopbrengsten voor capaciteitsuitbreidingen aanwenden – niet correct is, in die zin dat daarmee niet de optimale capaciteit zal worden bereikt. Dit kan uitgelegd worden aan de hand van een eenvoudig voorbeeld. Stel dat in het verleden de capaciteit volledig werd gefinancierd uit andere bronnen (bijvoorbeeld MRB / BPM). Stel nu dat door puur toeval die capaciteit werd gekozen, die na invoering van een congestieheffing optimaal blijkt te zijn. Met andere woorden: voor het weggebruik dat resulteert na invoering van een heffing als in (5a), waarbij K even als gegeven wordt verondersteld, blijkt exact aan (5b) te zijn voldaan: uitbreiden noch (denkbeeldig) inkrimpen van de capaciteit zou het maatschappelijk surplus verhogen. Het is dan direct duidelijk dat de gegenereerde heffingsopbrengsten zeker *niet* voor capaciteitsuitbreidingen dienen te worden aangewend: immers, de kosten daarvan wegen niet op tegen de maatschappelijke baten (dit is de essentie van (5b)).

Of er wel een andere vuistregel is af te leiden, die op basis van heffingsopbrengsten kan aangeven of het al dan niet efficiënt is de capaciteit uit te breiden, kan onderzocht worden door het probleem formeel (wiskundig) te analyseren. In vergelijking met de eerdere analyse voeren we de volgende veranderingen en aannames door:

1. We delen de totale capaciteit K op in twee delen: K_0 is de capaciteit die reeds vast ligt, en gegeven is; en K_e is de uitbreiding (‘e’ van expansie) die nog gekozen kan worden (een negatieve waarde zou aangeven dat men eigenlijk K_0 zou willen verkleinen)
2. De kosten die samenhangen met het capaciteitsaanbod bedragen C_0 voor het bestaande aanbod K_0 , en $c^k \cdot K_e$ voor de uitbreiding. Voor de uitbreiding geldt dus nog steeds constante schaalopbrengsten. Voor de bestaande capaciteit zou dat zo zijn als C_0 ‘toevallig’ gelijk is aan $c^k \cdot K_0$. Dit hoeft voor de analyse echter niet het geval te zijn. Bijvoorbeeld, $C_0=0$ zou kunnen aangeven dat de ‘oude’ investeringen reeds als geheel betaald kunnen worden beschouwd, en geen kosten in de huidige periode meer met zich meebrengen.
3. We veronderstellen dat oude en nieuwe capaciteit volledig uitwisselbaar en identiek zijn: de capaciteit op bijvoorbeeld een vierbaansweg is onafhankelijk van de vraag of er

(bijvoorbeeld) 1 nieuwe strook aan 3 bestaande wordt toegevoegd, of 2 stroken aan 2 bestaande.

In vergelijking met de analyse in paragraaf 3 kunnen de twee taken van de wegbeheerder nu als volgt worden beschreven:

- T1. optimaliseren van het weggebruik gegeven de capaciteit $K=K_0+K_e$ die hij heeft gekozen, door een heffing als in Figuur 1 toe te passen
- T2. het optimaliseren van de capaciteitsuitbreiding K_e gegeven de optimalisatie van het weggebruik

Het bijbehorende optimaliseringsvraagstuk ziet er als volgt uit (vergelijk (4)):

$$\text{Max}_{N, K_e} W(N, K_0, K_e) = \int_0^N D(n)dn - N \cdot c^w \left(\frac{N}{K_0 + K_e} \right) - C_0 - c^k \cdot K_e \quad (13)$$

Het welvaartsoptimum ligt daar waar noch een marginale verandering in N , noch een marginale verandering in K , tot een verandering in het surplus leidt. Dit wordt weerspiegeld in de (eerste-orde) voorwaarden voor een optimum:

$$D(N) - c^w - N \cdot c_N^w = 0 \quad (14a)$$

$$-N \cdot c_K^w - c^k = 0 \quad (14b)$$

waarbij we in (14b) de notatie c_k^w handhaven om aan te geven dat $c_k^w = c_{k_0}^w = c_{k_e}^w$: het marginale effect van (extra) capaciteit op de reistijd is onafhankelijk van de vraag of de extra capaciteit nieuwe of oude capaciteit betreft (vergelijk de derde nieuwe aanname in het model).

