

2013•2014
FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN
*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Go through or go around: een bio-economisch model

Promotor :
dr. Nele WITTERS

Copromotor :
dr. Natalie BEENAERTS

Robin Lucas
*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur*

2013•2014

FACULTEIT BEDRIJFSECONOMISCHE
WETENSCHAPPEN

*master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur*

Masterproef

Go through or go around: een bio-economisch model

Promotor :
dr. Nele WITTERS

Copromotor :
dr. Natalie BEENAERTS

Robin Lucas

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de toegepaste
economische wetenschappen: handelsingenieur*

Woord vooraf

Deze masterproef, met de mooie naam *Go through or go around: een bio-economisch model*, vormt het sluitstuk van mijn vijf jaar durende opleiding als handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. Hoewel ik na de bacheloropleiding voor de afstudeerrichting operationeel management en logistiek gekozen heb, besloot ik anderhalf jaar geleden om toch een masterproef te maken die binnen mijn minor technologie-, innovatie- en milieumanagement kaderde. Mijn interesse voor het onderwerp van deze masterproef, de ecologische impact van wegen en wegverkeer, was dan ook zeer groot. Dit, gecombineerd met de economische aspecten van deze masterproef, maakten dit onderzoek de ideale afsluiter van mijn opleiding tot handelsingenieur. Alvorens over te gaan tot het officiële gedeelte van deze masterproef zou ik echter graag eerst mijn dank betuigen aan enkele personen die mij op de juiste momenten de juiste hulp geboden hebben.

In de eerste plaats gaat mijn dank uit naar mijn promotor, Prof. dr. Nele Witters, voor de professionele begeleiding, voor alle raadgevingen die ik mogen ontvangen heb en natuurlijk ook de vele momenten die ze vrijgemaakt heeft om mij op de juiste weg te helpen. Daarnaast zou ik graag mijn co-promotor, dr. Natalie Beenaerts, verbonden aan de faculteit Wetenschappen, willen bedanken voor de opbouwende feedback en haar bijdrage aan het ecologische gedeelte van de masterproef.

Ook richt ik een dankwoord aan Prof. dr. Elke Hermans en de heer Tim De Ceunynck, verbonden aan het Instituut voor Mobiliteit, voor de geleverde hulp bij het verkeerskundig aspect van deze masterproef en natuurlijk het ter beschikking stellen van de verkeersradar.

Vervolgens wil ik via deze weg enkele personen bedanken wie ik meermaals gecontacteerd heb voor talloze vragen, maar zonder wiens hulp deze masterproef nooit tot hetzelfde resultaat gekomen zou zijn. Als eerste denk ik hierbij aan mevrouw Inge Mayeres, expert transport en economie van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek. Haar bedank ik voor de deskundige uitleg en het verstrekken van een groot deel van de gegevens. Ook dank ik de heer Bruno Hoornaert van het Federaal Planbureau, mevrouw Eef Delhaye van Transport & Mobility Leuven en mevrouw Lieslotte Wackenier van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse Overheid voor de geleverde hulp bij verschillende topics.

Tot slot zou ik graag een speciaal woord van dank richten aan mijn vriendin, mijn ouders en mijn zus. Dit niet alleen voor het draaglijk maken van de uren gevuld met tellen van voertuigen, maar zeker ook voor de eindeloze steun gedurende de voorbije vijf jaren. Bedankt!

Samenvatting

Hoewel er in het verleden weinig interesse voor was, wordt sinds de jaren negentig steeds meer aandacht geschonken aan de ecologische effecten van wegen en verkeer op ecosystemen en landschappen. Dit resulteerde in 1998 in een nieuw onderzoeksdomein: road ecology. In dit onderzoeksdomein worden de effecten van wegen op ecosystemen onderzocht, met aandacht voor zowel de ruimtelijke ordening als transportbeleid. Een concreet vraagstuk betreffende de link tussen ruimtelijke ordening en road ecology wordt gevonden binnen het Nationaal Park Hoge Kempen (NPHK). Het zuidelijk deel van dit natuurgebied wordt in Lanaken doorsneden door de Daalbroekstraat. Dit is een straat die vaak als sluipteg gebruikt wordt ter vervanging van de gewestwegen N77 en N78, die rondom het NPHK lopen, en de Weg naar Zutendaal, een industrieweg die noordelijker in het NPHK gelegen is.

Reeds sinds het begin van dit millennium is er sprake van een mogelijke afsluiting van de Daalbroekstraat tussen de Molenbergstraat en het Openbaar Psychiatrisch Zorgcentrum Rekem. Ook in het *Masterplan Nationaal Park Hoge Kempen*, dat in 2001 opgesteld werd voor de oprichting van het NPHK, wordt gewag gemaakt van een ontsnipperingsvoorstel om de Daalbroekstraat af te sluiten voor doorgaand verkeer. Dit is zeker niet onlogisch, gezien de grote waarde van de omliggende natuur en de alternatieve routes die voorhanden zijn met de N77, N78 en de Weg naar Zutendaal. Tot op heden is de Daalbroekstraat echter nog steeds toegankelijk voor alle verkeer. Toch werd de afsluiting van deze weg in 2008 nogmaals bekrachtigd. De vraag blijft echter of de uitvoering van deze beslissing wel aangewezen is. Daarom werd in deze masterproef onderzocht of het wenselijk en rendabel is om de Daalbroekstraat af te sluiten. Dit betekent dat bepaald werd of de baten van de sluiting van de weg groter zijn dan de bijhorende kosten, waarbij zowel rekening gehouden werd met de economische als ecologische gevolgen.

Dit onderzoek werd gevoerd a.d.h.v. een kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse (KBA). Dit is een onderzoeksmethode die vanuit maatschappelijk standpunt bekijkt of het rendabel is om een project, in dit geval de sluiting van de Daalbroekstraat, uit te voeren. Hierbij worden zoveel mogelijk impacts in monetaire waarden uitgedrukt, opdat de netto contante waarde (NCW) van het project berekend kan worden. De impacts waarvoor het onmogelijk is om ze in monetaire waarden uit te drukken, wegens een tekort aan tijd of gegevens, worden kwalitatief besproken, opdat toch een volledige beoordeling bekomen wordt.

De ecologische impacts opgenomen in het onderzoek werden bepaald a.d.h.v. enerzijds een literatuurstudie die zich toespitste op het onderzoeksdomein road ecology en anderzijds een observatie van de situatie ter plaatse. Voor de identificatie van de economische impacts werd een beroep gedaan op Inge Mayeres, een deskundige van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Dit alles leidde ertoe dat enkele economische en ecologische impacts opgenomen werden in de feitelijke KBA. Voor de economische impacts zijn dit de verandering in brandstofverbruik, reistijden, infrastructuurkosten, en aantal ongevallen, en de gezondheidseffecten van emissies van zware metalen, stikstofoxiden en fijn stof. Voor de ecologische impacts zijn dit de milieueffecten van emissies van zware metalen, stikstofoxiden en fijn stof. Daarbovenop

werden één economische en vijf ecologische impacts kwalitatief besproken: enerzijds de gezondheidskosten m.b.t. geluidshinder en anderzijds het nettoverlies van biotoop voor vegetatie, het nettoverlies van leefomgeving voor fauna, het barrière-effect met versnippering van het natuurgebied als gevolg, wegentwijking door geluidshinder en de verspreiding van strooizouten. Deze impacts werden gebruikt om het projectalternatief, waarin de Daalbroekstraat afgesloten wordt en de gebruikers moeten overschakelen naar de alternatieve routes via de N77, N78 en Weg naar Zutendaal, te vergelijken met het nulalternatief, waarin de situatie blijft zoals ze nu is.

De KBA werd opgesteld over een analyseperiode van 50 jaren en een analyseperiode van 100 jaren. Hierbij werd een discontovoet gebruikt van 4% gedurende de eerste 30 jaren, die vervolgens geleidelijk afneemt richting 2% volgens de formule $r_t = \sqrt[t]{1,04^{30} \cdot 1,02^{t-30}} - 1$. Deze verdiscontering was nodig om het gekozen beslissingscriterium te berekenen: de netto contante waarde (NCW). Als de NCW groter dan nul is, is het rendabel om het project uit te voeren. Uit de KBA bleek dat de NCW over 50 jaren gelijk is aan -19.310.681,08 euro. Over een analyseperiode van 100 jaren bedraagt de NCW zelfs -25.309.734,16 euro. Aan de hand van een Monte Carlo simulatie werd vastgesteld dat deze NCW's met 100% zekerheid negatief zijn. Dit negatief totaal wordt grotendeels veroorzaakt door de tijdskosten die het project met zich meebrengt. In tegenstelling tot wat men zou verwachten is het echter niet het tijdsverlies voor de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat dat van belang is, maar wel het extra tijdsverlies voor de voertuigen die reeds in de referentiesituatie gebruik maakten van de alternatieve routes. Door de afsluiting van de Daalbroekstraat zullen de alternatieve routes immers meer voertuigen te verwerken krijgen, waardoor de verkeersstroom trager zal vorderen. Een andere factor van belang, zij het in mindere mate dan de tijdskosten, zijn de extra ongevallenkosten in het projectalternatief. De toename in de verkeersintensiteit op de N77, N78 en Weg naar Zutendaal t.g.v. de sluiting van de Daalbroekstraat brengt immers een groter risico op ongevallen met zich mee, wat tot hogere kosten leidt. Tot slot zullen ook de brandstofkosten vanzelfsprekend hoger liggen in het projectalternatief, terwijl de infrastructuurkosten af zullen nemen t.g.v. het wegvallen van de onderhoudskosten op de Daalbroekstraat.

Het meest verrassende resultaat van de monetaire analyse wordt echter geleverd door de milieu- en gezondheidskosten, die samengenomen werden doordat beide kosten in de literatuur samen beschouwd worden. In tegenstelling tot wat verwacht werd, brengt het projectalternatief extra milieu- en gezondheidskosten met zich mee. Dit onverwachte resultaat werd veroorzaakt door twee factoren. Ten eerste bestaat in de literatuur geen duidelijke waardering voor de negatieve effecten van emissies op het milieu. Ten tweede wordt het grootste deel van deze kosten bepaald door de emissiekosten van fijn stof, dat zeer schadelijk is voor de menselijke gezondheid. Aangezien meer mensen in de buurt van de alternatieve routes wonen, zijn deze kosten vanzelfsprekend hoger in het projectalternatief.

Afgaande op enkel de monetaire analyse zou men bijgevolg moeten beslissen om de Daalbroekstraat te behouden. Deze conclusie werd echter volledig tegengesproken door de kwalitatieve analyse van de overige impacts. Het natuurgebied waarin de weg gelegen is, bleek immers van zeer hoge kwaliteit te zijn. Zo behoort het gebied o.a. tot het Vlaams Ecologisch

Netwerk en het Natura 2000-netwerk. Daarenboven wordt dit gebied als zeer kwetsbaar en ecologisch waardevol bestempeld door respectievelijk het natuurrichtplan *Hoge Kempen* en de Vlaamse biologische waarderingskaart. Door de afsluiting van de weg zou men bijgevolg heel wat waardevol natuurgebied kunnen recupereren. Daarnaast zou ook de stress op de plaatselijke fauna sterk afnemen, o.a. doordat er geen geluidshinder meer is, het barrière-effect niet meer aanwezig is, de twee gebieden ten noorden en ten zuiden van de Daalbroekstraat tot een groter natuurgeheel versmolten zouden worden en er geen zouten meer gestrooid zouden worden.

Daartegenover werd in de analyse ook geschat dat 66% van de gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief over zullen schakelen naar de Weg naar Zutendaal. Aangezien ook deze weg het NPHK doorkruist, zouden de eerder vernoemde ecologische effecten rondom deze weg toenemen. Hierbij mag echter aangenomen worden dat de gevolgen van deze toename veel beperkter zijn in vergelijking met de positieve invloed ter hoogte van de Daalbroekstraat. Ook wat betreft de gezondheidskosten van geluidshinder voor de omwonenden van de alternatieve routes kon geconcludeerd worden dat de toename in verkeersintensiteit te beperkt is om negatieve gevolgen in te houden. Dit betekent dat o.b.v. de kwalitatieve analyse de Daalbroekstraat afgesloten dient te worden.

Uit deze masterproef kan bijgevolg geen eenduidige conclusie getrokken worden, aangezien de monetaire en de kwalitatieve analyse elkaar tegenspreken. Wel kunnen de beleidsmakers de gevonden NCW afwegen tegenover de positieve ecologische effecten die het project met zich meebrengt. Vinden zij dat de positieve effecten de negatieve NCW rechtvaardigen, dan is het aangewezen om de Daalbroekstraat af te sluiten. Zo nee, dan is het aan te raden om verder onderzoek te doen naar de gevolgen van de afsluiting van de Daalbroekstraat. Er zijn immers verscheidene effecten die verder onderzocht moeten worden om een duidelijk beeld te krijgen van hun gevolgen alvorens het project definitief overboord te gooien.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Samenvatting	5
Inhoudsopgave	9
Lijst van figuren	15
Lijst van tabellen	17
Lijst van gebruikte terminologie	19
Lijst van gebruikte afkortingen	23
Hoofdstuk 1 Probleemstelling	25
1.1. Inleiding	25
1.2. Het praktijkprobleem	27
1.3. Onderzoeksvragen en onderzoeksopzet	28
1.4. Afbakening van het onderzoek	30
1.4.1. Het project	30
1.4.2. Alternatieven	31
1.4.3. Het onderzoeksgebied	31
1.5. Overzicht van de masterproef	33
Hoofdstuk 2 Ecologische effecten	35
2.1. Literatuurstudie: ecologische effecten van wegen en verkeer	35
2.1.1. Impact op vegetatie	36
2.1.2. Fysische, chemische en atmosferische effecten	37
2.1.2.1. Fysische omgeving	37
2.1.2.2. Chemische omgeving	38
2.1.2.2.1. Chemische stoffen langs wegen	39
2.1.2.2.2. Chemische stoffen in de atmosfeer	41
2.1.2.2.2.1. Lokaal niveau	41
2.1.2.2.2.2. Regionaal niveau	42
2.1.2.2.2.3. Globaal niveau	42
2.1.2.3. Atmosferische omgeving	43
2.1.3. Impact op fauna	45

2.1.3.1.	Wegontwijking	45
2.1.3.2.	Versnippering van het leefgebied en het barrière-effect	45
2.1.3.3.	Roadkill	46
2.1.3.4.	Leefgebied langs wegen	48
2.1.3.5.	Wegen als geleidingscorridor	48
2.2.	Ecologische effecten van de Daalbroekstraat	49
2.2.1.	Impact op vegetatie	49
2.2.1.1.	Nettoverlies van natuurgebied	49
2.2.1.2.	Vegetatievorming langs wegen	50
2.2.1.3.	Hinder door de uitstoot en verspreiding van stoffen	50
2.2.2.	Impact op fauna	50
2.2.2.1.	Barrière-effect en de versnippering van het leefgebied	50
2.2.2.2.	Roadkill	51
2.2.2.3.	Verstoring leidend tot wegontwijking	51
2.2.2.4.	Wegen als leefgebied en bewegingscorridor	52
2.2.3.	Fysische, chemische en atmosferische effecten	52
2.2.3.1.	Chemische stoffen langs wegen	52
2.2.3.2.	Chemische stoffen in de atmosfeer	53
2.3.	Conclusie	54
Hoofdstuk 3	Economische effecten	55
3.1.	Economische effecten in het praktijkprobleem	55
3.1.1.	Verandering in brandstofverbruik	55
3.1.2.	Verandering in reistijden	55
3.1.3.	Verandering in infrastructuurkosten	56
3.1.4.	Verandering in aantal ongevallen	57
3.1.5.	Impact op de menselijke gezondheid	57
3.1.6.	Impact op de lokale economie	57
3.1.7.	Conclusie	58
3.2.	Verkeerstelling	58
3.3.	Wijzigingen in het rittenpatroon	60
3.3.1.	Opbouw van het netwerk	61
3.3.1.1.	Knooppunten	62
3.3.1.2.	Bogen	63
3.3.2.	Toepassing van het kortste pad-algoritme	63
3.3.2.1.	Kortste pad o.b.v. de reistijden	64

3.3.2.2.	Kortste pad o.b.v. de reisafstanden	65
3.3.3.	Verschillen tussen de referentiesituatie en de alternatieve situatie	67
3.3.4.	Bepalen van de verkeersstroom op de gewijzigde routes	69
3.3.5.	Conclusie	71
Hoofdstuk 4	De kosten-batenanalyse	73
4.1.	Definitie	73
4.2.	Opbouw van een kosten-batenanalyse	74
4.3.	Keuze voor KBA als analysemethode	75
Hoofdstuk 5	KBA van het praktijkprobleem	79
5.1.	Classificatie van impacts	79
5.1.1.	Effecten in een KBA	79
5.1.1.1.	Directe en indirecte effecten	79
5.1.1.2.	Materiële en immateriële effecten	80
5.1.1.3.	Meetbare en niet-meetbare effecten	80
5.1.2.	Classificatie van de ecologische effecten	80
5.1.3.	Classificatie van de economische effecten	80
5.2.	Assumpties	81
5.2.1.	Analyseperiode	82
5.2.2.	Discontovoet	82
5.2.3.	Beslissingscriterium	84
5.2.4.	Basisjaar	85
5.3.	Kwalitatieve kosten-batenanalyse	85
5.3.1.	Veronderstellingen van de monetaire analyse	85
5.3.1.1.	Behandeling van de belastingen	85
5.3.1.2.	Evolutie van de verkeersintensiteit	86
5.3.2.	Monetaire analyse	86
5.3.2.1.	Verandering in brandstofverbruik	86
5.3.2.1.1.	Jaarlijks aantal voertuigen per voertuigklasse	87
5.3.2.1.2.	Jaarlijks aantal extra kilometers	88
5.3.2.1.3.	Jaarlijks brandstof- en elektriciteitsverbruik	89
5.3.2.1.4.	Brandstofkosten	91
5.3.2.2.	Verandering in reistijden	93
5.3.2.2.1.	Interne tijdskosten	93
5.3.2.2.2.	Externe tijdskosten	95

5.3.2.3.	Verandering in infrastructuurkosten	97
5.3.2.3.1.	Vermindering in kosten op de Daalbroekstraat	97
5.3.2.3.1.1.	Wegonderhoudskosten	97
5.3.2.3.1.2.	Onderhoudskosten van de wegberm	97
5.3.2.3.1.3.	Strooikosten	98
5.3.2.3.1.4.	Verlichtingskosten	98
5.3.2.3.2.	Vermeerdering in kosten op de alternatieve routes	99
5.3.2.4.	Verandering in aantal ongevallen	100
5.3.2.4.1.	Actualisering van Hoornaert (2008)	101
5.3.2.4.2.	Extra ongevallenkosten in het projectalternatief	104
5.3.2.5.	Milieu- en gezondheidseffecten	105
5.3.2.5.1.	Berekening van de marginale externe milieu- en gezondheidskosten	105
5.3.2.5.2.	Berekening van de extra milieu- en gezondheidskosten	107
5.3.2.6.	Samenvatting van alle kosten	112
5.3.2.7.	Verdiscontering en projectbeoordeling	114
5.3.3.	Kwalitatieve analyse	115
5.3.3.1.	Nettoverlies van natuurgebied	115
5.3.3.1.1.	Biologische waarderingskaart	115
5.3.3.1.2.	Natura 2000-netwerk	117
5.3.3.1.3.	Vlaams Ecologisch Netwerk	118
5.3.3.1.4.	Natuurrichtplan	120
5.3.3.1.5.	Besluit m.b.t. het nettoverlies van natuurgebied	120
5.3.3.2.	Barrière-effect en de versnippering van het leefgebied	121
5.3.3.3.	Wegontwijking door geluidshinder	123
5.3.3.4.	Verspreiding van strooizouten	125
5.3.3.5.	Emissies van PM en NO _x	127
5.3.3.6.	Gezondheidskosten voor de mens door geluidshinder	128
5.4.	Sensitiviteitsanalyse	129
Hoofdstuk 6	Conclusies	137
6.1.	Ecologische en economische effecten	137
6.2.	Kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse	138
6.2.1.	Monetaire analyse	138
6.2.2.	Kwalitatieve analyse	139
6.2.3.	Conclusie	140
6.3.	Aanbevelingen voor verder onderzoek	141
6.3.1.	Aanbevelingen m.b.t. het rittenpatroon	141

6.3.2.	Aanbevelingen m.b.t. de kwalitatief besproken effecten	141
6.3.3.	Aanbevelingen m.b.t. de monetaire analyse	142
Lijst van geraadpleegde werken		145
Bijlagen		155
	Bijlage 1: Verkeerstellingen	155
B1.1	Verdelingscurve	156
B1.2	Verloopenalyse	157
B1.2.1	Algemeen overzicht	157
B1.2.2	Intensiteiten	157
B1.3	Frequentieanalyse	160
B1.4	Snelheidsverdeling	161
	Bijlage 2: Het kortste pad-algoritme	162
	Bijlage 3: Toepassing van het kortste pad-algoritme op de referentiesituatie o.b.v. de reistijden	163
	Bijlage 4: Toepassing van het kortste pad-algoritme op de referentiesituatie o.b.v. de reisafstanden	172
	Bijlage 5: Overzicht van de belangrijkste formules van de KBA	182
	Bijlage 6: Instellingen van het CAR Vlaanderen II model	188

Lijst van figuren

Figuur 1.1 – Situering van het onderzoeksgebied in het NPHK.	27
Figuur 1.2 – Het weggedeelte van de Daalbroekstraat onder beschouwing.	31
Figuur 1.3 – Afbakening van het onderzoeksgebied.	32
Figuur 2.1 - Ecologische effecten van wegen op dieren.	45
Figuur 2.2 – Verkeersintensiteit en roadkill.	48
Figuur 3.1 - Locatie van de verkeersradar.	58
Figuur 3.2 – De verkeersradar.	59
Figuur 3.3 – Vereenvoudigd netwerk van het praktijk-probleem.	61
Figuur 3.4 - Het vereenvoudigd netwerk in de referentiesituatie.	64
Figuur 3.5 - Het vereenvoudigd netwerk in de alternatieve situatie.	67
Figuur 5.1 – Evolutie van de discontovoet over de gehele analyseperiode.	83
Figuur 5.2 – Jaarlijks aantal voertuigen op de Daalbroekstraat in het nulalternatief in de periode 2014 – 2035.	87
Figuur 5.3 – De evolutie van de aandelen van de verschillende brandstofklassen in het totaal aantal personenwagens.	88
Figuur 5.4 – Jaarlijks aantal extra vkm in het projectalternatief t.o.v. het nulalternatief.	89
Figuur 5.5 – Jaarlijkse extra brandstofkosten in het projectalternatief (prijspeil: 2013).	92
Figuur 5.6 – Jaarlijkse extra tijdskosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013).	96
Figuur 5.7 – Jaarlijkse extra infrastructuurkosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013).	100
Figuur 5.8 – Jaarlijkse extra ongevalkosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013).	105
Figuur 5.9 – Jaarlijkse extra milieu- en gezondheidskosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013).	108
Figuur 5.10 – Totale extra jaarlijkse kosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013).	112
Figuur 5.11 – Verdisconteringsfactor voor ieder jaartal.	114
Figuur 5.12 – Biologische waarderingskaart.	117
Figuur 5.13 – Het Natura 2000-netwerk.	118
Figuur 5.14 – Het Vlaams Ecologisch Netwerk.	119
Figuur 5.15 – Het natuurrichtplan.	121
Figuur 5.16 – Barrière-effect op de Daalbroekstraat.	122
Figuur 5.17 – Ligging van de Daalbroekstraat t.o.v. aquatische omgevingen.	126
Figuur 5.18 – Kansverdeling voor de NCW over 50 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.	133
Figuur 5.19 – Kansverdeling voor de NCW over 100 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.	133
Figuur 5.20 – Statistische gegevens van de Monte Carlo simulatie.	134

Figuur 5.21 – Sensitivity chart voor de NCW over 50 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.	135
Figuur 5.22 – Sensitivity chart voor de NCW over 100 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.	135
Figuur B.1 – Verloop van het aantal voertuigen.	155
Figuur B.2 – Verdelingscurve van de lengtereregistraties.	156
Figuur B.3 – Snelheidsverdeling.	161
Figuur B.4 – Richtlijnen voor de indeling van de totale intensiteit in voertuigfracties.	188

Lijst van tabellen

Tabel 2.1 – Relatie tussen de verkeersintensiteit en het barrière-effect.	46
Tabel 2.2 – Overzicht van de opgenomen en niet-opgenomen ecologische effecten.	54
Tabel 3.1 – Overzicht van de opgenomen en niet-opgenomen economische effecten.	58
Tabel 3.2 – Samenvatting van de meetresultaten (deel 1).	59
Tabel 3.3 – Samenvatting van de meetresultaten (deel 2).	59
Tabel 3.4 – Resultaten van het kortste pad-algoritme o.b.v. de reisafstand (bijlage 4).	66
Tabel 3.5 – Analyse van de routes die gewijzigd worden door de sluiting van de Daalbroekstraat.	68
Tabel 3.6 – Verkeersstroom op de Daalbroekstraat.	71
Tabel 3.7 – Samenvatting van paragraaf 3.3.	72
Tabel 5.1 – Opgenomen effecten.	81
Tabel 5.2 – Gemiddelde jaarlijkse toename in het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat in de referentiesituatie.	86
Tabel 5.3 – Gegevens per route.	88
Tabel 5.4 – Verdeling van het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat over beide rijrichtingen.	89
Tabel 5.5 – CO ₂ -emissiefactoren en brandstofverbruik voor vier voertuigklassen.	90
Tabel 5.6 – Jaarlijks extra brandstofverbruik in het projectalternatief voor iedere voertuigklasse.	90
Tabel 5.7 – Belgische prijzen voor de verschillende typen brandstof en elektriciteit (prijspeil: 2012).	91
Tabel 5.8 – Geschatte evolutie van de prijs voor olie en aardgas (prijspeil: 2012).	92
Tabel 5.9 – Jaarintensiteiten in beide richtingen op de Daalbroekstraat voor beide rijrichtingen in het nulalternatief.	93
Tabel 5.10 – Informatie voor iedere route.	93
Tabel 5.11 – Het totale jaarlijkse tijdsverlies voor iedere voertuigklasse tijdens piekuren en daluren in het projectalternatief (2014).	94
Tabel 5.12 – De waarde van tijd in euro per uur (waarde 2008, prijspeil 2013).	95
Tabel 5.13 – Procentuele wijziging van VOT ten opzichte van 2008.	95
Tabel 5.14 – Marginale externe tijdskosten in euro per 100 vkm (waarde 2008, prijspeil 2013).	95
Tabel 5.15 – Aantal kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat extra afleggen op de alternatieve routes in vergelijking met het nulalternatief.	96
Tabel 5.16 – Eigenschappen van de lampen op de Daalbroekstraat.	98
Tabel 5.17 – Marginale infrastructuurkosten (prijspeil: 2013).	99
Tabel 5.18 – Informatie per type slachtoffer in België.	102
Tabel 5.19 – Slachtofferinformatie per voertuigklasse in België.	102
Tabel 5.20 – Kostengegevens voor een ongeval in euro (prijspeil: 2013).	103

Tabel 5.21 – Sociale ongevallenkosten voor het jaar 2012 voor de verschillende voertuigklassen in België, weergegeven in euro (prijspeil: 2013).	103
Tabel 5.22 – Berekening van de Belgische gemiddelde ongevallenkosten voor het jaar 2012 in euro per voertuigkilometer (prijspeil: 2013).	104
Tabel 5.23 – Waardering van emissies van de verschillende polluenten voor het jaar 2010 (prijspeil: 2009).	106
Tabel 5.24 – Marginale externe gezondheidskosten van zware metalen, NO _x en PM _{coarse} (prijspeil: 2013).	109
Tabel 5.25 – Berekening van de marginale externe gezondheidskosten van PM _{2,5} (prijspeil: 2013).	110
Tabel 5.26 – Berekening van het aantal extra kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat in iedere route moeten afleggen, wanneer rekening gehouden wordt met het onderscheid tussen weggedeelten door natuurgebied en weggedeelten door woongebied.	111
Tabel 5.27 – Totale extra jaarlijkse kosten in het projectalternatief (in euro) voor de periode 2014 – 2113 (prijspeil: 2013).	113
Tabel 5.28 – Geluidsniveaus.	124
Tabel 5.29 – Concentraties op de Daalbroekstraat zoals berekend door het CAR Vlaanderen II model.	127
Tabel 5.30 – Ontwerp-K.B. 1991.	129
Tabel 5.31 – Veronderstellingen voor sensitiviteitsanalyse.	130
Tabel B.1 – Verloopenalyse van de Daalbroekstraat gedurende de analyseperiode (11 tot 25 november 2013).	158
Tabel B.2 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat (incl. beide richtingen).	158
Tabel B.3 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat in de richting Bessemer.	159
Tabel B.4 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat richting Rekem.	159
Tabel B.5 – Snelheidsfrequentieanalyse.	160
Tabel B.6 – Frequentieanalyse m.b.t. de voertuigklasse.	161

Lijst van gebruikte terminologie

Alternatieve situatie	Zie projectalternatief.
Barrière-effect	Het fenomeen waarbij wegen en verkeer dieren voortdurend belemmeren om de weg over te steken.
CAR Vlaanderen II Model	Een emissiemodel aan de hand waarvan men op een eenvoudige wijze inzicht verkrijgt in de luchtverontreiniging door het plaatselijk verkeer, met specifieke aandacht voor de concentraties NO ₂ , PM ₁₀ en PM _{2,5}
CO ₂ -Emissiefactoren	De hoeveelheid luchtverontreiniging van CO ₂ die uitgestoten wordt per eenheid verstoekte brandstof.
Daluren	De periode van de dag tussen 9u en 16u en tussen 19u en 6u.
dB[A]	Een logaritmische decibeleenheid, afgeleid van de gewone decibel, die rekening houdt met de gevoeligheid van het menselijk oor.
Discontovoet	Percentage gebruikt voor het berekenen van de actuele waarde van toekomstige kosten en baten.
E-Motion model	Het Energie en emissieMOdel voor Transport met geografische spreiding, een impactmodel dat de historische en toekomstige energieconsumptie, emissies en milieu-impact van wegverkeer, treinverkeer, zeevaart, binnenvaart en niet-voor-de-weg-bestemde mobiele machines in België in kaart brengt.
EU-27	De Europese Unie voor 1 juli 2013, voordat de EU uitgebreid werd met Kroatië, het 28 ^{ste} lid.
Externaliteit	Effect dat optreedt wanneer de productie of de consumptie van een goed de nutsmogelijkheden van derden beïnvloedt zonder dat deze hiervoor gecompenseerd worden.
Fragmentatie	Zie versnippering.
Grenswaarde	(1) Minimale belasting van een organisme door bijvoorbeeld geluidshinder waarbij een verstorend effect optreedt, of (2) de maximale belasting waaraan een organisme blootgesteld mag worden.
Integraal Verwervings- en Ondersteunend Netwerk	Vlaams netwerk bestaande uit natuurverwevingsgebieden, waarin de natuurfunctie evenwaardig en duurzaam dient samen te gaan met de functies landbouw, bosbouw en recreatie, en natuurverbindingsgebieden, die de natuurwervingsgebieden met elkaar verbinden.
Kationuitwisselingscapaciteit	De bodemcapaciteit om positief geladen ionen met de bodemoplossing uit te wisselen.
Kortste pad-algoritme	Methode voor netwerkoptimalisatie gebruikt om het kortste of snelste pad te bepalen voor een bepaalde route.
L _{aeq}	Equivalent continu geluid. Wanneer geluid varieert doorheen de tijd wordt de L _{aeq} gebruikt om het geluidsniveau aan te geven.

Lichte vrachtwagen	Voertuigen met een fysieke lengte tussen 5,2 en 9 m.
Maatschappelijke kosten-batenanalyse	Een onderzoeksmethode die vanuit maatschappelijk standpunt bekijkt of het rendabel is om een project uit te voeren. Hierbij worden zoveel mogelijk impacts in monetaire waarden uitgedrukt.
Marginale kosten	De kosten die een extra vkm met zich meebrengt.
Microbiële biomassa	De massa van micro-organismen in een bodem.
Milieueffectrapport	Een openbaar onderzoek gevoerd naar de mogelijke milieugevolgen van een project of een beleid.
Minerale nutriënten	Anorganische chemische elementen vereist door levende organismen.
Monetariseren	Omzetten van impacts naar monetaire termen.
Monte Carlo simulatie	Een techniek voor de sensitiviteitsanalyse waarbij een proces verschillende keren gesimuleerd wordt, zij het iedere keer met andere startvoorwaarden. Dit resulteert in een verdelingsfunctie die het hele bereik van mogelijke uitkomsten weergeeft.
Natuurrichtplan	Een gebiedsgericht natuurbeleidsplan waarin voor een natuurgebied de langetermijndoelstellingen van het natuurbeleid uitgewerkt worden.
Netto contante waarde	Het verschil tussen de actuele waarde van toekomstige baten en de actuele waarde van toekomstige kosten.
N-route	De alternatieve route voor de Daalbroekstraat die via de gewestwegen N77 en N78 rondom het NPHK loopt.
Nulalternatief	Het alternatief waarin het project niet uitgevoerd wordt.
Onderhoudsademhaling	De stofwisseling binnen een organisme vereist om het organisme in een gezonde, levende toestand te houden.
Organische stof	Een complex mengsel van koolstofhoudende verbindingen, voor ongeveer 58% bestaande uit organische koolstof.
Permafrost	Grond die minstens gedurende twee jaren een temperatuur heeft van maximum 0°C.
Personenwagen	Voertuigen met een fysieke lengte tussen 2,5 en 5,2 m.
Ph	Een maat voor de zuurtegraad. De pH van zure oplossingen ligt lager dan 7, de pH van basische oplossingen ligt hoger dan 7.
Piekuren	De periode van de dag tussen 6u en 9u en tussen 16u en 19u.
PM ₁	Fijn stof met een maximale diameter van 1 micrometer.
PM ₁₀	Fijn stof met een maximale diameter van 10 micrometer.
PM _{2,5}	Fijn stof met een maximale diameter van 2,5 micrometer.
PM _{coarse}	Het verschil tussen PM ₁₀ en PM _{2,5} , oftewel de emissiefactoren van PM ₁₀ die niet in PM _{2,5} vervat zitten.
Potentiële nitrificatiecapaciteit	De Kjeldahl-stikstofconcentratie in een stof beschikbaar voor nitrificatie.
Projectalternatief	Het alternatief waarin het project uitgevoerd zal worden.

Publiek goed	Goederen waarvoor noch sprake is van uitsluitbaarheid (d.i. uitsluiting van bepaalde personen in de consumptie van een goed) noch van rivaliteit in consumptie (d.i. wanneer één persoon het goed consumeert, het niet meer beschikbaar is voor een ander persoon).
Reële termen	Monetaire waarden waaruit de invloed van de inflatie geëlimineerd is.
Referentiesituatie	Zie nulalternatief.
Roadkill	Dieren die doodgereden worden door voorbijrijdend verkeer
Ruimtelijk structuurplan	Een beleidsdocument dat het kader aangeeft voor de gewenste ruimtelijke structuur van een bepaald gebied.
Ruimtelijk uitvoeringsplan	Bestemmingsplan dat voor percelen vastlegt welke activiteiten er mogen plaatsvinden, waar men onder welke voorschriften mag bouwen en hoe een bepaald gebied ingericht moet worden.
Speciale beschermingszone	Natuurgebied opgenomen in het Europese Natura-2000 netwerk in het kader van de Vogelrichtlijn en/of de Habitatrichtlijn.
Trailer	Voertuigen met een fysieke lengte groter dan 12 m.
Tweewieler	Brommers en motoren, met een fysieke lengte kleiner dan 2,5 m.
Value of time	De waardering van tijd in euro's.
Verdisconteren	Berekenen van de huidige waarde.
Versnippering	De opdeling van ruimtelijke gebieden in kleinere stukken, o.a. door de aanwezigheid van wegen.
Voertuigkilometer	Een voertuigkilometer kan men verkrijgen door bijvoorbeeld één voertuig dat één km rijdt of twee voertuigen die allebei 500 m rijden.
Vrachtwagen	Voertuigen met een fysieke lengte tussen 9 en 12 m.
Wegontwijking	Het fenomeen dat wegen en verkeer ervoor zorgen dat dieren deze gebieden doelbewust ontwijken.
WNZ-route	De alternatieve route voor de Daalbroekstraat die via de Weg naar Zutendaal door het NPHK loopt.

Lijst van gebruikte afkortingen

ANB	Agentschap voor Natuur en Bos
BEV	Battery electric vehicle
BTB	Bereidheid tot betalen
btw	Belasting over de toegevoerde waarde
BWK	Biologische waarderingskaart
cc	Kubieke centimeter
CNG	Wagen op aardgas onder druk
DIES	Wagen op diesel
DIESHYBRCS	Charge-sustaining diesel hybrid vehicle
DIESPHEV	Plug-in diesel hybrid electric vehicle
EU	Europese Unie
GAS	Wagen op benzine
GASHYBRCS	Charge-sustaining gasoline hybrid vehicle
GASPHEV	Plug-in gasoline hybrid electric vehicle
GEN	Grote Eenheden Natuur
GENO	Grote Eenheden Natuur in Ontwikkeling
FOD	Federale overheidsdienst
H2FUELCELL	Wagen op waterstof met brandstofcel
H2ICE	Wagen op waterstof met interne verbrandingsmotor
ha	Hectare (10.000 m ²)
IMOB	Instituut voor Mobiliteit
IOV	Interne opbrengstvoet
IVON	Integraal Verwervings- en Ondersteunend Netwerk
KBA	(Maatschappelijke) Kosten-batenanalyse
kwh	Kilowattuur
L _{aeq}	Equivalent continu geluid.
LPG	Wagen op liquified petroleum gas (autobrandstof in gasvorm)
MEIK	Marginale externe infrastructuurkosten
MEK	Marginale externe kosten
MER	Milieueffectrapport
METK	Marginale externe tijdskosten
NaCl	Natriumchloride
NCW	Netto contante waarde
NO _x	Stikstofoxiden
NPHK	Nationaal Park Hoge Kempen
OPZ	Openbaar Psychiatrisch Zorgcentrum
PAK	Polyaromatische koolwaterstoffen
PM	Fijn stof
RLKM	Regionaal Landschap Kempen en Maasland
RUP	Ruimtelijk uitvoeringsplan

SBZ	Speciale beschermingszone
TVT	Terugverdiëntijd
UV	Ultraviolet
VEN	Vlaams Ecologisch Netwerk
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
vkm	Voertuigkilometer.
VOS	Vluchtige organische stoffen
VOT	Value of time (tijdswaardering)

Hoofdstuk 1 Probleemstelling

Dit eerste hoofdstuk zal een inleiding geven tot het centrale onderzoeksdoel van deze masterproef. Na een algemene introductie zal het te onderzoeken praktijkprobleem toegelicht worden. Uit dit praktijkprobleem zal vervolgens de centrale onderzoeksvraag afgeleid worden, samen met de bijhorende deelvragen. Tegelijkertijd zal het onderzoeksopzet van de masterproef uiteengezet worden. Daaropvolgend wordt het onderzoek afgebakend om te eindigen met een overzicht van het verdere verloop van deze masterproef.

1.1. Inleiding

In tegenstelling tot verschillende decennia geleden is er vandaag de dag sprake van een groeiend algemeen milieubewustzijn. Waar in vroegere tijden slechts een beperkt aantal mensen zich bekommerden om het milieu, wordt tegenwoordig ook de modale mens steeds milieubewuster. Bewijzen hiervan kunnen gevonden worden in de rapporten die de Europese Commissie op geregelde tijdstippen publiceert omtrent de houding van de Europese burgers tegenover de klimaatverandering. Hieruit blijkt namelijk dat 89% van de Europeanen de klimaatverandering als een groot probleem beschouwt, waarvan 51% dit zelfs als het grootste probleem ziet, en dit ondanks de economische crisis (T. N. S. Opinion & Social, 2011). In België bedraagt dit laatste percentage zelfs 59%. 54% van de Belgen blijkt bovendien persoonlijk actie ondernomen te hebben om de klimaatverandering te bestrijden. 36% van deze groep Belgen beweert regelmatig milieuvriendelijke alternatieven voor de eigen auto te gebruiken, zoals wandelen, fietsen, het openbaar vervoer nemen of carpoolen.

Men kan bijgevolg concluderen dat de Belgen wel degelijk bekommerd zijn om het milieu, en in het bijzonder om de invloed van het verkeer op het milieu. Dat dit zeker niet onterecht is, wordt aangetoond door het feit dat in veel landen 15 tot 20 procent van het landoppervlak ecologisch beïnvloed wordt door wegen en wegverkeer, hoewel slechts 1 à 2 procent van dit oppervlak uit wegen en wegbermen bestaat (Forman & Deblinger, 1998; Reijnen, Foppen, Braak, & Thissen, 1995).

Ondanks de huidige aandacht voor de invloed van de wegeninfrastructuur op het milieu kreeg deze problematiek in vroegere tijden niet de aandacht die het verdiende. Of zoals Forman (1998) het eind vorige eeuw stelde: *"What is huge, conspicuous, and avoided by ecologists? The road network [...]"*. Doch, na verloop van tijd begonnen enkele wetenschappers en transportgeografen zich bewust te worden van milieukwesties bij de aanleg en het gebruik van wegen. Jammer genoeg richtte het merendeel van deze onderzoeken zich op duurzaam transport en de levenskwaliteit van de mens (Coffin, 2007). Het is pas sinds de jaren negentig dat de interesse in de ecologische effecten van wegen op ecosystemen en landschappen is gegroeid. Dit resulteerde in 1998 in een nieuw onderzoeksdomein dat de naam *road ecology* kreeg (Forman, 1998). Deze term verwijst, aldus Coffin (2007), naar *"een opkomend onderzoeksonderwerp omtrent de effecten van wegen op onderdelen, processen en structuren van ecosystemen, waarbij de oorzaken van deze effecten evenzeer gerelateerd zijn aan bouwkunde als aan ruimtelijke ordening en transportbeleid"*. Enkele

voorbeelden van dergelijke effecten zijn de fragmentatie van een natuurgebied in meerdere kleine gebieden, een verminderde luchtkwaliteit door de introductie van chemische polluenten in het milieu, en roadkill, d.i. dieren die doodgereden worden door voorbijrijdend verkeer.

Zoals de definitie van Coffin (2007) al doet vermoeden, deed de tendens naar meer aandacht voor de ecologische effecten van het transportnetwerk zich niet enkel in de academische wereld voor, maar ook in de politieke besluitvorming. Een centrale rol hierin wordt gespeeld door ruimtelijke ordening. In Vlaanderen is het belang van ruimtelijke ordening in de laatste decennia grondig toegenomen. Het begon eind jaren '70, toen de zogenaamde gewestplannen opgesteld werden. Dit waren ruimtelijke plannen waarin voor ieder perceel in Vlaanderen de bodembestemming vastgelegd werd. Op die manier werd aangegeven welke zones bestemd waren voor natuur, voor landbouw, voor industrie, voor wonen, etc. Hoewel deze plannen tot het jaar 2000 frequent bijgewerkt werden, worden ze sinds het begin van deze eeuw vervangen door ruimtelijke uitvoeringsplannen (RUP). Enkel in gebieden waar nog geen RUP opgesteld werd, zijn de gewestplannen nog van toepassing.