Vergelijkingen (14ab) blijken identiek te zijn aan vergelijkingen (5ab)! Bij nader inzien is dit echter niet zó verrassend: immers, onafhankelijk van de vraag of we alleen nieuwe capaciteit of een combinatie van oude en nieuwe capaciteit bekijken zal het zo zijn dat we (1) weggebruikers zullen willen toestaan de weg te gebruiken tot aan het punt waar de marginale baten gelijk zijn aan de marginale kosten gegeven de gekozen capaciteit (vergelijkingen (5a) en (14a)); en (2) de capaciteit zullen willen uitbreiden tot dat niveau waar verdere uitbreidingen méér gaan kosten dan dat zij aan reiskostenbesparingen gaan opleveren (vergelijkingen (5b) en (14b)).

Uit (14a) volgt dat de optimale tol, net als in (7), gelijk zal zijn aan:

$$r^* = N \cdot c_N^w \quad (15)$$

waaruit vervolgens is af te leiden dat de totale heffingsopbrengsten $R=N^* \cdot r^*$ gelijk zal zijn aan wat ook in (8) werd gevonden:

$$R = N^* \cdot N^* \cdot c_N^w \quad (16)$$

ofwel – gebruikmakend van (10a); vergelijk (11) – aan:

$$R = \frac{N^* \cdot N^*}{K^*} \cdot c_{N/K}^w \quad (17)$$

(met $K^* = K_0 + K_e^*$: de optimale capaciteit is gelijk aan de bestaande capaciteit plus de optimale uitbreiding). De optimale heffingsopbrengsten zijn dus identiek aan wat in paragraaf 3 werd gevonden.

De totale uitgaven voor de extra capaciteit, C_e^k , bedragen $K_e \cdot c^k$, welke gebruikmakend van (14b) kan worden herschreven als:

$$C_e^k = -K_e^* \cdot N^* \cdot c_K^w \quad (18)$$

ofwel – gebruikmakend van (10b); vergelijk (12) – als:

$$C_e^k = \frac{K_e^*}{K^*} \cdot \frac{N^* \cdot N^*}{K^*} \cdot c_{N/K}^w \quad (19)$$

De totale capaciteitskosten bedragen $C_0 + C_e^k$, en zijn alleen dan gelijk aan de totale heffingsopbrengsten als geldt:

$$C_0 = R - C_e^k = \frac{K_0}{K^*} \cdot \frac{N^* \cdot N^*}{K^*} \cdot c_{N/K}^w \quad (20)$$

Met andere woorden: de bestaande capaciteit kost net zoveel als dat deze gekost zou hebben bij aanleg op het huidige moment. Dit is het geval als de grond- en aanlegkosten niet veranderd zijn, en kapitaalbeslag tegen dezelfde rentevoet gewaardeerd wordt. Maar, als dit het geval is, zijn we in feite terug bij het oorspronkelijke model; immers de bestaande capaciteit wordt op exact dezelfde manier gefinancierd als de nieuwe, te kiezen, capaciteit. We zijn echter juist op zoek naar houvast in de situatie waarin niet (met zekerheid) aan (20) voldaan is.

Is het dan zo dat heffingsopbrengsten, indien niet aan (20) is voldaan, hun signaalfunctie verliezen als middel om te zien of capaciteitsuitbreiding al dan niet gewenst is (en, uiteraard, aannames A1 en A2 nog wél gelden)? Gelukkig niet. Dit valt in te zien door van (17) en (19) af te leiden:

$$C_e^k = \frac{K_e^*}{K^*} \cdot R \quad (21a)$$

Noemen we het optimale gebruik op de extra capaciteit, na voltooiing, N_e^* , dan valt (21a) tevens te schrijven als:

$$C_e^k = \frac{K_e^*}{K^*} \cdot R = \frac{N_e^*}{N^*} \cdot R \quad (21b)$$

Vergelijking (21b) volgt uit aanname A1, die stelt dat de kosten van weggebruik voor de weggebruikers, c^w , afhangen van de ratio N/K . Een evenwicht in verdeling van weggebruikers over ‘oude’ en ‘nieuwe’ capaciteit (na aanleg) bestaat alleen als de kosten c^w op beide delen aan elkaar gelijk zijn. Deze twee elementen samenvoegend kan men concluderen dat de ratio van gebruik over capaciteit voor oude en nieuwe (en totale) capaciteit aan elkaar gelijk moeten zijn, en dus dat (21b) moet gelden.

Vergelijking (21b) stelt dat de kosten samenhangend met het aanbieden van de optimale hoeveelheid extra capaciteit in het optimum gelijk is aan dát deel van de heffingsopbrengsten

dat op deze extra capaciteit wordt gegenereerd. Met andere woorden: *de heffingsopbrengsten die op de nieuwe capaciteit binnenkomen zijn juist voldoende om deze nieuwe capaciteit te financieren*. Een gevolg hiervan is: *de capaciteit dient alleen uitgebreid te worden als bij de gegeven capaciteit de optimale heffingsopbrengsten per eenheid capaciteit (voldoende) hoger zijn dan de kosten van een extra eenheid capaciteit*. Het woord ‘voldoende’ geeft uiteraard aan dat de gelijkheid van heffingsopbrengsten per eenheid capaciteit ná uitbreiding niet (te ver) onder de kosten per eenheid capaciteit mag zijn gezakt. Bij een capaciteit als continue variabele (zoals in het numerieke voorbeeld hieronder) speelt deze complicatie niet. Bij capaciteit als discrete variabele (bijvoorbeeld: een eenheid capaciteit is een rijstrook) is het wel van belang deze complicatie te beschouwen.

Alvorens we naar een numeriek voorbeeld overstappen, is het van belang een paar afsluitende opmerkingen te maken.

1. Allereerst hebben we dus een beslissingsregel afgeleid waarmee op basis van heffingsopbrengsten bepaald kan worden of de capaciteit al dan niet uitgebreid dient te worden. Deze heffingsregel is echter – net als het standaard-resultaat – alleen geldig als aan aannames A1 en A2 is voldaan. De regel luidt in dat geval dat capaciteit dient te worden uitgebreid tot dat punt waar geldt dat *de heffingsopbrengsten die op extra, nieuwe capaciteit binnenkomen zijn juist voldoende om deze extra capaciteit te financieren*.
2. De regel volgt uit het toepassen van de twee optimaliteitscondities (14ab). Het is van belang de causaliteit nogmaals te benadrukken: de zelf-financieringsregel volgt uit efficiënte keuzen, en niet andersom. Dit geeft aan waarom de ‘naïeve regel’ – alle heffingsopbrengsten blijven investeren, zoals in het begin van deze paragraaf besproken – juist tot een verkeerde (dat wil zeggen: niet optimale) capaciteitskeuze kan leiden.
3. Uit vergelijking (20) valt af te leiden dat de heffingsopbrengsten die op de ‘oude’ capaciteit gegenereerd worden juist voldoende zullen zijn om de kosten daarvan te dekken als deze hetzelfde zouden zijn als de kosten van nieuwe capaciteit. Een iets andere invalshoek om dit te interpreteren is dat het (in het optimum) niet de *historische* kosten zijn die door de heffingsopbrengsten per eenheid ‘oude’ capaciteit juist worden gecompenseerd, maar de *opportunity costs* (‘opportuïteitskosten’): de kosten die er thans mee samen zouden hangen om dezelfde capaciteit aan te bieden. Dit is een concrete toepassing van het bekende economische adagium ‘bygones are forever bygone’: het doet nu niet meer ter zake hoeveel iets vroeger heeft gekost; de waarde van een goed (in dit geval: ‘wegcapaciteit’) hangt juist samen met wat het zou kosten om het nu voort te brengen.