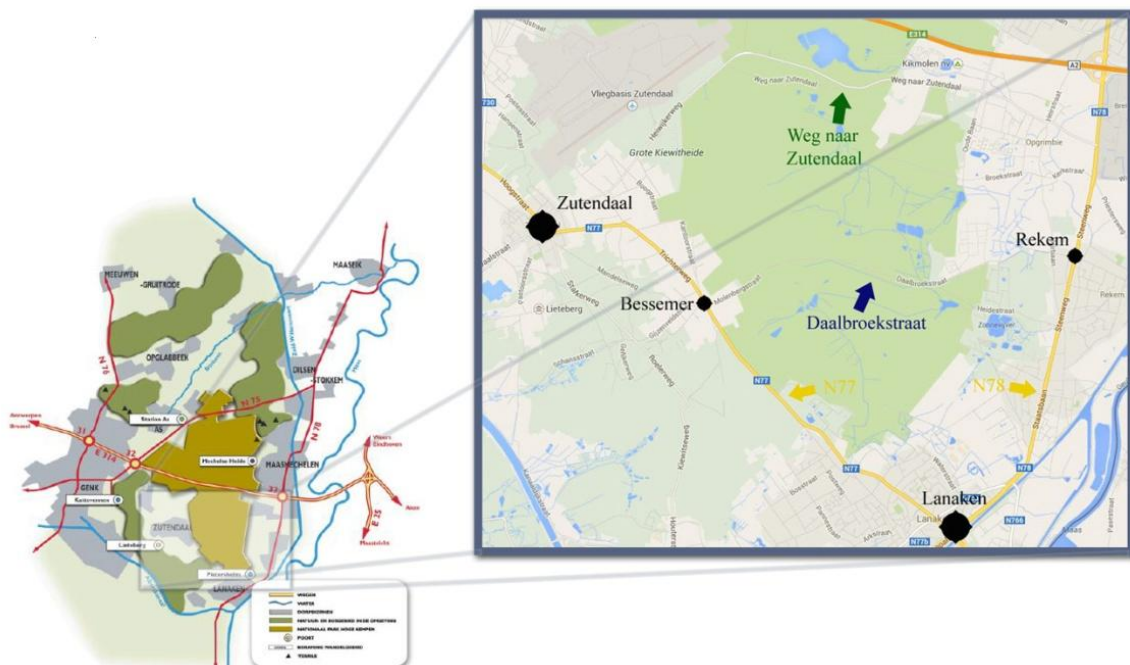
RUP's zijn net zoals gewestplannen bestemmingsplannen. Ze leggen voor de in het plan opgenomen percelen vast welke activiteiten er mogen plaatsvinden, waar men onder welke voorschriften mag bouwen en hoe een bepaald gebied ingericht moet worden (<http://www.ruimtevlaanderen.be>). RUP's kunnen opgesteld worden op drie niveaus – Vlaams, provinciaal en gemeentelijk – en werden ingevoerd om uitvoering te geven aan de zogenaamde ruimtelijke structuurplannen. Zoals art. 18 van het 'Decreet van 18 mei 1999 houdende de organisatie van de ruimtelijke ordening' (Vlaamse Overheid, 1999) stelt, is een ruimtelijk structuurplan *"een beleidsdocument dat het kader aangeeft voor de gewenste ruimtelijke structuur. Het geeft een langetermijnvisie op de ruimtelijke ontwikkeling van het gebied in kwestie."* Met de invoering van het ruimtelijk structuurplan begon het milieu een nog centralere rol te spelen in ruimtelijke ordening. Het uitgangspunt van deze plannen is namelijk het streven naar duurzame ruimtelijke ontwikkeling. Meer concreet betekent dit dat de ruimte beheerd zal worden als een duurzaam goed, waarbij voldaan moet worden aan de behoeften van de huidige generatie, zonder de behoeften van de toekomstige generaties en de ruimtelijke draagkracht in gedrang te brengen (Bongaerts & Nuijens, 2009).

Net zoals de RUP's worden ook de ruimtelijke structuurplannen op drie niveaus opgesteld: het Vlaams niveau, het provinciaal niveau en het gemeentelijk niveau. Dit betekent dat ook gemeenten een ruimtelijk structuurplan moeten opmaken. Nadat dit plan door de hogere niveaus goedgekeurd is, mogen de gemeenten zelf initiatieven nemen m.b.t. het ruimtelijk beleid. Ook de gemeente Lanaken heeft een ruimtelijk structuurplan opgesteld. Hierin doen ze o.a. een uitspraak over de gewenste ontwikkeling van bepaalde ruimtes, waarin de nodige aandacht geschonken wordt aan de natuur. Een van de centrale elementen onder beschouwing is de lijninfrastructuur, waartoe ook het wegennetwerk behoort (Bongaerts & Nuijens, 2009). Speciale aandacht wordt gegeven aan enkele wegen die zich op de rand van het Nationaal Park Hoge Kempen bevinden. Een weg die hierbij zeer belangrijk is, is de Daalbroekstraat, die met name van betekenis is door zijn invloed op de

omliggende natuur. Deze weg vormt dan ook het centraal onderzoeksobject van deze masterproef en wordt in de volgende paragraaf geïntroduceerd.

1.2. Het praktijkprobleem

De Daalbroekstraat is een weg gelegen op het grondgebied van de Limburgse gemeente Lanaken. Deze weg verbindt Rekem, een deelgemeente van Lanaken, met Bessemer, een gehucht van de gemeente Zutendaal. In het Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Lanaken (Bongaerts & Nuijens, 2009) wordt de Daalbroekstraat gecategoriseerd als een bovenlokale verbindingsweg, d.i. een weg van een relatief kleine schaal die de verbinding verzorgt tussen kleinere deukernen en omliggende buurgemeenten. Zoals weergegeven in figuur 1.1 kan de Daalbroekstraat gezien worden als een alternatieve sluipteg voor twee andere routes die men kan gebruiken om zich tussen Bessemer en Rekem te verplaatsen. De eerste route volgt de gewestwegen N77 en N78, terwijl de tweede route gebruik maakt van de Weg naar Zutendaal.



Figuur 1.1 – Situering van het onderzoeksgebied in het NPHK. Het NPHK is op de linkse kaart in het bruin aangeduid. Zowel de Daalbroekstraat als de Weg naar Zutendaal doorsnijden het NPHK, terwijl de gewestwegen N77 en N78 rond het NPHK gaan. (Bron: RLKM vzw (2011))

Zoals uit figuur 1.1 blijkt, doorkruist de Daalbroekstraat het zuidelijk deel van het Nationaal Park Hoge Kempen (NPHK). Het NPHK is een natuurgebied in de provincie Limburg dat een oppervlakte van ongeveer 5.700 ha bestrijkt (<http://www.rlkm.be>). Hierbij spreidt het zich uit over zes gemeenten, nl. As, Dilsen-Stokkem, Genk, Lanaken, Maasmechelen en Zutendaal. Het park vormt een onderdeel van het Regionaal Landschap Kempen en Maasland (RLKM) en wordt beheerd door het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB). Al sinds zijn officiële opening op 23 maart 2006 is het NPHK het enige nationaal park in Vlaanderen, en bij uitbreiding in heel België.

Het is eenvoudig te illustreren dat dit natuurgebied zeer waardevol is. Grote delen van het NPHK behoren namelijk tot het Natura 2000-netwerk. Dit is een Europees netwerk dat beschermde natuurgebieden oftewel *speciale beschermingszones* omvat, die in het kader van twee belangrijke richtlijnen vastgelegd werden (Europese Commissie, 2002): de Vogelrichtlijn (Raad van de Europese Gemeenschappen, 1979) en de Habitatrichtlijn (Raad van de Europese Gemeenschappen, 1992). Daarenboven zijn grote delen van het NPHK ook opgenomen in het Vlaams Ecologisch Netwerk (VEN), een geheel van Vlaamse natuurgebieden die door de Vlaamse Overheid geselecteerd werden wegens hun grote waarde en gevoeligheid.

Wanneer de ligging van de Daalbroekstraat beschouwd wordt, kan helaas vastgesteld worden dat deze weg dwars door zowel speciale beschermingszones als VEN-gebieden loopt. De vzw RLKM was zich echter reeds voor de oprichting van het NPHK bewust van het feit dat de Daalbroekstraat in dergelijk waardevol gebied lag. Vandaar dat in het *Masterplan Nationaal Park Hoge Kempen*, dat in 2001 opgesteld werd, gewag gemaakt werd van een ontsnipperingsvoorstel om de Daalbroekstraat af te sluiten voor doorgaand verkeer. Op dat moment was er zelfs sprake van een mogelijke afbraak, weliswaar met behoud van het fietspad (Bongaerts & Nuijens, 2009). Een (gedeeltelijke) afsluiting van de Daalbroekstraat had gerealiseerd moeten zijn tegen 2007. Hoewel ook in het Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Lanaken melding gemaakt wordt van een sluiting van de weg, is de Daalbroekstraat tot op de dag van vandaag nog steeds in gebruik. Dit betekent echter niet dat dit project op de lange baan geschoven is. De toekomstige sluiting van de Daalbroekstraat werd namelijk nog eens afgedwongen toen de Vlaamse Overheid in 2006 de vroegere kinderkolonie Molenberg, dat aan de Daalbroekstraat gelegen is, samen met het omliggende gebied opkocht ("Overheid koopt Molenberg voor goedkoop toerisme," 2006). Na deze aankoop stelde de Overheid immers dat deze gebouwen toch behouden moesten blijven, ondanks het feit dat het Masterplan in de afbraak ervan voorzag. In 2008 werd uiteindelijk besloten dat enkel het hoofdgebouw behouden moest blijven ("Kinderdorp Molenberg moet over drie jaar weg zijn," 2008). In het compromis dat toen bedongen werd, werd de sluiting van de Daalbroekstraat nogmaals bekrachtigd (Nuijens, Van Den Bosch, & Gilissen, 2013). De vraag blijft echter of het aangewezen is om de weg ook daadwerkelijk af te sluiten. In deze masterproef zal getracht worden hier een antwoord op te formuleren. Dit zal gedaan worden aan de hand van een beoordelingsmethode, die rekening houdt met zowel de economische als de ecologische en maatschappelijke gevolgen van de sluiting van de Daalbroekstraat.

1.3. Onderzoeksvragen en onderzoeksopzet

Uit het praktijkprobleem, dat in de vorige paragraaf ingeleid werd, kan de centrale onderzoeksvraag van deze masterproef gedistilleerd worden:

Zijn de baten van de sluiting van de Daalbroekstraat, gelegen in het Nationaal Park Hoge Kempen, groter dan de bijhorende kosten, wanneer rekening gehouden wordt met zowel de economische als de ecologische gevolgen die deze sluiting met zich meebrengt?

In deze masterproef zal dus a.d.h.v. een beoordelingsmethode een inzicht verkregen worden in de wenselijkheid en rendabiliteit van de sluiting van de Daalbroekstraat. Hierbij zal, zoals duidelijk

werd in de onderzoeksvraag, niet enkel de economische maar ook de ecologische kant onderzocht worden. Een belangrijke opmerking hierbij is dat ook de maatschappelijke gevolgen van een eventuele sluiting in beschouwing genomen zullen worden, hoewel ze niet vernoemd werden in de centrale onderzoeksvraag. Dit is omdat deze gevolgen gedeeltelijk bij de economische en gedeeltelijk bij de ecologische gevolgen onderzocht zullen worden.

Nu, voordat de verhouding tussen de baten en de kosten onderzocht kan worden, moet eerst een inzicht verkregen worden in de factoren die beïnvloed worden door een sluiting van de Daalbroekstraat. Een eerste deel van deze masterproef zal zich daarom toeleggen op de ecologische kant van het probleem, wat tot de eerste deelvraag leidt.

Deelvraag 1 – Welke ecologische impact heeft het gebruik van de Daalbroekstraat op het Nationaal Park Hoge Kempen?

Deze deelvraag kan opgesplitst worden in twee verschillende fasen. In een eerste fase zal onderzocht worden welke gevolgen de exploitatie van een weg in het algemeen heeft op het omliggende natuurgebied. Dit zal gebeuren a.d.h.v. een literatuurstudie, waarin de focus zal liggen op het onderzoeksdomein dat reeds in paragraaf 1.1 ingeleid werd, nl. road ecology. Deze literatuurstudie zal een antwoord geven op deelvraag 1a.

Deelvraag 1a – Welke invloed heeft het gebruik van een weg op het omliggende ecosysteem?

Natuurlijk is het zo dat niet alle ecologische invloeden die het gebruik van een weg met zich meebrengt van toepassing zijn op de situatie die onderzocht wordt in deze masterproef. Vandaar dat in een tweede fase bepaald zal worden welke invloeden van toepassing zijn op het praktijkprobleem en bijgevolg meegenomen zullen worden in het verdere onderzoek. Ook dit zal a.d.h.v. de literatuurstudie gebeuren, weliswaar gecombineerd met een analyse van de situatie ter plekke. Deze analyse bestaat onder meer uit een verkeerstelling. De tweede fase zal aldus een antwoord leveren op deelvraag 1b.

Deelvraag 1b – Welke van de in deelvraag 1a gevonden invloeden zijn van toepassing op de relatie tussen de Daalbroekstraat en het Nationaal Park Hoge Kempen?

Naast de ecologische gevolgen maakt de centrale onderzoeksvraag ook melding van economische factoren. Er zijn immers verschillende economische variabelen die gewijzigd zullen worden door een sluiting van de Daalbroekstraat. Een eenvoudig voorbeeld hiervan zijn de brandstofkosten van de weggebruikers. Dit is echter niet de enige economische factor die een rol speelt. Daarom zal een antwoord gegeven moeten worden op de tweede deelvraag.

Deelvraag 2 – Welke economische effecten zullen optreden door een sluiting van de Daalbroekstraat?

Om tot een antwoord op deze vraag te komen, zal gesproken worden met een ervaringsdeskundige van de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO).

Nadat zowel de economische als ecologische invloeden van het gebruik van de Daalbroekstraat gekend zijn, zal onderzocht moeten worden op welke manier deze veranderen wanneer de Daalbroekstraat afgesloten wordt. Dit leidt tot de derde deelvraag.

Deelvraag 3 – In welke mate doen zich veranderingen voor bij de in de eerste deelvraag geïdentificeerde ecologische invloeden en de in de tweede deelvraag geïdentificeerde economische effecten ten gevolge van een sluiting van de Daalbroekstraat?

Meer specifiek zullen deze veranderingen, in de mate van het mogelijke, gekwantificeerd worden. Een belangrijke rol hierin is weggelegd voor de verkeerstelling, waarvan reeds in deelvraag 1b sprake was. De kwantificering van de veranderingen is een onontbeerlijke stap in de opbouw naar de vierde en laatste deelvraag van deze masterproef.

Deelvraag 4 – Wat is de verhouding tussen de ecologische en economische gevolgen van de sluiting van de Daalbroekstraat?

Een antwoord geven op deze laatste deelvraag is tegelijk een antwoord geven op de vraag of de baten van het sluiten van de Daalbroekstraat groter zijn dan de kosten die de sluiting met zich meebrengt. Wanneer het antwoord op deze deelvraag gekend is, is ook het antwoord op de centrale onderzoeksvraag gekend. Wanneer de baten groter zijn dan de kosten, is het antwoord op de centrale onderzoeksvraag positief en kan men stellen dat de beslissing om de Daalbroekstraat af te sluiten een goede beslissing is. In het andere geval is deze beslissing onterecht.

Deelvragen 3 en 4 zullen samen onderzocht worden a.d.h.v. een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Tijdens de eerste stappen van deze analyse wordt bepaald welke veranderingen zich voordoen, waarna deze veranderingen ook gekwantificeerd zullen worden. Op die manier wordt een antwoord geleverd op de derde deelvraag. Uit deze kwantificering kan vervolgens het resultaat van de maatschappelijke kosten-batenanalyse verkregen worden, dat een antwoord zal geven op de vraag of de baten groter zijn dan de kosten. Aldus zal uiteindelijk ook de centrale onderzoeksvraag beantwoord worden.

1.4. Afbakening van het onderzoek

Voordat overgegaan kan worden naar het feitelijk onderzoek dient dit voldoende afgebakend te worden, zodat er eenduidigheid van begrip bestaat over wat onderzocht zal worden.

1.4.1. Het project

Zoals duidelijk werd in paragrafen 1.2 en 1.3 zal in deze masterproef onderzocht worden of het al dan niet aangewezen is om de Daalbroekstraat af te sluiten. Wanneer dit probleem beleidsmatig

benaderd wordt, kan men spreken van een project dat al dan niet doorgang zal vinden. Het project hier in kwestie betreft de gedeeltelijke afsluiting van de Daalbroekstraat, tussen de Molenbergstraat en het Openbaar Psychiatrisch Zorgcentrum (OPZ) Rekem, over een lengte van 2,6 km (figuur 3.2).



Figuur 1.2 – Het weggedeelte van de Daalbroekstraat onder beschouwing.

1.4.2. Alternatieven

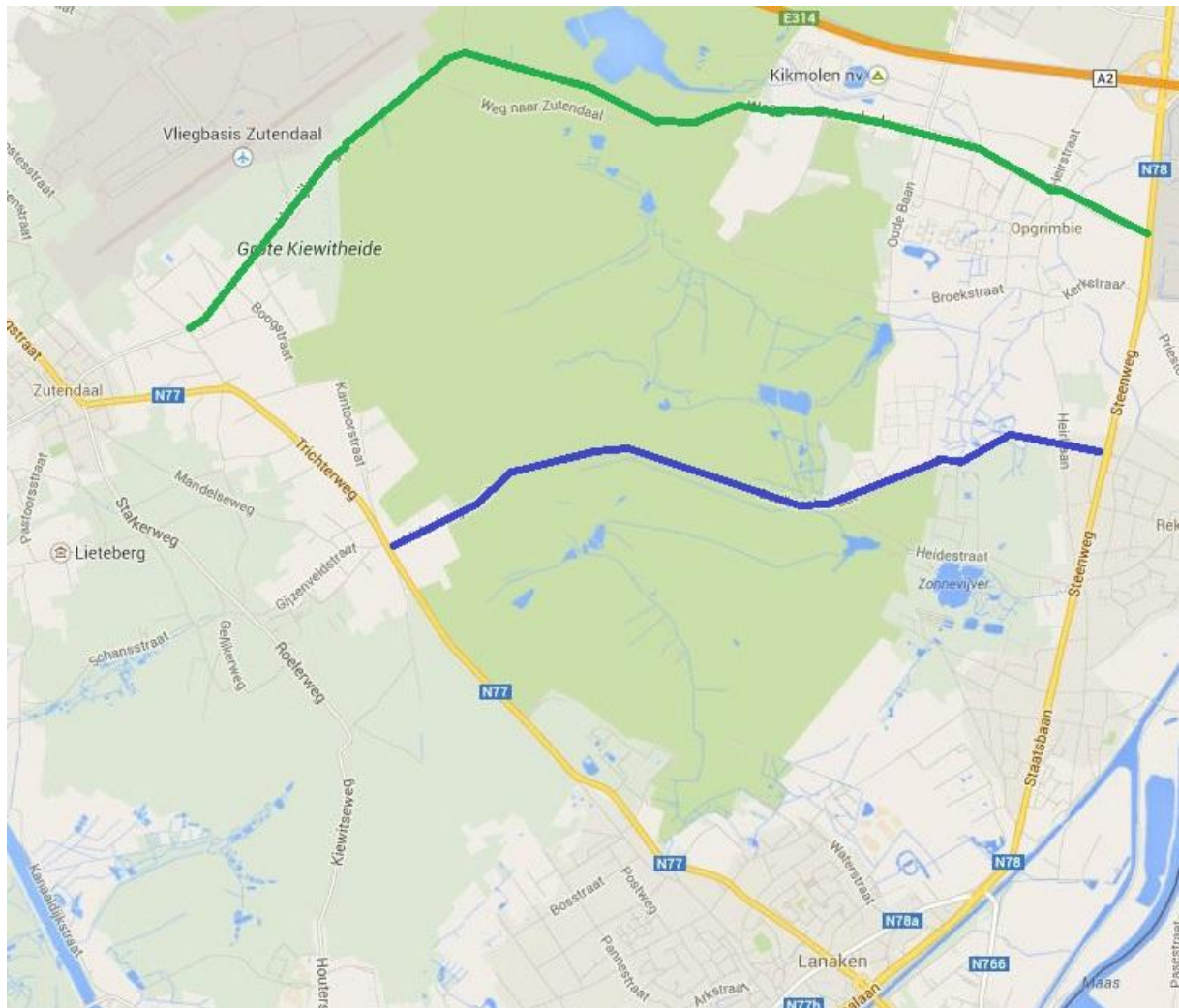
Het te onderzoeken project brengt twee keuzemogelijkheden met zich mee, die in deze masterproef met elkaar vergeleken zullen worden:

- *Het nulalternatief:* dit is het alternatief waarin het project niet uitgevoerd wordt, ook wel het business-as-usual-alternatief genoemd. Dit betekent dat de toestand van het onderzoeksgebied onveranderd blijft, en dus dat de Daalbroekstraat toegankelijk blijft voor al het verkeer. Er wordt hier ook wel van de referentiesituatie gesproken, d.i. de situatie waartegen het projectalternatief afgewogen zal worden;
- *Het projectalternatief:* dit is het alternatief waarin het project uitgevoerd zal worden, m.a.w. het alternatief waarin de Daalbroekstraat afgesloten wordt tussen de Molenbergstraat en het OPZ Rekem. Deze verandering in het onderzoeksgebied wordt ook wel omschreven als de alternatieve situatie. In deze situatie zullen de gebruikers van de Daalbroekstraat een andere weg moeten nemen, ofwel via de Weg naar Zutendaal (verderop de WNZ-route genoemd) ofwel via de gewestwegen N77 en N78 (verderop de N-route genoemd).

1.4.3. Het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is beperkt tot het gebied weergegeven in figuur 1.3. Hierbij dienen enkele zaken opgemerkt te worden. Allereerst is het zo dat niet het volledige wegennetwerk in dit gebied beschouwd zal worden. Het onderzoek zal zich voornamelijk richten op de Daalbroekstraat, de

gewestwegen N77 en N78 en de Weg naar Zutendaal samen met zijn uitlopers. Deze vereenvoudiging zal verder besproken worden in paragraaf 3.3.



Figuur 1.3 – Afbakening van het onderzoeksgebied. Weergegeven zijn de Daalbroekstraat (blauw), de Weg naar Zutendaal (groen) en de gewestwegen N77 en N78 (oranje).

Een tweede opmerking is het feit dat het onderzoeksgebied als een gesloten systeem beschouwd zal worden. Dit betekent dat enkel rekening gehouden zal worden met hetgeen zich afspeelt binnen dit gebied. Voor de ecologische effecten betekent dit dat enkel de lokale effecten onderzocht zullen worden, wiens invloedssfeer beperkt is tot het NPHK zelf. Er zal dus geen rekening gehouden worden met effecten op een hoger niveau, zoals de klimaatopwarming.

Ook voor de economische variabelen geldt een soortgelijke beperking. Het is namelijk zo dat de veranderingen in deze variabelen (door de overgang van het nulalternatief naar het projectalternatief) enkel berekend zullen worden voor de personen die gebruik maken van de wegen onder beschouwing en voor de personen binnen het onderzoeksgebied die voor- of nadelen ondervinden.

De hier besproken beperkingen hebben als gevolg dat de resultaten van het onderzoek enkel van toepassing zullen zijn op het praktijkprobleem. Het is dan ook niet de bedoeling om in deze masterproef conclusies te veralgemenen naar andere wegen en ecosystemen. Bovendien zal, ten gevolge van beperkingen in tijd en middelen, het aantal veronderstellingen verder toenemen naarmate deze masterproef vordert. Bijgevolg moet men steeds voor ogen houden dat deze masterproef opgesteld werd om een zo goed mogelijke beoordeling van het project te leveren, maar verder onderzoek een duidelijker inzicht kan bieden omtrent de gevolgen van het project. Hier zal in het laatste hoofdstuk vanzelfsprekend op teruggekomen worden.

1.5. Overzicht van de masterproef

Deze masterproef zal voortgaan met hoofdstuk 2, waarin aan de hand van een literatuurstudie het onderzoeksdomein *road ecology* van naderbij beschouwd zal worden. Hierbij zal een antwoord gegeven worden op de eerste deelvraag en dus een inzicht verkregen worden in de ecologische invloeden van het gebruik van de Daalbroekstraat. In hoofdstuk 3 vervolgens verschijnt het economische luik ten tonele. Meer bepaald zal hier kort beschreven worden welke economische variabelen beïnvloed worden door de sluiting van de Daalbroekstraat (deelvraag 2). Nadat bekend is welke ecologische en economische factoren een rol spelen, kan overgegaan worden tot de analyse van het praktijkprobleem. Eerst wordt in hoofdstuk 4 echter de gebruikte analysemethode geïntroduceerd, nl. de maatschappelijke kosten-batenanalyse. In hoofdstuk 5 zal dan de feitelijke analyse plaatsvinden, waarin een antwoord gegeven zal worden op deelvraag 3. Ook deelvraag 4 zal vanzelfsprekend beantwoord worden in dit hoofdstuk. In het zesde en laatste hoofdstuk van deze masterproef zullen de belangrijkste resultaten van het onderzoek besproken worden, waarbij ook een antwoord gegeven wordt op de centrale onderzoeksvraag. Eindigen doet deze masterproef met een aanbeveling aan de beleidsmakers.

Hoofdstuk 2 Ecologische effecten

Dit hoofdstuk behandelt de eerste deelvraag van de masterproef:

Welke ecologische impact heeft het gebruik van de Daalbroekstraat op het Nationaal Park Hoge Kempen?

Aan de hand van een literatuurstudie zal in paragraaf 2.1 een overzicht geleverd worden van de effecten die wegen en het gebruik van die wegen op omliggende ecosystemen hebben. Op die manier zal een antwoord gegeven worden op deelvraag 1a, nl. *"Welke invloed heeft het gebruik van een weg op het omliggende ecosysteem?"* In paragraaf 2.2 zal vervolgens onderzocht worden welke van deze invloeden van toepassing zijn op het praktijkprobleem dat in paragraaf 1.2 geïntroduceerd werd. Aldus zal ook deelvraag 1b in dit hoofdstuk beantwoord worden: *"Welke van de in deelvraag 1a gevonden invloeden zijn van toepassing op de relatie tussen de Daalbroekstraat en het Nationaal Park Hoge Kempen?"* Na het beantwoorden van beide vragen zal bekend zijn op welke manier het gebruik van de Daalbroekstraat een invloed heeft op het NPHK. Deze conclusie zal verderop in de masterproef als basis dienen om de ecologische effecten van het projectalternatief af te wegen tegen het nulalternatief.

2.1. Literatuurstudie: ecologische effecten van wegen en verkeer

"What is huge, conspicuous, and avoided by ecologists? The road network." Deze zin, waarmee Forman (1998) zijn editorial in *Landscape Ecology* opende, toont aan dat de effecten van wegen pas recent onder de aandacht van ecologen zijn gekomen. Hoewel in West-Europa en Noord-Amerika reeds sinds de jaren '70 van de vorige eeuw onderzoek gevoerd werd naar luchtvervuiling en de effecten van wegen op wilde dieren, kwam de grote aandacht pas gedurende de jaren '80, '90 en '00. Een bewijs hiervan kan gevonden worden in de grote hoeveelheid review artikelen die de laatste twee decennia gepubliceerd werden (Bennett, 1991; Coffin, 2007; Forman & Alexander, 1998; Spellerberg, 1998; Trombulak & Frissell, 2000). De term *road ecology* werd door Forman (1998) geïntroduceerd. Diezelfde Forman publiceerde in 2003, in samenwerking met dertien andere auteurs, het boek *Road Ecology: Science and Solutions*, het referentiewerk bij uitstek wat betreft road ecology. In dit boek wordt road ecology omschreven als *"de interactie tussen organismen en de omgeving verbonden met wegen en voertuigen"*, oftewel het onderzoek naar *"de relatie tussen de natuurlijke omgeving en het wegennetwerk"*.

Het belang van road ecology is de laatste jaren sterk toegenomen. Zo stellen Forman et al. (2003) dat het reizen per auto sneller groeit dan de populatie of de economie, wat in combinatie met het gebruik van krachtigere wagens in meer luchtvervuiling, verkeerscongestie, geluidsoverlast, etc. resulteert. Bovendien verplaatsen deze voertuigen zich over een zeer uitgebreid wegennetwerk, wat een significante invloed op het omliggende landschap heeft. Zo bedraagt de totale lengte van het Belgische wegennetwerk 153.872 km (Nicodème et al., 2013), waarvan 1.763 km autosnelwegen, 12.760 km nationale wegen en 1.349 km secundaire wegen. Gegeven een grondoppervlakte van 30.527,93 km² (FOD Economie, 2011) betekent dit dat het Belgische

wegennetwerk een dichtheid heeft van 5,04 km weg per km². Hiermee bezet België de tweede plaats in de EU-27, waarin enkel Malta een dichter wegennet heeft (Nicodème et al., 2013). Wanneer gekeken wordt naar het Vlaamse gewest, komt men tot dezelfde conclusie. Met een oppervlakte van 13.522 km² (FOD Economie, 2011) en een wegennet van 59.929,2 km (FOD Economie, 2005) heeft Vlaanderen immers een wegendichtheid van 4,43 km weg per km².

De effecten van deze wegen en het bijhorend verkeer beïnvloeden niet alleen de directe omgeving van de weg, maar strekken zich uit over een gebied dat veel breder is dan het wegooppervlak en de wegbermen (Forman & Alexander, 1998), de road-effect zone genoemd. Dit is een asymmetrische zone met kronkelende grenzen, wat te wijten is aan verschillen in ecologische effecten en omstandigheden, zoals de helling, wind en geschiktheid van het gebied als leefomgeving. Bijgevolg is het zeer ingewikkeld om deze zone te meten (Coffin, 2007). Bovendien variëren ecologische effecten doorheen de tijd (Coffin, 2007) en is er vaak een verschil tussen het moment waarop het effect plaatsvindt en het moment waarop dit zichtbaar wordt (Forman et al., 2003).

In wat hierna volgt, zullen deze ecologische effecten besproken worden a.d.h.v. de beschikbare literatuur. Hierbij is getracht deze effecten in te delen in drie categorieën: (1) impact op vegetatie, (2) fysische, chemische en atmosferische effecten, en (3) impact op fauna. Al snel zal duidelijk worden dat het indelen van de meeste effecten niet zwart-wit is: een effect dat in een bepaalde categorie ingedeeld is, kan evenzeer ingedeeld worden in een andere categorie. Toch is geprobeerd om een zo duidelijk mogelijk overzicht te verkrijgen. Niet opgenomen in deze literatuurstudie zijn maatregelen die genomen kunnen worden voor het verminderen van de ecologische effecten op wegen (zoals een ecoduct) en richtlijnen voor het efficiënt en effectief beheer van wegbermen. Hoewel beiden een belangrijke plaats innemen in road ecology, zijn ze van ondergeschikt belang in het licht van deze masterproef.

2.1.1. Impact op vegetatie

Het meest duidelijke effect van wegen, en bij uitbreiding van de volledige transportinfrastructuur, wordt gevonden in het feit dat de constructie ervan tot een nettoverlies aan natuur en biotoop leidt. Het merendeel van de Vlaamse wegen is immers verhard, waardoor deze oppervlakte verloren gaat als natuurlijke leefomgeving voor planten en dieren (Defloor, Van Gulck, Peymen, Van Straaten, & Kuijken, 2001). Uit cijfers blijkt dat de verharde wegen in Vlaanderen een oppervlakte vertegenwoordigen van 57.941 ha (Milieurapport Vlaanderen, 2011). Wanneer de volledige Vlaamse verkeersinfrastructuur (inclusief spoorwegen, waterwegen en luchthavens) in beschouwing genomen wordt, betreft het hier een oppervlakte van 74.623 ha, wat neerkomt op 5,5% van de totale oppervlakte van Vlaanderen. Bovenop dit nettoverlies stellen Trombulak en Frissell (2000) dat de constructie van wegen individuele organismen doodt, hoewel hier weinig onderzoek naar gevoerd is.

Het verlies aan biotoop betekent echter niet dat er in de directe omgeving van wegen geen vegetatie groeit. Integendeel, hoewel wegbermen weinig regionaal zeldzame soorten bevatten, zijn ze relatief gezien zeer rijk aan plantensoorten (Bennett, 1991). Uit een studie van Way (1977) bijvoorbeeld bleek dat wegganten in het Verenigd Koninkrijk 870 van de 2.000 planten die het land

rijk is, bevatten. Onder deze plantensoorten bevinden zich niet alleen inheemse soorten, maar vaak ook exotische planten (Coffin, 2007; Spellerberg, 1998; Trombulak & Frissell, 2000). Wegen zijn immers goed doordringbare ruimten, onder andere door de eenvoudige beschikbaarheid van beperkende factoren zoals licht, water en nutriënten (Davis, Grime, & Thompson, 2000), gecombineerd met agressieve dispersiemechanismen. Volgens Trombulak en Frissell (2000) zijn er drie verschillende dispersiemechanismen: (1) het voorzien van leefgebied door het veranderen van omstandigheden, (2) het waarschijnlijker maken van invasie door druk uit te oefenen op of het verwijderen van inheemse soorten, en (3) het toelaten van eenvoudigere verplaatsing door dierlijke of menselijke overbrengers. In de context van dit laatste mechanisme benadrukt Usher (1988) dat toerisme gevaren inhoudt voor reservaten vermits er een positieve correlatie bestaat tussen het bezoekerscijfer en het aantal geïntroduceerde soorten. Bovendien kunnen exotische soorten ook via het bandenprofiel verspreid worden (Gelbard & Belnap, 2003) en zullen de omstandigheden voor invasie in de toekomst nog gunstiger worden door de voorspelde klimaatveranderingen (M. A. Lee, Davies, & Power, 2012).

Tot slot moet opgemerkt worden dat de vegetatie langs wegen ook ernstige hinder kan ondervinden van het voorbijrijdend verkeer, zeker in het geval van stoffige wegen. Het verkeer doet dit stof immers opwaaien, waarbij het stof zich verspreidt. Wanneer dit stof dan op planten afgezet wordt, kan het de fotosynthese, respiratie en transpiratie blokkeren, of zelfs fysieke letsels toebrengen aan deze planten (Farmer, 1993). Hiernaast zijn er nog andere ecologische effecten die wegen uitoefenen op de vegetatie. Deze zullen in de volgende paragrafen aan bod komen.

2.1.2. Fysische, chemische en atmosferische effecten

2.1.2.1. Fysische omgeving

Trombulak en Frissell (2000) stellen dat de aanwezigheid van wegen een invloed heeft op minstens acht fysische omgevingskenmerken. Deze acht kenmerken zijn: (1) bodemdichtheid, (2) temperatuur, (3) licht, (4) stof, (5) de inhoud van het bodemwater, (6) de stroom van het oppervlaktewater, (7) het afvoerpatroon en (8) sedimentatie.

Wat betreft de eerste vier kenmerken zijn verscheidene zaken het vermelden waard. Ten eerste leidt het langetermijngebruik van wegen tot een grotere dichtheid van de bodem (Trombulak & Frissell, 2000). Zelfs na stopzetting van het weggebruik kan deze bodemverdichting aanhouden. Hierdoor kan regenwater moeilijker in de grond doordringen en kan het bijgevolg niet opgenomen worden door planten die zich naast de weg bevinden. Ten tweede hebben Asaeda, Ca, en Wake (1996) aangetoond dat op zomerdagen de oppervlaktetemperatuur, warmteopslag en de daaropvolgende emissies richting de atmosfeer significant groter zijn voor asfalt dan voor beton en kale grond. Ten derde is het vanzelfsprekend dat wegen die bossen doorkruisen de hoeveelheid invallend licht op de bosbodem verhogen. De invloed op en van stof ten slotte werd reeds kort aangehaald in de paragraaf over vegetatie. Wegvegetatie ondervindt namelijk een negatieve invloed van opwaaiend stof. Deze stofdeeltjes komen op wegen terecht onder andere door de degradatie van het wegoppervlak, banden en wagens, door emissies, en door bodemafzetting via de wind of via voertuigen (Forman et al., 2003). Vervolgens waaien deze deeltjes op door de wind

of door voorbijrijdend verkeer, om finaal afgezet te worden op planten, waar ze hun negatieve invloed uitoefenen.

De laatste vier fysische kenmerken – de inhoud van het bodemwater, de stroom van het oppervlaktewater, het afvoerpatroon en sedimentatie – hebben betrekking op de relatie tussen water, bodem en wegen. Wegen hebben dan ook een belangrijke invloed op water. Forman et al. (2003) en Coffin (2007) benadrukken vier functies van wegen ten opzichte van water: wegen vormen (1) een bron van water wanneer water van de weg afloopt, (2) een bassin voor water wanneer water op de weg accumuleert, (3) een barrière voor water wanneer water bergafwaarts stroomt, en (4) een kanaal of corridor voor de waterstroom wanneer water door groeven of verlagingen in het wegooppervlak stroomt. Op deze manieren kunnen wegen natuurlijke stromen van oppervlakte- en grondwater verstoren, nieuwe stroomroutes voor water creëren, of dienen als bronnen van chemische stoffen en sedimenten die geïntroduceerd worden in het oppervlakte- en grondwater (Forman et al., 2003).

Twee aspecten verdienen verdere aandacht, namelijk erosie en de afvoer van water. Erosie is het proces van slijtage van bodem of gesteente. Er bestaan verschillende vormen van erosie, zoals winderosie, maar in road ecology speelt erosie door regenval de belangrijkste rol. Wegen leveren namelijk een belangrijke bijdrage aan deze erosieprocessen gezien de grote hoeveelheid blootgestelde bodem in wegbermen en op wegooppervlakken (Forman et al., 2003). Erosie kan leiden tot de beschadiging van wegooppervlakken of de vorming van geulen. Een ander resultaat van erosie is de verplaatsing van deeltjes die vervolgens op een andere plaats afgezet worden, wat men sedimentatie noemt. Dit kan tot vertroebeling van aanpalende watersystemen leiden (Reid & Dunne, 1984) en schadelijke gevolgen hebben voor het milieu, zeker wanneer de wegen zich in de buurt van aquatische ecosystemen bevinden (Forman & Alexander, 1998). Een gelijkaardig proces geldt voor de afvoer van water: water dat van wegen afloopt, zorgt er vaak voor dat chemische stoffen in het oppervlaktewater en grondwater terecht komen. Deze chemicaliën zijn afkomstig van: (1) materialen waaruit bruggen, wegbeddingen en -oppervlakken zijn opgebouwd, (2) emissies, vloeistoffen, auto-onderdelen, en afzettingen van autobanden, en (3) de toepassing van chemische stoffen om wegen te onderhouden en veiliger te maken, zoals het strooien van zouten (Forman et al., 2003). Op deze chemische stoffen wordt in paragraaf 2.1.2.2 dieper ingegaan. Samen met sedimentatie is waterafvoer het belangrijkste fysische proces waarmee wegen een impact hebben op stromen en andere aquatische ecosystemen (Forman & Alexander, 1998).

2.1.2.2. Chemische omgeving

Veranderingen in de chemische omgeving ten gevolge van wegen en wegverkeer nemen binnen road ecology een zeer prominente plaats in. Getuige daarvan is het feit dat er meer geschreven is over de effecten van wegen op de chemische omgeving dan over alle andere ecologische effecten samen (Trombulak & Frissell, 2000). Deze effecten kunnen onderverdeeld worden in twee brede categorieën: chemische stoffen langs wegen en chemische stoffen in de atmosfeer. Beide categorieën worden hier achtereenvolgens besproken.

2.1.2.2.1. Chemische stoffen langs wegen

Een brede waaier aan chemische stoffen verzamelt zich op en naast wegen. Onder hen bevinden zich zware metalen en organische stoffen, maar ook minerale nutriënten en strooizouten. Algemeen beschouwd zijn er twee manieren waarop deze stoffen in het milieu terecht komen. De eerste en belangrijkste manier werd reeds besproken in paragraaf 2.1.2.1 over de fysische omgeving, namelijk waterafvoer. De tweede manier is verspreiding door de wind, hetzij door natuurlijke luchtstromen, hetzij door luchtstromen afkomstig van voorbijrijdend verkeer. Bijgevolg kunnen deze stoffen zowel op lokale schaal als op regionale of zelfs globale schaal van invloed zijn op het milieu.

De bronnen van deze chemische stoffen werden vermeld in paragraaf 2.1.2.1, namelijk (1) materialen waaruit bruggen en wegen zijn opgebouwd, (2) voertuigen en (3) onderhoudsactiviteiten. Tot deze laatste groep behoren niet alleen strooizouten, maar ook zand, herbiciden en insecticiden. Een andere mogelijke bron is lekkage (Coffin, 2007), waardoor bijvoorbeeld zware metalen en brandstoffen in het milieu geïntroduceerd worden. Forman et al. (2003) delen deze bronnen op in vier categorieën: (1) tijdelijk (wegconstructie en -onderhoud), (2) chronisch (uitstoot, bestrating en bandenslijtage), (3) seizoensgebonden (strooizout in de winter) en (4) accidenteel (lekkage). De meest persistente en problematische bronnen zijn chronisch en seizoensgebonden, terwijl tijdelijke en accidentele bronnen vooral lokaal een rol kunnen spelen.

De belangrijkste chemische pollutanten langs wegen zijn zware metalen en strooizouten. Verschillende soorten zware metalen kunnen terecht komen in de wegomgeving. Lood is het meest onderzocht, maar ook andere metalen spelen een rol, zoals aluminium, ijzer, cadmium, koper, mangaan, titanium, nikkel, zink en borium (Trombulak & Frissell, 2000). Trombulak en Frissell (2000) stellen dat verontreiniging door zware metalen vijf patronen vertoont: (1) de hoeveelheid verontreiniging houdt verband met het wegverkeer, (2) de verontreiniging van bodems, planten en dieren neemt exponentieel af naarmate de afstand tot de weg toeneemt, (3) zware metalen kunnen zich in de bodem bevinden ofwel vlakbij het oppervlak wanneer neerwaarts transport zich niet heeft voorgedaan ofwel diep onder het oppervlak wanneer het niveau van vervuiling in het verleden hoger was dan in het heden, (4) zware metalen stapelen zich op in de weefsels van planten, en (5) concentraties van zware metalen nemen af doorheen de tijd in bodems waar loodhoudende benzine niet meer gebruikt wordt en waar de stroom van oppervlaktewater de metaalionen wegvoert. Dit laatste werd aangetoond in Noord-Amerika, waar benzine loodvrij werd in de jaren '80 en de loodniveaus in dieren en planten nu relatief laag zijn (Forman & Alexander, 1998). Ook in Europa wordt sinds het midden van de jaren '90 en het begin van de 20^{ste} eeuw enkel nog loodvrije benzine gebruikt.

Naast zware metalen hebben ook strooizouten een impact op de nabije omgeving van de weg. Er zijn verschillende typen strooizouten, waaronder natriumchloride (NaCl), calciumchloride (CaCl_2), magnesiumchloride (MgCl_2) en het meer milieuvriendelijke calciummagnesiumacetaat (MCA) (Forman et al., 2003). Hoewel NaCl heel milieuonvriendelijk is, wordt het toch nog het meeste gebruikt, ook in Vlaanderen. Dit is te wijten aan zijn lage kost, zeker in vergelijking met milieuvriendelijke strooizouten. NaCl introduceert ionen in de bodem, waarbij het de zuurtegraad

en de chemische samenstelling van de bodem verandert (Bogemans, Neirinckx, & Stassart, 1989). Daarnaast tast NaCl bruggen en wegen aan, verontreinigt het drinkwatervoorraden, verzilt het de bodem, remt het de groei af van sommige planten en is het giftig voor verschillende soorten planten, vissen en waterorganismen (Defloor et al., 2001; Forman & Alexander, 1998). Strooizouten verhogen immers de concentraties chloride en natrium in stromen, waardoor ze eenvoudig terechtkomen in aquatische omgevingen, zoals vijvers of rivieren.

Over het effect van strooizout op amfibieën is weinig geweten (Forman et al., 2003). Het staat echter vast dat zout bepaalde diersoorten naar wegen aantrekt, waardoor deze dieren blootgesteld worden aan het risico van roadkill (Trombulak & Frissell, 2000). Forman et al. (2003) wijzen ook op het feit dat strooizouten bodemverdichting kunnen veroorzaken, waardoor regenwater moeilijker in de grond dringt en dus niet opgenomen kan worden door aangrenzende planten en bomen. Wat betreft de plantenwereld schrijven Forman en Alexander (1998) dat bomen gevoeliger lijken aan chloride dan typische wegbermstruiken en -planten. NaCl kan zelfs schade aanbrengen aan bladeren van bomen tot op 120 m van de weg, wanneer het door de lucht vliegt ten gevolge van het wegploegen van sneeuw (Hofstra & Hall, 1971). Gelukkig laat de stopzetting van het gebruik van strooizouten toe dat planten zich kunnen herstellen (Leh, 1990). Tot slot hebben strooizouten de neiging om de mobiliteit van chemische elementen, zoals zware metalen, in de bodem te verhogen (Amrhein, Strong, & Mosher, 1992), wat de verontreiniging van grondwater en waterstromen faciliteert.

Ook minerale nutriënten en organische stoffen beïnvloeden het ecosysteem. Minerale nutriënten, zoals stikstof en fosfor, komen via waterafvoer weleens in een aquatische omgeving terecht. Verhoogde niveaus van deze nutriënten veroorzaken eutrofiëring, oftewel oververrijking waardoor algen bloeien (Forman et al., 2003). Toch is volgens Trombulak en Frissell (2000) niet voldoende onderzocht in welke mate wegen bijdragen tot problemen omtrent eutrofiëring opdat een duidelijke conclusie getrokken kan worden. Ook stellen ze dat er te weinig onderzoek is gevoerd naar de effecten van organische stoffen die geassocieerd worden met wegen. Onder deze organische stoffen bevinden zich verschillende koolwaterstoffen afkomstig uit petroleumproducten. Enkele voorbeelden zijn polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) gevormd door onvolledige verbranding en mono-aromatische koolwaterstofverbindingen uit ruwe olie en petroleumproducten. Deze stoffen komen vaak door onvolledige verbranding of lekkages op de weg terecht, waarna ze via waterafvoer in aquatische ecosystemen kunnen belanden.