6. Een numeriek voorbeeld

Het is wellicht verhelderend om de inzichten uit deze en de voorgaande paragrafen aan de hand van een cijfermatig voorbeeld toe te lichten. We beperken ons hierbij tot het eenvoudigst denkbare wegennetwerk, namelijk bestaand uit één weg die een enkele oorsprong en

bestemming met elkaar verbindt. We veronderstellen dat de vraag voor het weggebruik kan worden weergegeven door een lineaire inverse vraagfunctie:

$$D(N) = \delta_i - \delta_s \cdot N \quad (22)$$

waar δ_i de intercept geeft en δ_s de helling. Voor het numerieke model kiezen we $\delta_i=25$ en $\delta_s=0.0075$; dit levert in het evenwicht zonder heffingen maar bij de optimale capaciteit een plausibele vraagelasticiteit van -0.23 op. De gemiddelde kosten van weggebruik, c^w , zijn het produkt van de tijdwaardering vot (value of time, die we op 15 stellen) en de reistijd t . Voor de reistijd geldt dat deze afhangt van het weggebruik N en de capaciteit K ; we veronderstellen volgens de volgende relatie:

$$t = t_{ff} \cdot \left(1 + b \cdot \left(\frac{N}{K} \right)^k \right) \quad (23)$$

waar t_{ff} de ‘free-flow travel time’ geeft – de reistijd zonder congestie – en b en k parameters zijn. Bij een keuze $b=0.15$ en $k=4$, zoals wij zullen maken, is dit de zogeheten ‘Bureau of Public Roads’ formule, die veel in toegepast onderzoek wordt gebruikt (zie Small, 1992). Voor t_{ff} kiezen we een waarde 0.25 – een kwartier, corresponderend met 30 kilometer voor een weg met een snelheidslimiet van 120 km/u. We vinden dus voor de gemiddelde kosten c^w (aangeduid met ac in het vervolg):

$$ac = vot \cdot t_{ff} \cdot \left(1 + b \cdot \left(\frac{N}{K} \right)^k \right) \quad (24)$$

en kunnen de marginale kosten mc afleiden als:

$$mc = \frac{\partial N \cdot ac}{\partial N} = ac + vot \cdot t_{ff} \cdot b \cdot k \cdot \left(\frac{N}{K} \right)^k \quad (25)$$

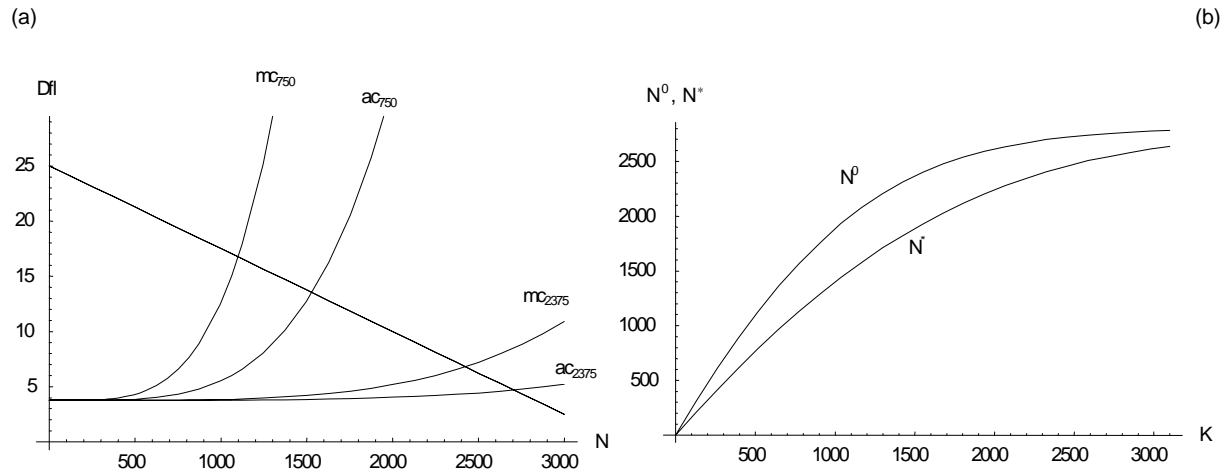
(de tweede term reflecteert dus de optimale heffing, $mc - ac$). Merk op dat (24) betekent dat aan aanname A1 is voldaan. Aan aanname A2 is voldaan als we de capaciteitskosten schrijven als:

$$C^k = K \cdot c^k \quad (26)$$

waarbij we c^k willekeurig prikken op 2.5.

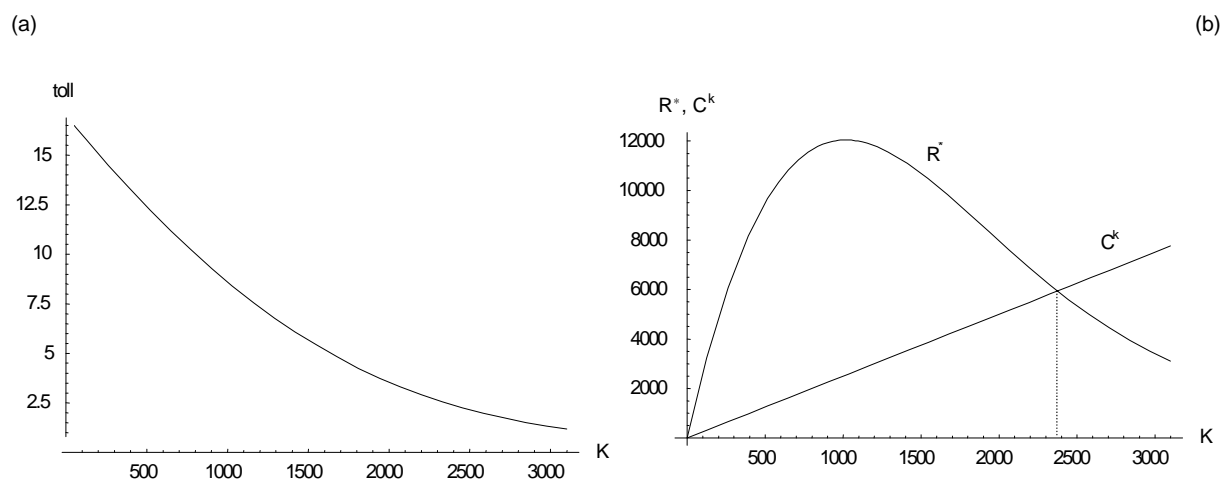
Het zal van (24) en (25) duidelijk zijn dat zowel het vrije-markt evenwicht (gedefinieerd door $D=ac$) als het optimale weggebruik ($D=mc$) afhangen van de gekozen capaciteit – welke het verloop van de ac en mc curve direct beïnvloedt. Dit wordt geïllustreerd in Figuren 4a en 4b. Figuur 4a geeft het equivalent van Figuur 1 voor twee waarden van de capaciteit, namelijk $K=750$ (willekeurig gekozen) en $K=2375$ (welke afgerond op 25-tallen de optimale capaciteit) geeft. Figuur 4a toont in zekere zin reeds de extra complicatie die ontstaat als de wegbeheerder ook de capaciteit – naast de heffing – kan kiezen: hij dient de optimale positie van ac en mc te bepalen. Met andere woorden: het voordeel dat capaciteitsuitbreiding met zich mee brengt, gereflecteerd door het naar buiten schuiven van deze curves, dient te worden afgewogen tegen de kosten die daarmee samenhangen. Door voor alle beschouwde waarden van K het weggebruik in een vrije markt (N^0 , op het snijpunt van D en ac) en bij optimale heffingen (N^* , op het snijpunt van D en mc) te bepalen, kan Figuur 1b worden afgeleid. De

figuur geeft aan dat als de capaciteit groot genoeg wordt, N^0 en N^* elkaar weer zullen benaderen, en beiden bepaald worden door het snijpunt van D met de horizontale rechte ter hoogte van $vot \cdot t_{ff}$. Met andere woorden: de baten van extra wegcapaciteit benaderen 0 als de reistijd de free-flow travel time benadert.