De introductie van al deze chemische stoffen in het milieu heeft verscheidene gevolgen voor levende organismen. Trombulak en Frissell (2000) sommen er zes op: (1) de chemische samenstelling van sommige houtachtige gewassen verandert als reactie op vervuiling, (2) organismen kunnen gedood of ontheemd worden ten gevolge van chemische blootstelling, (3) de groei en algemene fysieke gezondheid van veel planten gaat achteruit, wat zelfs tot afsterven kan leiden, (4) planten en dieren kunnen gifstoffen ophopen tot niveaus die schadelijk zijn voor de gezondheid, wat ook gevolgen kan hebben voor mensen die deze planten of dieren eten, (5) verhoogde concentraties van sommige polluenten – zoals zout – trekken grote zoogdieren aan, die vervolgens blootgesteld worden aan roadkill en (6) evolutieprocessen kunnen beïnvloed worden via

veranderde selectiedruk wat resulteert in lokale differentiatie van populaties dieren en planten. Het onderzoek naar en de beoordeling van de ecologische effecten van al deze chemische stoffen is echter niet eenvoudig, gezien de grote hoeveelheid aan verschillende stoffen. Bovendien variëren deze stoffen enorm qua grootte, wat ervoor zorgt dat er een grote variëteit aan testen gebruikt moet worden om deze verschillende contaminanten te analyseren (Coffin, 2007).

2.1.2.2.2. Chemische stoffen in de atmosfeer

Voertuigen stoten verschillende chemische stoffen uit die uiteindelijk in de atmosfeer belanden. Enkele voorbeelden zijn koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO₂), stikstofoxiden (NO_x), zwaveloxiden (SO_x), vluchtige organische stoffen (VOS), fijn stof (PM), methaan (CH₄) en polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) (Coffin, 2007; M. A. Lee et al., 2012). Sommigen lossen onmiddellijk op, terwijl anderen jaren kunnen rondzweven. Sommigen hebben een rechtstreeks vervuילend effect op de omgeving, terwijl anderen over grote afstanden getransporteerd worden, of zelfs een globale invloed uitoefenen. Naast deze primaire pollutanten zijn er ook secundaire pollutanten, die gevormd worden wanneer primaire pollutanten in de lucht reacties ondergaan (Miller & Spoolman, 2012). Het is dus duidelijk dat er verscheidene types chemische pollutanten bestaan. Deze stoffen worden hieronder besproken afhankelijk van de schaal waarop ze een rol spelen: lokaal, regionaal of globaal.

2.1.2.2.2.1. Lokaal niveau

Lokale pollutanten oefenen een effect uit op het plaatselijke ecosysteem en de nabijgelegen omgeving. PM bevat zowel bodemcomponenten als deeltjes uit de verbranding van brandstof en de slijtage van remblokken (Forman et al., 2003; M. A. Lee et al., 2012). PM wordt ingedeeld naargelang de diameter: PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁ hebben respectievelijk een maximale diameter van 10, 2,5 en 1 micrometer. Hoe kleiner de stoffen, hoe eenvoudiger ze opgenomen kunnen worden. PM kan giftige of kankerverwekkende stoffen bevatten zoals polyaromatische koolwaterstoffen (Slezakova et al., 2010) en is bijgevolg gevaarlijk voor de menselijke gezondheid. Forman et al. (2003) veronderstellen dat PM waarschijnlijk ook gevaarlijk is voor dieren, hoewel weinig onderzoek hiernaar gevoerd is.

Naast fijn stof zijn er ook verscheidene gassen die resulteren uit de verbranding van brandstof in voertuigen, zoals koolstofmonoxide, koolwaterstoffen, stikstofoxiden en zwaveloxiden. CO kan in hoge concentraties een verstikkend effect hebben, maar lost zeer snel op in circulerende lucht (Forman et al., 2003). Ook de andere gassen beïnvloeden de menselijke gezondheid, en waarschijnlijk ook de gezondheid van dieren. De uitstoot van NO_x heeft echter ook nog een invloed op nabijgelegen ecosystemen: stikstof stimuleert de groei van een beperkt aantal soorten flora ten nadele van vele andere soorten en draagt bij tot eutrofiëring, zoals reeds uitgelegd werd in paragraaf 2.1.2.2.1.

2.1.2.2.2. Regionaal niveau

Sommige stoffen worden weggevoerd van de plaats waar ze uitgestoten werden en kunnen uren tot dagen of zelfs jaren overleven. Sommigen banen zich een weg tot de stratosfeer (tot 17 km hoogte aan de evenaar), terwijl anderen zich naar de troposfeer (17 tot 48 km hoogte) begeven (Miller & Spoolman, 2012). Er zijn drie gassen die het meeste zorgen baren: stikstofoxiden, zwaveloxiden en koolwaterstoffen (Forman et al., 2003). Vooreerst zijn stikstofoxiden en zwaveloxiden belangrijke componenten voor het ontstaan van zure regen. Miller en Spoolman (2012) geven enkele voorbeelden van effecten van zure regen op het menselijk welzijn: het draagt bij aan ademhalingsziekten zoals bronchitis en astma, het kan toxische metalen als lood en koper uit pijpleidingen in drinkwater leiden, en het vermindert de atmosferische zichtbaarheid. Ook geven zij enkele voorbeelden van de effecten op ecosystemen: een verlies van alle vispopulaties onder een zuurtegraad van 4,5, directe schade aan bladeren en naalden, verzwakking van de bodem, uitspoeling van essentiële plantnutriënten uit de bodem en het stimuleren van de groei van zuurminnende mossen die bomen kunnen doden.

Hiernaast spelen zwaveloxiden ook een belangrijke rol in de vorming van industriële smog, ook wel grijze smog genoemd. Industriële smog vormt tegenwoordig echter geen probleem meer in de meest ontwikkelde landen, maar nog wel in geïndustrialiseerde stedelijke gebieden in landen als China, India en Oekraïne (Miller & Spoolman, 2012). Daarenboven is het voornamelijk de industriële sector die bijdraagt tot de vorming van dit soort smog, wat de naam reeds deed vermoeden. Een ander soort smog is wel nog steeds belangrijk: fotochemische smog, door Miller en Spoolman (2012) ook wel bruine smog genoemd. Zowel stikstofoxiden en koolwaterstoffen als VOS zijn belangrijk voor de vorming van deze smog. Fotochemische smog wordt gedomineerd door fotochemisch ozon, een hoog reactief gas dat de meeste levende organismen schade toebrengt. Zo is ozon schadelijk voor sommige landbouwgewassen en bomen en degradeert het verschillende plantgemeenschappen en ecosystemen (Forman et al., 2003).

2.1.2.2.3. Globaal niveau

Wanneer gefocust wordt op de globale effecten van wegverkeer, springen twee zaken er met voorsprong uit: de ozonlaag en de klimaatverandering. De ozonlaag, bestaande uit stratosferisch ozon, is essentieel voor het bestaan van de mens en andere levensvormen op aarde. Deze laag houdt ongeveer 95% van de schadelijke UV-stralen van de zon tegen (Miller & Spoolman, 2012). Het beschermt de mens onder andere tegen zonnebrand, huid- en oogkanker, katarakt en schade aan het immuunsysteem. Wanneer stratosferisch ozon met distikstofmonoxide (N_2O) reageert, zal dit ozon verdwijnen. Ook halogeenkoolwaterstoffen (zoals chloorfluorkoolwaterstoffen of CFK's), die veel gebruikt werden in airconditioningsystemen, brachten schade toe aan de ozonlaag (Forman et al., 2003). Op deze manier ontstond een gat in de ozonlaag (d.i. een gebied in de stratosfeer met minder ozon) waardoor de UV-stralen de aarde konden bereiken. Door allerhande maatregelen, waaronder het verbod op CFK's, wordt inmiddels verwacht dat het gat zich tegen 2050 zal dichten.

Ook wat betreft de klimaatverandering speelt het wegverkeer een belangrijke rol. Voertuigen stoten namelijk verschillende broeikasgassen uit, zoals koolstofdioxide, methaan, het secundair

gevormde ozon (O_3) en het eerdergenoemde N_2O . Veel onderzoekers geloven dat deze broeikasgassen het natuurlijke broeikaseffect versterken, waardoor de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer in de nabijheid van het aardoppervlak zal stijgen (Miller & Spoolman, 2012). Dit proces wordt *global warming* genoemd. Miller en Spoolman (2012) stellen dat er momenteel een behoorlijk aantal bewijzen zijn die bevestigen dat global warming inderdaad bezig is. Dit heeft verscheidene gevolgen voor het klimaat. Voor de temperatuur en neerslag bijvoorbeeld kunnen de volgende veranderingen optreden (Houghton et al., 2001): hogere minimum- en maximumtemperaturen, minder vriesdagen, minder koudegolven, meer hete zomerdagen, meer zware neerslagdagen, meer natte perioden en meer verschijnselen zoals El Niño. Deze klimaatveranderingen zullen ook verregaande ecologische effecten hebben. Enkele waarschijnlijke effecten zijn: het dooien van de permafrost, een verhoogd zeeniveau, verplaatsing van leefgebieden van planten en dieren, het verdwijnen van bepaalde dier- en plantensoorten, en een wijziging in leefpatronen van dieren en planten, zoals bomen die vroeger in bloei staan en vogels die vroeger eieren leggen (McCarthy, Canziani, Leary, Dokken, & White, 2001).

2.1.2.3. Atmosferische omgeving

Wind, één van de centrale elementen van de atmosferische omgeving, kan behoorlijk beïnvloed worden door de aanwezigheid van wegen. Doordat wegen vaak openingen creëren in dichtbegroeide gebieden, worden de windrichting en natuurlijk ook de windsnelheid beïnvloed (Coffin, 2007). Wind heeft echter ook zijn invloed op andere atmosferische componenten. Zo is wind één van de verantwoordelijken voor de verspreiding van stof en vervuilde deeltjes – zoals CO_2 en NO_x – zowel op lokaal, regionaal als globaal niveau. Deze aspecten werden reeds besproken in de voorgaande delen (paragraaf 2.1, paragraaf 2.1.2.1 en paragraaf 2.1.2.2), net zoals de gevolgen van stof en erosie. Bijgevolg wordt hier overgegaan tot de behandeling van de overige atmosferische effecten. Deze andere atmosferische effecten zijn visuele verstoring, lichtverstoring, hinder door verkeerstrillingen en geluidshinder (Forman et al., 2003) en hebben een belangrijke invloed op de aanwezige fauna.

Wanneer dieren geconfronteerd worden met een weg, reageren ze reeds op het aanzicht van een voertuig of meerdere voertuigen. Men spreekt dan van visuele verstoring, wat een afschrikkend effect kan hebben op de dieren in kwestie. Het is zeer waarschijnlijk dat dit effect belangrijk is voor wilde dieren (Liddle, 1997). Naast visuele verstoring kan er ook sprake zijn van lichtverstoring, wanneer organismen beïnvloed worden door artificiële verlichting. Zo blijkt uit onderzoek van Buchanan (1993) dat het vermogen van 's nachts levende kikkers om prooien te detecteren en te consumeren significant gereduceerd wordt onder invloed van kunstmatig licht, en dus onder invloed van straatverlichting. Kunstmatig licht kan ook een effect hebben op flora: Sinnadurai (1981) toonde aan dat de groei van sommige gewassen beïnvloed wordt door hogedruk natriumlampen naast de weg. De effecten van straatverlichting en verkeerslichten beslaan echter een breed bereik (Spellerberg, 1998), waardoor het onmogelijk is deze hier allemaal te bespreken. Over de ecologische effecten van koplampen van voertuigen is dan weer weinig geweten (Forman et al., 2003), hoewel vaststaat dat ook deze bestaan. Nog een andere vorm van verstoring is de hinder door trillingen. Voorbijrijdend verkeer induceert immers trillingen, waarvan

de frequentie en ernst afhankelijk is van de intensiteit. Deze trillingen kunnen een negatieve impact hebben op bepaalde diersoorten, waardoor deze dieren o.a. verjaagd worden. Tot slot heeft ook geurhinder een invloed op het ecosysteem (Defloor et al., 2001), maar dit effect is amper beschreven in de verzamelde literatuur.

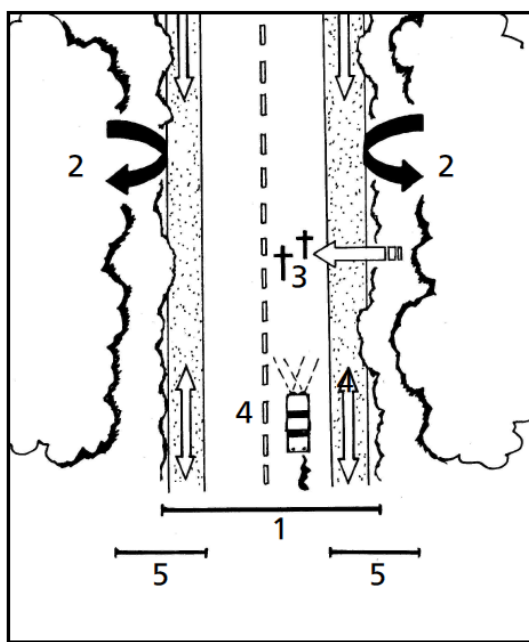
Een laatste atmosferisch effect is geluidshinder. Wanneer men in road ecology over geluidshinder spreekt, gaat dit voornamelijk over het lawaai dat te wijten is aan de verplaatsing van voertuigen. Maar wat houdt lawaai eigenlijk in? Zoals Forman et al. (2003) opmerkten, is lawaai eerder een subjectief concept dan een maatstaf, aangezien het gewoonlijk omschreven wordt als een ongewenst of vervelend geluid. Bijgevolg wordt een geluid hier lawaai genoemd wanneer een negatief of ongewenst ecologisch patroon te wijten is aan een geluidskenmerk (Forman et al., 2003), zoals een kleinere gemeenschap als gevolg van een drukke autosnelweg in de nabije omgeving.

Geluidshinder speelt een belangrijke rol in road ecology, aangezien veel dieren afhankelijk zijn van geluid om met elkaar te communiceren, om te navigeren, om gevaar te vermijden en om voedsel te vinden (Bowles, 1995). De soorten die de grootste hinder ondervinden zijn dan ook diegene bij wie geluid een onderdeel vormt van hun basisgedrag (Coffin, 2007). Toch zijn er naast afkeer nog twee andere reacties van dieren op menselijk lawaai: tolerantie en aantrekking (Bowles, 1995). Deze twee reacties zijn zeer gevaarlijk voor een dier, aangezien wegen een gevaarlijke omgeving vormen. Dit is des te meer het geval wanneer dieren aan het geluid van voorbijrijdend verkeer wennen. Toch is het voornamelijk afkeer dat de meeste aandacht krijgt in road ecology. Er zijn dan ook veel afkeerreacties van wilde dieren, waarvan de belangrijkste zijn: (1) irritatie, (2) gehoorschade, (3) verstoring van communicatie en slaap, (4) stressgerelateerde ziekten, (5) het ervaren van mensen als roofdieren, (6) veranderingen in populatie, (7) genetische verandering over generaties, en (8) andere gedragsveranderingen (Forman et al., 2003). Deze factoren spelen een belangrijke rol in de vorming van een zogenaamde road-avoidance zone, wanneer dieren zich niet of nauwelijks in de buurt van een weg begeven. Hierop wordt in de volgende paragraaf dieper ingegaan.

Zoals reeds gezegd is lawaai een subjectief concept en is er een grote reikwijdte van mogelijke reacties op geluid, wat reeds aantoont dat geluidshinder een complex begrip is. Toch zijn er nog andere redenen voor deze complexiteit. Zo verschilt lawaai in type, intensiteit en geluidsduur, en zijn er verscheidene manieren om het te meten en te modeleren (Forman et al., 2003). Bovendien wordt verkeerslawaai door zeer veel factoren beïnvloed. De belangrijkste factoren zijn het verkeersvolume en de afstand tot de weg. Andere gewichtige factoren zijn: het microklimaat, de temperatuur, de vochtigheidsgraad (C. S. Y. Lee & Fleming, 1996), en de textuur, ruwheid, porositeit, oriëntatie en spatiëring van het wegoppervlak (Kuemmel et al., 2000). Ook factoren zoals bandoppervlak, bandtype, motorontwerp en de aerodynamica van voertuigen spelen een rol (Forman et al., 2003). Tot slot is ook het tijdstip van belang: niet alleen schommelt het lawaai patroon geproduceerd door het verkeer doorheen de tijd, maar heeft geluidshinder ook een variërend effect op dieren, bepaald door het tijdstip van de dag of het seizoen, afhankelijk van de dagelijkse en levenscycluspatronen van het dier in kwestie (Coffin, 2007).

2.1.3. Impact op fauna

Het wegennetwerk veroorzaakt niet alleen een verlies aan biotoop voor flora, maar ook een verlies aan leefgebied voor in het wild levende dieren. Daarnaast ondervinden dieren ook hinder van de eerder beschreven veranderingen in de fysische, chemische en atmosferische omgeving. Dit zijn echter niet de enige gevolgen voor fauna die het wegennetwerk met zich meebrengt. Zo verhogen wegen het menselijk gebruik van het landschap, doordat ze gebieden meer toegankelijk maken voor de jacht, om te gaan vissen of voor recreatie (Trombulak & Frissell, 2000). Andere effecten, zowel positief als negatief, worden hier achtereenvolgens besproken en zijn visueel weergegeven in figuur 2.1. Belangrijk hierbij is dat het barrière-effect een grotere rol speelt dan wegontwijking, wat op zijn beurt belangrijker is dan roadkill (Forman, 1998).



Figuur 2.1 - Ecologische effecten van wegen op dieren. Enkele belangrijke effecten zijn: (1) verlies aan leefomgeving, (2) barrière-effect, (3) roadkill, (4) verstoring leidend tot wegontwijking, en (5) leefgebied en corridor langs wegen. (Bron: Iuell et al. (2003))

2.1.3.1. Wegontwijking

Veel diersoorten proberen ten gevolge van het verkeer het contact met wegen zo veel mogelijk te vermijden. In dat geval is er sprake van wegontwijking. Forman en Alexander (1998) geven verschillende factoren die bijdragen tot dit ontwijkend gedrag. De belangrijkste hiervan is geluidsoverlast, zoals reeds besproken werd in paragraaf 2.1.2.3. Andere factoren zijn visuele verstoring, lichtverstoring, trillingshinder, uitstoot van pollutanten en roofdieren die zich langs wegen verplaatsen.

2.1.3.2. Versnippering van het leefgebied en het barrière-effect

Een stap verder dan wegontwijking bevindt zich het barrière-effect of barrièrewerking. Eenvoudig gezegd komt dit neer op het feit dat wegen en het bijhorende verkeer niet enkel zo veel mogelijk vermeden worden door dieren, maar dat ze de dieren voortdurend belemmeren om de weg over te steken (Defloor et al., 2001). De omvang van het effect wordt bepaald door de kenmerken en het gedrag van de diersoorten in kwestie, de fysieke kwaliteiten van de weg en de infrastructuur, de

kenmerken van het wegverkeer en de ruimtelijke configuratie van de weg t.o.v. het aangrenzende landschap (Coffin, 2007). Zo zijn de wegbreedte en de verkeersdichtheid belangrijke determinanten, terwijl het wegoppervlak (d.i. asfalt, beton of aarde) een minder belangrijke rol speelt (Forman & Alexander, 1998). De relatie tussen de verkeersintensiteit en het barrière-effect op zoogdieren wordt door Iuell et al. (2003) in tabel 2.1 weergegeven.

Verkeersintensiteit van de weg	Doordringbaarheid
Minder dan 1.000 voertuigen per dag	Doordringbaar voor de meeste wilde dieren.
1.000 tot 4.000 voertuigen per dag	Doordringbaar voor sommige soorten, maar vermeden door meer gevoelige soorten.
4.000 tot 10.000 voertuigen per dag	Sterke barrière, veel soorten zullen worden tegengehouden. Van de dieren die toch proberen over te steken, zullen vele sterven.
Meer dan 10.000 voertuigen per dag	Ondoordringbaar voor de meeste soorten.

Tabel 2.1 – Relatie tussen de verkeersintensiteit en het barrière-effect. (Bron: Iuell et al. (2003))

Barrièrewerking heeft grote gevolgen voor wilde dieren, aangezien zij in staat moeten zijn om zich te verplaatsen doorheen het landschap, zich vrij te kunnen verspreiden en zich te kunnen mengen met andere populaties. Een belangrijk gevolg is het feit dat populaties onderverdeeld worden in kleinere, geïsoleerde, lokale populaties, oftewel metapopulaties (Forman & Alexander, 1998). Tegelijkertijd wordt het leefgebied van deze populaties in kleinere gebieden opgedeeld. Dit proces noemt men de versnippering van het leefgebied. Een logisch gevolg van deze kleiner wordende populaties is dat ze een grotere kans op uitsterving hebben dan grote populaties. Dit kan ingrijpende gevolgen hebben voor de demografie van een welbepaalde diersoort. Wanneer de barrières blijven bestaan over meerdere generaties heen kan zelfs de genetica van een populatie gewijzigd worden (Mader, 1984), aangezien inteelt dan een reële mogelijkheid wordt.

Barrièrewerking en de versnippering van het leefgebied worden in de literatuur beschouwd als misschien wel het allerbelangrijkste en meest schadelijke effect van wegen op populaties (Coffin, 2007; Forman & Alexander, 1998; Spellerberg, 1998). Dit geldt ook voor Vlaanderen. Vlaanderen heeft namelijk een wegendichtheid van 4,43 km weg per km². Dit houdt in dat een dier, dat zich in een bepaalde richting verplaatst, gemiddeld iedere 330 m een weg tegenkomt (Vercayie et al., 2012). Vercayie et al. (2012) stellen dat deze enorme fragmentatie vooral nadelig is voor zoogdieren met een groot territorium, zoals de hertachtigen, marterachtigen, vossen en everzwijnen.

2.1.3.3. Roadkill

De voorgaande paragrafen maakten duidelijk dat veel diersoorten afgeschrikt worden door wegen en het voorbijrijdend verkeer. Toch zijn er nog dieren die zich regelmatig in de nabijheid van wegen begeven. Enkele mogelijke redenen hiervoor zijn dat hun territorium doorsneden wordt door wegen, dat er eenvoudig beschikbare voedselbronnen zijn langs wegen en dat wegbermen aantrekkelijk zijn als habitat voor sommige soorten (Harris & Scheck, 1991). Wanneer dieren

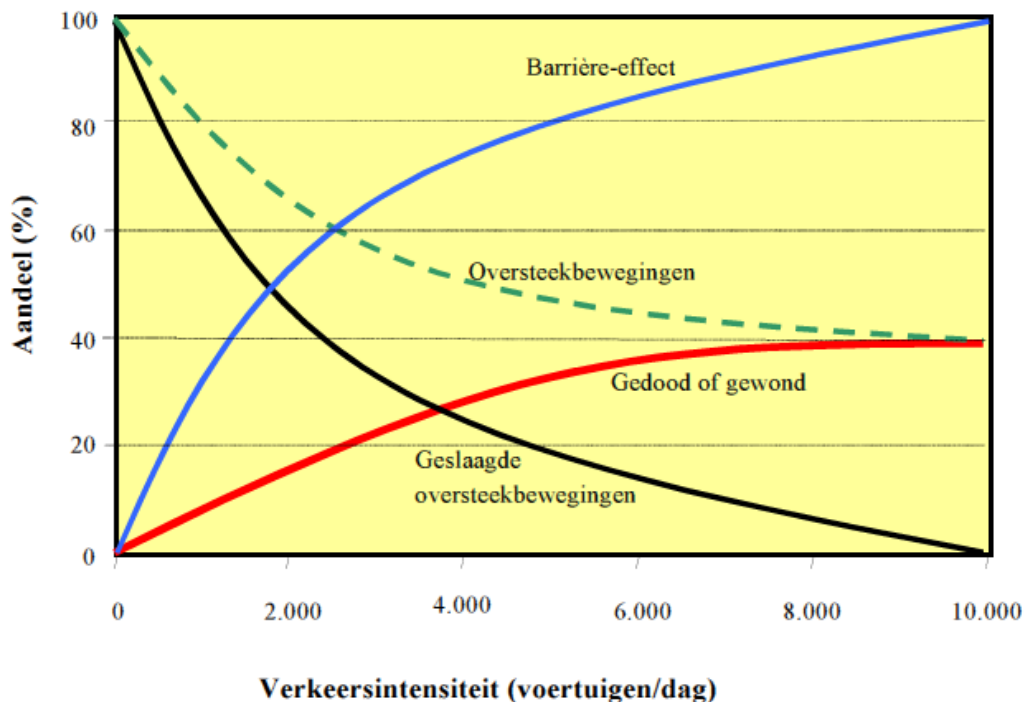
geconfronteerd worden met wegen, hebben ze drie opties: terugkeren, de weg volgen of de weg oversteken. De dieren die ervoor kiezen om de weg over te steken, worden geconfronteerd met een nieuw gevaar: roadkill.

Roadkill, of mortaliteit op de weg, verwijst naar in het wild levende dieren die aangereden worden door voertuigen, met sterfte tot gevolg. Dergelijke botsingen tussen dieren en voertuigen gaan terug tot het vroege begin van het wegverkeer en zijn een belangrijke bron van sterfte bij verscheidene diersoorten. Zo worden in de Verenigde Staten volgens schattingen dagelijks één miljoen gewervelde dieren het slachtoffer van roadkill. Roadkill overtreft daarbij de jacht wat betreft zijn invloed op het sterftecijfer van gewervelden (Forman & Alexander, 1998). Voor België werd geschat dat jaarlijks vier miljoen grotere dieren overlijden ten gevolge van het wegverkeer (Rodts, Holsbeek, & Muyldermans, 1998). Uit tellingen, gedaan in het kader van een gezamenlijk project van de Vlaamse overheid, Natuurpunt en Vogelbescherming Vlaanderen, blijkt dat de gewone pad veruit het meest te lijden heeft (30,2%), gevolgd door de egel (14,6%) en de vos (6,0%). De merel (4,2%), bruine kikker (4,1%), eekhoorn (4,0%), bunzing (3,9%), konijn (3,2%), steenmarter (3,2%) en houtduif (2,3%) vervolledigen de top tien (Vercayie et al., 2012).

Een belangrijke factor voor mortaliteit op de weg is het verkeersvolume: des te meer verkeer, des te meer wildaanrijding (Trombulak & Frissell, 2000). Ook de breedte van de weg en de snelheid van het verkeer verhogen het sterftecijfer. Naast deze verkeersparameters wordt roadkill ook beïnvloed door de kenmerken en het gedrag van de soort in kwestie (Forman et al., 2003): soorten met een grotere intrinsieke mobiliteit zijn kwetsbaarder, terwijl soorten die gedragsmatig open ruimten en lawaai vermijden minder kwetsbaar zijn. Toch kan algemeen gesteld worden dat weinig of geen landdieren immuun zijn voor aanrijdingen (Trombulak & Frissell, 2000). Ook insecten niet, hoewel zij vaak vergeten worden.

In figuur 2.2 wordt de relatie tussen de verkeersintensiteit, roadkill, het barrière-effect, ondernomen oversteekbewegingen en geslaagde oversteekbewegingen weergegeven. Het model is echter een vereenvoudigd theoretische model. Zo wordt er onder andere geen rekening gehouden met de gemiddelde verkeerssnelheid, de tijd van de dag, de oversteektijd en de breedte van de weg. Toch geeft de figuur een overzichtelijk beeld van de onderlinge relaties. Ook de relatie tussen het barrière-effect en de verkeersintensiteit zoals weergegeven in tabel 2.1 komt duidelijk terug.

Hoewel vast staat dat roadkill een belangrijke doodsoorzaak is voor veel diersoorten (Trombulak & Frissell, 2000), wordt algemeen aangenomen dat roadkill geen schadelijke gevolgen (Spellerberg, 1998) heeft voor of slechts een minimale impact (Forman, 1998) heeft op de populatiegrootte van de meeste soorten. De uitzonderingen hierop zijn gevoelige soorten, zoals zeldzame, kleine of kleiner wordende populaties. Een Vlaams voorbeeld hiervan zijn dassen: meer dan 40% van de populatie wordt ieder jaar op wegen gedood (Iuell et al., 2003).



Figuur 2.2 – Verkeersintensiteit en roadkill. De figuur geeft de relatie tussen enerzijds de verkeersintensiteit en anderzijds roadkill (rood), het barrière-effect (blauw), ondernomen oversteekbewegingen (groen) en geslaagde oversteekbewegingen (zwart). (Bron: Defloor et al. (2001))

2.1.3.4. Leefgebied langs wegen

Wegen kunnen leiden tot een verminderde kwaliteit van het leefgebied langs de weg. Enkele voorbeelden hiervan werden reeds gegeven als oorzaken van wegontwikijing, zoals geluidshinder en lichtversterking. Ook roadkill kan gezien worden als een vermindering van de kwaliteit. De kwaliteit vermindert echter ook ten gevolge van wat men randeffecten noemt (Vercayie et al., 2012). Zo kunnen sommige soorten meer predatie verwachten aan de rand van het bos dan in het midden van dat bos. Hoe kleiner het leefgebied wordt, des te groter deze randeffecten zijn.

Ondanks de grote hoeveelheid aan negatieve effecten hebben wegen ook positieve effecten op bepaalde diersoorten. Wegen en wegbermen voorzien namelijk een leefgebied voor sommige dieren (Forman et al., 2003; Spellerberg, 1998), vooral voor kleine zoogdieren en insecten (Coffin, 2007). Tevens verschaffen wegen een voedselbron voor aaseters (Bennett, 1988) en vinden dieren er voedsel weggegooid vanuit voorbijrijdende voertuigen of achtergelaten in vuilnisbakken (Forman et al., 2003). Het gebruik van wegbermen door dieren is echter zeer afhankelijk van het ontwerp en het beheer (Forman & Alexander, 1998). Zo kunnen verschillen in maaibeeld en plantordening het effect van wegen op vogels, insecten en dieren wijzigen.

2.1.3.5. Wegen als geleidingscorridor

Een ander positief effect van wegen kan gevonden worden in hun functie als corridor voor bepaalde diersoorten. Algemeen beschouwd worden wegen en wegbermen weinig als geleidingskanalen

gebruikt (Forman & Alexander, 1998). Toch zijn er bepaalde diersoorten die hiervan gebruik maken. Bennett (1991) onderscheidt vier typen bewegingspatronen: (1) lokale foerageerbewegingen, waarbij dieren op zoek gaan naar voedsel, (2) verspreiding tussen verschillende populaties, (3) migratiebewegingen over lange afstanden en (4) lokale of geografische expansie van hun territorium. Voor deze dieren loeren echter enkele gevaren om de hoek. Zo moeten ze oppassen voor roadkill, zorgen dat ze niet in stedelijke gebieden terecht komen en zorgen dat de wegen hen niet naar drukke verkeersknooppunten – zoals kruispunten – leiden (Iuell et al., 2003). Bovendien kunnen andere diersoorten lijden onder de toegenomen aanwezigheid van hun natuurlijke vijanden in de buurt van wegen.

2.2. Ecologische effecten van de Daalbroekstraat

Na het algemene overzicht van de potentiële effecten van wegen en hun gebruik is nu het moment gekomen om een antwoord te leveren op deelvraag 1b: *"Welke van de in deelvraag 1a gevonden invloeden zijn van toepassing op de relatie tussen de Daalbroekstraat en het Nationaal Park Hoge Kempen?"* Het is namelijk zo dat niet alle effecten van toepassing zijn op de specifieke relatie tussen de Daalbroekstraat en zijn omliggend ecosysteem, dat een onderdeel vormt van het NPHK. De selectie van effecten die meegenomen wordt naar de analyse verderop in deze masterproef zal echter niet alle ecologische effecten van de Daalbroekstraat bevatten. Het is immers onmogelijk om in slechts één enkele masterproef alle aanwezige ecologische effecten te kwantificeren. Bijgevolg zal in deze paragraaf niet enkel onderzocht worden of de betreffende ecologische effecten relevant zijn voor het praktijkprobleem, maar ook of het haalbaar is om de effecten verder te analyseren in deze masterproef.

Deze paragraaf zal dezelfde indeling van ecologische effecten volgen als die in paragraaf 2.1. Wel is het zo dat, omwille van praktische redenen, een andere volgorde toegepast wordt: in paragraaf 2.2.1 zal de impact op de vegetatie besproken worden, in paragraaf 2.2.2 de impact op de fauna en in paragraaf 2.2.3 de fysische, chemische en atmosferische effecten.

2.2.1. Impact op vegetatie

Wat betreft deze eerste categorie van ecologische effecten is uit de literatuurstudie gebleken dat ze onderverdeeld kan worden in drie subcategorieën: (1) rechtstreeks biotoopverlies door de aanwezigheid van verharde wegen, (2) specifieke vegetatievorming langs wegen en (3) hinder door de uitstoot en verspreiding van stoffen. Wat betreft de eerste categorie wordt in dit deel ook het rechtstreeks verlies van leefomgeving voor fauna besproken, aangezien dit nauw samenhangt met het netto biotoopverlies.

2.2.1.1. Nettoverlies van natuurgebied

Zoals uit de literatuurstudie bleek, is het rechtstreeks verlies van natuurgebied door de constructie van verharde wegen het meest duidelijke ecologische effect van de transportinfrastructuur. Dit verloren natuurgebied zou door dieren en vegetatie respectievelijk als leefomgeving en biotoop gebruikt kunnen worden. De aanleg van verharde wegen maakt dit echter onmogelijk. In het

praktijkprobleem van deze masterproef is er echter geen sprake van het construeren van nieuwe wegen, maar van het afsluiten van de reeds bestaande Daalbroekstraat. Het effect dat in dat geval zou optreden betreft bijgevolg eigenlijk een nettowinst aan natuurgebied, en dus aan biotoop en leefomgeving. Daarnaast zullen door de sluiting van de Daalbroekstraat twee kleinere gebieden versmolten worden tot één groter gebied. De weg zal geen barrière meer opwerpen voor de aanwezige dieren, die zo eenvoudiger op zoek kunnen gaan naar voedsel en soortgenoten. Bovendien komt er extra ruimte vrij voor vegetatie. Het is zelfs niet onmogelijk dat nieuwe soorten dieren en vegetatie hun intrede doen in dit vergrote gebied. De impact van de sluiting van de Daalbroekstraat op dit ecologisch effect mag dus zeker niet onderschat worden. Bijgevolg zal dit effect opgenomen worden in het onderzoek.

2.2.1.2. Vegetatievorming langs wegen

De literatuurstudie uit paragraaf 2.1 maakte duidelijk dat wegbermen vaak een specifieke samenstelling betreffende vegetatie hebben. Zo bezitten ze relatief gezien een grote variatie aan soorten (Bennett, 1991) en is er vaak sprake van een verhoogde concentratie aan exotische soorten, die andere inheemse soorten verdringen (Coffin, 2007; Spellerberg, 1998; Trombulak & Frissell, 2000). Toch werd besloten om vegetatievorming langs wegen niet te beschouwen in het onderzoek. De vegetatie langs de Daalbroekstraat wordt namelijk gedomineerd door grassen en bomen, aangezien de weg midden in een bosrijk gebied ligt. Daarenboven speelt dit ecologisch effect amper of geen rol in de afweging die in deze masterproef beoogd wordt.

2.2.1.3. Hinder door de uitstoot en verspreiding van stoffen

Vegetatie in de nabije omgeving van wegen wordt gehinderd door stoffen die uitgestoten of verspreid worden door voorbijrijdend verkeer. In welke mate dit effect opgenomen wordt in het model, zal besproken worden in paragraaf 2.2.3 over de fysische, chemische en atmosferische effecten van wegen.

2.2.2. Impact op fauna

De tweede categorie van ecologische effecten betreft de impact van wegen en verkeer op de aanwezige fauna. Uit de literatuurstudie is gebleken dat er in deze categorie vijf voorname effecten zijn. Het eerste effect, nettoverlies van leefomgeving door de aanwezigheid van verharde wegen, werd reeds in paragraaf 2.2.1.1 besproken. De andere effecten, die hier achtereenvolgens behandeld worden, zijn: (1) het barrière-effect met versnippering van het leefgebied tot gevolg, (2) roadkill, (3) verstoring leidend tot wegontwijking en (4) het eventueel gebruik van wegen als leefgebied en bewegingscorridor door bepaalde diersoorten.

2.2.2.1. Barrière-effect en de versnippering van het leefgebied

Zowel het barrière-effect als versnippering worden in de literatuur als de belangrijkste en meest schadelijke effecten van wegen en wegverkeer op fauna beschouwd (Coffin, 2007; Forman & Alexander, 1998; Spellerberg, 1998). Dat dit ook in Vlaanderen het geval is, wordt geïllustreerd

door het feit dat een dier in Vlaanderen gemiddeld om de 330 m een weg aantreft wanneer het zich in een bepaalde richting verplaatst (Vercayie et al., 2012). Deze ecologische effecten spelen dus een zeer belangrijke rol en dienen bijgevolg opgenomen te worden in het onderzoek.

Bovendien kan het praktijkprobleem gekoppeld worden aan tabel 2.1 uit paragraaf 2.1.3.2, die de relatie weergeeft tussen de verkeersintensiteit en het barrière-effect. Uit tellingen, die verderop in de masterproef gepresenteerd worden, blijkt dat de Daalbroekstraat in de tweede categorie van wegen valt, met een verkeersintensiteit van 1.000 tot 4.000 voertuigen per dag. Dit betekent dat de weg doordringbaar is voor sommige soorten, maar ook vermeden wordt door meer gevoelige soorten. Bijgevolg kan het barrière-effect wel degelijk een rol spelen in het praktijkprobleem.

Een extra reden om deze effecten in het onderzoek op te nemen, wordt aangebracht door het *Masterplan Nationaal Park Hoge Kempen*. In dit plan werd het afsluiten van de Daalbroekstraat voor doorgaand verkeer letterlijk omschreven als een *ontsnipperingsvoorstel* (Bongaerts & Nuijens, 2009). Deze omschrijving toont aan dat deze ecologische effecten zeer belangrijke redenen zijn voor het plan om de Daalbroekstraat af te sluiten. Bijgevolg is het zeker aangewezen om het barrière-effect en versnippering op te nemen in het onderzoek.

2.2.2.2. Roadkill

Wat betreft roadkill kan het praktijkprobleem gekoppeld worden aan het theoretisch model uit figuur 2.2. Uit de verkeerstelling is gebleken dat de gemiddelde verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat ongeveer 2.313 voertuigen per dag bedraagt, met een gemiddelde van 2.567 voertuigen per werkdag (d.i. van maandag tot vrijdag). Dit betekent dat ongeveer 20% van de dieren die geconfronteerd worden met een weg gedood of gewond worden. Meer dan twee derde van de ondernomen oversteekbewegingen loopt dus succesvol af. Het betreft hier echter een theoretisch model, waardoor de getrokken conclusies mogelijk niet helemaal correct zijn. Zo is de Daalbroekstraat met zijn 7 m geen brede weg, waardoor dieren redelijk snel kunnen oversteken.

Bovendien is uit de literatuurstudie gebleken dat, hoewel roadkill een belangrijke doodsoorzaak is voor bepaalde diersoorten, er algemeen aangenomen wordt dat roadkill geen schadelijk gevolgen (Spellerberg, 1998) heeft voor of slechts een minimale impact (Forman, 1998) heeft op de populatiegrootte van de meeste soorten. Bijgevolg zal roadkill niet verder onderzocht worden.

2.2.2.3. Verstoring leidend tot wegontwijking

Verschillende diersoorten proberen het contact met wegen zo veel mogelijk te vermijden. Men spreekt dan van wegontwijking (road avoidance). Dit wegontwijkend gedrag wordt voornamelijk veroorzaakt door geluidshinder, trillingen, visuele verstoring, lichtverstoring, en de uitstoot van polluenten. De uitstoot van polluenten zal in paragraaf 2.2.3 besproken worden.

Wat betreft de andere oorzaken van wegontwijking zal enkel geluidshinder in het onderzoek opgenomen worden. Geluidshinder speelt namelijk een zeer belangrijke rol in road ecology, onder meer omdat veel dieren afhankelijk zijn van geluid om met elkaar te communiceren, om te

navigeren, om gevaar te vermijden en om voedsel te vinden (Bowles, 1995). Zeker op piekmomenten, wanneer meer dan 250 voertuigen per uur op de Daalbroekstraat passeren, kan het lawaai van de voertuigen ervoor zorgen dat dieren zich niet in de nabijheid van de weg begeven of dat hun bezigheden verstoord worden.

Naast geluidshinder zijn trillingen, visuele verstoring en lichtverstoring de drie belangrijkste factoren die tot wegontwijking bij wilde dieren leiden. De gevolgen van deze drie effecten zijn echter zeer divers en complex. Bovendien is over bepaalde aspecten, zoals over de effecten van koplampen, nog maar zeer weinig geweten. Ook m.b.t. de trillingshinder is nog niet zeer veel gepubliceerd. Bijgevolg zullen deze effecten niet besproken worden in het onderzoek. Dat dit geen groot probleem hoeft te zijn, kan afgeleid worden uit de Vlaamse milieueffectrapporten (MER) betreffende wegeninfrastructuur. In dergelijke MER's worden de gevolgen van visuele verstoring en lichtverstoring immers ook maar pragmatisch ingeschat, gebaseerd op de beschikbare literatuur en een inschatting door een deskundige (Van De Genachte et al., 2007). Wat betreft de trillingshinder worden de effecten van trillingen op fauna zelfs helemaal buiten beschouwing gelaten in MER's. Dit komt o.a. doordat ook deze experts niet over modellen beschikken die de gevolgen van deze effecten op dieren kunnen kwantificeren.

2.2.2.4. Wegen als leefgebied en bewegingscorridor

Wat betreft het potentiële gebruik van de Daalbroekstraat door dieren als leefgebied en als bewegingscorridor kan men kort zijn: deze factoren zullen niet opgenomen worden in het onderzoek. Niet alleen zijn de gevolgen hiervan onmogelijk te kwantificeren in het bestek van deze masterproef, ook zijn deze factoren van minder belang in het kader van dit onderzoek.

2.2.3. Fysische, chemische en atmosferische effecten

De laatste categorie van ecologische effecten waarover een beslissing genomen moet worden, zijn de fysische, chemische en atmosferische effecten. De atmosferische effecten werden echter reeds in paragraaf 2.2.2.3 besproken. Deze paragraaf zal zich bijgevolg enkel richten op de fysische en chemische omgeving. De ecologische effecten van wegen en wegverkeer hierop zijn echter zeer uitgebreid. Bijgevolg is het onmogelijk om al deze effecten te bespreken en zal getracht worden de analyse te beperken tot de essentie.

Uit de literatuurstudie kan geconcludeerd worden dat het leeuwendeel van de invloed op de fysische en chemische omgeving ontstaat door de introductie van chemische stoffen in het milieu, die een negatieve impact kunnen uitoefenen op de bodem, het grondwater, de lucht, fauna en flora. Deze stoffen komen vrij uit de weginfrastructuur, het voorbijrijdend verkeer en onderhoudsactiviteiten, en verspreiden zich naar nabijgelegen gebieden of de atmosfeer.

2.2.3.1. Chemische stoffen langs wegen

Algemeen gesproken betreft het hier vier typen chemische stoffen: zware metalen, strooizouten, minerale nutriënten en organische stoffen. Deze stoffen worden op twee manieren geïntroduceerd

in het milieu, nl. via de afvoer van water en via de verspreiding door luchtstromen. Algemeen wordt aangenomen dat de belangrijkste rol hierbij weggelegd is voor strooizouten en zware metalen. De andere twee typen zijn van minder belang. Bovendien stellen Trombulak en Frissell (2000) dat niet voldoende onderzocht is in welke mate minerale nutriënten resulterende uit het wegverkeer bijdragen tot ecologische problemen zoals eutrofiëring, en wijzen ze op het feit dat te weinig onderzoek gevoerd is naar de effecten van organische stoffen die geassocieerd worden met wegen. Bijgevolg zal de focus op de twee andere polluenten liggen: zware metalen en strooizouten.

2.2.3.2. Chemische stoffen in de atmosfeer

De literatuurstudie bracht aan het licht dat verschillende stoffen geëmitteerd worden door voorbijrijdend verkeer, waarna ze zich verspreiden in de atmosfeer en een negatieve invloed kunnen hebben op het milieu, zowel op lokale, regionale als globale schaal. Denk hierbij maar aan CO, CO₂, NO_x, SO_x, VOS, PM, CH₄, PAK's, enzovoort (Coffin, 2007; M. A. Lee et al., 2012). Het onderzoek zal zich echter enkel richten op de emissies van stikstofoxiden en fijn stof. Hiervoor zijn enkele belangrijke redenen.

Allereerst wordt het onderzoeksgebied als een gesloten systeem beschouwd, waarbij abstractie gemaakt wordt van de gevolgen voor de gebieden die buiten het onderzoeksgebied gelegen zijn. Dit betekent dat het onderzoek zich afspeelt op lokaal niveau, en eventueel in beperkte mate op regionaal niveau. Bijgevolg zullen de chemische stoffen die geen rol spelen op lokaal niveau niet beschouwd worden. Uit de literatuurstudie blijkt dat na deze eerste selectie slechts vijf polluenten overblijven: PM, NO_x, SO_x, CO en koolwaterstoffen.