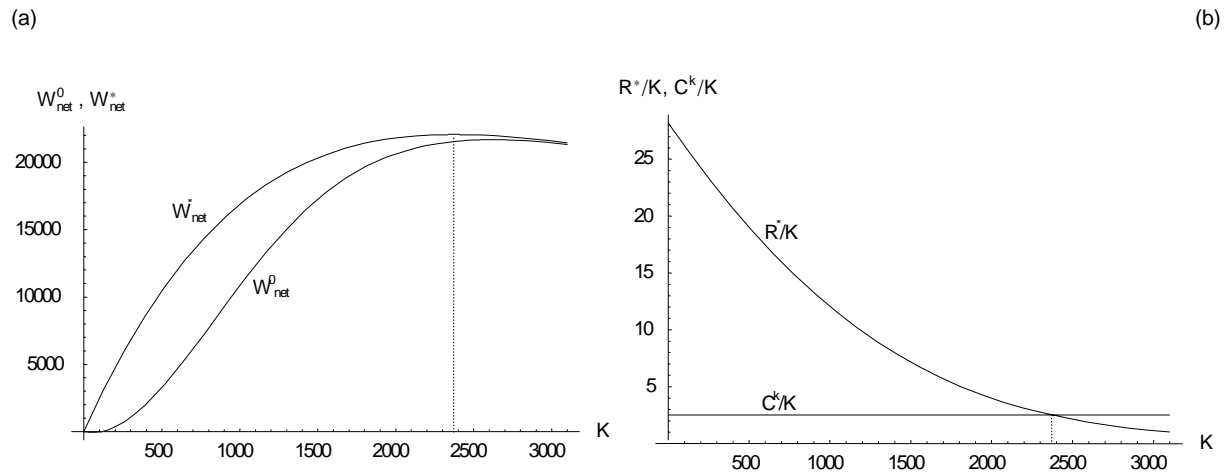
Figuur 4. Vrije-markt en optimaal weggebruik voor verschillende waarden van de wegcapaciteit

Figuur 4a toont aan hoe de optimale heffing – niet aangegeven in de figuur, maar af te lezen als het verticale verschil tussen ac en mc in het optimum; vergelijk Figuur 1 – zal variëren met de gekozen capaciteit. Preciezer: de optimale heffing wordt lager naarmate de capaciteit groter wordt, hetgeen samenhangt met het feit dat de congestie – zowel in het vrije-markt evenwicht als in het optimum – geringer zal zijn naarmate de capaciteit groter wordt. Figuur 5a laat de optimale heffing als functie van de gekozen capaciteit zien.



Figuur 5. Optimale heffing (a), en heffingsopbrengsten (R^*) en capaciteitskosten (C^k) (beiden in (b)) als functie van de wegcapaciteit

Door de optimale heffing in Figuur 5a te vermenigvuldigen met het bijbehorende optimale weggebruik in Figuur 4b zijn de optimale heffingsopbrengsten R^* als functie van de capaciteit K te bepalen, zoals weergegeven in Figuur 5b. De totale capaciteitskosten $C^k (= K \cdot c^k)$ zijn in Figuur 5b als een lineaire functie te vinden. Het snijpunt van deze twee lijnen ligt nabij $K=2375$. Als het Mohring-Harwitz resultaat klopt, zou dit dus de optimale capaciteit moeten zijn – in het geval er inderdaad optimaal geheven wordt.

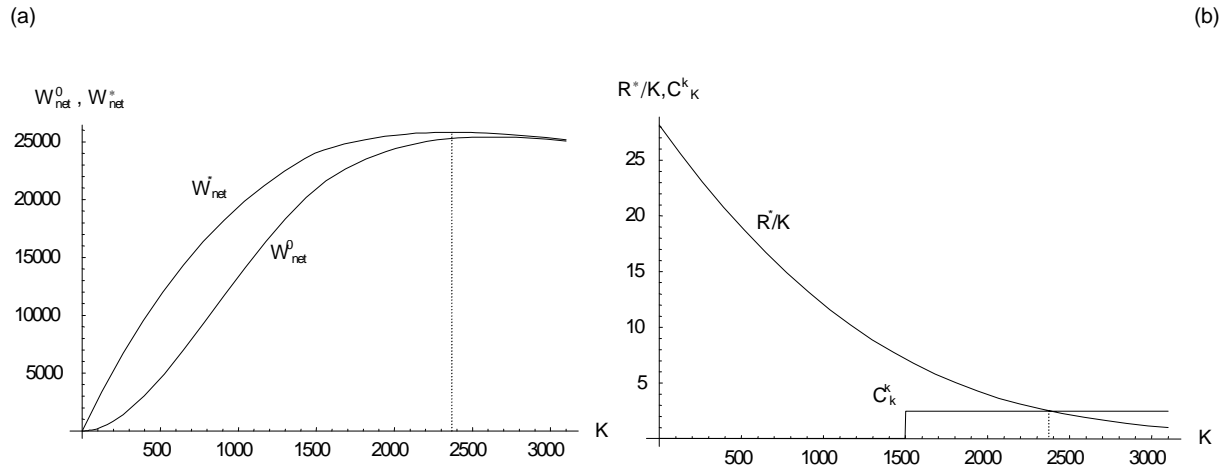


Figuur 6. Netto surplus met en zonder heffingen (beiden in (a)), en gemiddelde heffingsopbrengsten (R^/K) en capaciteitskosten (C^k/K) (beiden in (b)) als functie van de wegcapaciteit*

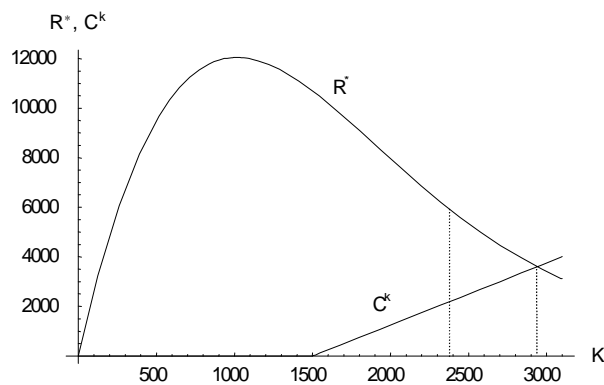
Figuur 6a toont het netto surplus (totale baten minus kosten voor weggebruikers minus capaciteitskosten) als functie van de capaciteit. Voor het geval waar optimale heffingen worden geheven (W_{net}^*) blijkt het maximum inderdaad bij $K=2375$ te worden bereikt. Het numerieke model reproduceert derhalve, zoals verwacht mocht worden, het Mohring-Harwitz resultaat. Als een ‘terzijde’ toont de figuur tevens het netto surplus indien de geen heffingen worden gebruikt. In dat geval zou de optimale capaciteit iets groter zijn (dit hangt samen met de vraagelasticiteit, die in absolute waarde lager dan 1 is). Merk op dat de geprikte waarde van c^k (2.5) relatief laag blijkt te zijn: in het voorbeeld ligt het maximum netto surplus mét heffingen dicht bij dat, dat zonder heffingen kan worden bereikt. Dit is het gevolg van het feit dat de relatief lage c^k tot gevolg heeft dat vrijwel alle congestie door capaciteitsuitbreidingen wordt bestreden.

Figuur 6b laat zien dat, zoals in paragraaf 5 is uiteengezet, in het optimum tevens geldt dat de gemiddelde heffingsopbrengsten per eenheid capaciteit (R^*/K) gelijk zijn aan de kosten van een extra eenheid capaciteit ($C^k/K=c^k$). Echter, omdat in dit voorbeeld de Mohring-Harwitz regel in de standaard ook al geldt, is dit misschien niet de meest overtuigende illustratie. Daarom presenteren we tot slot resultaten voor de situatie waarin de capaciteit tot 1500 geen kosten kent, maar vanaf 1500 dezelfde constante kosten $c^k = 2.5$ per eenheid kennen. De theorie zoals in het voorgaande uiteengezet voorspelt (1) dat de optimale heffingen en

optimale capaciteit gelijk zullen zijn aan die in het voorgaande voorbeeld – immers, de eerste-orde voorwaarden in (5a) en (5b) hebben slechts betrekking op marginale condities, die rond de optimale capaciteit van 2375 niet veranderd zullen zijn; (2) dat in het optimum de totale heffingsopbrengsten hoger zullen zijn dan de totale capaciteitskosten – immers, een deel van de capaciteit kent niet de ‘vereiste’ constante gemiddelde kosten maar kost in plaats daarvan niets; en (3) dat in het optimum de heffingsopbrengsten per eenheid capaciteit wel gelijk moeten zijn aan de kosten van een extra eenheid capaciteit – immers, aan alle in paragraaf 5 genoemde voorwaarden is voldaan.