Deze selectie van polluenten kan verder gereduceerd worden aan de hand van een tweede belangrijke reden: NO_x en PM komen in relatief grote hoeveelheden vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen, terwijl SO_x en CO slechts in kleine hoeveelheden uitgestoten worden (Anthierens & Heirman, 2007). Zo was de transportsector in 2005 slechts verantwoordelijk voor een aandeel van één procent in de emissie van SO₂ (Van Steertegem, 2005) en moeten sinds 1 januari 2009 alle in Europa verkochte brandstoffen zwavelvrij zijn, d.i. een zwavelgehalte bezitten van maximum 10 mg/kg (Europees Parlement, 2003). Bovendien lost CO zeer snel op in circulerende lucht (Forman et al., 2003) en zijn SO_x en koolwaterstoffen voornamelijk op grotere schaal van belang. Denk hierbij maar aan de vorming van zure regen (door SO_x en NO_x) en de vorming van fotochemisch smog (door NO_x en koolwaterstoffen). Dit alles houdt in dat voornamelijk NO_x en PM belangrijk zijn voor het praktijkprobleem.

Een derde belangrijke reden voor de keuze voor deze stoffen is dat ze in Vlaanderen beschouwd worden als de belangrijkste polluenten voor beleidsvoering, terwijl de andere genoemde polluenten beleidsmatig gezien van ondergeschikt belang zijn (Anthierens & Heirman, 2007). Het feit dat vooral NO_x en PM₁₀ de luchtkwaliteitsdoelstellingen benaderen of overschrijden is hier een belangrijke oorzaak van (Van De Genachte et al., 2007).

Een vierde reden wordt aangebracht door Forman et al. (2003), die de bronnen van chemische stoffen in vier categorieën indeelden: (1) tijdelijk, (2) chronisch, (3) seizoensgebonden en (4)

accidenteel. Elk van de geselecteerde stoffen kan in één van deze categorieën ingedeeld worden: strooizouten behoren tot de seizoensgebonden bronnen, terwijl NO_x, PM, en zware metalen chronische bronnen zijn. Het zijn net deze twee categorieën die de meest persistente en problematische bronnen van chemische stoffen vormen.

Een laatste reden is van praktische aard. Verderop in deze masterproef zal gebruik gemaakt worden van een rekentool, het CAR Vlaanderen II model, om de hoeveelheid emissies die geassocieerd worden met het verkeer op de Daalbroekstraat te bepalen. De emissies die via dit model berekend kunnen worden, zijn NO₂ en PM (meer bepaald PM₁₀ en PM_{2,5}). Dit, in combinatie met de andere vier redenen, maakt de keuze voor NO_x en PM zeer eenvoudig.

2.3. Conclusie

In dit hoofdstuk werd getracht een antwoord te geven op de eerste onderzoeksvraag van deze masterproef, nl. *"Welke ecologische impact heeft het gebruik van de Daalbroekstraat op het Nationaal Park Hoge Kempen?"* Deze vraag diende beantwoord te worden om te weten welke ecologische effecten opgenomen moeten worden in de analyse van de baten en kosten van het project. Na een literatuurstudie en bestudering van de situatie ter plekke werd besloten om bepaalde effecten op te nemen, terwijl andere effecten uit het onderzoek geweerd werden. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de resultaten van dit hoofdstuk.

Ter afsluiting van dit hoofdstuk is het belangrijk om op te merken dat in zekere zin meer gevolgen van wegverkeer voor vegetatie en fauna opgenomen worden dan op het eerste zicht lijkt. Het is namelijk zo dat de opgenomen pollutanten (strooizouten, zware metalen, NO_x en PM) een negatieve impact kunnen hebben op zowel fauna als vegetatie, zoals uit de literatuurstudie gebleken is. De selectie van deze pollutanten zorgt er bijgevolg voor dat onrechtstreeks meer ecologische effecten omtrent vegetatie en fauna opgenomen worden.

Impactcategorie	Opgenomen effecten	Niet-opgenomen effecten
Impact op vegetatie	Nettoverlies van biotoop	Vegetatievorming langs wegen
Impact op fauna	Nettoverlies van leefomgeving	Roadkill
	Barrière-effect en versnippering	Wegen als leefgebied en bewegingscorridor
	Wegontwijking door geluidshinder	Wegontwijking door trillingshinder en visuele en lichtverstoring
Fysische en chemische impacts	Emissie van strooizouten en zware metalen	Emissie van minerale nutriënten en organische stoffen
	Emissie van NO _x en PM	Emissie van alle andere pollutanten

Tabel 2.2 – Overzicht van de opgenomen en niet-opgenomen ecologische effecten.

Hoofdstuk 3 Economische effecten

De beoordeling die in deze masterproef beoogd wordt, bevat niet enkel de ecologische effecten zoals besproken in hoofdstuk 2. De centrale onderzoeksvraag maakt immers ook melding van economische factoren. Er zijn dan ook verschillende economische variabelen die gewijzigd zullen worden door een sluiting van de Daalbroekstraat. Daarom zal in dit hoofdstuk een antwoord gegeven worden op de tweede deelvraag:

Welke economische effecten zullen optreden door een sluiting van de Daalbroekstraat?

Om tot een antwoord te komen op deze vraag werd gesproken met mevrouw Inge Mayeres, een ervaringsdeskundige van VITO. De resultaten van dit gesprek worden besproken in paragraaf 3.1. In deze paragraaf zal blijken dat veel economische variabelen afhangen van de verkeersintensiteit op de desbetreffende wegen. Bijgevolg zullen in paragraaf 3.2 de resultaten van de verkeerstelling op de Daalbroekstraat besproken worden. Eindigen doet dit hoofdstuk met een paragraaf waarin onderzocht wordt op welke manier de verkeersstroom in het projectalternatief zal wijzigen t.o.v. het projectalternatief.

3.1. Economische effecten in het praktijkprobleem

Zes economische effecten zullen in deze paragraaf besproken worden: (1) verandering in brandstofverbruik, (2) verandering in reistijden, (3) verandering in infrastructuurkosten, (4) verandering in aantal ongevallen, (5) impact op de menselijke gezondheid en (6) gevolgen voor de plaatselijke economie. Merk op dat deze opsomming niet enkel zuiver economische variabelen bevat, maar ook gedeeltelijk maatschappelijke factoren. Voor de eenvoud worden deze effecten echter samen met de andere economische effecten besproken.

3.1.1. Verandering in brandstofverbruik

Het meest voor de hand liggend economisch effect is de toename in het brandstofverbruik. Een sluiting van de Daalbroekstraat houdt immers in dat de weggebruikers zullen moeten omrijden, wat betekent dat ze tevens meer kilometers zullen afleggen. Deze toename in kilometers resulteert vanzelfsprekend in een toename van het brandstofverbruik. Dit betekent dat de brandstofkosten voor de gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief hoger zullen liggen dan in het nulalternatief.

3.1.2. Verandering in reistijden

Een tweede effect is de verandering in de reistijd voor de voertuigen in het onderzoeksgebied. Het feit dat de gebruikers van de Daalbroekstraat een andere route moeten nemen in de alternatieve situatie zal immers onvermijdelijk tot verschillen in reistijd leiden. Zoals het bekende adagium *time is money* reeds vertelt, brengt dit verschil in reistijd kosten met zich mee. De kosten van het

tijdsverlies voor de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat worden interne tijdskosten genoemd.

Het sluiten van de Daalbroekstraat brengt echter nog een tweede soort tijdskosten met zich mee. In de veronderstelling dat de capaciteit van de alternatieve routes beperkt is, zal het toegenomen aantal voertuigen op deze routes tot een hogere mate van congestie leiden. Deze toegenomen drukte zal in een lagere snelheid resulteren, waardoor ook de oorspronkelijke gebruikers van deze alternatieve routes tijd zullen verliezen. Dit tijdsverlies leidt tot extra kosten voor de oorspronkelijke weggebruikers, hoewel ze eigenlijk veroorzaakt worden door de nieuwe weggebruikers. Bijgevolg wordt hier gesproken van externe tijdskosten. Deze kosten treden op iedere keer wanneer een extra voertuig gebruik maakt van één van de alternatieve routes en de snelheid van de andere voertuigen bijgevolg vermindert. De tijdskost die één extra voertuigkilometer voor de andere weggebruikers met zich meebrengt, wordt de marginale externe tijdskost genoemd (Delhay, De Ceuster, & Maerivoet 2010).

3.1.3. Verandering in infrastructuurkosten

Ook m.b.t. de infrastructuur houdt het projectalternatief verschillende effecten in. Zo zal er geen verkeer meer zijn op de Daalbroekstraat, waardoor deze weg niet meer onderhouden moet worden. Dit betekent dat in de alternatieve situatie heel wat kosten wegvallen. Meer specifiek zullen op de Daalbroekstraat de volgende kosten niet meer optreden: (1) wegonderhoudskosten, d.i. het bijwerken van de asfaltlaag en verlaag (voor de wegmarkeringen) als tegenreactie op slijtage, (2) onderhoudskosten van de wegberm, d.i. het binnen de perken houden van de vegetatie en (3) operationele kosten, d.i. verlichting en, in geval van vrieskou, strooizouten.

De sluiting van de Daalbroekstraat zorgt echter niet enkel voor een vermindering van de infrastructuurkosten. Ook de onderhoudskosten op de alternatieve routes zullen wijzigen en meer specifiek toenemen, aangezien de intensiteit op deze wegen zal verhogen. Het zijn echter enkel de kosten die afhankelijk zijn van de intensiteit die toe zullen nemen. Vaste kosten – zoals m.b.t. verlichting, het onderhoud van de wegbermen en strooizouten – blijven immers ongewijzigd, en mogen buiten beschouwing gelaten worden. De wegonderhoudskosten daarentegen hangen wel af van de intensiteit: hoe meer voertuigen gebruik maken van de weg, hoe sneller het wegdek beschadigd wordt, hoe vaker de weg aan herstellingen toe is en onderhouden moet worden, hoe hoger de kosten zullen zijn. Deze kosten kunnen samengevat worden in de marginale infrastructuurkosten (Delhay et al., 2010), die de kosten van één extra voertuigkilometer weergeven.

Deze categorie zou uitgebreid kunnen worden met de kosten ten gevolge van de afbraak van de Daalbroekstraat, waarvan even sprake was in het *Masterplan Nationaal Park Hoge Kempen* (Bongaerts & Nuijens, 2009). Meer recentelijk werd echter niet meer gesproken van een mogelijke afbraak, waardoor deze kosten buiten beschouwing gelaten worden.

3.1.4. Verandering in aantal ongevallen

Een volgend effect heeft betrekking op het aantal verkeersongevallen en –slachtoffers. Door het afsluiten van de Daalbroekstraat zullen immers geen ongevallen meer gebeuren op deze weg. Daarentegen zal het risico op ongevallen op de alternatieve routes heel wat hoger liggen, aangezien deze wegen een hogere intensiteit te verwerken krijgen. Dit alles heeft een invloed op de ongevallenkosten, een economische variabele die opgesplitst kan worden in twee componenten: de ongevalgerelateerde ongevallenkosten en de slachtoffergerelateerde ongevallenkosten.

3.1.5. Impact op de menselijke gezondheid

Zoals de emissies van chemische polluenten schadelijk zijn voor het omliggende ecosysteem, zo kunnen ze ook schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid. Hoe vaker mensen blootgesteld worden aan schadelijke emissies, hoe zwaarder de gevolgen kunnen zijn. De gezondheidseffecten van luchtverontreiniging zijn zeer divers, gaande van ziekte tot zelfs sterfte (Van De Genachte et al., 2007). Bijgevolg is het raadzaam ook deze maatschappelijke economische effecten op te nemen in het onderzoek. Vooral met betrekking tot de alternatieve route die via de gewestwegen loopt, is het aangewezen de gezondheidseffecten te beschouwen. Langs deze wegen staan immers heel wat huizen, waardoor verschillende mensen blootgesteld worden aan de emissies van voorbijrijdend verkeer. Wanneer de Daalbroekstraat afgesloten wordt, zal de intensiteit op deze wegen verhogen, net zoals de hoeveelheid emissies waaraan deze mensen blootgesteld worden.

De chemische stoffen die hierbij beschouwd worden, zijn wederom NO_x en fijn stof. Dit is niet alleen omwille van de rechtstreekse beschikbaarheid via het CAR Vlaanderen II model, maar ook omwille van hun belangrijke invloed op de menselijke gezondheid. Fijn stof wordt zelfs gezien als de belangrijkste polluent m.b.t. de menselijke gezondheid. Een te hoge concentratie van stikstofoxiden veroorzaakt ademhalingsproblemen, terwijl fijn stof (PM_{2,5} en PM₁₀) geassocieerd wordt met een verhoogd voorkomen van hart- en luchtwegklachten en zelfs vroegtijdige sterfte (Delhay et al., 2010).

Naast de emissies van schadelijke stoffen kan de menselijke gezondheid ook gehinderd worden door verkeerslawaaï. Ook deze hinder zal beschouwd worden in het onderzoek, aangezien in het vorige hoofdstuk besloten werd om ook de negatieve impact van geluid op wilde dieren op te nemen.

3.1.6. Impact op de lokale economie

Een laatste economische variabele is de plaatselijke economie. Een sluiting van de Daalbroekstraat kan er namelijk voor zorgen dat bepaalde zones veel minder gemakkelijk bereikbaar zijn, waardoor er een verplaatsing van de activiteiten kan plaatsvinden. Denk hierbij maar aan grootwarenhuizen of horecazaken. In samenspraak met mevr. Mayeres werd echter beslist om deze variabele buiten beschouwing te laten. Gezien de kleine schaal van het project is het immers redelijk om aan te nemen dat het te verwachten effect op de lokale economie verwaarloosbaar is.

3.1.7. Conclusie

In paragraaf 3.1 werd een antwoord gegeven op de tweede deelvraag. De economische effecten die in het onderzoek beschouwd zullen worden, worden weergegeven in tabel 3.1.

Opgenomen effecten	Niet-opgenomen effecten
Verandering in brandstofverbruik	Impact op de lokale economie
Verandering in reistijden	
Verandering in infrastructuurkosten	
Verandering in aantal ongevallen	
Gezondheidseffecten m.b.t.:	
• schadelijke emissies • geluidshinder	

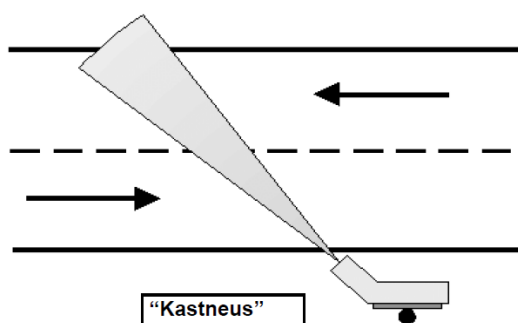
Tabel 3.1 – Overzicht van de opgenomen en niet-opgenomen economische effecten.

3.2. Verkeerstelling

Tot hier toe werd een antwoord geleverd op de eerste twee deelvragen van de masterproef, die een inzicht leverden in de ecologische, economische en maatschappelijke factoren die zullen veranderen door een sluiting van de Daalbroekstraat, en bijgevolg van belang zijn voor het praktijkprobleem. Echter, voordat overgegaan kan worden naar deelvraag 3 waarin getracht zal worden deze veranderingen te kwantificeren, moet een inzicht verkregen worden in de verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat. Het is immers zo dat bijna alle economische effecten uit paragraaf 3.1 afhankelijk zijn van de hoeveelheid voertuigen die in de referentiesituatie gebruik maken van de Daalbroekstraat en in de alternatieve situatie moeten overschakelen naar een andere route. Ook voor enkele ecologische effecten uit hoofdstuk 2 is het vereist om een inzicht te verwerven in de verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat. Dit geldt met name voor het barrière-effect, wegontwijking door geluidshinder en de emissies van zware metalen, stikstofoxiden en fijn stof.



Figuur 3.1 - Locatie van de verkeersradar. De radar werd bevestigd op een recht stuk, waar men 70 km/u mag rijden.



Figuur 3.2 – De verkeersradar. De radar werd aan een verkeersbord op 1 m afstand van de weg bevestigd. Het tegemoetkomend verkeer (onderste rijvak) reed richting Bessemer, het weggrijdend verkeer (bovenste rijvak) reed richting Rekem. (Bron: Trafficount II verkeersteller: bedieningshandleiding (2007))

Om een inzicht te verkrijgen in de verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat werd gedurende drie weken (van 4 tot 25 november 2013) een verkeerstelling uitgevoerd. Deze telling werd gedaan met behulp van een verkeersradar (de Trafficount II) die langs de weg bevestigd werd (figuur 3.2) en gegevens bijhield omtrent de intensiteit, het type voertuigen, de snelheden, etc. In tabel 3.2 en tabel 3.3 worden de belangrijkste bevindingen kort samengevat. Voor een meer uitgebreide bespreking van de resultaten wordt verwezen naar bijlage 1.

Voertuigklasse	Aandeel	Jaarintensiteit	Gemiddelde snelheid	Maximale snelheid
Tweewieler	1,51%	12.732	71,95	168
Personenwagen	95,19%	804.020	85,90	198
Lichte vrachtwagen	1,76%	14.871	77,79	123
Vrachtwagen/bus	1,27%	10.749	77,08	135
Trailer	0,27%	2.270	82,11	175
Totaal	100%	844.641	85,42	198

Tabel 3.2 – Samenvatting van de meetresultaten (deel 1). De jaarintensiteit is weergegeven in aantal voertuigen, terwijl de gemiddelde snelheid en hoogst geregistreerde snelheid in km/u uitgedrukt wordt.

	Richting Bessemer	Richting Rekem	Beide richtingen ¹
Jaarintensiteit	425.934	418.707	844.641
Dagintensiteit	1.166	1.146	2.313
Uurintensiteit	68	68	136
Piekuurintensiteit	77	77	153
Gemiddelde snelheid	84,93	85,92	85,42
In overtreding	83,47%	85,66%	84,56%

Tabel 3.3 – Samenvatting van de meetresultaten (deel 2). De intensiteiten worden uitgedrukt in aantal voertuigen en de gemiddelde snelheid in km/u. De piekuurintensiteit geeft het gemiddeld aantal voertuigen per uur tijdens de piekuurperiode (van 6u tot 9u en van 16u tot 19u). De cijfers voor 'in overtreding' geven het percentage voertuigen dat sneller reed dan de maximaal toegelaten snelheid van 70 km/u.

¹ Door afronding naar gehele getallen kunnen de totale cijfers van beide richtingen afwijken van de som van de individuele cijfers van beide richtingen.

3.3. Wijzigingen in het rittenpatroon

Een inzicht in de verkeersstroom op de Daalbroekstraat alleen volstaat niet om te onderzoeken in welke mate de economische en ecologische effecten zullen wijzigen. Er zijn namelijk twee additionele kwesties die behandeld moeten worden alvorens overgegaan kan worden tot de kwantificering van de verschillen tussen het nulalternatief en het projectalternatief:

1. Zoals reeds in hoofdstuk 1 aangehaald werd, zijn er twee routes die gebruikt kunnen worden als alternatief voor de Daalbroekstraat: de N-route en de WNZ-route (figuur 1.3). Dit betekent dat geweten moet zijn welk aandeel van de verkeersstroom op de Daalbroekstraat in het projectalternatief naar de N- route zal overschakelen en welk aandeel naar de WNZ-route;
2. Hoewel het intuïtief niet logisch lijkt, zullen de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat niet allemaal evenveel extra kilometers moeten rijden en tijd verliezen in het projectalternatief. Dit verschil is niet enkel te wijten aan de twee verschillende alternatieve routes die gevolgd kunnen worden, maar ook aan de verschillende vertrekpunten en bestemmingen die de individuele voertuigen hebben.

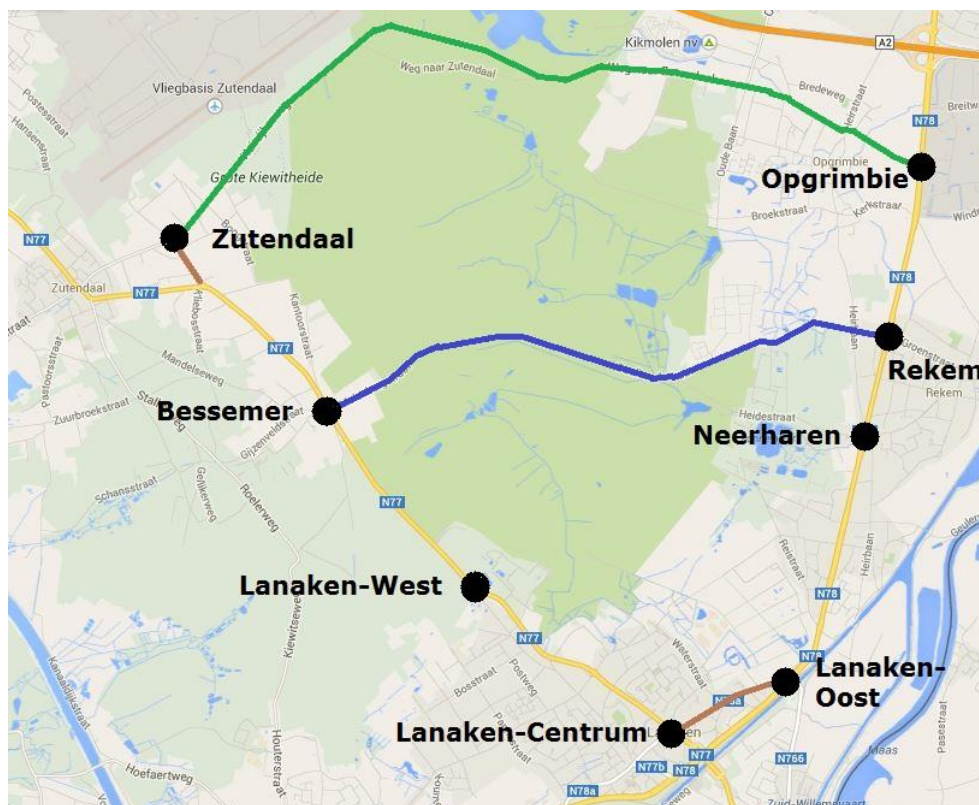
Het is raadzaam om deze kwesties te behandelen, aangezien ze een invloed zullen hebben op de berekeningen in hoofdstuk 5. Zo zullen de verschillen in extra kilometers o.a. gevolgen hebben voor de extra brandstofkosten en infrastructuurkosten. De verspreiding over de verschillende routes moet dan weer onderzocht worden omdat de twee alternatieve routes onderling verschillen m.b.t. enkele effecten. Zo spelen de ecologische effecten ook een rol op de Weg naar Zutendaal, aangezien ook deze weg doorheen het NPHK loopt. De N-route op zijn beurt is dan weer belangrijker m.b.t. de gezondheidskosten, aangezien deze wegen door woongebieden lopen.

Om deze kwesties te behandelen, zal een techniek gebruikt worden die afkomstig is uit operationeel onderzoek: het kortste pad-algoritme. Deze techniek zal toegepast worden op een vereenvoudigd netwerkmodel van het praktijkprobleem, dat in paragraaf 3.3.1 voorgesteld zal worden. In paragraaf 3.3.2 wordt het eigenlijke algoritme toegepast. Na deze analyse zal duidelijk zijn welke voertuigen in het nulalternatief gebruik maken van de Daalbroekstraat. Deze voertuigen zullen een ander pad moeten volgen in de alternatieve situatie. Deze veranderingen worden verduidelijkt in paragraaf 3.3.3. Eindigen doet paragraaf 3.3 met het toewijzen van de verkeersstroom op de Daalbroekstraat aan de verschillende alternatieve routes.

Een belangrijke opmerking bij wat komen gaat, is dat verondersteld wordt dat het aantal ritten constant zal blijven, m.a.w. het aantal ritten in de referentiesituatie is gelijk aan het aantal ritten in de alternatieve situatie. Of nog anders gezegd: alle gebruikers van de Daalbroekstraat zullen in de alternatieve situatie één van de twee alternatieve routes gebruiken. Geen enkele gebruiker zal zijn voertuig aan de kant laten staan of een route nemen anders dan de twee alternatieve routes.

3.3.1. Opbouw van het netwerk

In paragraaf 3.3 zal gewerkt worden met een vereenvoudigd model. Het is immers onmogelijk om alle mogelijke routes die de verschillende voertuigen in het onderzoeksgebied afleggen, in beschouwing te nemen. Aangezien het onderzoek gericht is op drie specifieke wegen – de Daalbroekstraat, de Weg naar Zutendaal en de gewestwegen – kan de reële situatie zeer goed benaderd worden door gebruik te maken van een vereenvoudigd netwerk. Dit vereenvoudigd netwerk bestaat uit de acht knooppunten weergegeven in figuur 3.3, die met elkaar verbonden worden door tien bogen. Via deze tien bogen kan ieder knooppunt met elk ander knooppunt verbonden worden (d.i. een verbonden netwerk), wat resulteert in 28 verschillende routes. Via het kortste pad-algoritme, een veelgebruikte methode voor netwerkoptimalisatie, kan voor ieder van deze routes het beste pad² bepaald worden. Voordat deze methode toegepast kan worden, vereist het netwerk echter bijkomende verduidelijking, zowel m.b.t. de knooppunten als m.b.t. enkele bogen.



Figuur 3.3 – Vereenvoudigd netwerk van het praktijkprobleem. Weergegeven zijn de acht knooppunten, de Weg naar Zutendaal (groen), de Daalbroekstraat (blauw), de N-wegen (oranje) en de bruine verbindingswegen die het netwerk vervolledigen. De roodgestreepte lijn is de eenrichtingsstraat tussen Neerharen en de Daalbroekstraat.

² De terminologie gebruikt vanaf deze paragraaf maakt een onderscheid tussen de 28 routes (de trajecten tussen ieder paar van knooppunten waarvoor het beste pad gezocht moet worden) en het beste pad voor een route (de beste combinatie van bogen om ieder paar van knooppunten te verbinden). Ook moet men het onderscheid voor ogen houden tussen de 28 routes van het vereenvoudigd netwerk en de twee alternatieve routes die men in werkelijkheid in het projectalternatief zal gebruiken (de N-route en de WNZ-route).

3.3.1.1. Knooppunten

De knooppunten werden strategisch vastgelegd op acht verschillende locaties, zoals weergegeven in figuur 3.3. Er zijn verschillende redenen waarom voor deze acht locaties geopteerd werd. Ten eerste ligt ieder van deze locaties in of op de grens van een woonkern (waaraan ze tevens hun naam ontleend hebben). Dit zal verderop een voordeel blijken om het verkeersvolume te verdelen over de verschillende routes. Ten tweede liggen deze knooppunten ideaal om het kortste pad-algoritme toe te passen. Ook dit zal verderop blijken wanneer het algoritme effectief toegepast wordt.

Een derde reden is het feit dat deze locaties ideaal gelegen zijn om de bogen af te stemmen op de te onderzoeken wegen. Zo geeft de boog tussen Zutendaal en Opgrimbie de Weg naar Zutendaal weer, terwijl de bogen Zutendaal – Bessemer, Bessemer – Lanaken-West, Lanaken-West – Lanaken-Centrum, Lanaken-Oost – Neerharen, Neerharen – Rekem en Rekem – Opgrimbie allen op de N-wegen gelegen zijn. De Daalbroekstraat ten slotte wordt weergegeven door de bogen tussen Bessemer en Rekem en tussen Bessemer en Neerharen. Deze laatste boog werd toegevoegd omdat de Daalbroekstraat vanuit Neerharen vlotter te bereiken is via de Heidestraat, een eenrichtingsstraat³. Het is ook omwille van deze reden dat de locatie van Neerharen niet in de woonkern Neerharen gelegen is, maar een kilometer hoger, op de grens met Rekem. Op die manier wordt deze gerichte boog (gericht omdat hij in slechts één richting geldt) met de Daalbroekstraat gevat.

Een laatste reden voor de keuze van deze acht locaties is het feit dat een voertuig vrijwel altijd langs één van deze punten moet passeren om het onderzoeksgebied te betreden of te verlaten. De locaties vormen dus als het ware een poort tot het onderzoeksgebied. Op die manier gelden de resultaten van het kortste pad-algoritme niet enkel voor de voertuigen die de knooppunten effectief als startpunt en bestemming hebben, maar voor ieder voertuig dat het netwerk betreedt, en dus ook voor ieder voertuig dat gebruik maakt van de Daalbroekstraat. Het is tevens omwille van deze laatste reden dat Lanaken-Oost en Lanaken-West opgenomen werden als knooppunten. Er zijn in Lanaken immers meerdere wegen waarlangs een voertuig het onderzoeksgebied kan betreden. Door de toevoeging van beide locaties moet een voertuig echter altijd langs één van de drie Lanakense knooppunten passeren om het onderzoeksgebied te betreden of te verlaten. Drie concrete voorbeelden illustreren dit: een voertuig dat van Veldwezelt naar Maasmechelen rijdt, zal het onderzoeksgebied betreden via Lanaken-Centrum en terug verlaten via Opgrimbie. Een voertuig dat van Veldwezelt naar Zutendaal rijdt, zal het onderzoeksgebied via Lanaken-West betreden en terug verlaten in Zutendaal. Een voertuig dat van Maastricht naar Rekem rijdt ten slotte, zal het onderzoeksgebied via Lanaken-Oost betreden en in Opgrimbie verlaten. Het is dus duidelijk dat de drie knooppunten allen van belang zijn.

³ Merk op dat het gedeelte van de Daalbroekstraat dat mogelijk afgesloten wordt ook door deze boog volledig omvat wordt. De toevoeging van deze boog heeft bijgevolg geen enkele invloed op het verkeersvolume van dat gedeelte van de Daalbroekstraat.

3.3.1.2. Bogen

Naast de knooppunten vereisen ook enkele bogen een zekere mate van verduidelijking. Zo werd reeds vermeld dat de boog tussen Neerharen en Bessemer toegevoegd werd omdat de Daalbroekstraat vanuit Neerharen vlotter te bereiken is via een eenrichtingsstraat: de Heidestraat. Dit betekent dat voertuigen die vanuit Neerharen naar Bessemer rijden verondersteld worden gedeeltelijk een andere weg te nemen dan voertuigen die vanuit Rekem naar Bessemer rijden. In de omgekeerde richting geldt dit onderscheid echter niet, vermits het een eenrichtingsstraat betreft. Hiermee zal rekening gehouden moeten worden tijdens het toepassen van het kortste pad-algoritme.

Een tweede boog die extra uitleg vereist, is de boog tussen Lanaken-Centrum en Lanaken-Oost. Deze boog is de enige die niet gelegen is op één van de te onderzoeken wegen. Hoewel de N78 vlakbij deze boog loopt en de knooppunten dus ook op deze manier verbonden konden worden, werd toch geopteerd voor de N78a. Dit werd gedaan omdat deze weg zowel korter als sneller is en er dus verondersteld wordt dat de voertuigen steeds deze weg zullen verkiezen wanneer ze van Lanaken-Oost naar Lanaken-Centrum rijden (of vice versa).

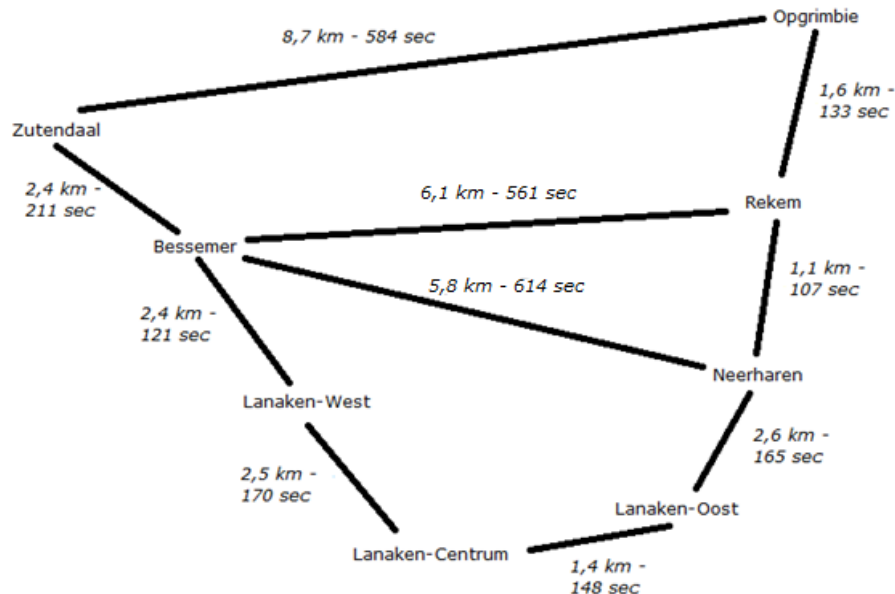
Een laatste boog die verduidelijking vereist, is de boog tussen Zutendaal en Bessemer. Ook deze boog wijkt af van de te onderzoeken wegen, zij het slechts in beperkte mate (namelijk via de Maastrichterstraat gedurende 500 m). Deze afwijking werd toegevoegd omdat op die manier een betere verbinding mogelijk is tussen de Weg naar Zutendaal en de locaties op de N-wegen. Het is namelijk zo dat een voertuig dat via de Weg naar Zutendaal van Bessemer naar Opgrimbie wil niet eerst naar Zutendaal-Centrum zal rijden, maar voor de Maastrichterstraat zal opteren. Deze weg is immers zowel korter als sneller.

3.3.2. Toepassing van het kortste pad-algoritme

Nu zowel het netwerk als de 28 te onderzoeken routes vastgelegd zijn, kan onderzocht worden welke wegen verkozen worden voor iedere route in de referentiesituatie. Hiervoor kan het netwerk zoals weergegeven in figuur 3.3 vereenvoudigd worden tot het netwerk in figuur 3.4.

Op basis van de gegevens weergegeven in figuur 3.4 kan het beste pad vastgesteld worden voor iedere combinatie van twee knooppunten, d.i. het beste pad voor ieder van de 28 routes. Vervolgens zal gekeken worden of dit pad gebruik maakt van de Daalbroekstraat, d.i. van de boog tussen Bessemer en Rekem (in beide richtingen) of de boog tussen Neerharen en Bessemer (in slechts één richting). Wanneer dit het geval is, zal deze route beïnvloed worden door de sluiting van de Daalbroekstraat en moeten de weggebruikers een ander pad nemen in de alternatieve situatie. Het beste pad zal berekend worden via het kortste pad-algoritme (voor de uitleg van dit algoritme: zie bijlage 2). Dit algoritme kan toegepast worden a.d.h.v. de twee soorten informatie die weergegeven worden in figuur 3.4. Als eerste wordt het algoritme toegepast op de reistijden, waarbij voor iedere route het snelste pad vastgesteld zal worden. Hierna wordt het algoritme toegepast op de reisafstanden, waarbij voor iedere route het kortste pad berekend zal worden. Dit betekent dat verondersteld wordt dat bestuurders hun route enkel o.b.v. de reisafstand en/of de

reistijd kiezen. In werkelijkheid kunnen bestuurders echter ook andere redenen hebben voor het kiezen van een specifieke route. Zo zullen sommigen de rustigste weg verkiezen, en anderen de weg die zij het beste kennen. Dergelijke redenen zijn echter moeilijk te onderzoeken. Daarom zal deze analyse zich beperken tot de reistijden en de reisafstanden.



Figuur 3.4 - Het vereenvoudigd netwerk in de referentiesituatie. Deze figuur geeft de vereenvoudigde weergave van figuur 3.3, samen met de reisafstanden en reistijden⁴ van iedere boog. Merk op dat de boog tussen Bessemer en Rekem de Daalbroekstraat vertegenwoordigt, terwijl de boog tussen Neerharen en Bessemer uit de combinatie van de Daalbroekstraat en de Heidestraat (d.i. de roodgestreepte straat op figuur 3.3) bestaat. Deze laatste boog wordt hier voorgesteld als een aparte boog omdat deze enkel geldt in de richting Neerharen - Bessemer.

3.3.2.1. Kortste pad o.b.v. de reistijden

Wanneer personen zich baseren op de reistijd, is het beste pad gelijk aan het snelste pad. Het kortste pad-algoritme wordt toegepast op alle mogelijke routes. Deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 3. Uit deze analyse blijkt dat twee routes in het nulalternatief gebruik maken

⁴ Voor het berekenen van de reistijden werd een beroep gedaan op de tijdsberekening van Google Maps, dat zich baseert op actuele en historische snelheids-, verkeers- en locatie-informatie van toestellen waarop GPS ingeschakeld is. Meer specifiek werd voor iedere verbinding de reistijd in beide richtingen berekend (aangezien de reistijd kan verschillen per richting, o.a. door verkeerslichten en rotondes), waarvan vervolgens het gemiddelde genomen werd (hierbij geldt de assumptie dat in beide richtingen evenveel voertuigen passeren). Een probleem bij deze berekening is het feit dat verschillende van de acht knooppunten gelegen zijn op rotondes of kruispunten, waarop men een aanzienlijke tijd kan verliezen. Deze reistijd moet bijgevolg ook in rekening gebracht worden, hoewel ze niet behoort tot een specifieke boog. Dit wordt opgelost door deze reistijd te verdelen over de bogen die op het knooppunt uitkomen. Een voorbeeld ter verduidelijking: het knooppunt Rekem is gelegen op een rotonde. Aan deze rotonde moet men vaak aanschuiven voordat men deze kan betreden, waarna het ook enkele seconden duurt voordat men de rotonde terug verlaat. Gemiddeld genomen verliest men aan deze rotonde 24 seconden (d.i. de tijd van het aanschuiven, het oprijden en het verlaten). Dit gemiddelde werd berekend op basis van de rotondetijden voor de verbindingen Bessemer-Opgrimbie, Bessemer-Neerharen en Neerharen-Opgrimbie (allen in beide rijrichtingen). Deze 24 seconden kunnen verdeeld worden over de boog waarlangs men het knooppunt bereikt heeft en de boog waarlangs men het knooppunt terug verlaat. Bijgevolg moeten er 12 seconden toegevoegd worden aan de bogen Opgrimbie-Rekem, Bessemer-Rekem en Neerharen-Rekem. Deze redenering werd toegepast op ieder knooppunt.

van de Daalbroekstraat, wanneer men zich baseert op de reistijden. Dit zijn de route Bessemer – Rekem en de route Bessemer – Opgrimbie. Deze routes zullen bijgevolg beïnvloed worden door de sluiting van de Daalbroekstraat. De vraag is echter of dit de enige beïnvloede routes zijn. Mensen baseren zich immers ook op andere factoren bij hun keuze voor een specifieke route. Daarom zal in de volgende paragraaf het kortste pad-algoritme toegepast worden op basis van de reisafstanden.

3.3.2.2. Kortste pad o.b.v. de reisafstanden

In deze paragraaf wordt gekeken naar de kortste reisafstand als reden voor de keuze van een weg. Het beste pad is hierbij gelijk aan het kortste pad. Net zoals in de analyse o.b.v. de reistijden wordt het kortste pad-algoritme toegepast op alle routes. Deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 4 en resulteren in tabel 3.4. Deze tabel toont welk pad de kortste reisafstand inhoudt voor iedere route, samen met de totaal afgelegde afstand.

In tegenstelling tot de toepassing van het algoritme o.b.v. de kortste reistijd leidt deze analyse tot vijf routes waarvan het beste pad gebruik maakt van de Daalbroekstraat. Deze routes worden in tabel 3.4 aangeduid in een vet lettertype: Zutendaal – Neerharen, Zutendaal – Rekem, Bessemer – Neerharen, Bessemer – Rekem en Bessemer – Opgrimbie. Deze laatste twee routes werden reeds geïdentificeerd door toepassing van het kortste pad-algoritme o.b.v. de reistijden.

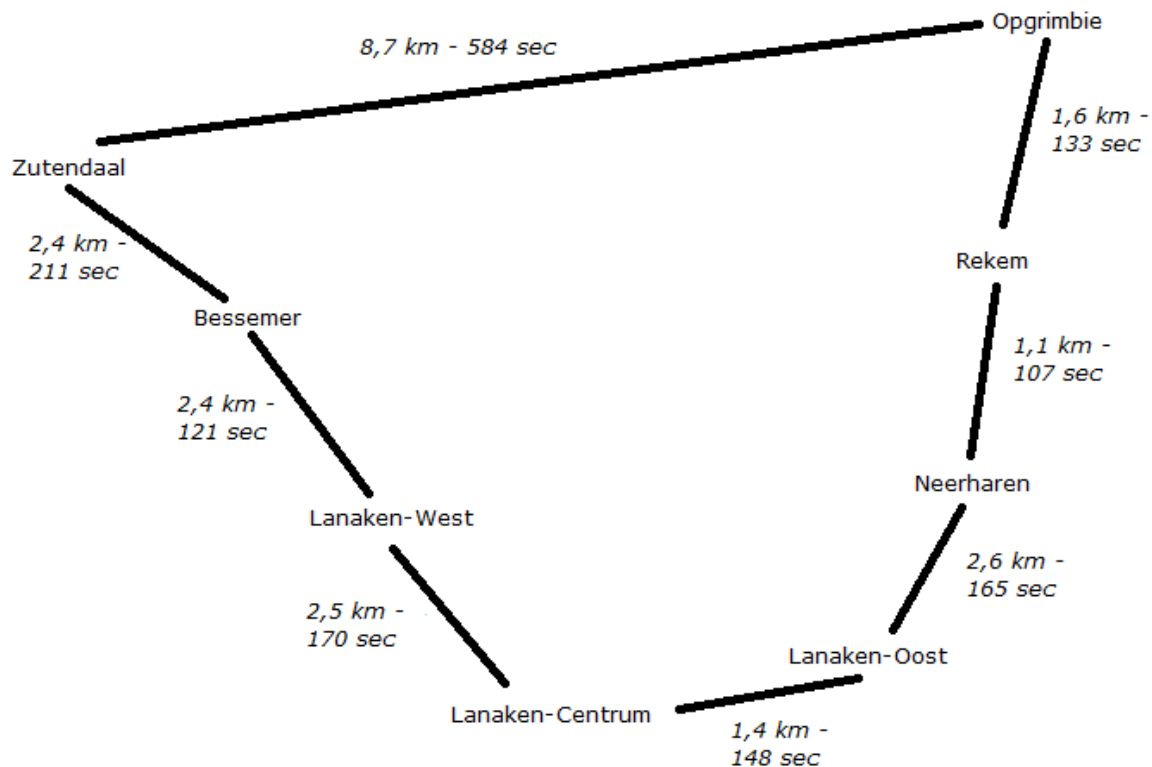
Uit paragrafen 3.3.2.1 en 3.3.2.2 kan bijgevolg geconcludeerd worden dat in totaal vijf routes beïnvloed zullen worden door de sluiting van de Daalbroekstraat. Hierbij mag men niet vergeten dat de knooppunten als toegangspoorten tot het netwerk beschouwd worden. Het zijn dus niet enkel de voertuigen die in deze knooppunten vertrekken en stoppen die beschouwd worden, maar ook de voertuigen die in deze knooppunten het netwerk betreden en verlaten. De verdere analyse zal zich enkel richten op de vijf zonet geïdentificeerde routes.

	Bessemer	Lanaken-West	Lanaken-Centrum	Lanaken-Oost	Neerharen	Rekem	Opgrimbie
Zutendaal	Z-B (2,4 km)	Z-B-LW (4,8 km)	Z-B-LW-LC (7,3 km)	Z-B-LW-LC-LO (8,7 km)	Z-B-R-N (9,6 km) & N-B-Z (8,2 km)	Z-B-R (8,5 km)	Z-O (8,7 km)
Bessemer		B-LW (2,4 km)	B-LW-LC (4,9 km)	B-LW-LC-LO (6,3 km)	B-R-N- (7,2 km) & N-B (5,8 km)	B-R (6,1 km)	B-R-O (7,7 km)
Lanaken-West			LW-LC (2,5 km)	LW-LC-LO (3,9 km)	LW-LC-LO-N (6,5 km)	LW-LC-LO-N-R (7,6 km)	LW-LC-LO-N-R-O (9,2 km)
Lanaken-Centrum				LC-LO (1,4 km)	LC-LO-N (4,0 km)	LC-LO-N-R (5,1 km)	LC-LO-N-R-O (6,7 km)
Lanaken-Oost					LO-N (2,6 km)	LO-N-R (3,7 km)	LO-N-R-O (5,3 km)
Neerharen						N-R (1,1 km)	N-R-O (2,7 km)
Rekem							R-O (1,6 km)

Tabel 3.4 - Resultaten van het kortste pad-algoritme o.b.v. de reisafstand (bijlage 4). Slechts vijf routes maken gebruik van de Daalbroekstraat (de routes in een vet lettertype), terwijl slechts één route gebruik maakt van de Weg naar Zutendaal (Zutendaal – Opgrimbie). Voor de routes Zutendaal – Neerharen en Bessemer – Neerharen werden twee beste paden opgenomen, aangezien het kortste pad telkens gebruik maakte van de eenrichtingsboog tussen Neerharen en Bessemer. Voor de tegengestelde rijrichting was bijgevolg een alternatieve oplossing vereist.

3.3.3. Verschillen tussen de referentiesituatie en de alternatieve situatie

Nu de routes die beïnvloed worden door de sluiting van de Daalbroekstraat gekend zijn, kunnen deze routes nader onderzocht worden. In eerste instantie zal bepaald worden welk alternatief pad in het projectalternatief gekozen wordt. Dit zal voor iedere route natuurlijk gebeuren o.b.v. de kortste reisafstand en –tijd. Vervolgens kan vastgesteld worden hoeveel extra kilometers de bestuurders op deze vijf routes moeten rijden ten gevolge van de sluiting van de Daalbroekstraat, en hoeveel tijd ze hierbij verliezen.



Figuur 3.5 - Het vereenvoudigd netwerk in de alternatieve situatie. Deze figuur geeft de vereenvoudigde weergave van de alternatieve situatie, na de sluiting van de Daalbroekstraat, samen met de reisafstanden en reistijden van iedere boog. Merk op dat twee bogen verdwenen zijn in vergelijking met de referentiesituatie (figuur 3.4): Bessemer – Rekem en Neerharen – Bessemer.

Het vaststellen van de alternatieve route zal niet gebeuren a.d.h.v. het kortste-pad-algoritme, aangezien in het projectalternatief slechts twee paden overblijven: het pad via de Weg naar Zutendaal en de gewestwegen enerzijds en het pad via uitsluitend de gewestwegen anderzijds (figuur 3.5). Het volstaat hierbij om de lengte en de reistijd van beide alternatieven te vergelijken om te weten welk alternatief de bestuurders in het projectalternatief zullen verkiezen, d.i. het kortste of snelste pad. Vervolgens kan dit alternatief vergeleken worden met de oorspronkelijke route via de Daalbroekstraat om de extra kilometers en reistijd te berekenen. Deze analyse is weergegeven in tabel 3.5. Merk hierbij op dat de analyse van de routes Zutendaal – Rekem, Bessemer – Rekem en Bessemer – Opgrimbie voor beide rijrichtingen geldt. Voor de routes

Zutendaal – Neerharen en Bessemer – Neerharen werden aparte analyses uitgevoerd voor iedere rijrichting, aangezien de beste paden o.b.v. het aantal kilometers ook afhankelijk zijn van de rijrichting (ten gevolge van de eenrichtingsstraat Heidestraat).

	Route	Afstand	Reistijd
Zutendaal – Neerharen			
Referentiesituatie	Z-B-R-N	9,6 km	879 sec
Alternatief: WNZ-route	Z-O-R-N	11,4 km	824 sec
Alternatief: N-route	Z-B-LW-LC-LO-N	11,3 km	815 sec
Gekozen alternatief	N-route		
Referentie minus alternatief		1,7 km extra	64 sec minder
Neerharen – Zutendaal			
Referentiesituatie	N-B-Z	8,2 km	825 sec
Alternatief: WNZ-route	N-R-O-Z	11,4 km	824 sec
Alternatief: N-route	N-LO-LC-LW-B-Z	11,3 km	815 sec
Gekozen alternatief	N-route		
Referentie minus alternatief		3,1 km extra	10 sec minder
Zutendaal – Rekem			
Referentiesituatie	Z-B-R	8,5 km	772 sec
Alternatief: WNZ-route	Z-O-R	10,3 km	717 sec
Alternatief: N-route	Z-B-LW-LC-LO-N-R	12,4 km	922 sec
Gekozen alternatief	WNZ-route		
Referentie minus alternatief		1,8 km extra	55 sec minder
Bessemer – Neerharen			
Referentiesituatie	B-R-N	7,2 km	668 sec
Alternatief: WNZ-route	B-Z-O-R-N	13,8 km	1.035 sec
Alternatief: N-route	B-LW-LC-LO-N	8,9 km	604 sec
Gekozen alternatief	N-route		
Referentie minus alternatief		1,7 km extra	64 sec minder

Tabel 3.5 - Analyse van de routes die gewijzigd worden door de sluiting van de Daalbroekstraat. Een alternatieve route wordt gekozen, wat aanleiding geeft tot een bepaald aantal extra kilometers die afgelegd zullen worden in het projectalternatief t.o.v. het nulalternatief. Wat betreft de reistijd zullen enkel voertuigen op de routes Bessemer – Rekem en Bessemer – Opgrimbie tijd verliezen. Dit was te verwachten, aangezien in paragraaf 3.3.2.1 bleek dat voor de andere routes nooit gebruik gemaakt werd van de Daalbroekstraat wanneer men zich enkel op de reistijd zou baseren.

	Route	Afstand	Reistijd
Neerharen – Bessemer			
Referentiesituatie	N-B	5,8 km	614 sec
Alternatief: WNZ-route	N-R-O-Z-B	13,8 km	1.035 sec
Alternatief: N-route	N-LO-LC-LW-B	8,9 km	604 sec
Gekozen alternatief	N-route		
Referentie minus alternatief		3,1 km extra	10 sec minder
Bessemer – Rekem			
Referentiesituatie	B-R	6,1 km	561 sec
Alternatief: WNZ-route	B-Z-O-R	12,7 km	928 sec
Alternatief: N-route	B-LW-LC-LO-N-R	10,0 km	711 sec
Gekozen alternatief	N-route		
Referentie – Alternatief		3,9 km extra	150 sec extra
Bessemer – Opgrimbie			
Referentiesituatie	B-R-O	7,7 km	694 sec
Alternatief: WNZ-route	B-Z-O	11,1 km	795 sec
Alternatief: N-route	B-LW-LC-LO-N-R-O	11,6 km	844 sec
Gekozen alternatief	WNZ-route		
Referentie minus alternatief		3,4 km extra	101 sec extra

Tabel 3.5 - Analyse van de routes die gewijzigd worden door de sluiting van de Daalbroekstraat (vervolg).

3.3.4. Bepalen van de verkeersstroom op de gewijzigde routes

Nu geweten is welke routes in de referentiesituatie gebruik maken van de Daalbroekstraat, naar welke paden deze routes overschakelen in de alternatieve situatie en hoeveel extra kilometers en reistijd dit met zich mee brengt, moet enkel nog de verkeersstroom in de referentiesituatie op deze routes bepaald worden. Hierbij wordt de totale verkeersstroom op de Daalbroekstraat gelijkgesteld aan 100%, dat verdeeld moet worden over de vijf verschillende routes. In een ideale situatie zou ter plaatse gevraagd worden aan de gebruikers van de Daalbroekstraat wat hun vertrekpunten en bestemmingen zijn. De verkeerssituatie ter plekke liet het echter niet toe om de voertuigen tegen te houden, want zoals Forman (1998) het stelde: *"Elephants, grizzlies and thick venomous snakes are small dangers compared with vehicles"*. Dit gaat in deze situatie zeker op gezien de hoge gemiddelde snelheid die geregistreerd werd tijdens de verkeerstelling.

Bijgevolg werd geopteerd om het verkeersvolume op de Daalbroekstraat op een andere manier over de vijf routes te verdelen. Hierbij werd gekeken naar de verschillende eigenschappen van de knooppunten, die door deze routes verbonden worden:

- Zutendaal: Zutendaal telt 5.762 inwoners⁵ (Provincie Limburg, 2011c). In de buurt van dit knooppunt zijn een aantal horecazaken en winkels gelegen. Bovendien kan men via dit knooppunt enkele belangrijke zaken bereiken, zoals de stad Genk, het bedrijventerrein Genk-Zuid (1.500 ha, <http://www.bedrijventerreinenlimburg.be>), de E314 en twee toegangspoorten tot het NPHK (Lieteberg en Kattevennen);
- Bessemer: Bessemer telt 507 inwoners⁶ (Provincie Limburg, 2011c). In de buurt van dit knooppunt zijn er amper horecazaken of winkels. Wel kan men via dit knooppunt de Lieteberg bereiken, een toegangspoort tot het NPHK;
- Neerharen: Neerharen telt 1.719 inwoners (Provincie Limburg, 2011a). In de buurt van dit knooppunt zijn weinig horecazaken, maar wel verschillende winkels;
- Rekem: Rekem telt 4.490 inwoners (Provincie Limburg, 2011a). In de buurt van dit knooppunt zijn verschillende horecazaken en winkels. Bovendien geeft dit knooppunt toegang tot Oud-Rekem, een toeristische trekpleister gezien zijn verkiezing in 2008 door Toerisme Vlaanderen als 'Mooiste dorp van Vlaanderen' ("Oud-Rekem is Mooiste Dorp van Vlaanderen," 2008);
- Opgrimbie: Opgrimbie telt 3.712 inwoners (Provincie Limburg, 2011b). In de buurt van dit knooppunt vindt men verschillende horecazaken en winkels. Bovendien geeft dit knooppunt toegang tot de gemeente Maasmechelen, het bedrijventerrein Oude Bunders (167 ha, <http://www.bedrijventerreinenlimburg.be>), de E314 en twee toegangspoorten tot het NPHK (Mechelse Heide en Connecterra).

Deze verschillende eigenschappen hebben vanzelfsprekend een invloed op het verkeersvolume dat toegewezen kan worden aan de verschillende routes. De vergelijking van deze eigenschappen is echter zeer moeilijk en vereist zeer veel tijd. Bovendien is dit geen centraal onderzoekspunt van deze masterproef. Bijgevolg zal het verkeersvolume volgens persoonlijke inzichten aan de verschillende routes toegewezen worden, gebaseerd op de bovenstaande bespreking. Hoewel deze methode niet 100% accuraat is, is het hier wel de meest aangewezen methode.

Het laagste percentage zal toegewezen worden aan de route Bessemer – Neerharen. Deze twee knooppunten zijn dan ook het minst belangrijk, gezien hun lage inwoneraantal en beperkte faciliteiten. Dit percentage wordt verdubbeld voor de route Bessemer – Rekem, wat op zijn beurt verdubbeld wordt voor de route Bessemer – Opgrimbie. Dit wordt gedaan omdat Rekem over meer inwoners en faciliteiten beschikt dan Neerharen. Opgrimbie op zijn beurt heeft minder inwoners dan Rekem, terwijl de faciliteiten vergelijkbaar zijn. Toch wordt ook hier weer het percentage verdubbeld gezien de toegang tot het bedrijventerrein Oude Bunders en andere zaken zoals Maasmechelen, Nederland en de E314.

Het percentage voor de route Zutendaal – Neerharen zal vier keer zo hoog liggen als het percentage voor de route Bessemer – Neerharen. Hier zijn verschillende redenen voor: het grote inwoneraantal van Zutendaal, de aanwezige faciliteiten en de toegang tot Genk, het bedrijventerrein Genk-Zuid, de E314 en het NPHK. Tot slot zal het verkeersvolume voor de route

⁵ Inwoners in Zutendaal-Centrum en de buurtschappen Gewaai, Gewaai Heide, Papendaal Heide, Industriezone, Zoete Dal - Vliegveld, Wiemismeer en Grote Heide.

⁶ Inwoners in het buurtschap Bessemer en de nabijgelegen buurtschappen Broek - Mandel, Stalken en Roelen.

Zutendaal – Rekem dubbel zo hoog liggen als dat van de route Zutendaal – Neerharen. Wederom wordt dit gedaan omdat Rekem over meer inwoners en faciliteiten beschikt dan Neerharen. Dit alles resulteert in de percentages en jaarintensiteiten zoals weergegeven in tabel 3.6:

Route	Percentage	Jaarintensiteit
Zutendaal – Rekem	42,1052632%	355.638
Zutendaal – Neerharen	21,0526316%	177.819
Bessemer – Opgrimbie	21,0526316%	177.819
Bessemer – Rekem	10,5263158%	88.910
Bessemer – Neerharen	5,2631579%	44.455

Tabel 3.6 – Verkeersstroom op de Daalbroekstraat. De voertuigen die in het nulalternatief – oftewel de referentiesituatie – gebruik maken van de Daalbroekstraat worden in deze tabel verdeeld over de in paragraaf 3.3.2.2 geïdentificeerde routes die gebruik maken van de Daalbroekstraat. Merk op dat het knooppunt Zutendaal een vermenigvuldigende factor van 4 inhoudt in verhouding met het knooppunt Bessemer. Het knooppunt Rekem houdt dan weer een vermenigvuldigende factor van 2 in in verhouding met het knooppunt Neerharen.

3.3.5. Conclusie

Ter afsluiting van paragraaf 3.3 geeft tabel 3.7 een samenvatting van de bevindingen. In deze tabel wordt een antwoord gegeven op de twee kwesties die behandeld werden in paragraaf 3.3: enerzijds wordt duidelijk welke alternatieve route de gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief kiezen, anderzijds wordt weergegeven hoeveel extra kilometers en reistijd dit met zich meebrengt. In totaal zal ongeveer 63% van de voertuigen overschakelen naar de Weg naar Zutendaal, terwijl slechts 37% gebruik zal maken van de gewestwegen.

Route	Aandeel in de verkeersstroom in nulalternatief	Jaarintensiteit (in voertuigen)	Gekozen alternatief	Extra aantal km in projectalternatief	Extra reistijd (sec) in projectalternatief
Zutendaal – Rekem	42,11%	355.638	WNZ-route	1,8	- 55
Zutendaal – Neerharen	21,05%	177.819	N-route	1,7 (richting Neerharen) 3,1 (richting Zutendaal)	- 64 (richting Neerharen) - 10 (richting Zutendaal)
Bessemer – Opgrimbie	21,05%	177.819	WNZ-route	3,4	101
Bessemer – Rekem	10,53%	88.910	N-route	3,9	150
Bessemer – Neerharen	5,26%	44.455	N-route	1,7 (richting Neerharen) 3,1 (richting Bessemer)	- 64 (richting Neerharen) - 10 (richting Bessemer)

Tabel 3.7 – Samenvatting van paragraaf 3.3.

Hoofdstuk 4 De kosten-batenanalyse

In de vorige hoofdstukken werden de ecologische, economische en maatschappelijke effecten geïntroduceerd die tegen elkaar afgewogen zullen worden om te bepalen of het project – de sluiting van de Daalbroekstraat – te verantwoorden is. De vraag die nu nog rest alvorens over te gaan tot de feitelijke analyse van deze effecten is op welke manier deze effecten tegen elkaar afgewogen moeten worden opdat bepaald kan worden of de baten van de sluiting van de Daalbroekstraat groter zijn dan de bijhorende kosten. M.a.w. welke methode wordt gebruikt om een antwoord te kunnen geven op de centrale onderzoeksvraag? Het antwoord op deze vraag is zeer eenvoudig: de kosten-batenanalyse. In paragraaf 4.1 zal deze methode geïntroduceerd worden. De opbouw van een dergelijke analyse wordt vervolgens in paragraaf 4.2 besproken. In de laatste paragraaf zal uitgelegd worden waarom voor deze methode geopteerd werd.

4.1. Definitie

De kosten-batenanalyse is een veelgebruikte methode voor het beoordelen van projecten⁷. Een definitie voor deze methode is als volgt (Wesemann, 2000): *"De kosten-batenanalyse is een evaluatiemethode die een gekwantificeerd overzicht geeft van de voor- en nadelen van alternatieve projecten of maatregelen. Deze voor- en nadelen worden uitgedrukt in termen van kosten- en batenposten op een kosten-batenbalans. Overal waar mogelijk worden deze posten uitgedrukt in monetaire termen."* Het doel van deze methodologie is de identificatie van de projecten die het meest efficiënt gebruik maken van de beschikbare hulpbronnen (Edwards-Jones, Davies, & Hussain, 2009).

Projecten kunnen beoordeeld worden vanuit twee verschillende perspectieven, nl. vanuit privaat perspectief of vanuit maatschappelijk perspectief. Wanneer een onderneming enkel de eigen kosten en baten in rekening brengt, spreekt men van een *private kosten-batenanalyse* of bedrijfseconomische rentabiliteitsanalyse (De Brabander, 2005). Een voorbeeld hiervan is de aankoopbeslissing van een bedrijf omtrent een bepaalde machine. Vaak is het echter zo dat projecten vanuit een sociaal-economisch standpunt beoordeeld worden. In dat geval spreekt men van een *maatschappelijke kosten-batenanalyse*. De kosten-batenanalyse presenteert zich dan als een evaluatiemethode die de waarde van alle gevolgen van een project voor alle leden van de maatschappij in rekening brengt (Boardman, Greenberg, Vining, & Weiner, 2006). Concreet betekent dit dat de goede effecten (baten) en slechte effecten (kosten) van een project tegen elkaar afgewogen moeten worden om na te gaan of de algemene welvaart van de gemeenschap toeneemt ten gevolge van het resulterende netto-effect (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). Het is deze sociale visie op de kosten-batenanalyse die gevolgd zal worden in deze thesis.

Samenvattend kan gesteld worden dat een maatschappelijke kosten-batenanalyse (verderop gewoon kosten-batenanalyse of KBA genoemd) gekarakteriseerd wordt door drie eigenschappen (Blauwens, 1988):

⁷ De term 'project' moet hier beschouwd worden in de brede zin van het woord, waarbij het ook staat voor een investering, een maatregel of een beleid.

1. *Optiek van de ganse economische gemeenschap*: een kosten-batenanalyse beschouwt alle voordelige en nadelige effecten van een project voor alle individuen van de gemeenschap;
2. *Omrekening in geldeenheden*: de effecten van het project worden voor ieder individu uitgedrukt in geldeenheden, althans in de mate van het mogelijke. Het doel van deze omzetting is het bekomen van één gemeenschappelijke eenheid zodat de verschillende effecten eenvoudig optelbaar zijn en projecten rechtstreeks met elkaar vergeleken kunnen worden;
3. *Bepaling van een kosten-batensaldo*: alle effecten van het project worden in de vorm van kosten en baten opgeteld, zodat men één saldo bekomt dat aangeeft wat de gemeenschap wint of verliest wanneer het project uitgevoerd wordt.

4.2. Opbouw van een kosten-batenanalyse

De opbouw van een kosten-batenanalyse is afhankelijk van het type. Boardman et al. (2006) identificeren vier types van kosten-batenanalyses:

1. *Ex ante KBA*: deze analyse wordt uitgevoerd nog voor de start of de implementatie van een project. Het bespreekt de beslissing of schaarse hulpbronnen al dan niet toegewezen moeten worden aan een specifiek project;
2. *Ex post KBA*: deze analyse wordt uigevoerd op het einde van een project, wanneer alle kosten reeds gemaakt zijn en niet meer teruggevorderd kunnen worden. Dergelijke analyses dragen bij tot het leerproces over wat waardevolle projecten zijn;
3. *In medias res KBA*: deze analyse wordt uitgevoerd tijdens de levensduur van een project. Op die manier kan men de voortzetting van het project rechtstreeks beïnvloeden;
4. *Vergelijkende KBA*: deze analyse vergelijkt de ex ante KBA met de ex post KBA van eenzelfde project. Op die manier kunnen beleidsmakers inzichten verwerven omtrent de effectiviteit van KBA als evaluatie- en besluitvormingstool.

De meest toegepaste kosten-batenanalyse is de ex ante KBA. Het is ook deze analyse die toegepast zal worden in deze masterproef, aangezien onderzocht zal worden of een toekomstige sluiting van de Daalbroekstraat te verantwoorden is.

Een standaard ex ante KBA doorloopt zes basisstappen (Edwards-Jones et al., 2009), die ook in deze masterproef gevolgd zullen worden. Deze stappen zijn:

1. *Projectdefinitie*: identificeren van het probleem, de gemeenschap en de grenzen van het onderzoek;
2. *Classificatie van impacts*: identificeren van de relevante impacts, bepalen wanneer ze zich voordoen, bepalen welke impacts kwalitatief en kwantitatief besproken zullen worden, en schatten van deze impacts;
3. *Omzetting naar monetaire termen*: monetariseren van de kwantitatieve impacts;
4. *Verdiscontering*: verdisconteren van de toekomstige baten en kosten om hun huidige waarden te verkrijgen;

5. *Projectbeoordeling*: aan de hand van een beslisregel bepalen of het wenselijk is om het project uit te voeren;
6. *Sensitiviteitsanalyse*: deze wordt uitgevoerd om de onzekerheid in de analyse te verminderen.

Nadat deze stappen doorlopen zijn, is de analist in staat om een aanbeveling te geven omtrent het al dan niet uitvoeren van het project (Boardman et al., 2006). De eerste stap vond reeds plaats in paragraaf 1.4. Ook stap 2 werd gedeeltelijk doorlopen, met de identificatie van de ecologische en economische effecten respectievelijk in hoofdstukken 2 en 3. De andere stappen zullen plaatsvinden in hoofdstuk 5.

4.3. Keuze voor KBA als analysemethode

De doelstelling van deze masterproef is nagaan of de baten van de sluiting van de Daalbroekstraat groter zijn dan de kosten, rekening houdend met de bijhorende economische en ecologische effecten. Zoals Eijgenraam, Koopmans, Tang, en Verster (2000) stellen, draagt economische projectbeoordeling zeer veel bij aan de afweging van dergelijke ongelijksoortige effecten. Economische projectbeoordeling kan gerealiseerd worden door de toepassing van verschillende methoden. De drie belangrijkste en meest gekende methoden zijn kosten-batenanalyse, kosteneffectiviteitsanalyse en multicriteria-analyse.

De *kosteneffectiviteitsanalyse* is een economische analysemethode die wederzijds uitsluitende alternatieven vergelijkt a.d.h.v. een kosteneffectiviteitsratio, d.i. de ratio van hun kosten en een enkele gekwantificeerde niet-gemonetariseerde effectiviteitsmaatstaf (Boardman et al., 2006). Het wordt vaak als alternatief gebruikt voor een KBA wanneer het onmogelijk is om de belangrijkste impacts in monetaire termen uit te drukken. *Multicriteria-analyse* van zijn kant wordt gebruikt wanneer men projecten moet beoordelen op basis van een reeks van criteria. Deze criteria kunnen moeilijk te monetariseren zijn, en onderling niet vergelijkbaar of zelfs tegenstrijdig zijn (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). De grote moeilijkheid van deze methode is het aggregeren van de verschillende beoordelingen van het project op ieder individueel criterium tot één enkele globale beoordeling.

De voorgaande twee methoden hebben elk hun voor- en nadelen, maar zijn minder toepasbaar voor het onderzoek dat in deze masterproef beoogd wordt. De kosteneffectiviteitsanalyse gebruikt namelijk kosteneffectiviteitsratio's als beslisregel. Deze ratio's zijn echter niet op te stellen voor deze masterproef. Het is namelijk zo dat deze kosteneffectiviteitsratio's slechts opgesteld kunnen worden voor één enkele effectiviteitsmaatstaf per keer (Boardman et al., 2006). Dit vormt een probleem voor het onderzoek, aangezien de sluiting van de Daalbroekstraat verschillende typen van baten, zowel maatschappelijke als ecologische, met zich mee brengt. Een oplossing zou zijn om al deze baten in een enkele effectiviteitsmaatstaf samen te vatten. Dit is echter zeer moeilijk, aangezien deze baten onderling niet eenvoudig te vergelijken zijn. Daarenboven onderzoekt men bij een kosteneffectiviteitsanalyse enkel welke aanwending van hulpbronnen de hoogste effectiviteit levert, maar controleert men niet of de (maatschappelijke) baten de (maatschappelijke) kosten overtreffen. Met andere woorden: men onderzoekt niet of het project

wenselijk is vanuit een maatschappelijk oogpunt. Dit maakt de toepassing van de kosteneffectiviteitsanalyse onmogelijk, aangezien het streven van deze masterproef net het onderzoeken van de maatschappelijke wenselijkheid behelst.

Ook bij de multicriteria-analyse treedt een probleem op m.b.t. de verschillende typen baten en kosten. Zoals reeds gezegd wordt het project in een multicriteria-analyse beoordeeld op verschillende criteria (in deze masterproef zijn dit enerzijds de netto economische kosten verbonden aan de sluiting van de Daalbroekstraat en anderzijds de individuele ecologische en maatschappelijke effecten). Om een globaal oordeel te kunnen vellen over het project zou de analist uiteindelijk een waardevergelijking tussen de verschillende criteria moeten toepassen om de gewichten van ieder criterium te bepalen. Dit is vereist om tot een geaggregeerde beslissing te komen (De Brabander, 2005). Gezien de onderlinge verscheidenheid en tijdsbeperking van deze masterproef, is dit onmogelijk te doen voor de verschillende criteria in dit onderzoek.

De nadelen van beide methodes omtrent de vergelijking van de verschillende soorten van baten of criteria worden in een kosten-batenanalyse opgelost door één belangrijke eigenschap, nl. het feit dat alle effecten in principe monetair gewaardeerd kunnen worden. Dit zorgt ervoor dat alle effecten onderling eenvoudig vergelijkbaar worden, waardoor een integrale afweging in slechts één rendementscijfer mogelijk is. Bijgevolg zal men een uitspraak kunnen doen over de maatschappelijke wenselijkheid en rendabiliteit van het project (De Brabander, 2005). Een dergelijke uitspraak is onmogelijk te doen aan de hand van een multicriteria-analyse of een kosteneffectiviteitsanalyse (Wesemann, 2000).

De kosten-batenanalyse is bijgevolg de meest geschikte methode om een antwoord te leveren op de centrale onderzoeksvraag. Toch is het zo dat er ook kritieken op deze methode zijn. Zo wordt de onzekerheid waarmee fysieke kosten en baten geschat worden in vraag gesteld (Edwards-Jones et al., 2009). Deze onzekerheid kan men echter verminderen door aan het einde van de kosten-batenanalyse een sensitiviteitsanalyse uit te voeren. Een andere belangrijke kritiek op de kosten-batenanalyse heeft betrekking op het feit dat alle effecten uitgedrukt moeten worden in monetaire termen. Voor veel effecten is dit geen enkel probleem, aangezien hiervoor marktprijzen bestaan. Voor andere effecten kan het echter zijn dat deze marktprijzen geen goede weergave zijn van hun sociale waarden doordat de markt imperfect werkt. Mogelijke redenen hiervoor zijn dat er sprake is van een externaliteit, een publiek goed of monopolieacht (Boardman et al., 2006). Voor nog andere effecten is het zelfs mogelijk dat er geen geschikte marktprijzen bestaan (zoals luchtvervuiling en de waarde van een mensenleven). In dergelijke gevallen wordt *shadow pricing* gebruikt om de kosten en baten te kwantificeren. Shadow pricing betekent dat geobserveerde incorrecte marktprijzen aangepast worden of dat waarden toegewezen worden wanneer geen marktprijzen bestaan, zodat de juiste rekenprijzen zo goed mogelijk benaderd worden door deze schaduwmarktprijzen (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). De analist moet er hierbij voor zorgen dat deze kosten en baten zo accuraat mogelijk monetair gewaardeerd worden.

Helaas is het zo dat technische beperkingen er vaak voor zorgen dat de analist onmogelijk alle impacts van een project kan meten en monetair waarderen. Mogelijke redenen hiervoor zijn tijdsbeperkingen en beperkingen in de beschikbare gegevens. Ook deze masterproef wordt

geconfronteerd met een tijdsbeperking, waardoor het onmogelijk is om voldoende gegevens te verzamelen om een duidelijk beeld te krijgen van alle effecten en ze tevens te monetariseren. Een oplossing wordt echter aangereikt door Boardman et al. (2006), die erop wijzen dat in dergelijke situaties overgeschakeld kan worden naar een kwalitatieve KBA. In een dergelijke analyse worden zo veel mogelijk impacts gemonetariseerd. De impacts waarvoor dit onmogelijk is (wegens te weinig tijd of een tekort aan gegevens), worden zo goed mogelijk kwalitatief beschreven. Op die manier kan men toch nog tot een goede beoordeling komen, en eventueel de mogelijkheid bieden aan andere personen om de analyse verder uit te breiden door de kwalitatieve gegevens verder te monetariseren. Wel is het zo dat de beslisregel van de KBA – de netto contante waarde – met zorg beschouwd moet worden, aangezien deze een onvolledige schatting van de werkelijke netto contante waarde van het project zal leveren door het niet-monetariseren van enkele impacts.

Tot slot is het aangewezen om te vermelden dat de kosten-batenanalyse ook theoretisch zeer goed onderlegd is om gebruikt te worden als economische analysemethode. De theoretische grondslagen van deze methode worden echter niet besproken in deze masterproef. Verdere informatie omtrent deze theorie – onder meer m.b.t. de welvaartstheorie, het Pareto-criterium en het Kaldor-Hicks-criterium – kan gevonden worden in o.a. Blauwens (1988), Boardman et al. (2006), De Brabander (2005) en Vertonghen en Van Rompuy (1994).

Hoofdstuk 5 KBA van het praktijkprobleem

In dit hoofdstuk zal de kosten-batenanalyse voor het praktijkprobleem uitgevoerd worden. Meer specifiek zal onderzocht worden op welke manier de in de vorige hoofdstukken geïdentificeerde ecologische en economische effecten veranderen bij de overgang van het nulalternatief naar het projectalternatief – d.i. deelvraag 3 – om uiteindelijk een antwoord te kunnen leveren op de laatste deelvraag: *"Wat is de verhouding tussen de ecologische en economische gevolgen van de sluiting van de Daalbroekstraat?"* Alvorens echter overgegaan kan worden tot de feitelijke economische analyse moeten nog enkele cruciale elementen besproken worden. In paragraaf 4.2 is immers gebleken dat eerst nog verschillende stappen van de KBA doorlopen moeten worden. De eerste stap, de projectdefinitie, werd reeds in hoofdstuk 1 uitgevoerd. Ook de tweede stap, de classificatie van de impacts, kwam al gedeeltelijk aan bod in hoofdstukken 2 en 3. Wel is het zo dat nog bepaald moet worden welke impacts of effecten kwantitatief en welke kwalitatief besproken zullen worden, aangezien het hier een kwalitatieve KBA betreft. Deze classificatie zal in paragraaf 5.1 gebeuren.

Vooraleer vervolgens overgegaan kan worden naar de volgende drie stappen – omzetting naar monetaire termen, verdiscontering en projectbeoordeling – moeten voor enkele parameters specifieke waarden vastgelegd worden. Deze parameters zijn de analyseperiode, de discontovoet en het beslissingscriterium, en worden in paragraaf 5.2 besproken. Vervolgens zal in paragraaf 5.3 de feitelijke economische analyse uitgevoerd worden, incl. monetaire waardering, verdiscontering en projectbeoordeling, om te eindigen met een sensitiviteitsanalyse in paragraaf 5.4.

5.1. Classificatie van impacts

Aangezien deze masterproef gebruik maakt van een kwalitatieve KBA, moet voor de opgenomen effecten uit hoofdstukken 2 en 3 bepaald worden of ze kwantitatief of kwalitatief besproken zullen worden. Dit zal in deze paragraaf gebeuren. Om deze indeling te verduidelijken, zal in paragraaf 5.1.1 kort het onderscheid gemaakt worden tussen verschillende soorten effecten. In paragraaf 5.1.2 en paragraaf 5.1.3 worden vervolgens respectievelijk de ecologische en de economische effecten gecategoriseerd.

5.1.1. Effecten in een KBA

5.1.1.1. Directe en indirecte effecten

De directe effecten omvatten de effecten die rechtstreeks ontstaan zijn ten gevolge van de uitvoering van het project. Ook indirecte effecten zijn het gevolg van de projectuitvoering, maar ontstaan heel wat later in de tijd (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). Indirecte effecten worden vaak niet opgenomen in een KBA, enerzijds omdat het oorzakelijk verband tussen het project en de effecten niet altijd duidelijk is, anderzijds omdat ze een groter risico van dubbeltellingen met zich meebrengen (De Brabander, 2005).

5.1.1.2. Materiële en immateriële effecten

Naast het inhoudelijke verschil verschillen materiële en immateriële effecten op grond van hun waardering. Het is namelijk zo dat materiële effecten relatief eenvoudig in monetaire waarden uit te drukken zijn, omdat er meestal wel een prijs of kost beschikbaar is. Voor immateriële effecten is dit daarentegen niet het geval, omdat er geen markt voor deze effecten bestaat. Bijgevolg worden immateriële effecten vaak buiten beschouwing gelaten in een KBA, hoewel dit zeker niet terecht is (De Brabander, 2005).

5.1.1.3. Meetbare en niet-meetbare effecten

Het onderscheid tussen meetbare en niet-meetbare effecten is evident. Meetbare effecten vormen zelden een probleem, aangezien voor deze effecten marktprijzen bestaan of eenvoudig rekenprijzen te bepalen zijn (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). Voor niet-meetbare effecten bestaan deze prijzen niet. Dit betekent echter niet dat deze effecten niet belangrijk zijn. Integendeel, veel niet-meetbare effecten kunnen een belangrijk effect hebben op de maatschappelijke welvaart en dienen bijgevolg toch opgenomen te worden in de KBA (De Brabander, 2005), al dan niet op een kwalitatieve wijze.

5.1.2. Classificatie van de ecologische effecten

Het merendeel van de ecologische effecten zal niet opgenomen worden in de monetaire analyse. Immers, voor geen enkel ecologisch effect bestaat er een markt, waardoor gesproken kan worden van immateriële effecten. Dit betekent natuurlijk niet dat deze effecten niet opgenomen dienen te worden in de economische analyse. Hoewel de meeste effecten zeer moeilijk te kwantificeren zijn, zal toch getracht worden ze zoveel mogelijk kwalitatief te bespreken. Het nettoverlies van biotoop en leefomgeving is immers in zekere mate meetbaar, doordat de oppervlakte van de weg beschouwd kan worden. Ook de emissies van NO_x, PM, stroomzouten en zware metalen zijn in principe meetbaar. Voor NO_x, PM en zware metalen zijn zelfs rekenprijzen beschikbaar, waardoor de emissies van deze drie polluenten gemonetariseerd zullen worden. Voor stroomzouten werden geen rekenprijzen gevonden, waardoor de effecten van deze polluent slechts kwalitatief besproken zullen worden.

De overige twee ecologische effecten, het barrière-effect (met versnippering van het leefgebied) en wegontrijking door geluidshinder zijn in principe ook meetbaar. Hiervoor is echter veel meer tijd en informatie nodig dan beschikbaar is voor deze masterproef, gezien de grote complexiteit van beide effecten. Bijgevolg wordt besloten om de raad van Boardman et al. (2006) te volgen en deze effecten enkel kwalitatief te bespreken.

5.1.3. Classificatie van de economische effecten

Hoewel men van economische effecten verwacht dat ze eenvoudig te monetariseren zijn, is dit zeker niet het geval voor alle effecten hier besproken. Herinner immers dat de categorie van

economische effecten ook maatschappelijke effecten bevatte. Bijgevolg dienen de economische effecten, net zoals de ecologische effecten, duidelijk gecategoriseerd te worden.

Voor twee economische effecten, de verandering in brandstofverbruik en infrastructuurkosten, is deze keuze zeker eenvoudig: zij worden in de monetaire analyse opgenomen. Voor beide effecten bestaan er immers marktprijzen die in deze analyse toegepast kunnen worden. Denk hierbij maar aan de brandstofprijzen, de offerteprijs van een wegonderhoudsbeurt, de prijs van strooizout en de elektriciteitsprijs voor straatverlichting.

De overige economische effecten zijn minder eenvoudig te categoriseren. De verandering in tijdsverlies en aantal ongevallen en de impact op de menselijke gezondheid zijn immers allemaal immateriële effecten. Ook hier betekent dit natuurlijk niet dat deze effecten buiten beschouwing gelaten moeten worden. Integendeel, het merendeel van deze effecten zal zelfs monetair gewaardeerd worden. Voor de tijdskosten, ongevallenkosten en gezondheidskosten m.b.t. schadelijke emissies bestaan immers rekenprijzen die in dit onderzoek toegepast kunnen worden. Ook voor de gezondheidskosten m.b.t. geluidshinder bestaan dergelijke prijzen. Toch wordt besloten om de impact van geluidshinder op de menselijke gezondheid niet op te nemen in de monetaire analyse. In de vorige paragraaf werd immers besloten om het effect van geluidshinder op fauna enkel kwalitatief te bespreken. Bijgevolg is het aangewezen om de gezondheidskosten voor de mens m.b.t. geluidshinder ook enkel kwalitatief te bespreken.

De conclusies uit paragrafen 5.1.2 en 5.1.3 worden samengevat in tabel 5.1.

Ecologische effecten	Economische effecten
<i>Nettoverlies van biotoop</i>	Verandering in brandstofverbruik
<i>Nettoverlies van leefomgeving</i>	Verandering in reistijden
<i>Barrière-effect en versnippering</i>	Verandering in infrastructuurkosten
<i>Wegontwijking door geluidshinder</i>	Verandering in aantal ongevallen
Verspreiding van <i>strooizouten</i> en zware metalen	Gezondheidseffecten m.b.t.: • schadelijke emissies • <i>geluidshinder</i>
Emissie van NO _x en PM	

Tabel 5.1 – Opgenomen effecten. Deze tabel bevat de opgenomen effecten, zoals weergegeven in tabellen 2.2 en 3.1. De effecten, weergegeven in cursief, zullen enkel kwalitatief besproken worden, terwijl de andere effecten wel gemonetariseerd worden.

5.2. Assumpties

Voordat overgegaan kan worden tot de feitelijke analyse dienen enkele parameters vastgelegd te worden. Deze parameters zijn de analyseperiode, de discontovoet, het beslissingscriterium en het basisjaar.

5.2.1. Analyseperiode

Een vaak toegepaste regel voor kosten-batenanalyses van infrastructuurprojecten is dat de analyseperiode gelijkgesteld moet worden aan de economische levensduur van de kapitaalgoederen of het project. Helaas is het zo dat deze benadering onmogelijk is in dit onderzoek, gezien er geen sprake is van kapitaalgoederen noch van infrastructuur met een eindige economische levensduur. Bovendien worden de ecologische voordelen verondersteld nooit te verdwijnen. Daarom merken Eijgenraam et al. (2000) op dat het aangewezen is om een maatschappelijke KBA op te stellen over een oneindige tijdsperiode. Dit is echter niet praktisch uitvoerbaar, gezien de veranderingen die zich voordoen in enkele belangrijke variabelen. Denk hierbij o.a. maar aan de fluctuaties in brandstofprijzen en het brandstofverbruik. Sijm, van der Welle, Tieben, Hof, en Kocsis (2013) stellen echter dat het in de praktijk volstaat om een analyseperiode van 100 jaar te nemen als goede benadering voor een oneindige levensduur. Deze periode werd bevestigd door dr. Natalie Beenaerts, bioloog aan de UHasselt, waarbij tevens opgemerkt werd dat een periode van 50 jaar ook voldoende kan zijn. Bijgevolg werd besloten om voor beide termijnen een analyse uit te voeren.

5.2.2. Discontovoet

Zoals in de vorige paragraaf is aangetoond, heeft het project een lange looptijd. Tijdens deze looptijd doen de kosten en baten zich op zeer verschillende tijdstippen voor. Deze kosten en baten kunnen echter niet zonder meer met elkaar vergeleken worden, maar moeten een correctie ondergaan. Het is immers zo dat mensen, en bij uitbreiding de gehele maatschappij, een tijdsvoorkeur hebben waarbij opbrengsten op dit moment verkozen worden boven opbrengsten in de toekomst. Factoren zoals ongeduld en onzekerheid over de waarde van goederen in de toekomst spelen hierin een zeer belangrijke rol (Edwards-Jones et al., 2009). Daarenboven is het zo dat men de opbrengst die men nu ontvangt nog kan investeren, wat onmogelijk is met toekomstige opbrengsten.

Om de verschillende kosten en baten met elkaar te vergelijken, zullen ze dus aangepast moeten worden. Dit is mogelijk a.d.h.v. verdiscontering, waarbij de geldstromen die optreden in verschillende jaren naar een basisjaar herleid worden. Dit wordt gedaan door hun waarden te vermenigvuldigen met de factor:

$$\frac{1}{(1+r)^t}$$

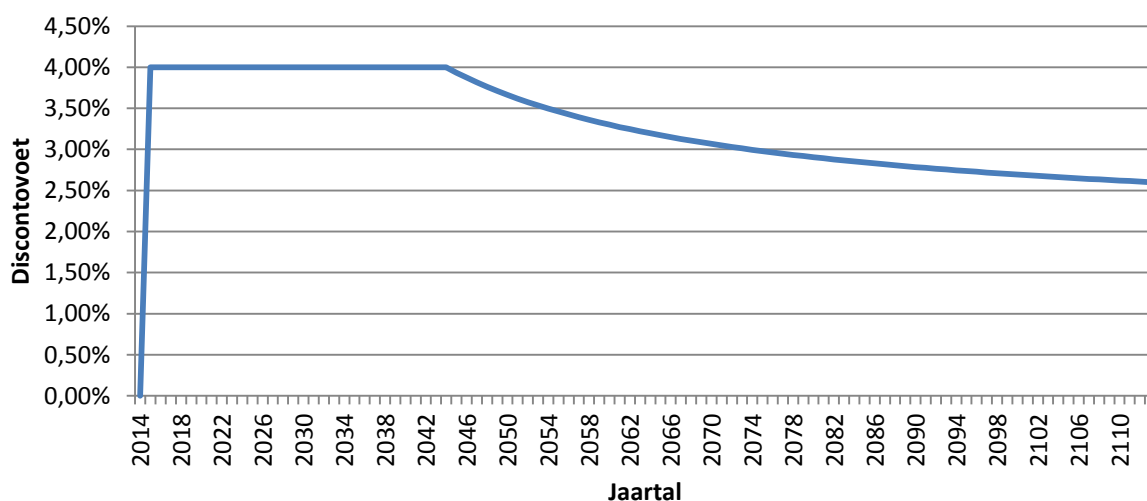
Hierbij is t gelijk aan het aantal jaren voordat de betreffende kost of baat zich voordoet. De parameter r is de gekozen discontovoet. Deze discontovoet bepaalt in grote mate de uitkomst van de verdiscontering: hoe hoger de discontovoet, hoe minder gewicht gegeven wordt aan baten en kosten die verder in de toekomst optreden (Boardman et al., 2006). Een hogere discontovoet zorgt er dus voor dat projecten met hogere kosten in het begin en meer baten verderop in de toekomst minder aantrekkelijk worden.

De discontovoet moet met de grootste zorg gekozen worden. Helaas is er grote onenigheid over welke waarde de discontovoet moet bezitten (Vertonghen & Van Rompuy, 1994). De Brabander (2005) geeft drie belangrijke opvattingen. Een eerste opvatting, *de maatschappelijke voorkeur om vandaag te consumeren in plaats van morgen*, leidt de discontovoet af uit de langetermijnrente van een overheidsobligatie, dat beschouwd kan worden als een zekere investering. Een tweede opvatting vertrekt vanuit *de opportunitetskost voor de overheid om de middelen te investeren*, waarbij de overheid op dezelfde manier beschouwd wordt als een investeringsorgaan dat middelen investeert in bedrijven. Het is echter de derde opvatting die gebruikt zal worden in deze masterproef, nl. de *sociale discontovoet*. Deze discontovoet wordt bepaald vanuit het standpunt van de maatschappij, wat natuurlijk aangewezen is bij een maatschappelijke KBA.

Voor een concrete invulling van deze sociale discontovoet wordt de aanbeveling van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid gevolgd. Ochelen en Putzeijs (2008) stellen voor om naar Frans voorbeeld een in de tijd dalende discontovoet te gebruiken. Een belangrijk argument hiervoor is dat op die manier milieubaten die zich ver in de toekomst voordoen toch nog voldoende meetellen. Daarenboven wordt met een dalende discontovoet meer belang gehecht aan het welzijn van toekomstige generaties, wat het maatschappelijke en duurzame aspect van de KBA alleen maar verhoogt. Finaal is er steeds meer bewijsmateriaal dat mensen zich niet gedragen alsof hun discontovoet constant is, maar net alsof deze daalt doorheen de tijd (Pearce, Atkinson, & Mourato, 2006). Bijgevolg wordt aanbevolen om een discontovoet van 4% te gebruiken voor een tijdshorizon van minder dan 30 jaren en vervolgens een continu dalende discontovoet die uiteindelijk naar 2% zakt (Ochelen & Putzeijs, 2008). Dit betekent dat voor de periode na 30 jaren de discontovoet bepaald wordt door formule (1).

$$r_t = \sqrt[t]{1,04^{30} \cdot 1,02^{t-30}} - 1 \quad (1)$$

Hierbij is t gelijk aan het betreffende jaar. De discontovoet zal bijgevolg evolueren zoals weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1 – Evolutie van de discontovoet over de gehele analyseperiode.

5.2.3. Beslissingscriterium

Zoals reeds verscheidene keren vermeld werd, is het de bedoeling van deze masterproef om een inzicht te krijgen in de wenselijkheid en rendabiliteit van het project. Hiervoor bestaan verschillende beslissingscriteria. Een eerste mogelijkheid is het toepassen van de *interne opbrengstvoet* (IOV). Dit is de discontovoet waarbij het kosten-batensaldo gelijk is aan nul (De Brabander, 2005). Hierbij wijst een hoge rentevoet op een aanvaardbaar project. Helaas kan dit criterium een vertekend beeld geven van de maatschappelijke rendabiliteit. Dit is onder meer het geval wanneer er zich nog belangrijke kosten voordoen na het eindmoment dat in beschouwing genomen werd. Bovendien is het mogelijk dat een unieke IOV niet berekend kan worden, doordat het project een niet-conventionele stroom⁸ van kosten en baten oplevert (De Brabander, 2005).