Figuur 7. Netto surplus met en zonder heffingen (beiden in (a)), en gemiddelde heffingsopbrengsten (R^/K) en marginale capaciteitskosten (C_k^k) (beiden in (b)) als functie van de wegcapaciteit bij een discontinuïteit in c^k op $K=1500$*



Figuur 8. Heffingsopbrengsten (R^) en capaciteitskosten (C^k) als functie van de wegcapaciteit bij een discontinuïteit in c^k op $K=1500$*

Figuur 7 toont dat de voorspellingen (1) en (3) inderdaad gelden. Zowel het maximum netto surplus in Figuur 7a als de gelijkheid tussen heffingsopbrengsten per eenheid capaciteit aan de marginale kosten van capaciteit worden gevonden bij een capaciteit van 2375. Figuur 8,

tenslotte, laat zien dat bij die optimale capaciteit de totale heffingsopbrengsten inderdaad hoger zijn dan de totale capaciteitskosten; gelijkheid tussen deze twee treedt op bij $K=2940$.

7. Besluit

In deze notitie is uiteengezet waarom onder constante schaalopbrengsten (uitgesplitst naar constante schaalopbrengsten in congestietechnologie en in capaciteitsuitbreiding) de opbrengsten van optimale congestieheffingen gelijk zijn aan de kosten samenhangend met de financiering van de optimale capaciteit. De resulterende ‘zero-profit’ conditie in het aanbod van wegcapaciteit heeft niet alleen economische voordelen (er is geen noodzaak om versturende belastingen elders in de economie te heffen teneinde de optimale wegcapaciteit te financieren), maar ook politieke: er is een transparante link tussen de doelstelling (congestieoptimalisatie) en ‘incidence’ (weggebruikers) van de heffing, en de aanwending van de opbrengsten (aanbieden van wegcapaciteit).

Het resultaat is in principe niet verbazingwekkend. Immers, het is een standaardresultaat uit de micro-economie dat bij optimale prijszetting er bij constante schaalopbrengsten nulwinsten resulteren, terwijl toenemende schaalopbrengsten tot verliezen en afnemende schaalopbrengsten tot winsten zullen leiden. Wat het afleiden van het resultaat complexer maakt dan in het standaardgeval is de complicatie dat gelijktijdig over twee variabelen moet worden geoptimaliseerd: weggebruik en wegcapaciteit.

Voorts hebben we een beslissingsregel afgeleid waarmee op basis van heffingsopbrengsten bepaald kan worden of de capaciteit al dan niet uitgebreid dient te worden. Deze heffingsregel is echter – net als het standaard-resultaat – alleen geldig als aan eerder genoemde aannames (A1 en A2) is voldaan. De regel luidt in dat geval dat capaciteit dient te worden uitgebreid tot dat punt waar geldt dat *de heffingsopbrengsten die op extra, nieuwe capaciteit binnenkomen zijn juist voldoende om deze extra capaciteit te financieren*. De regel reflecteert in zekere zin dat ook capaciteit die reeds in het verleden volledig gefinancierd is, nog steeds een opportunity cost kent die gelijk is aan de kosten die gemoeid zouden zijn met het aanbieden van diezelfde capaciteit. Preciezer geformuleerd: het zijn niet de historische kosten maar juist de marginale kosten van (extra) capaciteit die bepalen hoe ver wegcapaciteit dient te worden uitgebreid, en het is de daaruit resulterende optimale capaciteit die – in samenhang met de vraag – zal bepalen hoe hoog de optimale heffing en dus ook de optimale heffingsopbrengsten zullen zijn.

Tenslotte hebben we één en ander aan de hand van een fictief maar hopelijk inzichtelijk cijfermatig voorbeeld geïllustreerd.

Referenties

Mohring, H. and M. Harwitz (1962). *Highway Benefits*. Northwestern University Press, Evanston IL.
Pigou, A.C. (1920). *Wealth and Welfare*. Macmillan, London.