Een ander beslissingscriterium is de *terugverdiëntijd* (TVT). Hierbij wordt onderzocht welke periode nodig is om de kosten exact te laten compenseren door de gegenereerde baten (De Brabander, 2005). Hoewel de TVT zeer eenvoudig te berekenen en interpreteren is, is het toch niet aangewezen deze te gebruiken. Zo houdt dit criterium geen rekening met de effecten en opbrengsten na de terugverdiëntijd. Daarenboven kan de TVT niet gebruikt worden wanneer er geen sprake is van een eenmalige investeringskost (Ochelen & Putzeijs, 2008).

Een laatste beslissingscriterium, dat de voorkeur verdient boven alle andere criteria en typisch gebruikt wordt in KBA's, is de *netto contante waarde* (NCW). Dit criterium bepaalt dat projecten rendabel zijn wanneer de actuele baten groter zijn dan de actuele kosten. Hierbij worden alle kosten en baten die zich tijdens de analyseperiode voordoen via de eerder bepaalde discontovoet verdisconteerd naar hun huidige waarde. Een project met een NCW groter dan nul is aanvaardbaar. Wanneer er meerdere projectalternatieven zijn, zal men steeds voor het alternatief met de hoogste NCW kiezen (Proost & Rousseau, 2007). Dit beslissingscriterium, dat in deze masterproef gebruikt zal worden, kan berekend worden via formule (2).

$$NCW = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^{t-1}} - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+r)^{t-1}} \quad (2)$$

Hierbij is:

- T = de tijdshorizon of analyseperiode van het project in aantal jaren;
- B_t = de maatschappelijke baten van het project in jaar t ;
- K_t = de maatschappelijke kosten van het project in jaar t ;
- r = de discontovoet.

Tot slot moet hierbij opgemerkt worden dat alle baten en kosten in reële termen uitgedrukt worden en dat verondersteld wordt dat alle kosten en baten zich voordoen op het einde van ieder jaar (Boardman et al., 2006).

⁸ Een conventionele stroom is één waarbij zich initieel een investeringskost voordoet die gevolgd wordt door een stroom van baten. Wanneer dit niet het geval is, kan het zijn dat de nettostroom meerdere keren van negatief naar positief verandert, waardoor het onmogelijk is een enkele IOV te berekenen.

5.2.4. Basisjaar

Uit de vorige paragrafen werd duidelijk dat alle kosten en baten verdisconteerd zullen worden naar één bepaald tijdstip om zo de NCW te kunnen bepalen. Dit tijdstip wordt het basisjaar genoemd. Voor deze KBA wordt het jaar 2014 gekozen als basisjaar. Hierbij wordt verondersteld dat de weg aan het begin van dit jaar afgesloten werd en dat bijgevolg ook alle bijhorende kosten en baten op het einde van dit jaar meegeteld kunnen worden. Hoewel deze veronderstelling niet realistisch is, vergroot het toch de betrouwbaarheid van de resultaten van deze analyse. Het is namelijk zo dat voor de meeste kosten en baten uit deze masterproef slechts goede schattingen bestaan tot een bepaald tijdstip in de toekomst, meestal 2030. Door het jaar 2014 op te nemen wordt bijgevolg een extra jaar met betrouwbare gegevens in de analyse opgenomen in vergelijking met wanneer 2015 als basisjaar zou dienen.

Merk op dat 2014 enkel als basisjaar genomen wordt voor de verdiscontering naar de NCW. Voor de inflatiecorrectie, d.i. de correctie voor de verandering in het algemeen prijspeil, wordt namelijk een ander basisjaar genomen: 2013. Dit betekent dat de resultaten van de KBA uitgedrukt zullen worden in hun 'contante waarde 2014, prijspeil 2013'.

5.3. Kwalitatieve kosten-batenanalyse

Nu geweten is welke effecten monetair en welke kwalitatief besproken zullen worden en wat de waarde is van de verschillende paramaters, kan overgegaan worden tot de feitelijke kwalitatieve KBA. In paragraaf 5.3.1 worden enkele veronderstellingen van de monetaire analyse besproken, waarna in paragraaf 5.3.2 de monetaire analyse uitgevoerd wordt. Een overzicht van de belangrijkste berekeningen in deze monetaire analyse wordt in bijlage 5 gegeven. In paragraaf 5.3.3 ten slotte volgt de kwalitatieve bespreking van de overige effecten.

5.3.1. Veronderstellingen van de monetaire analyse

Voordat de verschillende kostencategorieën besproken zullen worden, dienen eerst nog enkele veronderstellingen behandeld te worden. Dit zijn de behandeling van de belastingen en de evolutie van de verkeersintensiteit.

5.3.1.1. Behandeling van de belastingen

Wanneer men een KBA opstelt, moet men ervoor zorgen dat men consistent is in het al dan niet opnemen van de belastingen in de geformuleerde kosten. Denk hierbij maar aan de accijnzen op brandstoffen of de btw bij infrastructuurwerken. Voor de KBA werd besloten om de belastingen buiten beschouwing te laten. Dit betekent dat enkel prijzen exclusief belastingen gebruikt zullen worden. Hierbij wordt de aanbeveling uit Ochelen en Putzeijs (2008) gevolgd. Zij stellen dat het aangewezen is om de kosten exclusief belastingen te berekenen. Deze belastingen betekenen immers enkel een herverdeling van de beschikbare middelen, aangezien het hier een KBA vanuit maatschappelijk oogpunt betreft.

5.3.1.2. Evolutie van de verkeersintensiteit

Verschillende van de opgenomen effecten zijn afhankelijk van de verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat. Het is echter niet realistisch om te veronderstellen dat het aantal voertuigen op deze weg in het nulalternatief constant blijft doorheen de tijd. Het valt immers te verwachten dat het aantal afgelegde voertuigkilometers (vkm) in de toekomst toe zal nemen. Ook in Vandresse, Gusbin, Hertveldt, en Hoornaert (2012) wordt een dergelijke toename in de vkm op de Belgische wegen verondersteld. Het is die evolutie die in deze KBA gebruikt wordt om de toename in het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat in rekening te brengen. Dit leidt tot de jaarlijkse groeivoet voor iedere voertuigklasse in tabel 5.2. Merk op dat deze groeivoet enkel geldt tot 2030. Voor de periode na 2030 zijn geen gegevens beschikbaar, waardoor verondersteld wordt dat het aantal voertuigen na 2030 gelijk blijft aan het aantal voertuigen in het jaar 2030.

Voertuigklasse	Gemiddelde jaarlijkse groeivoet tot 2030
Personenwagen	1%
Tweewieler	1%
Lichte vrachtwagen	3%
Bus	1%
Vrachtwagen	2,3%
Trailer	2,3%

Tabel 5.2 – Gemiddelde jaarlijkse toename in het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat in de referentiesituatie. (Bron: Vandresse et al. (2012))

5.3.2. Monetaire analyse

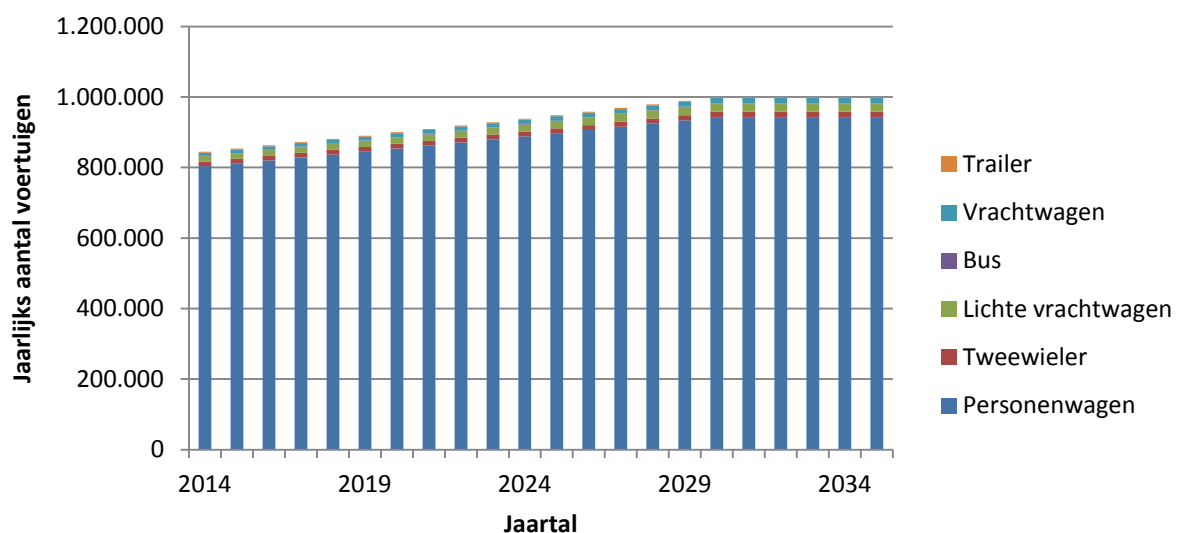
In het monetaire gedeelte van de kwalitatieve KBA wordt de NCW berekend van de effecten die in monetaire waarden uitgedrukt kunnen worden. Voordat de NCW berekend wordt, zal de monetarisering van de volgende effecten besproken worden: (1) verandering in brandstofverbruik, (2) verandering in reistijden, (3) verandering in infrastructuurkosten, (4) verandering in aantal ongevallen en (5) de milieu- en gezondheidseffecten. Tot deze laatste effecten behoren de milieu- en gezondheidseffecten van de emissies van zware metalen, NO_x en PM.

5.3.2.1. Verandering in brandstofverbruik

Zoals reeds aangehaald moeten de gebruikers van de Daalbroekstraat na de sluiting van deze weg een omweg nemen. Bijgevolg zullen hun brandstofkosten in het projectalternatief hoger liggen dan in het nulalternatief. Om deze extra kosten te berekenen dient eerst een inzicht verkregen te worden in het jaarlijks aantal voertuigen op de Daalbroekstraat per voertuigklasse. Vervolgens kan berekend worden hoeveel kilometers de voertuigen van iedere voertuigklasse in het projectalternatief in totaal meer rijden dan in het nulalternatief. Op basis van dit aantal extra kilometers kan het extra brandstofverbruik berekend worden. Wanneer men dit extra brandstofverbruik met de brandstofprijs vermenigvuldigt, bekomt men uiteindelijk de extra brandstofkosten die het projectalternatief met zich mee brengt.

5.3.2.1.1. Jaarlijks aantal voertuigen per voertuigklasse

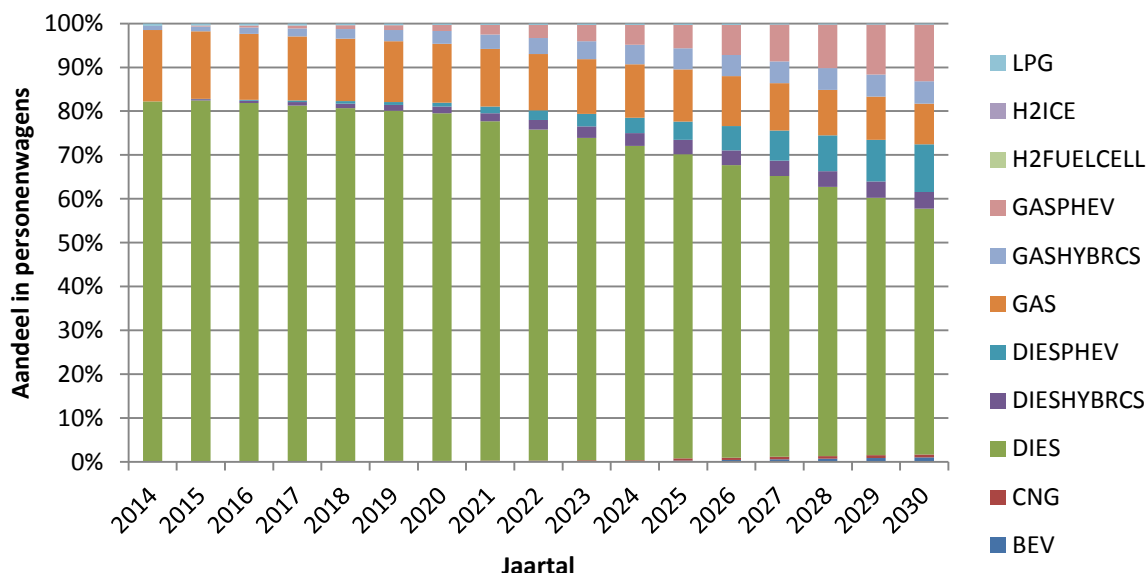
Vanuit de gegevens uit de verkeerstelling wordt berekend hoeveel voertuigen van iedere geobserveerde voertuigklasse (tweewieler, personenwagen, lichte vrachtwagen, vrachtwagen/bus en trailer) jaarlijks gebruik maken van de Daalbroekstraat. Hierbij dient de klasse vrachtwagen/bus opgesplitst te worden, aangezien het voor verdere berekeningen nodig is om over aparte gegevens te beschikken m.b.t. vrachtwagens enerzijds en bussen anderzijds. Vermits er geen informatie beschikbaar is over de onderlinge verhouding in het studiegebied wordt een veronderstelling gemaakt o.b.v. Statbel (FOD Economie, 2013a). Wanneer in de statistieken m.b.t. het jaarlijks aantal afgelegde vkm op de Belgische wegen het geheel van lichte vrachtwagens, zware vrachtwagen, trailers en bussen beschouwd wordt, blijkt dat bussen de laatste jaren verantwoordelijk waren voor ongeveer 4% van de afgelegde vkm. De andere drie voertuigklassen waren dan verantwoordelijk voor de overige 96% van de afgelegde kilometers. Aangezien voor de rest geen relevante informatie beschikbaar is en geen lijnbussen gebruik maken van de Daalbroekstraat, wordt besloten deze verhouding over te nemen. Op deze manier wordt het jaarlijks aantal voertuigen op de Daalbroekstraat zoals weergegeven in figuur 5.2 bekomen.



Figuur 5.2 – Jaarlijks aantal voertuigen op de Daalbroekstraat in het nulalternatief in de periode 2014 – 2035. Voor 2014 werd een jaartotaal van 844.640 voertuigen berekend o.b.v. de verkeerstellingen (paragraaf 3.2). Personenwagens vertegenwoordigen met 95,19% de overgrote meerderheid. Lichte vrachtwagens (1,76%), tweewielers (1,51%) en vrachtwagens (1,14%) maken ook geregeld gebruik van de Daalbroekstraat. Trailers (0,27%) en bussen (0,13%) treft men dan weer veel minder aan. In de periode na 2014 nemen deze jaartotalen toe volgens de evolutie in tabel 5.2, tot een maximum van 1.000.003 voertuigen in 2030. Na 2030 worden de aantallen constant gehouden. (Bron: eigen verkeerstelling)

Naast de voertuigklasse vrachtwagen/bus is er nog een tweede klasse die opgesplitst dient te worden: de personenwagens. Voor het berekenen van de extra brandstofkosten is het immers nodig dat een onderscheid gemaakt wordt tussen de volgende brandstofklassen: (1) battery electric vehicle (BEV), (2) wagen op aardgas (CNG), (3) wagen op diesel (DIES), (4) charge-sustaining diesel hybrid vehicle (DIESHYBRCS), (5) plug-in diesel hybrid electric vehicle (DIESPHEV), (6) wagen op benzine (GAS), (7) charge-sustaining gasoline hybrid vehicle

(GASHYBRCS), (8) plug-in gasoline hybrid electric vehicle (GASPHEV), (9) wagen op waterstof met brandstofcel (H2FUELCELL), (10) wagen op waterstof met interne verbrandingsmotor (H2ICE) en (11) wagen op LPG (LPG). Het aandeel van iedere brandstofklasse binnen de voertuigklasse personenwagens is gebaseerd op berekeningen met het E-Motion model van VITO. De evolutie van deze aandelen wordt weergegeven in figuur 5.3.



Figuur 5.3 – De evolutie van de aandelen van de verschillende brandstofklassen in het totaal aantal personenwagens. Diesel, benzine en LPG kennen een sterke terugval doorheen de tijd, terwijl hybride voertuigen steeds belangrijker worden. Ook CNG zal meer gebruikt worden. Vanaf 2025 verschijnen BEV's op het toneel. De aandelen van waterstofvoertuigen worden op nul gehouden gezien de grote onzekerheid omtrent deze voertuigen en de waterstofprijzen. Na 2030 worden alle aandelen gelijk gehouden aan de verhouding van het jaar 2030. (Bron: E-Motion model VITO)

5.3.2.1.2. Jaarlijks aantal extra kilometers

In de tweede stap wordt berekend hoeveel extra kilometers iedere voertuigklasse in het projectalternatief zal rijden. Hiervoor wordt een beroep gedaan op de bevindingen uit paragraaf 3.3, weergegeven in tabel 5.3. Er wordt verondersteld dat de voertuigen van iedere voertuigklasse zich volgens de gevonden percentages over de verschillende routes verspreidt en bijgevolg de bijhorende extra kilometers rijden.

Route	Percentage	Extra aantal km richting Bessemer	Extra aantal km richting Rekem
Zutendaal – Rekem	42,11%	1,8	1,8
Zutendaal - Neerharen	21,05%	3,1	1,7
Bessemer - Opgrimbie	21,05%	3,4	3,4
Bessemer – Rekem	10,53%	3,9	3,9
Bessemer - Neerharen	5,26%	3,1	1,7

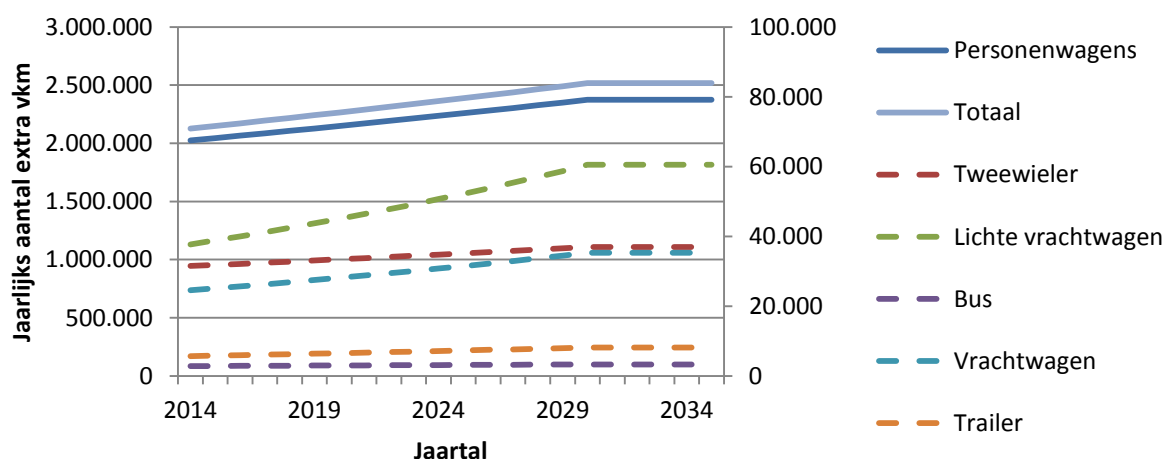
Tabel 5.3 – Gegevens per route. Dit is een herneming van de bevindingen uit paragraaf 3.3 en tabel 3.7.

Bovendien wordt rekening gehouden met het feit dat het aantal voertuigen richting Bessemer niet gelijk is aan het aantal voertuigen richting Rekem. De percentages, afgeleid uit de verkeerstelling, worden weergegeven in tabel 5.4.

Voertuigklasse	Richting Bessemer	Richting Rekem
Tweewieler	38,32%	61,68%
Personenwagen	50,45%	49,55%
Lichte vrachtwagen	55,09%	44,91%
Bus	55,29%	44,71%
Vrachtwagen	57,78%	42,22%
Trailer	45,98%	54,02%

Tabel 5.4 – Verdeling van het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat over beide rijrichtingen.
(Bron: eigen verkeerstelling)

Het samenbrengen van deze informatie met het jaarlijks aantal voertuigen voor iedere voertuigklasse (paragraaf 5.3.1.1.1) levert het jaarlijks aantal extra kilometers die de verschillende voertuigklassen rijden. In figuur 5.4 worden deze resultaten weergegeven voor de periode 2014 – 2035.



Figuur 5.4 – Jaarlijks aantal extra vkm in het projectalternatief t.o.v. het nulalternatief. De linkse verticale as is van toepassing op de volle lijnen, terwijl de rechtse verticale as voor de onderbroken lijnen geldt. Zoals figuur 5.2 reeds deed vermoeden zal de voertuigklasse van de personenwagens de meeste extra kilometers moeten afleggen. Na 2030 zijn de cijfers gelijk aan die van het jaar 2030.

5.3.2.1.3. Jaarlijks brandstof- en elektriciteitsverbruik

In een volgende stap kan het jaarlijks brandstof- en elektriciteitsverbruik berekend worden door voor iedere voertuigklasse het net berekende aantal extra kilometers te vermenigvuldigen met het gemiddelde verbruik. Voor de personenwagens en tweewielers wordt het gemiddeld brandstof- en elektriciteitsverbruik voor de periode 2014 – 2030 door het E-Motion model van VITO geleverd. Voor de periode na 2030 werden geen berekeningen gemaakt in dit model. Het is echter aangewezen om ervan uit te gaan dat het brandstofverbruik voor deze voertuigklassen na 2030

evolueert zoals tijdens de periode 2025 – 2030. Dit wordt immers verondersteld door het Mobiliteitsplan Vlaanderen (<http://www.mobiliteitsplanvlaanderen.be/>), aldus mevr. Inge Mayeres van VITO.

Voor de andere voertuigklassen (lichte vrachtwagen, bus, vrachtwagen en trailer) zijn geen gegevens over het brandstofverbruik rechtstreeks beschikbaar. Het E-Motion model van VITO levert echter wel de CO₂-emissiefactoren van deze voertuigklassen voor de jaren 2007, 2010, 2020 en 2030 (De Vlieger, Schrooten, Vanhulsel, Degraeuwe, & Vankerkom, 2011). Hieruit kan men het gemiddeld brandstofverbruik berekenen. Per brandstoftype is het gemiddeld brandstofverbruik immers één-op-één aan de CO₂-emissiefactoren gerelateerd. Meer specifiek wordt ervan uitgegaan dat 1 liter diesel 2.640 gram CO₂ bevat (<http://www.ecoscore.be>). Dit leidt tot de gegevens in tabel 5.5. Voor het brandstofverbruik in de periode 2014 – 2030 wordt lineair geïnterpoleerd om de waarden voor ieder jaar te verkrijgen. Voor de periode na 2030 wordt ook hier verondersteld dat het brandstofverbruik evolueert zoals tijdens de periode 2025 – 2030.

Voertuigklasse	CO ₂ -emissiefactoren (g/km)			Brandstofverbruik (l/km)		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Lichte vrachtwagen	226	206	197	0,0856	0,0780	0,0746
Bus ⁹	710	679	672	0,2689	0,2572	0,2545
Vrachtwagen	711	663	661	0,2693	0,2511	0,2504
Trailer	711	663	661	0,2693	0,2511	0,2504

Tabel 5.5 – CO₂-emissiefactoren en brandstofverbruik voor vier voertuigklassen. Op basis van de CO₂-emissiefactoren, geleverd door het E-Motion model van VITO, kan het overeenkomend brandstofverbruik berekend worden door de relatie 1 liter diesel = 2.640 gram CO₂.

Door dit gemiddeld brandstofverbruik van iedere voertuigklasse te vermenigvuldigen met hun aantal extra vkm verkrijgt men voor iedere voertuigklasse het jaarlijks totaal aan extra brandstofverbruik in het projectalternatief. Deze wordt voor de jaren 2014, 2030 en 2113 weergegeven in tabel 5.6. Deze tabel bevat tevens het extra elektriciteitsverbruik.

Voertuigklasse	Brandstofverbruik			Elektriciteitsverbruik		
	2014	2030	2113	2014	2030	2113
BEV	0,00	0,00	0,00	0,00	5.546,91	5.535,63
CNG	53,76	671,86	674,67	0,00	0,00	0,00

Tabel 5.6 – Jaarlijks extra brandstofverbruik in het projectalternatief voor iedere voertuigklasse. Voor alle brandstofklassen zijn deze waarden uitgedrukt in liter, behalve voor CNG dat uitgedrukt wordt in kg. Het elektriciteitsverbruik is uitgedrukt in kwh. Merk op dat er voor BEV geen verbruik genoteerd werd in de periode 2014 – 2024. Dit komt doordat het E-Motion model veronderstelt dat pas vanaf 2025 dergelijke wagens gebruikt zullen worden.

⁹ Merk op dat de emissiefactoren van de klasse bus afkomstig zijn van de categorie 'coach' uit het E-Motion model i.p.v. de categorie 'bus'. Dit is omdat er geen lijnbussen gebruik maken van de Daalbroekstraat en het dus aannemelijk is om te veronderstellen dat het voornamelijk coaches betreft die zich in het nulalternatief over de Daalbroekstraat verplaatsen.

Voertuigklasse	Brandstofverbruik			Elektriciteitsverbruik		
	2014	2030	2113	2014	2030	2113
DIES	92.131,68	66.941,60	58.016,93	0,00	0,00	0,00
DIESHYBRCS	0,00	3.950,10	3.709,50	0,00	0,00	0,00
DIESPHEV	0,00	2.357,78	4.089,23	0,00	16.797,50	16.763,76
GAS	22.343,41	13.785,63	11.727,33	0,00	0,00	0,00
GASHYBRCS	1.052,82	6.471,43	6.248,64	0,00	0,00	0,00
GASPHEV	0,00	3.482,05	3.450,23	0,00	19.976,21	19.936,07
H2FUELCELL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2ICE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LPG	1.082,43	553,93	480,55	0,00	0,00	0,00
Tweewieler	1.605,75	1.810,36	1.570,23	0,00	0,00	0,00
Lichte vrachtwagen	3.112,34	4.513,29	2.801,90	0,00	0,00	0,00
Bus	747,35	844,17	771,18	0,00	0,00	0,00
Vrachtwagen	6.423,09	8.830,29	8.608,54	0,00	0,00	0,00
Trailer	1.487,53	2.045,02	1.993,66	0,00	0,00	0,00

Tabel 5.6 – Jaarlijks extra brandstofverbruik in het projectalternatief voor iedere voertuigklasse (vervolg).

5.3.2.1.4. Brandstofkosten

Om nu de extra brandstofkosten van het projectalternatief te berekenen, volstaat het om het jaarlijks extra brandstofverbruik te vermenigvuldigen met de eenheidsprijs van dat jaar. Voor diesel, benzine en LPG werd de Belgische prijs voor 2012 gevonden in het rapport Energy Prices and Taxes (OECD, 2013). Voor de prijs van CNG en elektriciteit werd een beroep gedaan op Eurostat (2014). Deze waarden worden weergegeven in tabel 5.7.

Product	Belgische prijs (2012)
CNG ¹⁰	0,67
Diesel	0,838
Benzine 98	0,824
Benzine 95	0,798
LPG	0,594
Elektriciteit	0,16

Tabel 5.7 – Belgische prijzen voor de verschillende typen brandstof en elektriciteit (prijspeil: 2012). De prijs voor CNG is uitgedrukt in euro per kilogram en de elektriciteitsprijs in euro per kWh. De overige prijzen zijn uitgedrukt in euro per liter. (Bron: (OECD, 2013) en Eurostat (2014))

Voor het berekenen van de toekomstige waarden van deze eenheidsprijzen wordt de geschatte evolutie van de olie- en aardgasprijzen onder het centrale scenario van de World Energy Outlook 2013 (IEA, 2013) gebruikt (tabel 5.8). Meer specifiek wordt verondersteld dat de evolutie voor olie toegepast kan worden op de prijs (excl. belastingen) van de petroleumproducten diesel, benzine en LPG, terwijl de evolutie voor aardgas toegepast kan worden op de prijs van CNG. Via lineair interpoleren wordt op die manier de jaarlijkse prijs voor de periode 2014 – 2035 verkregen. Voor

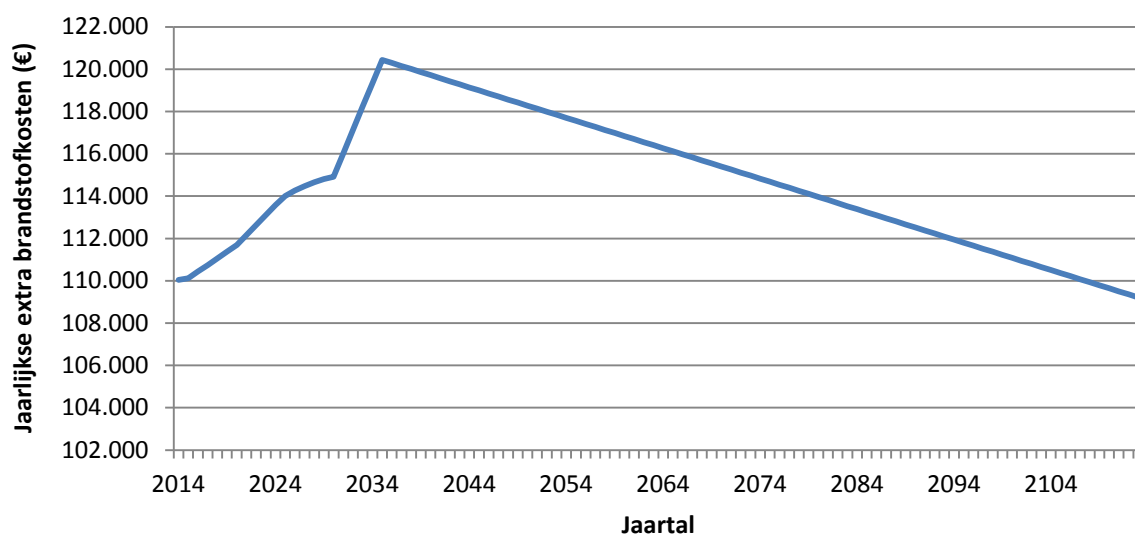
¹⁰ Voor CNG werd de aardgasprijs gebruikt. De prijs op Eurostat is uitgedrukt per GJ. Om de prijs per kg te verkrijgen werd, op aangeven van mevr. Inge Mayeres, de conversiefactor 42,45834461 GJ/ton gebruikt, wat het gewogen gemiddelde van 62% laagwaardig (39.,66627 GJ/ton) en 38% hoogwaardig (47,0368 GJ/ton) aardgas is volgens de energiebalans.

de periode na 2035 wordt de prijs verondersteld gelijk te zijn aan de prijs van 2035. Wat betreft de elektriciteitsprijs mag volgens het federaal planbureau aangenomen worden dat deze constant blijft doorheen de tijd, aldus mevr. Inge Mayeres van VITO.

	2012	2020	2025	2030	2035
Olie	109	113	116	121	128
Aardgas	11,7	11,9	12	12,3	12,7

Tabel 5.8 – Geschatte evolutie van de prijs voor olie en aardgas (prijsspeil: 2012). De olieprijs is uitgedrukt in dollar per barrel, de aardgasprijs in dollar per 1.000 British thermal unit. Deze evolutie werd toegepast op de brandstofprijzen om hun toekomstige waarden te verkrijgen. (Bron: (IEA, 2013))

Om vervolgens de jaarlijkse extra brandstofkosten te berekenen, wordt het eerder gevonden extra brandstof- en elektriciteitsverbruik voor ieder jaar vermenigvuldigd met de bijhorende prijzen, gecorrigeerd voor de inflatie tot het jaar 2013¹¹. Hierbij wordt verondersteld dat alle lichte vrachtwagens, bussen, vrachtwagens en trailers op diesel rijden, terwijl alle tweewielers op benzine rijden. Tevens wordt verondersteld dat het benzineverbruik onderverdeeld kan worden in 77% benzine 95 en 23% benzine 98, een verhouding die men ook doorgaans binnen VITO gebruikt. Deze berekeningen resulteerden uiteindelijk in de jaarlijkse extra brandstofkosten die het projectalternatief inhoudt t.o.v. het nulalternatief. In 2014 bedraagt dit in totaal 110.047,36 euro. In figuur 5.5 wordt de evolutie van dit totaal voor de volledige analyseperiode weergegeven.



Figuur 5.5 – Jaarlijkse extra brandstofkosten in het projectalternatief (prijsspeil: 2013). In de periode 2014 – 2030 is de helling niet constant. Dit komt door het feit dat de aandelen van de verschillende brandstofklassen in de voertuigklasse personenwagen sterk variëren, zoals weergegeven in figuur 5.3. Vanaf 2030 wordt het aantal voertuigen voor iedere voertuig- en brandstofklasse echter gelijk gehouden aan die van het jaar 2030. De enige factoren die dan nog veranderen, zijn het gemiddeld brandstofverbruik – dat afneemt – en de brandstofprijs – die toeneemt. Vanaf 2035 wordt echter ook de brandstofprijs constant gehouden. Aangezien enkel het brandstofverbruik nog variabel is, zullen de jaarlijkse extra brandstofkosten vanaf 2035 afnemen.

¹¹ De inflatiecorrectie is gebaseerd op de index van de consumptieprijzen (<http://bestat.economie.fgov.be>). Dit geldt voor iedere inflatiecorrectie toegepast in deze masterproef.

5.3.2.2. Verandering in reistijden

Zoals reeds vermeld in paragraaf 3.1.2 brengt het projectalternatief twee soorten tijdskosten met zich mee. De interne tijdskosten zijn de kosten van het tijdsverlies voor de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat door het nemen van de omweg. De externe tijdskosten zijn de kosten van het tijdsverlies voor de gebruikers van de alternatieve routes. Zij verliezen tijd doordat meer voertuigen gebruik zullen maken van deze wegen, wat tot een hogere verkeersstroom en een lagere snelheid leidt.

Voordat beide typen tijdskosten berekend kunnen worden, moet de jaarlijkse verkeersstroom op de Daalbroekstraat ingedeeld worden in de jaarlijkse stroom tijdens de piekuren (tussen 6 en 9 uur en tussen 16 en 19 uur) en de daluren (alle overige uren). Dit is nodig omdat de te gebruiken tijdswaarderingen verschillend zijn voor piek- en daluren. Op basis van de resultaten van de verkeerstelling worden de jaarintensiteiten voor het jaar 2014 in tabel 5.9 bekomen.

Richting	Piekuren		Daluren	
	Bessemer	Rekem	Bessemer	Rekem
Tweewieler	1.826	3.313	3.052	4.540
Personenwagen	160.345	159.666	245.318	238.717
Lichte vrachtwagen	2.713	2.557	5.479	4.122
Bus	228	206	389	293
Vrachtwagen	2.381	1.882	3.185	2.185
Trailer	365	496	678	731

Tabel 5.9 – Jaarintensiteiten in beide richtingen op de Daalbroekstraat voor beide rijrichtingen in het nulalternatief. Piekuren hebben betrekking op de dagperiodes 6u – 9u en 16u – 19u, terwijl daluren de rest van de dag omvatten. Deze intensiteiten evolueren zoals weergegeven in tabel 5.2. (Bron: eigen verkeerstelling)

5.3.2.2.1. Interne tijdskosten

Voor het berekenen van de interne tijdskosten zijn verschillende gegevens nodig: het aantal voertuigen per route, het tijdsverlies voor iedere route en de tijdswaardering voor iedere voertuigklasse. De eerste twee gegevens worden samengevat in tabel 5.10.

Route	Percentage	Extra tijd richting	
	verkeersstroom	Bessemer	Rekem
Zutendaal – Rekem	42,11%	- 55	- 55
Zutendaal – Neerharen	21,05%	- 10	- 64
Bessemer – Opgrimbie	21,05%	101	101
Bessemer – Rekem	10,53%	150	150
Bessemer – Neerharen	5,26%	- 10	- 64

Tabel 5.10 – Informatie voor iedere route. Het percentage verkeersstroom is een herneming van tabel 3.6. De tijdsverschillen, weergegeven in seconden, zijn afkomstig uit tabel 3.7.

De laatste twee kolommen van tabel 5.10 geven weer hoeveel tijd een voertuig in het projectalternatief verliest. Onmiddellijk valt op dat er voor verscheidene waarden een minteken staat. Dit betekent dat de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief in die gevallen tijd zullen winnen wanneer ze moeten omrijden. Dit is in overeenstemming met de bevindingen uit paragraaf 3.3, waarin aangetoond werd dat de reistijden voor slechts twee routes (Bessemer – Opgrimbie en Bessemer – Rekem) aanleiding gaven om de Daalbroekstraat in het nulalternatief te gebruiken. De interne tijdskosten op de andere drie routes zijn bijgevolg eigenlijk baten. Wanneer men deze tijdskosten vervolgens vermenigvuldigt met de jaarintensiteiten van de voertuigklassen op iedere route voor beide richtingen in zowel de piek- als daluren bekomt men het totale tijdsverlies per jaar voor iedere voertuigklasse. Dit wordt voor het jaar 2014 weergegeven in tabel 5.11.

Voertuigklasse	Tijdsverlies in piekuren	Tijdsverlies in daluren
Tweewieler	3,00	5,83
Personenwagen	370,94	572,07
Lichte vrachtwagen	6,40	13,77
Bus	0,54	0,98
Vrachtwagen	5,91	8,18
Trailer	0,74	1,52

Tabel 5.11 – Het totale jaarlijkse tijdsverlies voor iedere voertuigklasse tijdens piekuren en daluren in het projectalternatief (2014). Deze waarden, weergegeven in uren, worden verkregen door de gegevens uit tabel 5.9 en tabel 5.10 te combineren.

Nu geweten is hoeveel tijd de voertuigen in het projectalternatief verliezen, kunnen de interne tijdskosten eenvoudig berekend worden. Hiervoor dient een beroep gedaan te worden op een derde type van gegevens: de tijdswaardering. De waarde van de tijd omvat het bedrag dat men bereid is te betalen voor een tijdsbesparing of wat men wil ontvangen als compensatie voor een tijdsverlies. Delhay et al. (2010) leveren de tijdswaardering (Value of time, VOT) die gebruikt zal worden in dit onderzoek. Deze waardering is berekend op basis van het MIMOSA-model¹² en waarden vervat in het TREMOVE-model¹³ (Belgische versie) en staat, na aanpassing aan de inflatie, weergegeven in tabel 5.12.

Deze VOT worden niet verondersteld constant te zijn, maar tot 2030 te evolueren zoals weergegeven in tabel 5.13. Deze evolutie is afhankelijk van de evolutie van het bbp per hoofd gebaseerd op de demografische en economische vooruitzichten van het Federaal Planbureau (Vandresse et al., 2012). Gezien de afwezigheid van gegevens omtrent de evolutie na 2030 wordt verondersteld dat de VOT in die periode gelijk zal blijven aan die van 2030.

¹² MIMOSA is een milieu-impactmodule die de emissies van zestien luchtverontreinigende stoffen afkomstig van het verkeer simuleert. Het is het referentiemodel van de Vlaamse Overheid (VITO, z.d.).

¹³ TREMOVE is een model ontwikkeld in 1997 door de K.U. Leuven en DRI, dat sinds 2002 verder ontwikkeld wordt door Transport & Mobility Leuven. Het is een beleidsevaluatiemodel om de effecten van transport- en milieubeleidsmaatregelen op de emissies van de transportsector te onderzoeken. Er zijn drie versies: voor Europa, België en Vlaanderen (<http://www.tmlleuven.be>).

Voertuigklasse	VOT in piekuren	VOT in daluren
Tweewieler	7,40	6,23
Personenwagen	14,59	12,27
Lichte vrachtwagen	24,98	25,06
Bus	71,95	73,10
Vrachtwagen	50,29	50,38
Trailer	46,54	46,57

Tabel 5.12 – De waarde van tijd in euro per uur (waarde 2008, prijspeil 2013). Alle waarden geven aan hoeveel euro één uur waard is voor die voertuigklasse, respectievelijk tijdens piek- en daluren. Merk op dat deze voertuigklassen niet allemaal vertegenwoordigd zijn in de studie van Delhaye et al. (2010). Voor de klasse trailer werd de VOT van de categorie 'vrachtwagen 22 – 40 ton' gekozen. Voor de klasse vrachtwagen werd, aangezien er geen gegevens beschikbaar waren m.b.t. de ladingsmassa van de vrachtwagens, het gemiddelde genomen van de VOT van de categorieën 'vrachtwagen 3,5 – 7,5 ton', 'vrachtwagen 7,5 – 12 ton' en 'vrachtwagen 12 – 28 ton'. Voor de klasse bus ten slotte werd de VOT van de categorie 'reisbus' verkozen boven die van de categorie 'lijnbus'. (Bron: Delhaye et al. (2010))

Voertuigklasse	2015	2020	2025	2030
Personenwagen/Tweewieler	+6,44	+11,36	+16,91	+25,33
Bus	+2,41	+5,36	+8,58	+13,39
(Lichte) Vrachtwagen	+4,97	+9,8	+15,01	+20,68

Tabel 5.13 – Procentuele wijziging van VOT ten opzichte van 2008. (Bron: (Vandresse et al., 2012))

Uiteindelijk verkrijgt men de jaarlijkse interne tijdskosten door de VOT voor ieder jaar te vermenigvuldigen met de bijhorende tijdsverliezen uit tabel 5.11. Op deze manier bekomt men de jaarlijkse kosten zoals weergegeven door de blauwe lijn in figuur 5.6.

5.3.2.2.2. Externe tijdskosten

Voor de externe tijdskosten kan een beroep gedaan worden op de marginale externe tijds-kost (METK). Dit is de tijds-kost die één extra voertuigkilometer (vkm) voor de andere weggebruikers met zich meebrengt. Deze kosten worden voor het regionaal wegennet (waartoe de alternatieve routes behoren) weergegeven in tabel 5.14, na aanpassing voor inflatie (Delhaye et al., 2010).

Voertuigklasse	METK in piekuren	METK in daluren
Tweewieler	2,84	1,66
Personenwagen	5,67	3,33
Lichte vrachtwagen	5,67	3,33
Bus	11,35	6,65
Vrachtwagen	11,35	6,65
Trailer	11,35	6,65

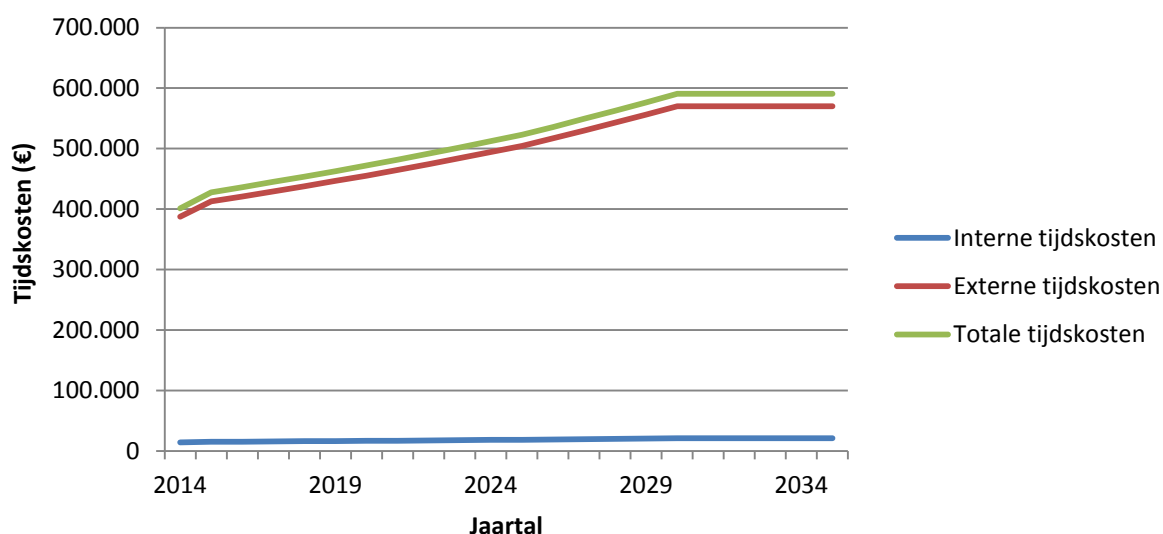
Tabel 5.14 – Marginale externe tijds-kosten in euro per 100 vkm (waarde 2008, prijspeil 2013). Deze waarden worden verondersteld te evolueren volgens tabel 5.13. (Bron: Delhaye et al. (2010))

Om vervolgens de jaarlijkse externe tijdskosten te berekenen, is er enkel nog nood aan het jaarlijks aantal afgelegde voertuigkilometers van iedere voertuigklasse voor zowel de piek- als de daluren. Dit kan berekend worden door het jaarlijks aantal voertuigen per voertuigklasse in de dal- en piekuren te vermenigvuldigen met de afstanden die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief extra afleggen op de alternatieve routes in vergelijking met het nulalternatief (tabel 5.15).

Route	Extra aantal kilometers op alternatieve routes
Zutendaal – Rekem	10,3
Zutendaal – Neerharen	11,3
Bessemer – Opgrimbie	11,1
Bessemer – Rekem	10
Bessemer – Neerharen	8,9

Tabel 5.15 – Aantal kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat extra afleggen op de alternatieve routes in vergelijking met het nulalternatief.
Deze waarden werden berekend o.b.v. figuur 3.4.

De jaarlijks aantal afgelegde voertuigkilometers door iedere voertuigklasse (in zowel piek- als daluren) dienen vervolgens vermenigvuldigd te worden met de bijhorende marginale externe tijdskosten om uiteindelijk de totale jaarlijkse externe tijdskosten te verkrijgen. Deze worden in figuur 5.6 weergegeven door de rode lijn. In deze figuur vindt men tevens de totale tijdskosten die het projectalternatief inhoudt ten opzichte van het nulalternatief.



Figuur 5.6 – Jaarlijkse extra tijdskosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijsspeil: 2013). Een gedeelte van de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat wint tijd in het projectalternatief, terwijl een ander gedeelte wel tijd verliest door de sluiting van de Daalbroekstraat. De som hiervan leidt tot relatief lage interne tijdskosten (paragraaf 5.3.2.2.1). De oorspronkelijke gebruikers van de alternatieve routes verliezen wel allemaal tijd in het projectalternatief, wat tot zeer hoge externe tijdskosten leidt (paragraaf 5.3.2.2.2). 96,5% van de totale tijdskosten bestaan uit de externe tijdskosten. Vanaf 2030 blijven alle tijdskosten constant.

5.3.2.3. Verandering in infrastructuurkosten

Zoals duidelijk werd in paragraaf 3.1.3 kunnen de infrastructuurkosten ingedeeld worden in twee onderdelen. Enerzijds zijn er de onderhouds- en operationele kosten op de Daalbroekstraat die volledig verdwijnen in het projectalternatief. Anderzijds zijn er de extra onderhoudskosten op de alternatieve routes ten gevolge van een toename in de verkeersstroom.

5.3.2.3.1. Vermindering in kosten op de Daalbroekstraat

De infrastructuurkosten op de Daalbroekstraat die in het projectalternatief wegvallen, kunnen opgedeeld worden in vier categorieën: wegonderhoudskosten, onderhoudskosten van de wegberm, strooikosten en verlichtingskosten. Voor de verlichtingskosten zijn gegevens beschikbaar voor de Daalbroekstraat. Voor de andere kostencategorieën is dit niet het geval. Bijgevolg dienen deze kosten op een andere manier zo goed mogelijk benaderd te worden. Voor de onderhoudskosten van de wegberm en de strooikosten werd bijvoorbeeld ten rade gegaan bij de gemeente Heusden-Zolder. De infrastructuurkosten op de Daalbroekstraat worden verondersteld constant te blijven doorheen de tijd.

5.3.2.3.1.1. Wegonderhoudskosten

Zoals reeds gezegd zijn geen gegevens beschikbaar m.b.t. de wegonderhoudskosten van de Daalbroekstraat. Bijgevolg wordt in deze masterproef het principe gevolgd waarin de jaarlijkse wegonderhoudskosten benaderd worden als percentage van de totale investeringskost. De Brabander (2005) stelt voor om dit percentage gelijk aan 1,5% te stellen. Om vervolgens de totale investeringskost te berekenen, worden kengetallen gebruikt van de afdeling Algemene Technische Ondersteuning van de overheidsdienst Mobiliteit en Openbare Werken (Vanherle, Heyndrickx, Liebens, & Grispen, 2011). Zij stellen de investeringskost van een weg gelijk aan 680.000 euro per km, met een onzekerheidsmarge tussen 450.000 en 1.020.000 euro per km (prijsspeil: 2011). Wetende dat het hier een wegstuk van 2,6 km betreft, brengt dit de jaarlijkse wegonderhoudskosten op 27.575,90 euro (prijsspeil: 2013).

5.3.2.3.1.2. Onderhoudskosten van de wegberm

Aangezien de gemeente Lanaken geen gegevens ter beschikking had betreffende de onderhoudskosten van de wegberm (d.i. maaikosten) werd een beroep gedaan op de kosten in de gemeente Heusden-Zolder. Voor de onderhoudskosten van een wegberm zoals die van de Daalbroekstraat maken zij een onderscheid tussen de kosten wanneer men het onderhoud uitbesteedt aan een aannemer en de kosten wanneer men het onderhoud in eigen beheer uitvoert. Wanneer een berm in eigen beheer onderhouden wordt, rekent men aan 0,0055 euro per m². In deze kost zit zowel de personeelskost als de kost van de klepelmaaier (incl. brandstof-, investerings- en onderhoudskosten) inbegrepen. Wanneer men het onderhoud uitbesteed aan een aannemer, rekent men aan 0,065 euro per m². Daarbovenop komt een kost van 1 euro per obstakel, waarbij men een gemiddelde neemt van 20 obstakels per km. Deze extra kost wordt

veroorzaakt door het feit dat het gras rondom deze obstakels manueel bijgemaaid dient te worden met een bosmaaier.

Aangezien niet geweten is op welke manier de bermen op de Daalbroekstraat onderhouden worden, wordt het gemiddelde genomen van beide methoden. Hierbij wordt aangenomen dat een wegberm gemiddeld twee maal per jaar gemaaid wordt, wat ook het gemiddelde is in Heusden-Zolder. Gegeven een oppervlakte van 9.360 m², waarbij verondersteld wordt dat net zoals in Heusden-Zolder een breedte van 1,8 m gemaaid wordt, levert dit een jaarlijkse kost op van 867,88 euro (prijsspeil: 2013).

5.3.2.3.1.3. Strooikosten

Een derde belangrijke kostencategorie die in het projectalternatief wegvalt, zijn de kosten van het strooien van zout. Ook voor deze cijfers werd ten rade gegaan bij de gemeente Heusden-Zolder. Zij strooien per winter gemiddeld 1,8 kg per lopende meter gemeenteweg. Dit gemiddelde werd berekend op basis van de voorbije 10 jaren. Gegeven een zoutprijs van 56,40 euro per ton (excl. belastingen) leidt dit tot een kost van 263,95 euro per jaar. Bovenop deze kosten komen nog twee andere kosten. Zo kost het inzetten van het personeel en de vrachtwagen met inbegrip van de strooi-installatie 59 euro per km per winter. Daarnaast worden ook vergoedingen uitbetaald aan personeel dat van november tot en met maart buiten de werkuren van wacht is. Deze kost bedraagt 114 euro per km per winter. Dit brengt de totale jaarlijkse strooikosten op 713,75 euro (prijsspeil: 2013).

5.3.2.3.1.4. Verlichtingskosten

Voor het berekenen van de verlichtingskosten die wegvallen in het projectalternatief werd een beroep gedaan op Infrac. Zij deelden mee dat er 15 verlichtingspalen op het traject staan: één van het type SONT-T 150 Watt, negen van het type SON 70 Watt en vijf van het type SOX-E 36 Watt. Ieder van deze type lampen heeft zijn eigen eigenschappen, zoals weergegeven in tabel 5.16.

Type lamp	Verbruik (W)	Levensduur (branduren)	Kostprijs (€, excl. btw)
SON-T 150 Watt	160	16.000	11,55
SON 70 Watt	76	16.000	6,11
SOX-E 36 Watt	42	12.000	17,1

Tabel 5.16 – Eigenschappen van de lampen op de Daalbroekstraat. (Bron: Infrac)

Het jaarlijks aantal branduren per lamp op de Daalbroekstraat is gelijk aan 4.000. De jaarlijkse onderhoudskost per lamp bedraagt 20 euro. Gegeven een elektriciteitsprijs van 16,18 euro per kWh leidt dit tot een totale verlichtingskost van 1.027,18 euro per jaar (prijsspeil: 2013).

Wanneer nu de onderhoudskosten van de weg en de wegberm, de strooikosten en de verlichtingskosten samengebracht worden, kan men besluiten dat ieder jaar 30.184,71 euro aan infrastructuurkosten wegvallen in het projectalternatief. Deze reductie in kosten wordt in figuur 5.7 weergegeven door de blauwe lijn.

5.3.2.3.2. Vermeerdering in kosten op de alternatieve routes

Voor het berekenen van de extra infrastructuurkosten op de alternatieve routes wordt gebruik gemaakt van marginale externe infrastructuurkosten (MEIK). Dit zijn de extra infrastructuurkosten die één bijkomend voertuig met zich meebrengt. Hierbij wordt bijgevolg enkel gekeken naar de kosten die afhankelijk zijn van de intensiteit, en dus niet naar de verlichtingskosten, de onderhoudskosten van de wegberm en de strooikosten.

Meer specifiek wordt hier gekeken naar de extra wegonderhoudskosten. Deze treden op doordat de alternatieve routes sneller aan een nieuwe onderhoudsbeurt toe zullen zijn door de extra beschadiging aan het wegdek. Deze extra schade is afhankelijk van de aslast, d.i. het deel van het voertuiggewicht dat langs de wielen van één as op de weg overgebracht wordt. Voor personenwagens (en natuurlijk ook tweewielers) is deze aslast minimaal. Ook voor de lichte vrachtwagens kan in dit onderzoek verondersteld worden dat deze aslast minimaal is. Bijgevolg moeten enkel de extra vrachtwagens, trailers en bussen in rekening gebracht worden (Delhay et al., 2010).

In deze masterproef zullen de MEIK van Delhay et al. (2010) gebruikt worden. Deze waarden, die gebaseerd zijn op de resultaten van het GRACE-project¹⁴ (<http://www.grace-eu.org/>), bevatten zowel de onderhoudskosten van de weg als de kosten die andere weggebruikers ondervinden omdat de weg er niet goed bijligt. Tabel 5.17 bevat deze waarden, aangepast voor inflatie. De marginale kosten van hernieuwing bevatten enkel de extra kosten ten gevolge van hernieuwing van het wegdek. De marginale kosten van hernieuwing en onderhoud houden ook rekening met de extra onderhoudskosten. Voor beide typen zijn zowel een onderwaarde als een bovenwaarde gegeven, wat de grote onzekerheid omtrent deze kosten aantoont. In deze analyse zal de hoge waarde van de kosten van hernieuwing en onderhoud toegepast worden.

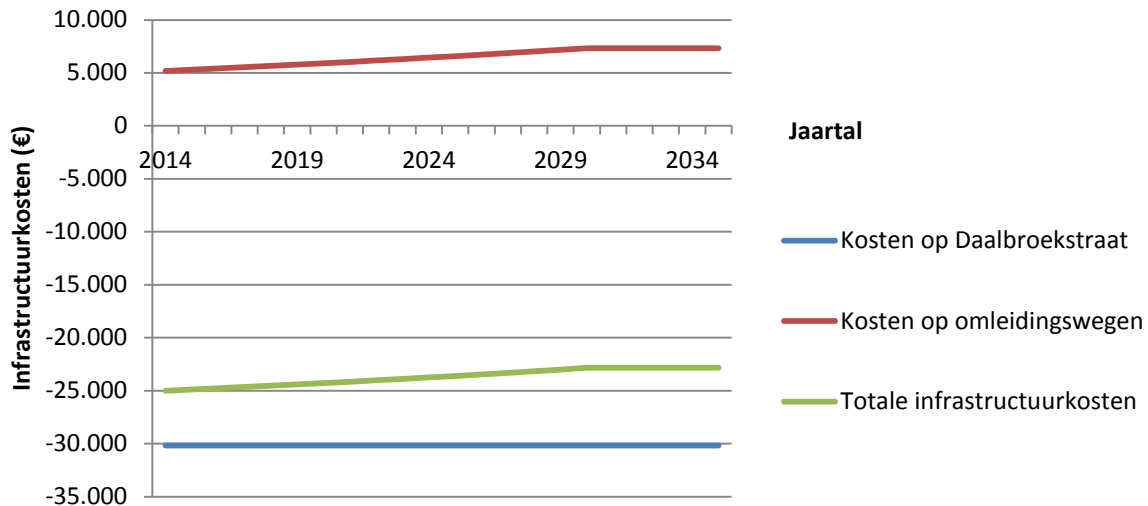
Type	Niveau	Kost
Kosten van hernieuwing	Laag	0,02297
	Hoog	1,52176
Kosten van hernieuwing en onderhoud	Laag	0,03115
	Hoog	0,03765

Tabel 5.17 – Marginale infrastructuurkosten (prijsspeil: 2013). De kosten zijn weergegeven in euro per vrachtwagenkilometer. De hoge waarde van hernieuwing en onderhoud ligt lager dan de hoge waarde voor hernieuwing, omdat beide waarden op verschillende gevalstudies gebaseerd zijn. (Bron: Delhay et al. (2010))

Om nu de extra jaarlijkse infrastructuurkosten op de alternatieve routes te berekenen, volstaat het om de waarde uit tabel 5.17 te vermenigvuldigen met het totaal aantal kilometers die de vrachtwagens, trailers en bussen (komende van de Daalbroekstraat) op de alternatieve routes extra afleggen. Dit aantal kilometers kan berekend worden door het jaarlijks aantal vrachtwagens,

¹⁴ GRACE, oftewel Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation, onderzocht de private en externe kosten van alle vervoerswijzen en de gevolgen van het doorrekenen van deze kosten aan de gebruiker (Delhay et al., 2010).

trailers en bussen op iedere route te vermenigvuldigen met de afstanden weergegeven in tabel 5.15. Dit leidt uiteindelijk tot de extra kosten, weergegeven door de rode lijn in figuur 5.7. In deze figuur vindt men tevens de totale infrastructuurkosten die het projectalternatief inhoudt ten opzichte van het nulalternatief.



Figuur 5.7 – Jaarlijkse extra infrastructuurkosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013). Uit deze figuur blijkt dat de infrastructuurkosten van de Daalbroekstraat die in het projectalternatief wegvallen (paragraaf 5.3.1.3.1) veel groter zijn dan de extra kosten op de alternatieve routes (paragraaf 5.3.1.3.2). De wegonderhoudskosten op de Daalbroekstraat vertegenwoordigen met 91,36% ruimschoots de meerderheid van de kosten die in het projectalternatief wegvallen. Net zoals bij de tijdskosten wordt ook hier duidelijk dat het projectalternatief eigenlijk baten (d.i. negatieve kosten) met zich meebrengt in vergelijking met het nulalternatief.

5.3.2.4. Verandering in aantal ongevallen

De vierde kostencategorie betreft de ongevallenkosten. In het projectalternatief zullen geen ongevallen meer gebeuren op de Daalbroekstraat, waardoor ook de bijhorende kosten niet meer zullen optreden. De hoeveelheid ongevallen op de alternatieve routes zal echter wel toenemen, aangezien meer voertuigen zich op deze wegen zullen begeven, waardoor het ongevallenrisico daar vanzelfsprekend toeneemt. Om deze veranderingen te berekenen, wordt gebruik gemaakt van de sociale ongevallenkosten. Deze kosten bevatten zowel de sociale slachtoffergerelateerde als de sociale ongevalgerelateerde ongevallenkosten en worden weergegeven door formule (3) (Hoornaert, 2008).

$$TC = \sum_i \sum_j A_{ij} * (a_i + b_i + c_i) + \sum_i B_i * c'_i \quad (3)$$

De eerste term, de sociale slachtoffergerelateerde ongevallenkosten, bestaan uit:

- A_{ij} = het aantal slachtoffers van ernst i waarbij de slachtoffers vervoermiddel j gebruikten;
- a_i = de bereidheid tot betalen (BTB) om een slachtoffer van ernst i te vermijden;

- b_i = de BTB van de familieleden om een slachtoffer van ernst i te vermijden;
- c_i = de zuiver economische slachtoffergerelateerde kosten van een slachtoffer van ernst i .

De tweede term, de sociale ongevalgerelateerde ongevallenkosten, bestaan uit:

- B_i = het aantal ongevallen met slachtoffers van ernst i ;
- c'_i = de zuiver economische ongevalgerelateerde kosten van een ongeval met slachtoffers van ernst i .

In Hoornaert (2008) werden de totale sociale ongevallenkosten in België voor de periode 2000 – 2006 berekend. In wat volgt zullen de gebruikte gegevens en de berekening van de totale Belgische sociale ongevallenkosten herberekend worden voor het jaar 2012, het meest recente jaar waarvoor alle benodigde gegevens beschikbaar zijn. Deze totale sociale ongevallenkosten van hun kant zullen omgezet worden naar een gemiddelde per voertuigkilometer om de extra ongevallenkosten te berekenen.

5.3.2.4.1. Actualisering van Hoornaert (2008)

De gegevens voor het aantal ongevallen met slachtoffers op de openbare weg in België worden beschikbaar gesteld door de FOD Economie (2013b). Deze gegevens zijn gebaseerd op de formulieren die politiediensten invullen bij ieder ongeval op de openbare weg waarbij lichamelijke letsels opgelopen werden. De ongevallenkosten die hier berekend zullen worden, houden bijgevolg enkel rekening met ongevallen waarbij slachtoffers genoteerd werden. Daarenboven zullen deze kosten een onderschatting geven van de werkelijke ongevallenkosten, aangezien niet alle ongevallen aangegeven worden. Ondanks deze beperkingen wordt toch besloten om met deze gegevens verder te werken, aangezien zij de beste benadering van de werkelijke kosten leveren.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen drie typen slachtoffers, afhankelijk van de ernst van de verwonding: (1) dodelijk gewonden, d.i. ieder slachtoffer dat binnen 30 dagen na het ongeval overlijdt, (2) ernstig gewonden, d.i. ieder slachtoffer dat voor meer dan 24 uren in een ziekenhuis opgenomen wordt, en (3) licht gewonden, d.i. ieder slachtoffer dat niet in de vorige typen ingedeeld kan worden. Daarnaast levert de FOD Economie (2013b) gegevens voor 24 verschillende vervoermiddelen. Voor dit onderzoek zijn echter slechts zes voertuigklassen van belang. Daarom worden de verschillende gegevens over deze klassen verdeeld, zodat toch alle ongevallen mee in rekening genomen worden. De klassen vrachtwagen en trailer worden echter versmolten tot één voertuigklasse. Hierbij wordt de volgende indeling toegepast:

- Tweewieler: moto met een cilinderinhoud van minder dan 400 cc en moto met een cilinderinhoud van meer dan 400 cc;
- Personenwagen: personenauto en auto voor dubbel gebruik;
- Lichte vrachtwagen: lichte vrachtauto en kampeerwagen;
- Bussen: autobus, autocar en analoog met Hoornaert (2008) minibus;
- Vrachtwagen en trailer: vrachtwagen, trekker met aanhangwagen, trekker alleen en analoog met Hoornaert (2008) landbouwtractor.

Het vervoermiddel tram wordt vanzelfsprekend buiten beschouwing gelaten. De andere vervoermiddelen worden analoog met Hoornaert (2008) herverdeeld over de vijf bovenstaande voertuigklassen. Deze vervoermiddelen zijn: bromfiets A, bromfiets B, bromfiets met 3 of 4 wielen, fiets, bespannen voertuig, gehandicapte in een rolstoel, voetganger, ruiter, andere weggebruikers en onbekend. Deze informatie leidt uiteindelijk tot de cijfers in de tabellen 5.18 en 5.19.

Type slachtoffer	Aantal ongevallen	Aantal slachtoffers
Dodelijk gewond	717	767
Ernstig gewond	4.703	5.261
Licht gewond	38.773	52.446
Totaal	44.193	58.474

Tabel 5.18 – Informatie per type slachtoffer in België. De kolom 'Aantal ongevallen' bevat het aantal geregistreerde ongevallen waarbij een slachtoffer viel van het desbetreffende type voor het jaar 2012. De kolom 'aantal slachtoffers' bevat het aantal geregistreerde slachtoffers van ieder type bij de geregistreerde ongevallen in 2012. (Bron: FOD Economie (2013b))

Voertuigklasse	Dodelijk gewond	Ernstig gewond	Licht gewond	Totaal
Personenwagen	554	3.669	43.605	47.828
Tweewieler	128	1.092	4.492	5.712
Lichte vrachtwagen	44	355	2.644	3.043
Bus	13	16	918	947
Vrachtwagen & trailer	28	129	718	1.086

Tabel 5.19 – Slachtofferinformatie per voertuigklasse in België. Deze tabel bevat het aantal geregistreerde slachtoffers per voertuigklasse voor het jaar 2012, na herverdeling van de gegevens. (Bron: FOD Economie (2013b))

Wanneer formule (3) herbeschouwd wordt, kan opgemerkt worden dat tabellen 5.18 en 5.19 reeds de factoren A_{ij} en B_i bevatten. Voor de andere factoren wordt de aanpak van Hoornaert (2008) gevolgd. Dit betekent o.a. dat de BTB van de familieleden om een slachtoffer te vermijden (b_i) buiten beschouwing gelaten wordt. Dit wordt gedaan omdat er anders een aanzienlijk risico is op dubbeltellingen (Jones-Lee, 1992). De BTB van de persoon in kwestie zelf (a_i) wordt wel opgenomen en is gebaseerd op de Europese standaardwaarde van het UNITE-project¹⁵ voor een statistisch leven, dat gelijk gesteld wordt aan 1,5 miljoen euro (in prijzen van 1998). Voor de BTB voor het vermijden van een ernstige of lichte verwonding wordt respectievelijk 13% en 1% van deze waarde gebruikt.

Voor de zuiver economische kosten doet Hoornaert (2008) een beroep op De Brabander (2005). Dit betekent dat voor de zuiver economische ongevalgerelateerde kosten de volgende kostencategorieën opgenomen worden: administratieve kosten, schade aan de voertuigen, schade aan het openbaar domein, politie- en brandweerkosten, kosten bij de politierechtbank en de

¹⁵ UNITE staat voor *UNIfication of accounts and marginal costs for Transport Efficiency*. In dit project werden transportrekeningen ontwikkeld en schattingen van marginale externe kosten gemaakt. Het GRACE-project kan als de opvolger van dit project beschouwd worden (Delhay et al., 2010).

rechtbank van eerste aanleg, en de kosten van rechtsbijstand t.o.v. verzekeringsmaatschappijen. Wat betreft de zuiver economische slachtoffergerelateerde kosten worden de volgende kostencategorieën opgenomen: medische kosten, ambulancekosten, bezoeken, begrafenis- en de kosten van productieverlies. Dit alles resulteert in de kosten weergegeven in tabel 5.20.

Type	Slachtoffergerelateerde kosten			Ongevallen- gerelateerde kosten
	Eigen BTB	BTB van naasten	Zuiver economische kosten	Zuiver economische kosten
Dodelijk gewond	2.631.928,43	0	80.575,06	5.150,56
Ernstig gewond	342.151,04	0	489.023,68	5.150,56
Licht gewond	26.319,68	0	1.006,30	5.150,56

Tabel 5.20 – Kostengegevens voor een ongeval in euro (prijspeil: 2013). (Bron: De Brabander (2005) en Hoornaert (2008))

Door de cijfers uit tabellen 5.18, 5.19 en 5.20 te combineren aan de hand van formule (3) worden de cijfers in tabel 5.21 bekomen.

Voertuigtype	Slachtoffergerelateerde kosten	Ongevalgerelateerde kosten
Personenwagen	5.743.856.001,00	n.v.t.
Tweewieler	1.377.591.507,00	n.v.t.
Lichte vrachtwagen	486.667.049,60	n.v.t.
Bus	73.646.583,50	n.v.t.
Vrachtwagen & trailer	202.791.684,60	n.v.t.
Totaal	7.884.552.826,00	227.618.853,60

Tabel 5.21 – Sociale ongevallenkosten voor het jaar 2012 voor de verschillende voertuigklassen in België, weergegeven in euro (prijspeil: 2013). Deze cijfers werden berekend o.b.v. tabellen 5.18, 5.19 en 5.20.

De kosten in tabel 5.21 worden vervolgens herberekend naar een gemiddelde per voertuigkilometer. Voor deze berekening werd door het Federaal Planbureau een databestand geleverd dat de afgelegde kilometers voor ieder van de voertuigklassen voor het jaar 2012 bevatte. Dit leidde tot de gegevens in tabel 5.22.

Voertuigklasse	Afgelegde vkm in 2012	Gemiddelde slachtoffer- gerelateerde kosten per voertuigkm	Gemiddelde ongevallen- gerelateerde kosten per voertuigkm
Personenwagen	79.495.823.885	0,072	n.v.t.
Tweewieler	1.285.949.154	1,071	n.v.t.
Lichte vrachtwagen	10.556.976.630	0,046	n.v.t.
Bus	799.411.803,3	0,092	n.v.t.
Vrachtwagen & trailer	7.839.438.528	0,026	n.v.t.
Totaal	99.977.600.000	n.v.t.	0,002

Tabel 5.22 – Berekening van de Belgische gemiddelde ongevallenkosten voor het jaar 2012 in euro per voertuigkilometer (prijsspeil: 2013). Het aantal afgelegde vkm in kolom 2 werd geleverd door het Federaal Planbureau. De gemiddelde kosten in kolommen 3 en 4 worden bekomen door respectievelijk de slachtoffergerelateerde kosten en de ongevalgerelateerde kosten uit tabel 5.21 te delen door het aantal afgelegde vkm in 2012.

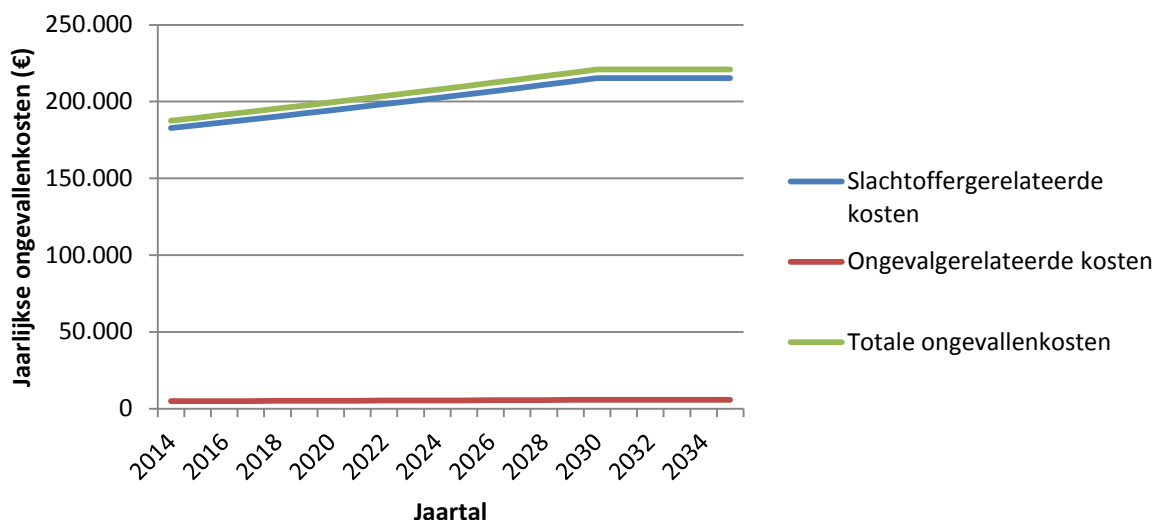
Nu alle gegevens geactualiseerd zijn naar het jaar 2012 kan overgegaan worden tot het berekenen van de extra ongevallenkosten in het projectalternatief.

5.3.2.4.2. Extra ongevallenkosten in het projectalternatief

Voor een correcte inschatting van de extra ongevallenkosten zouden twee gegevens gekend moeten zijn: enerzijds het gemiddeld aantal ongevallen per jaar op de Daalbroekstraat in het nulalternatief en anderzijds het aantal extra ongevallen per jaar op de alternatieve routes in het projectalternatief.

Wat betreft het aantal ongevallen op de Daalbroekstraat heeft de politiezone Lanaken-Maasmechelen gegevens beschikbaar voor de jaren 2012 en 2013. Deze periode is natuurlijk veel te kort om het aantal ongevallen in een gemiddeld jaar te bepalen, zeker gezien het feit dat het aantal ongevallen in 2013 vier keer hoger lag dan in 2012. Voor het extra aantal ongevallen op de alternatieve routes zijn vanzelfsprekend helemaal geen gegevens beschikbaar. Ook werden geen marginale cijfers gevonden zoals bijvoorbeeld marginale externe ongevallenkosten, d.i. de extra ongevallenkosten van één extra vkm.

Bijgevolg werd op aanraden van Bruno Hoornaert, transportexpert bij het Federaal Planbureau, besloten om gebruik te maken van de zonet berekende gemiddelde ongevallenkosten in België. Hierbij volstaat het om de gemiddelde kosten uit tabel 5.22 te vermenigvuldigen met het totaal jaarlijks aantal kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat extra rijden in het projectalternatief in vergelijking met het nulalternatief. Deze extra voertuigkilometers werden reeds berekend bij de brandstofkosten. Uiteindelijk verkrijgt men de extra ongevallenkosten zoals weergegeven in figuur 5.8.



Figuur 5.8 – Jaarlijkse extra ongevalkosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013). Deze kosten zijn berekend o.b.v. de gemiddelde kosten uit tabel 5.22 en het aantal kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat extra afleggen in het projectalternatief. De slachtoffergerelateerde kosten zijn verantwoordelijk voor 97,42% van de kosten. Vanaf 2030 blijven deze kosten constant, aangezien het aantal extra vkm niet meer wijzigt.

5.3.2.5. Milieu- en gezondheidseffecten

Na de verandering in brandstofverbruik, reistijden, infrastructuurkosten en aantal ongevallen blijven nog twee effecten, die opgenomen worden in de monetaire analyse, over: de gezondheidseffecten en de ecologische effecten van zware metalen, NO_x en PM. De uitstoot van deze polluenten brengt immers heel wat kosten voor de maatschappij met zich mee, de externe kosten genoemd. Deze kosten zullen in het projectalternatief gedeeltelijk dalen, doordat er geen verkeer en dus ook geen emissies meer plaatsvinden op de Daalbroekstraat. Hier staat tegenover dat de emissies op de alternatieve routes wel gaan toenemen, waardoor deze kosten ook zullen stijgen. Om deze kosten correct in te schatten, moet geweten zijn hoe groot de emissies op de Daalbroekstraat momenteel zijn en in welke mate de emissies op de alternatieve routes toe zullen nemen. Het eerste kan voor PM en NO_x berekend worden a.d.h.v. het CAR Vlaanderen II model. Voor het tweede is dit echter niet mogelijk. Daarenboven is het zo dat voor de cijfers bekomen in het CAR Vlaanderen II model geen kostengegevens beschikbaar zijn. Bijgevolg dienen de milieu- en gezondheidskosten op een andere manier ingeschat te worden. In deze analyse wordt geopteerd voor de toepassing van marginale externe kosten, net zoals reeds gedaan werd bij de externe tijdskosten en infrastructuurkosten. Voor de volledigheid wordt in de kwalitatieve analyse (paragraaf 5.3.2) echter wel een bespreking gegeven van de emissies op de Daalbroekstraat a.d.h.v. het CAR Vlaanderen II model.

5.3.2.5.1. Berekening van de marginale externe milieu- en gezondheidskosten

Zoals ondertussen geweten is, geven marginale externe kosten (MEK) weer hoeveel kosten voor de maatschappij één extra voertuigkilometer met zich meebrengt. Hoewel de effecten van emissies op het milieu grondig verschillen van de effecten op de gezondheid van mensen, wordt in de literatuur

zelden een duidelijk onderscheid gemaakt tussen marginale externe gezondheidskosten enerzijds en marginale externe milieukosten anderzijds. Integendeel, deze kosten worden eerder samengevoegd in één enkel kengetal. Dit geldt ook voor de kosten die gebruikt worden in deze analyse. Vandaar dat beide kostencategorieën hier samen besproken worden.

In deze analyse wordt een beroep gedaan op de MEK geleverd door Delhay et al. (2010). Zij leveren gegevens voor iedere pollutant onder beschouwing: zware metalen, NO_x, PM_{2,5} en PM_{coarse}. De berekening van deze kosten is gebaseerd op de waarderingen van emissies voor het jaar 2010 uit De Nocker et al. (2010). Deze waarderingen worden weergegeven in tabel 5.23.

	Pb	Cd	Ni	Cr
Waardering	347,56	110,00	4,99	28,30
	NO_x	PM_{coarse}	PM_{2,5} Stad	PM_{2,5} Platteland
Waardering	0,577	24,962	475,22	139,94

Tabel 5.23 – Waardering van emissies van de verschillende polluenten voor het jaar 2010 (prijspeil: 2009). Deze waarderingen worden uitgedrukt in euro/kg. De waarderingen van NO_x en PM_{2,5} zijn de waarderingen voor de transportemissies. Voor de zware metalen en PM_{coarse} zijn geen waarderingen van transportemissies beschikbaar. Daarom worden de waarderingen van emissies door lage schouwen toegepast, aangezien deze de beste benadering leveren van de waarderingen van transportemissies. (Bron: De Nocker et al. (2010))

Delhay et al. (2010) berekenden de marginale externe kosten voor vier zware metalen, omdat enkel voor deze metalen emissiegegevens beschikbaar waren voor alle voertuigmodi. Deze metalen zijn cadmium (Cd), nikkel (Ni), lood (Pb) en chroom (Cr). De MEK van de zware metalen houden enkel rekening met de gevolgen voor de volksgezondheid, en niet met de invloed op het milieu. De waardering van NO_x daarentegen houdt wel rekening met beiden. In dit cijfer zitten namelijk zowel gezondheidskosten (78%) als kosten voor de biodiversiteit (21%). De overige 1% bestaat uit kosten voor bouwmaterialen en landbouwgewassen. Hierbij wordt rekening gehouden met zowel de bijdrage van NO_x via ozon als via fijn stof, verzuring en vermesting.

De MEK van PM bevatten dan weer enkel de marginale externe gezondheidskosten. PM is dan ook voornamelijk van invloed op de menselijke gezondheid. Daarenboven wordt PM, wanneer beleidsmatig benaderd, vaak louter met het oog op de menselijke gezondheid beschouwd. Dit uit zich ook in de waarderingen van De Nocker et al. (2010), waarin een onderscheid gemaakt wordt tussen de uitstoot van PM_{2,5} op het platteland en in de stad. De impact van PM_{2,5} is immers sterk afhankelijk van de locatie van de emissiebron. In de stad worden veel meer mensen getroffen, waardoor PM_{2,5} hier een hogere waardering heeft dan op het platteland.

De laatste pollutant is PM_{coarse}. Hoewel in de vorige hoofdstukken vermeld werd dat wat betreft fijn stof zowel PM_{2,5} als PM₁₀ onderzocht zouden worden, wordt hier niet meer gefocust op PM₁₀. Het is immers zo dat de emissiefactoren voor PM₁₀ ook de emissiefactoren voor PM_{2,5} bevat. Wanneer zowel PM₁₀ als PM_{2,5} in rekening gebracht zouden worden, is er sprake van dubbeltellingen. In dit geval is het bijgevolg beter om, naast PM_{2,5}, de emissiefactoren voor PM_{coarse} in rekening te

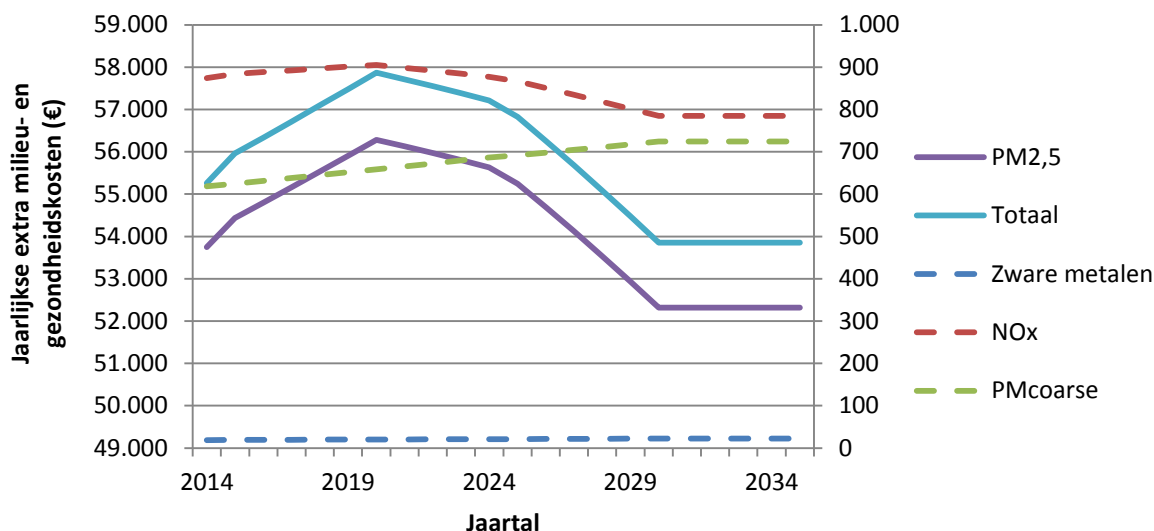
brengen. Dit is het verschil tussen PM_{10} en $PM_{2,5}$, oftewel de emissiefactoren van PM_{10} die niet in $PM_{2,5}$ vervat zitten. Op die manier kunnen a.d.h.v. de emissies van $PM_{2,5}$ en PM_{coarse} alle externe kosten gewoon opgeteld worden. Voor PM_{coarse} wordt, i.t.t. voor $PM_{2,5}$, geen onderscheid gemaakt tussen het platteland en de stad, omdat geen waardering voor transportemissies berekend werd. Als benadering wordt daarom de waardering van PM_{coarse} -emissies door lage schouwen gebruikt.

Aan de hand van deze waarderingen en de afgelegde voertuigkilometers van de betreffende jaren, berekenden Delhay et al. (2010) de marginale externe kosten van deze pollutanten in Vlaanderen voor de periode 2000 – 2008. Omdat geen recentere gegevens beschikbaar zijn, wordt in deze analyse gebruik gemaakt van de MEK voor het jaar 2008, aangepast aan de inflatie. Hierbij wordt verondersteld dat deze kosten constant blijven doorheen de tijd. Voor de zware metalen, NO_x en PM_{coarse} worden de MEK weergegeven in tabel 5.24. Uit deze tabel blijkt dat de MEK van de zware metalen zeer laag zijn, vergeleken met de hoogte van de waardering uit tabel 5.23. Wat betreft de uitlaatemissies zijn deze kosten zelfs volledig te verwaarlozen. Dit komt door de verscheidene Europese richtlijnen van de afgelopen decennia, waarin het gehalte van zware metalen in brandstoffen sterk teruggedrongen werd. Qua niet-uitlaatemissies zijn de kosten wel nog van belang. Een belangrijk aandeel hierin wordt vertegenwoordigd door de slijtage van de remmen.

Wat betreft de MEK van $PM_{2,5}$ is meer uitleg vereist. Ondanks het onderscheid van De Nocker et al. (2010) tussen de waardering op het platteland en de waardering in de stad, leveren Delhay et al. (2010) slechts één waarde voor de MEK van uitlaatemissies enerzijds en niet-uitlaatemissies anderzijds. Voor de emissiewaardering hebben ze immers een gewogen gemiddelde genomen, waarbij de weging gebeurd is a.d.h.v. het aantal vkm die op het platteland, op de snelweg en in de stad gereden werd. Door deze gemiddelde waardering te vergelijken met de waarderingen uit tabel 5.23 is het echter mogelijk om de MEK te berekenen voor wegen op het platteland enerzijds en wegen in de stad anderzijds. Deze omzetting leidt tot de MEK weergegeven in tabel 5.25.

5.3.2.5.2. Berekening van de extra milieu- en gezondheidskosten

De extra milieu- en gezondheidskosten die het projectalternatief met zich meebrengt in vergelijking met het nulalternatief kunnen berekend worden door voor iedere voertuigklasse de MEK van iedere pollutant te vermenigvuldigen met de extra vkm die in het projectalternatief gereden worden. Aangezien voor de zware metalen, de NO_x en PM_{coarse} geen onderscheid gemaakt wordt tussen wegen op het platteland en wegen in de stad, volstaat het om de extra kilometers afgelegd door de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat te vermenigvuldigen met de bijhorende MEK. Voor de MEK van $PM_{2,5}$ wordt er echter wel een onderscheid gemaakt tussen plattelands- en stadswegen. De kosten voor het platteland worden hierbij gebruikt voor de weggedeelten die door natuurgebied gaan, terwijl de kosten voor de stad gebruikt worden voor de weggedeelten die door woonkernen en andere woongebieden gaan. Dit betekent dat berekend moet worden hoeveel extra kilometers de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat afleggen in natuurgebied en hoeveel in woongebieden. Voor iedere route worden deze gegevens weergegeven in tabel 5.26. Door deze gegevens te combineren met het jaarlijks aantal voertuigen op iedere route kunnen ook voor $PM_{2,5}$ de extra milieu- en gezondheidskosten berekend worden. Alle milieu- en gezondheidskosten worden weergegeven in figuur 5.9.



Figuur 5.9 – Jaarlijkse extra milieu- en gezondheidskosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2035 (prijspeil: 2013). De linkse verticale as is van toepassing op de volle lijnen, terwijl de rechtse verticale as voor de onderbroken lijnen geldt. Uit deze figuur blijkt dat $PM_{2,5}$, met 97,2%, veruit de meeste kosten met zich meebrengt. De emissies van NO_x (1,6%) en PM_{coarse} (1,1%) dragen in veel mindere mate bij aan de milieu- en gezondheidskosten. De kosten van zware metalen zijn zo goed als verwaarloosbaar. Wanneer het verloop van de curves beschouwd wordt, valt op dat de kosten voor PM_{coarse} en zware metalen toenemen tot het jaar 2030. De kosten voor NO_x en $PM_{2,5}$ nemen daarentegen terug af vanaf 2021. Dit is omdat het aandeel personenwagens dat op diesel en benzine rijden vanaf dit jaar afneemt ten koste van personenwagens die op andere brandstoffen rijden (figuur 5.3). Vanaf 2030 blijven alle kosten constant, aangezien de jaarintensiteit vanaf 2030 verondersteld wordt niet meer te wijzigen.

Voertuigklasse	Uitlaatemissies van zware metalen	Niet-uitlaatemissies van zware metalen	Emissies van NO_x	Emissies van PM_{coarse}
Personenwagen Benzine	0,00	0,0009	0,0143	0,0286
Personenwagen Diesel	0,00	0,0009	0,0418	0,0286
Personenwagen CNG	0,00	0,0009	0,0022	0,0286
Personenwagen LPG	0,00	0,0009	0,0099	0,0286
Personenwagen elektrisch	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
Personenwagen hybride	0,00	0,0009	0,0011	0,0286
Tweewieler	0,00	0,0017	0,0154	0,0638
Lichte vrachtwagen	0,00	0,0009	0,0627	0,0286
Bus	0,00	0,0008	0,4103	0,0264
Vrachtwagen	0,00	0,0008	0,2717	0,0253
Trailer	0,00	0,0008	0,4213	0,0253

Tabel 5.24 – Marginale externe gezondheidskosten van zware metalen, NO_x en PM_{coarse} (prijsspeil: 2013). Deze kosten worden uitgedrukt in euro per 100 vkm.
(Bron: Delhay et al. (2010))

Voertuig- klasse	Gewogen gemiddelde			Platteland			Stad		
	Waardering	MEK van uitlaat-emissies	MEK van niet-uitlaat-emissies	Waardering	MEK van uitlaat-emissies	MEK van niet-uitlaat-emissies	Waardering	MEK van uitlaat-emissies	MEK van niet-uitlaat-emissies
PW ¹⁶ Benzine	200,16	0,0396	0,2409	139,94	0,0277	0,1684	475,22	0,0940	0,5720
PW Diesel	200,16	0,6480	0,2409	139,94	0,4530	0,1684	475,22	1,5384	0,5720
PW CNG	200,16	0,0231	0,2409	139,94	0,0162	0,1684	475,22	0,0548	0,5720
PW LPG	200,16	0,0418	0,2409	139,94	0,0292	0,1684	475,22	0,0993	0,5720
PW elektrisch	200,17	0,0000	0,0000	139,94	0,0000	0,0000	475,22	0,0000	0,0000
PW hybride	200,16	0,0165	0,2409	139,94	0,0115	0,1684	475,22	0,0392	0,5720
Tweewieler	197,82	1,4081	0,4257	139,94	0,9961	0,3012	475,22	3,3827	1,0227
Lichte vrachtwagen	196,67	1,4554	0,2365	139,94	1,0356	0,1683	475,22	3,5168	0,5715
Bus	147,75	2,2068	0,1650	139,94	2,0901	0,1563	475,22	7,0979	0,5307
Vrachtwagen	176,01	1,8350	0,1936	139,94	1,4589	0,1534	475,22	4,9543	0,5228
Trailer	150,08	1,8031	0,1650	139,94	1,6812	0,1539	475,22	5,7093	0,5225

Tabel 5.25 – Berekening van de marginale externe gezondheidskosten van PM_{2,5} (prijspeil: 2013). De waarderingen worden uitgedrukt in euro per kg, terwijl de MEK uitgedrukt worden in euro per 100 vkm. Zoals uit tabel 5.23 bleek, maakt De Nocker et al. (2010) een onderscheid tussen plattelands- (kolom 5) en stadswegen (kolom 8) voor de waardering van PM_{2,5}-emissies. Ondanks dit onderscheid leveren Delhaye et al. (2010) slechts één waarde voor de MEK van uitlaatemissies (kolom 3) en niet-uitlaatemissies (kolom 4) van PM_{2,5}. Voor de emissiewaardering hebben ze immers een gewogen gemiddelde genomen (kolom 2), om zo één algemeen cijfer te bekomen voor heel Vlaanderen (kolommen 3 en 4). Door deze gemiddelde waardering uit kolom 2 te vergelijken met de waarderingen uit kolom 5 en kolom 8 is het echter mogelijk om de MEK te berekenen voor wegen op het platteland (kolommen 6 en 7) enerzijds en wegen in de stad (kolommen 9 en 10) anderzijds.

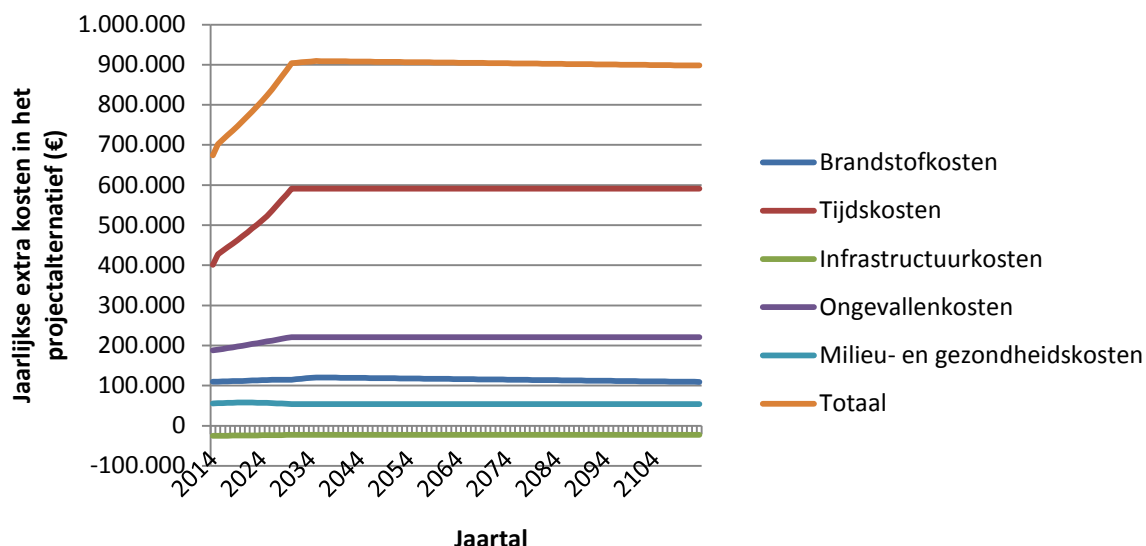
¹⁶ PW staat voor personenwagen.

Rit	Aantal km in nulalternatief via Daalbroekstraat		Aantal km in projectalternatief via alternatieve routes		Verschil in km tussen nul- en projectalternatief	
	Woongebied	Natuurgebied	Woongebied	Natuurgebied	Woongebied	Natuurgebied
Zutendaal - Rekem	2,8	5,7	4,3	6	1,5	0,3
Zutendaal - Neerharen	3,9	5,7	8,8	2,5	4,9	-3,2
Neerharen - Zutendaal	2,7	5,5	8,8	2,5	6,1	-3
Bessemer - Opgrimbie	2	5,7	5,1	6	3,1	0,3
Bessemer - Rekem	0,4	5,7	7,5	2,5	7,1	-3,2
Bessemer - Neerharen	1,5	5,7	6,4	2,5	4,9	-3,2
Neerharen - Bessemer	0,3	5,5	6,4	2,5	6,1	-3

Tabel 5.26 – Berekening van het aantal extra kilometers die de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat in iedere route moeten afleggen, wanneer rekening gehouden wordt met het onderscheid tussen weggedeelten door natuurgebied en weggedeelten door woongebied. Voor het merendeel van de routes, bepaald in paragraaf 3.3, zorgt het projectalternatief ervoor dat meer km in woongebieden en minder km in natuurgebied afgelegd moet worden. Enkel voor de routes Zutendaal – Rekem en Bessemer – Opgrimbie is er een toename in aantal km door natuurgebied. Dit is omdat deze routes in het projectalternatief gebruik maken van de Weg naar Zutendaal, die ook door het NPHK loopt.

5.3.2.6. Samenvatting van alle kosten

Nu de totale kosten van iedere kostencategorie berekend zijn, kunnen deze samengebracht worden om de extra totale jaarlijkse kosten van het projectalternatief te berekenen. In figuur 5.10 worden de jaartotalen van iedere kostencategorie doorheen de tijd op een grafiek geprojecteerd, samen met de overall totale kosten. In tabel 5.27 staan de cijfers voor een beperkt aantal jaren.



Figuur 5.10 – Totale extra jaarlijkse kosten in het projectalternatief voor de periode 2014 – 2113 (prijspeil: 2013). Deze figuur geeft een samenvatting van de extra brandstofkosten (figuur 5.5), tijdskosten (figuur 5.6), infrastructuurkosten (figuur 5.7), ongevallenkosten (figuur 5.8) en milieu- en gezondheidskosten (figuur 5.9). Vanaf 2030 blijven de meeste kosten constant, enkel de extra brandstofkosten blijven afnemen door een dalend gemiddeld brandstofverbruik. Wanneer de som van al deze extra kosten beschouwd wordt (oranje lijn), valt op dat de uitvoering van het projectalternatief ieder jaar kosten met zich meebrengt.

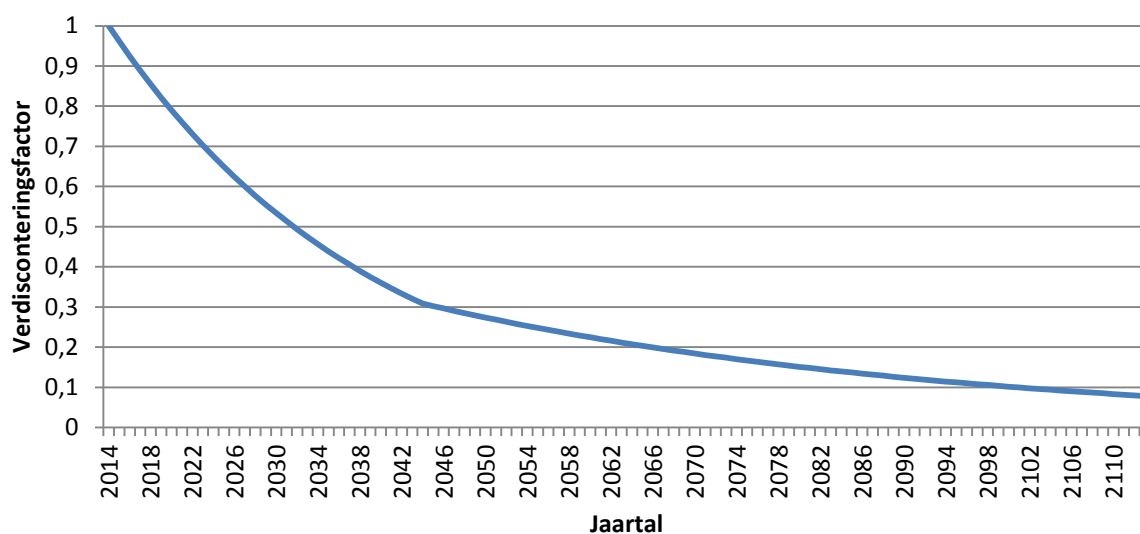
In 2014 brengt het projectalternatief kosten met zich mee ter grootte van 673.825 euro. Deze jaarlijkse kosten bereiken een piek van 909.164 euro in 2035, waarna ze terug afnemen tot 897.939 euro in 2113. De piek in 2035 wordt bereikt doordat de tijdskosten en ongevallenkosten tot 2030 en de brandstofkosten tot 2035 toenemen. Vanaf 2035 dalen de brandstofkosten echter, en dit door de afname in gemiddeld brandstofverbruik (figuur 5.5). Vermits alle andere kosten constant blijven vanaf 2030, betekent dit dat de totale jaarlijkse kosten vanaf 2035 opnieuw afnemen.

Kostencategorie	2014	2020	2025	2030	2035	2063	2113
Brandstofkosten	110.047,36	111.691,03	114.005,54	114.915,51	120.435,77	116.406,33	109.210,90
Tijdskosten	401.333,74	471.848,60	522.669,45	590.710,15	590.710,15	590.710,15	590.710,15
Infrastructuurkosten	-25.118,65	-24.398,73	-23.720,77	-22.962,84	-22.962,84	-22.962,84	-22.962,84
Ongevallenkosten	187.592,47	199.446,76	209.923,85	220.981,05	220.981,05	220.981,05	220.981,05
Milieu- en gezondheidskosten	55.258,18	57.865,69	56.825,61	53.850,83	53.850,83	53.850,83	53.850,83
Totaal	673.824,91	758.587,66	822.878,07	903.643,86	909.164,13	905.134,68	897.939,25

Tabel 5.27 – Totale extra jaarlijkse kosten in het projectalternatief (in euro) voor de periode 2014 – 2113 (prijspeil: 2013). Zoals duidelijk werd in paragraaf 5.3.2.3 zijn de extra infrastructuurkosten kleiner dan nul, wat betekent dat ze eigenlijk baten inhouden voor het projectalternatief. De overige categorieën leiden wel tot extra kosten in het projectalternatief. Hierbij zijn het vooral de tijdskosten en in mindere mate de ongevallenkosten en de brandstofkosten die van belang zijn. De milieu- en gezondheidskosten bedragen slechts ongeveer de helft en een kwart van respectievelijk de brandstofkosten en ongevallenkosten. De tijdskosten daarentegen zijn meer dan twee keer zo groot als de ongevallenkosten. Wanneer alle effecten samen beschouwd worden, brengt het projectalternatief ieder jaar kosten met zich mee.

5.3.2.7. Verdiscontering en projectbeoordeling

Zoals verklaard in paragraaf 5.2 wordt deze kosten-batenanalyse opgesteld over twee verschillende analyseperiodes, nl. over 50 jaren (van 2014 tot 2063) en over 100 jaren (van 2014 tot 2113). Over deze analyseperioden wordt de netto contante waarde berekend om een inzicht te verkrijgen in de wenselijkheid en rendabiliteit van het project. Hiervoor dienen de kosten uit figuur 5.10 en tabel 5.27 verdisconteerd te worden volgens de discontovoet bepaald in paragraaf 5.2.2. Dit betekent dat het belang van de verschillende jaartotalen afneemt doorheen de tijd, zoals weergegeven in figuur 5.11.



Figuur 5.11 – Verdisconteringsfactor voor ieder jaartal. De verdisconteringsfactor geeft weer met hoeveel het jaartotaal van een bepaald jaar vermenigvuldigd moet worden om de netto contante waarde te verkrijgen. Voor 2014 bedraagt deze factor 1, wat inhoudt dat de volledige kosten in rekening gebracht worden en de netto contante waarde gelijk is aan het jaartotaal. Vanaf 2015 neemt de verdisconteringsfactor af zoals bepaald in paragraaf 5.2.2.

Door de totale extra jaarlijkse kosten voor ieder jaar te vermenigvuldigen met de bijhorende verdisconteringsfactor, deze waarden te sommeren en een minteken voor het totaal te zetten (aangezien het allemaal kosten zijn), verkrijgt men de netto contante waarde van het projectalternatief. Voor een analyseperiode van 50 jaren bedraagt deze NCW -19.310.681,08 euro en voor een analyseperiode van 100 jaren -25.309.734,16 euro. Wanneer men de beslisregel zou volgen, die stelt dat projecten met een NCW groter dan nul uitgevoerd moeten worden en projecten met een NCW kleiner dan nul niet uitgevoerd mogen worden, dan mag de afsluiting van de Daalbroekstraat niet uitgevoerd worden wanneer men zich enkel op de monetair gewaardeerde effecten baseert. Het is echter zo dat er grote onzekerheid is omtrent sommige gegevens gebruikt in de analyse. Daarom wordt in paragraaf 5.4 een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Ook moet men, wanneer men een beslissing wenst te nemen over het al dan niet uitvoeren van het project, rekening houden met de factoren die niet opgenomen werden in het monetaire gedeelte van de KBA. Daarom zullen in de volgende paragraaf deze effecten kwalitatief besproken worden.

5.3.3. Kwalitatieve analyse

Gezien hun complexiteit om ze in monetaire waarden uit te drukken, worden in deze paragraaf enkele effecten kwalitatief besproken, zodat ze in zekere mate toch meegenomen worden in de uiteindelijke afweging. Herinner uit tabel 5.1 dat het de volgende effecten betreft: (1) nettoverlies van biotoop, (2) nettoverlies van leefomgeving, (3) barrière-effect met versnippering van het natuurgebied als gevolg, (4) wegontrijking door geluidshinder, (5) verspreiding van strooizouten en (6) gezondheidskosten voor de mens door geluidshinder. Deze effecten zullen hier achtereenvolgens kwalitatief, en in beperkte mate kwantitatief, besproken worden. Hierbij worden de eerste twee effecten, nettoverlies van biotoop en nettoverlies van leefomgeving, samen behandeld. Ook op de emissies van PM en NO_x wordt kort teruggekomen a.d.h.v. het CAR Vlaanderen II model, zoals reeds vermeld in paragraaf 5.3.1.5.

5.3.3.1. Nettoverlies van natuurgebied

Wanneer de Daalbroekstraat afgesloten wordt, kan men dit gebied in principe omzetten naar natuurgebied. Om hier optimaal van te kunnen profiteren, zou men de weginfrastructuur volledig moeten afbreken. Hiermee werd echter geen rekening gehouden in de monetaire analyse. Desalniettemin is het interessant om te onderzoeken hoeveel natuurgebied men in het projectalternatief zou kunnen recupereren en wat de kwaliteit van dit natuurgebied is. Want zelfs wanneer de weginfrastructuur niet verwijderd wordt, zal er een positieve invloed zijn op de omliggende natuur. Het verdwijnen van het verkeer alleen al brengt immers een enorme reductie in negatieve stress met zich mee. Daarenboven zullen in het projectalternatief de twee gebieden ten noorden en ten zuiden van de Daalbroekstraat versmelten tot één groter natuurgebied. Zoals reeds besproken in paragraaf 2.2.1.1 brengt dit verscheidene voordelen met zich mee, waaronder de verspreiding van dieren over beide gebieden en de potentiële introductie van nieuwe soorten dieren en planten. Het loont dus zeker de moeite om dit effect van naderbij te onderzoeken.

De netto-oppervlakte van het weggedeelte van de Daalbroekstraat dat afgesloten wordt in het projectalternatief kan eenvoudig berekend worden. De weg zal afgesloten worden tussen de Molenbergstraat en het OPZ Rekem, wat neerkomt op een lengte van 2,6 km. De breedte van de weg werd ter plaatse opgemeten en bedraagt 11,8 m inclusief de wegbermen en 7 m exclusief de wegbermen. Dit betekent dat de weg een oppervlakte beslaat van 30.680 m² inclusief berm en 18.200 m² exclusief berm, in de veronderstelling dat de weg(berm) overal even breed is.

Om nu een uitspraak te doen over de kwaliteit van dit gebied, zal gebruik gemaakt worden van enkele kaarten. Achtereenvolgens worden de biologische waarderingskaart, het Natura 2000-netwerk, het Vlaams Ecologisch Netwerk en het natuurrichtplan besproken.

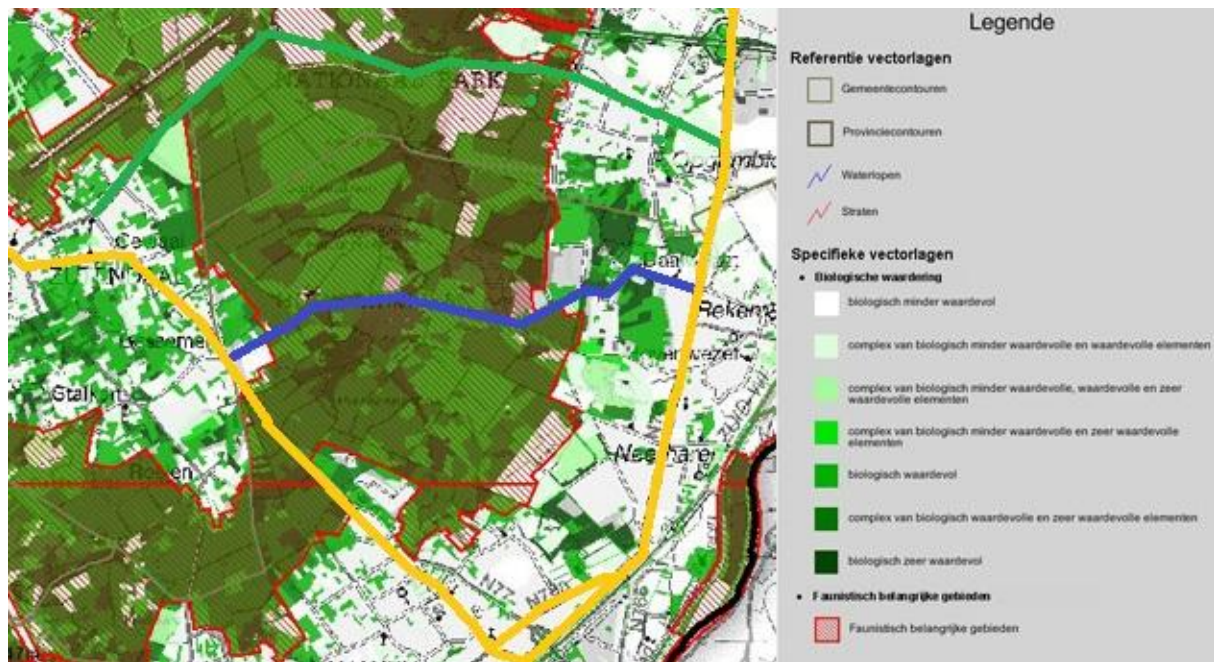
5.3.3.1.1. Biologische waarderingskaart

De biologische waarderingskaart (BWK) geeft een inventarisatie en evaluatie van het biologische milieu en de bodembedekking van het Vlaams en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Vriens, Bosch, & De Knijf, 2011). Ieder perceel in Vlaanderen en Brussel wordt hierbij verondersteld uit

één of meer karteringseenheden te bestaan. Dit zijn eenheden die gebaseerd zijn op de gezamenlijke aanwezigheid van karakteristieke plantensoorten, de daardoor gevormde vegetatiestructuur en het vegetatieaspect. Een lijst van ongeveer 180 karteringseenheden werd gebruikt, die in grote mate overeenkomen met vegetatiegemeenschappen (vb. natte heide en eikenberkenbos), structurele landschapkenmerken (vb. holle wegen en hagen) of landgebruik (vb. industriezones en parken). Iedere karteringseenheid heeft een vaste waardering, die gebaseerd is op een combinatie van de criteria zeldzaamheid, biologische kwaliteit (m.b.t. de soortendiversiteit), kwetsbaarheid (m.b.t. de gevoeligheid voor veranderende milieuomstandigheden) en vervangbaarheid (d.i. kan het op een andere plaats opnieuw gecreëerd worden rekening houdende met tijd en kwaliteit?) (Vriens et al., 2011). Deze waarderingen vallen uiteen in de categorieën 'biologisch minder waardevol', 'biologisch waardevol, en 'biologisch zeer waardevol' (De Knijf, De Saeger, Vriens, Oosterlynck, & Paelinckx, 2010). De karteringseenheid 'soortenarm grasland' bijvoorbeeld krijgt een waardering van biologisch minder waardevol.

Wanneer een perceel slechts één van de mogelijke karteringseenheden bevat, krijgt het een waardering overeenkomend met de waardering van de betreffende karteringseenheid. Een voorbeeld is een perceel bestaande uit een soortenarm grasland, dat geclassificeerd wordt als biologisch minder waardevol (De Knijf et al., 2010). Bevat een perceel meer dan één karteringseenheid (d.i. wanneer er meerdere types vegetatie of structurele landschapkenmerken aanwezig zijn in dat perceel), dan spreekt men van een complex. Een complex wordt in de BWK gebruikt om te wijzen op de biologische heterogeniteit binnen een enkel perceel (Vriens et al., 2011). Een dergelijk complex wordt beoordeeld aan de hand van een mengwaardering, waarin de drie categorieën met elkaar gecombineerd worden. Dit levert vier extra categorieën op: 'complex van biologisch minder waardevolle en waardevolle elementen', 'complex van biologisch minder waardevolle, waardevolle en zeer waardevolle elementen', 'complex van biologisch minder waardevolle en zeer waardevolle elementen' en 'complex van biologisch waardevolle en zeer waardevolle elementen'. Een voorbeeld hiervan is een soortenarm grasland omgeven door een bomenrij van knotwilgen, dat een waardering krijgt van complex van biologisch minder waardevolle (grasland) en waardevolle elementen (knotwilgen). In totaal zijn er dus zeven categorieën waarin een perceel ingedeeld kan worden. Ieder van deze categorieën komt overeen met een groentint, die donkerder wordt naarmate het perceel biologisch waardevoller wordt. Op die manier wordt een kaart – de BWK – verkregen die een overzicht geeft van de biologische waarde van alle percelen in Vlaanderen en Brussel. Daarenboven geeft de BWK ook een overzicht van gebieden die belangrijk zijn voor fauna (Vriens et al., 2011).

Op de BWK, weergegeven in figuur 5.12, wordt onmiddellijk duidelijk dat de Daalbroekstraat in een biologisch waardevol gebied ligt. Alle omliggende percelen vallen immers in één van de volgende drie categorieën: biologisch waardevol, complex van biologisch waardevolle en zeer waardevolle elementen, en biologisch zeer waardevol. Daarnaast is dit gebied ook belangrijk voor fauna, zoals aangegeven wordt door de rode arcering.



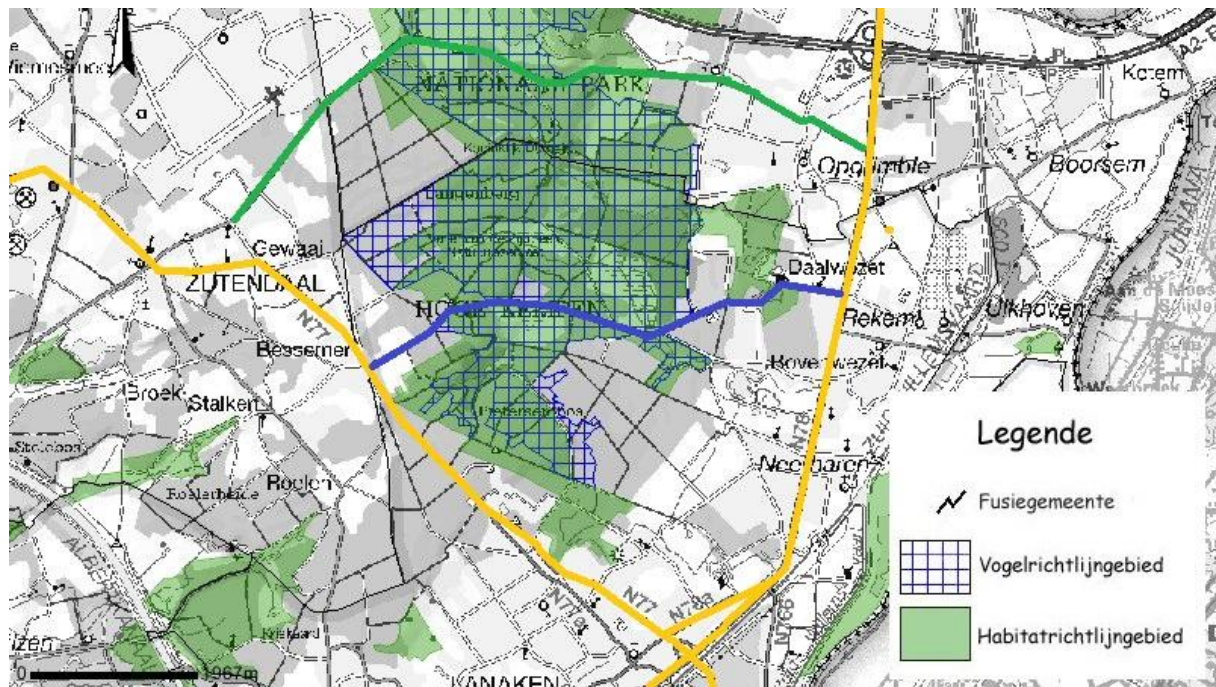
Figuur 5.12 – Biologische waarderingskaart. Een fragment van de tweede versie van de Vlaamse BWK, met de Daalbroekstraat (blauw), de Weg naar Zutendaal (groen) en de gewestwegen (oranje). (Bron: <http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/>)

5.3.3.1.2. Natura 2000-netwerk

De kern van het natuurbeleid van de Europese Unie wordt gevormd door Natura 2000 (Europese Commissie, 2009a). Zoals reeds aangehaald in hoofdstuk 1 is dit een Europees netwerk dat beschermde natuurgebieden omvat die in het kader van twee belangrijke richtlijnen vastgelegd zijn: de *Vogelrichtlijn* en de *Habitatrichtlijn* (Europese Commissie, 2002). De Vogelrichtlijn verplicht de lidstaten van de EU om de belangrijkste leefgebieden van alle trekvogelsoorten en meer dan 190 bijzonder bedreigde soorten te beschermen. De Habitatrichtlijn heeft een gelijkaardige werking, maar heeft betrekking op een veel groter aantal zeldzame, bedreigde en/of inheemse dieren- en plantensoorten (Europese Commissie, 2009b). Eind 2008 bevatte het Natura 2000-netwerk reeds meer dan 25.000 gebieden, die samen ongeveer 100.000 km² zeegebieden en 800.000 km² landoppervlak beslaan. Dit laatste komt neer op ongeveer 20% van het Europees grondgebied (Europese Commissie, 2009a).

De Natura 2000-gebieden, ook wel *speciale beschermingszones* (SBZ) genoemd, moeten door de lidstaten beschermd worden. Dit houdt in dat iedere lidstaat erop moet toezien dat de aanwezige soorten niet ernstig verstoord worden, dat de habitats niet achteruitgaan, en dat indien nodig maatregelen genomen worden om de soorten en habitats te behouden of te herstellen (Europese Commissie, 2009b). Indien dit niet gebeurt, is het mogelijk dat dit juridische en financiële gevolgen met zich meebrengt voor de betreffende lidstaat (Decler, 2007). Op de kaart in figuur 5.13 is te zien dat de Daalbroekstraat in speciale beschermingszones gelegen is. Deze zones bestaan zowel uit vogelrichtlijngebied (2.344 ha) als habitatrichtlijngebied (3.741 ha), die elkaar deels overlappen (Decler, 2007). In het Natura 2000-netwerk worden beide gebieden aangeduid onder de naam 'Mechelse heide en vallei van de Ziepbeek' (Anselin, Vermeersch, & Devos, z.d.). Concrete

voorbeelden van vogels die samen met hun habitat beschermd moeten worden zijn de blauwborst, boomleeuwerik, bruine kiekendief, ijsvogel, korhoen, kuifeend, nachtzwaluw, roerdomp, slobend, wespndief, en zwarte specht. Concrete voorbeelden van habitattypes en diersoorten die beschermd moeten worden zijn open grasland met *Corynephorus*- en *Agrostis*-soorten op landduinen, droge Europese heide, overgangs- en trilveen en Noordatlantische vochtige heide met *Erica tetralix*, en de beekprik, de gevlekte witsnuitlibel en het vliegend hert (Decler, 2007).



Figuur 5.13 – Het Natura 2000-netwerk. Een kaart met het vogelrichtlijngebied en het habitatrichtlijngebied gelegen in het onderzoeksgebied. Ook weergegeven zijn de Daalbroekstraat (blauw), de Weg naar Zutendaal (groen) en de gewestwegen (oranje). (Bron: <http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/>)

5.3.3.1.3. Vlaams Ecologisch Netwerk

Het Vlaams Ecologisch Netwerk (VEN) is een initiatief van de Vlaamse Overheid (<http://www.natuurenbos.be/>). Het is een geheel van Vlaamse natuurgebieden die geselecteerd werden wegens hun grote waarde en gevoeligheid. Binnen dit netwerk wordt een specifiek beleid gevoerd opdat de Vlaamse natuur duurzaam in stand gehouden kan worden. Dit beleid focust zich op het behoud, het herstel en de ontwikkeling van de plaatselijke natuur. Zo zijn er o.a. maatregelen omtrent natuurgerichte bosbouw, waterhuishouding, het gebruik van meststoffen en landbouw.

Het VEN-netwerk bestaat uit *Grote Eenheden Natuur* (GEN) en *Grote Eenheden Natuur in Ontwikkeling* (GENO). Het onderscheid hiertussen wordt gemaakt volgens art. 17 §2 van het Natuurdecreet (Vlaamse Overheid, 1997):

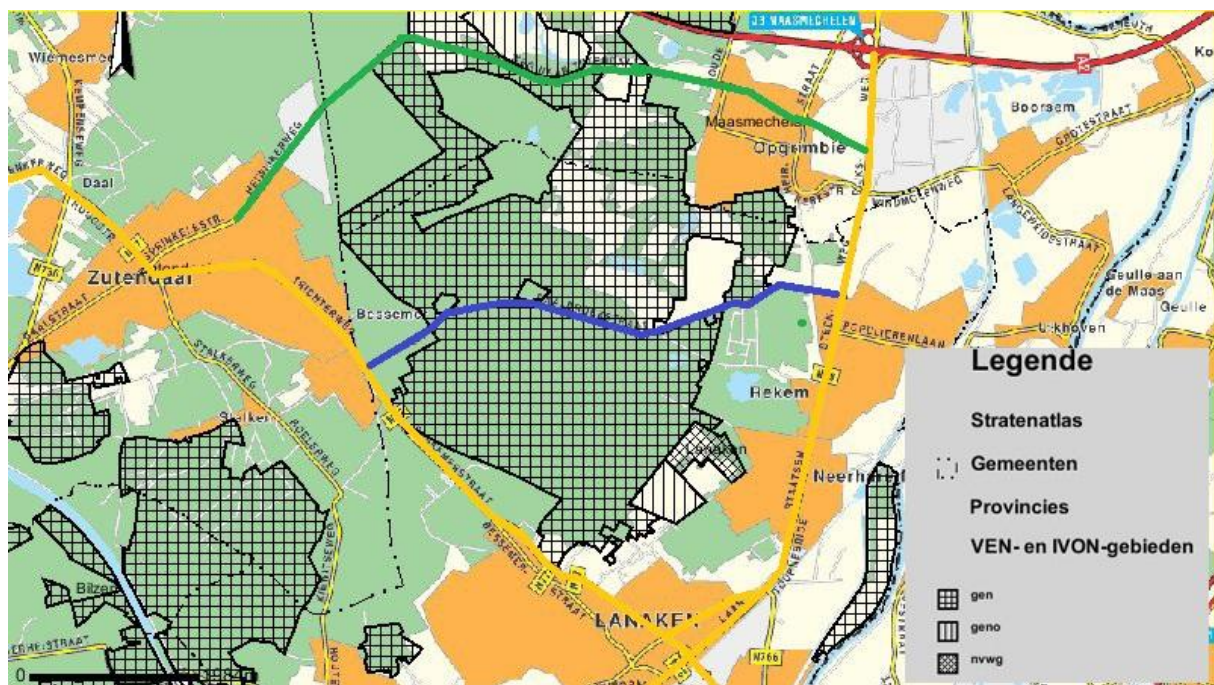
1° Grote Eenheden Natuur (GEN): dit zijn gebieden die hetzij natuurelementen over een oppervlakte van minstens de helft van het gebied bevatten hetzij gebieden waarin een specifiek natuurelement met hoge natuurkwaliteit aanwezig is;

2° Grote Eenheden Natuur in Ontwikkeling (GENO): dit zijn gebieden die één of meer van de volgende kenmerken vertonen:

- a) aanwezigheid van natuurelementen, verspreid over de oppervlakte van het gebied, waarvan de gezamenlijke oppervlakte echter kleiner kan zijn dan de helft van het gebied;
- b) aanwezigheid van belangrijke fauna- of floraelementen waarvan het voortbestaan moet worden ondersteund door de maatregelen inzake het grondgebruik;
- c) terreinen al dan niet door kunstmatige ingrepen tot stand gekomen, met belangrijke mogelijkheden voor natuurontwikkeling.

In beide typen gebieden wordt natuur beschouwd als de primaire functie, terwijl alle andere functies hier ondergeschikt aan zijn. GEN en GENO worden ontwikkeld wegens het grote belang van grote natuurgebieden: des te groter een gebied, des te groter de kans dat het geschikt is als habitat voor dieren en planten en des te kleiner de kans dat verstorings- en vervuilingfactoren de kwaliteit van het gebied beïnvloeden. De doelstelling is dat tegen 2015 het VEN een totale oppervlakte beslaat van 125.000 ha (Schauvliege, 2010).

Uit de kaart in figuur 5.14 kan opgemaakt worden dat de Daalbroekstraat dwars door een GEN gaat. Dit betekent dat in het gebied rondom de Daalbroekstraat de specifieke maatregelen van toepassing zijn die gelden voor alle natuurgebieden van het VEN.



Figuur 5.14 – Het Vlaams Ecologisch Netwerk. Een kaart met de VEN-gebieden gelegen in het onderzoeksgebied. Ook weergegeven zijn de Daalbroekstraat (blauw), de Weg naar Zutendaal (groen) en de gewestwegen (oranje). (Bron: <http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/>)

5.3.3.1.4. Natuurrichtplan

Een natuurrichtplan geeft voor een bepaald gebied aan welke doelstellingen betreffende natuurbehoud men beoogt te bereiken en welke instrumenten en maatregelen hiervoor gebruikt worden. Het bestaat dus uit een gebiedsvisie, waarin een langetermijnvisie gegeven wordt betreffende de gewenste toestand van het natuurgebied, en een maatregelenluik (ANB, 2005). Een natuurrichtplan wordt opgesteld en uitgevoerd met de medewerking van de eigenaars en/of grondgebruikers (art. 1, Natuurdecreet). In art. 48 §1 van het Natuurdecreet (Vlaamse Overheid, 1997) wordt bepaald wanneer een natuurrichtplan nodig is:

Voor elke speciale beschermingszone wordt een natuurrichtplan vastgesteld. Voor elk gebied dat behoort tot het VEN of het IVON en voor de groengebieden, parkgebieden, buffergebieden, bosgebieden of de met één van deze gebieden vergelijkbare bestemmingsgebieden aangewezen op de plannen van aanleg of op de ruimtelijke uitvoeringsplannen van kracht in de ruimtelijke ordening, kan er een natuurrichtplan worden vastgesteld.

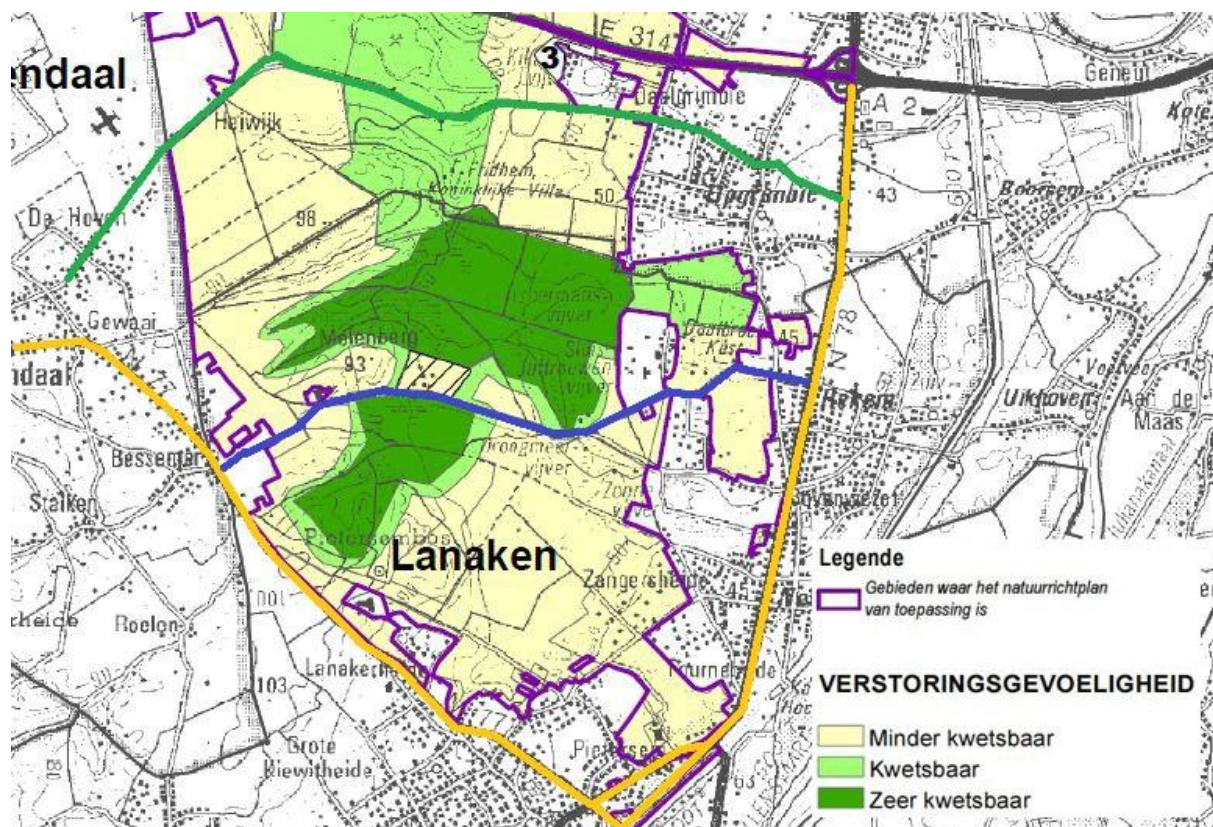
Aangezien de Daalbroekstraat in speciale beschermingszones gelegen is, die ook nog eens onderdeel zijn van het VEN, heeft de Vlaamse overheid een natuurrichtplan opgesteld. Op 12 november 2008 werd het Natuurrichtplan 11a "Hoge Kempen" goedgekeurd door toenmalig Vlaams minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur Hilde Crevits. In het kader van dit natuurrichtplan werd een kaart opgesteld betreffende de verstoringsgevoeligheid van de gebieden gelegen in dit natuurrichtplangebied. Een fragment van deze kaart is weergegeven in figuur 5.15. Hierop wordt duidelijk dat de Daalbroekstraat voornamelijk omgeven wordt door kwetsbaar tot zeer kwetsbaar gebied.

5.3.3.1.5. Besluit m.b.t. het nettoverlies van natuurgebied

Wanneer het projectalternatief met het nulalternatief vergeleken wordt, kan opgemerkt worden dat door de sluiting van de Daalbroekstraat 30.680 m² inclusief bermen of 18.200 m² exclusief bermen natuurgebied herwonnen zou kunnen worden. Uit de voorgaande analyse bleek dat deze oppervlakte gelegen is in een groter natuurgeheel, dat kwalitatief gezien van groot belang is. Dit wordt aangetoond door het feit dat het zowel in een SBZ als in VEN-gebied gelegen is, en doordat het omliggend natuurgebied als biologisch waardevol tot biologisch zeer waardevol bestempeld wordt door de BWK en als kwetsbaar door het natuurrichtplan.

Het mag bijgevolg duidelijk zijn dat een sluiting van de Daalbroekstraat een groot voordeel met zich meebrengt in vergelijking met het nulalternatief. Echter, een kanttekening hierbij is dat ongeveer 63% van de gebruikers van de Daalbroekstraat in het projectalternatief over zullen schakelen naar de Weg naar Zutendaal. Deze weg doorkruist eveneens biologisch waardevol gebied, habitat- en vogelrichtlijngebied en gebieden van het VEN. Daarenboven bestempelt het natuurrichtplan de omgeving van deze straat ook als kwetsbaar, zij het in mindere mate dan het gebied rondom de Daalbroekstraat. Toch mag aangenomen worden dat de baten van het projectalternatief m.b.t. tot dit ecologisch effect groter zijn dan de kosten die het met zich

meebrengt voor de natuur rondom de Weg naar Zutendaal. Het is immers logisch dat de volledige afsluiting van de Daalbroekstraat grotere voordelen met zich meebrengt dan de nadelen van enkele extra voertuigen op de alternatieve, reeds bestaande weg. Bovendien tonen de kaarten ook aan dat het gebied rondom de andere alternatieve route (via de gewestwegen) amper van ecologisch belang is. Bijgevolg moet het projectalternatief boven het nulalternatief verkozen worden wanneer enkel rekening gehouden wordt met het nettoverlies/-winst van natuurgebied.



Figuur 5.15 – Het natuurrichtplan. Een fragment van de kaart horende bij het natuurrichtplan 11a "Hoge Kempen". Ook weergegeven zijn de Daalbroekstraat, de Weg naar Zutendaal en de gewestwegen. (Bron: ANB (2008))

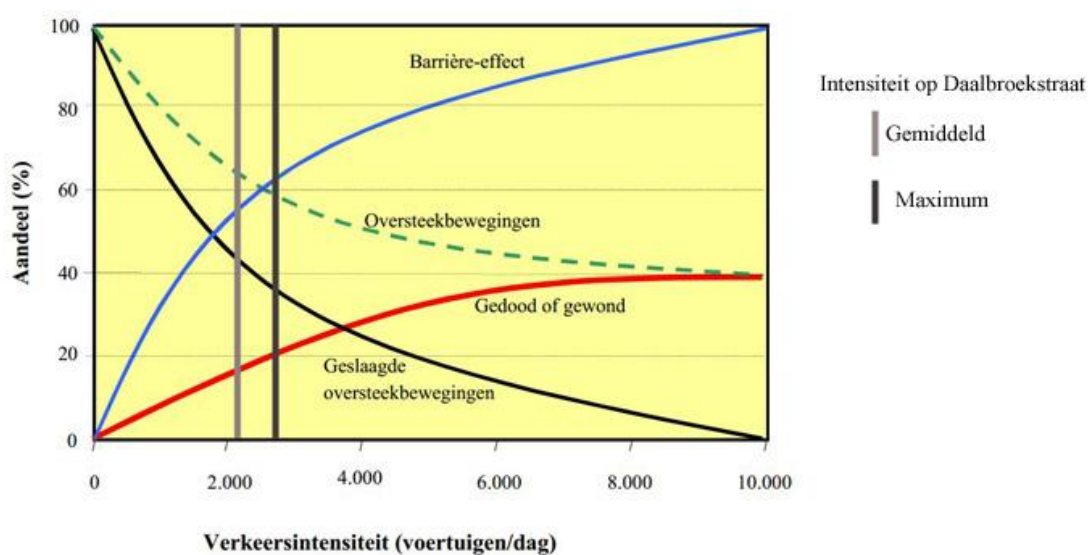
5.3.3.2. Barrière-effect en de versnippering van het leefgebied

Het barrière-effect is samen met zijn belangrijkste gevolg, de versnippering van het leefgebied van wilde dieren, één van de voornaamste aanleidingen voor het voorstel om de Daalbroekstraat af te sluiten. Dit werd duidelijk door het feit dat dit voorstel in het *Masterplan Nationaal Park Hoge Kempen* omschreven werd als een ontsnipperingsvoorstel. In welke mate dit nu belangrijk is zal hier zo goed als mogelijk kwalitatief besproken worden. Voor een volledige bespreking zijn echter gegevens nodig voor alle aanwezige diersoorten – of ten minste voor de belangrijke diersoorten –, wat helaas onmogelijk is in het kader van deze masterproef. Bijgevolg zal hier een algemene bespreking volgen, waarbij beroep gedaan wordt op de eerder besproken literatuur.

In tabel 2.1 gaf Iuell et al. (2003) de relatie weer tussen de verkeersintensiteit en het barrière-effect, waarbij het barrière-effect voorgesteld werd als de doordringbaarheid van de weg voor

dieren. In het projectalternatief is deze doordringbaarheid natuurlijk perfect, gezien de volledige afsluiting van de Daalbroekstraat voor doorgaand verkeer. Wat betreft het nulalternatief moet geweten zijn wat de huidige intensiteit op de sluiptweg is. Uit de verkeerstellingen is gebleken dat deze ongeveer 2.313 voertuigen per dag bedraagt, wat op werkdagen oploopt tot gemiddeld 2.567 voertuigen per dag. Bijgevolg valt de Daalbroekstraat in de tweede categorie van wegen, met een verkeersintensiteit van 1.000 tot 4.000 voertuigen per dag. Dit betekent dat de weg doordringbaar is voor sommige soorten, maar ook vermeden wordt door meer gevoelige soorten. Met andere woorden: het barrière-effect kan een rol spelen voor een bepaald aantal soorten, maar is nog niet van onoverkomelijke aard.

Ook figuur 2.2, hernomen in figuur 5.16, kan gebruikt worden om het barrière-effect te bespreken. Voor het projectalternatief kan verondersteld worden dat 100% van de fauna de weg oversteken, aangezien ze niet meer opgeschrikt zullen worden door voorbijrijdend verkeer. Hierbij wordt abstractie gemaakt van de aanwezigheid van visuele verstoring. In het nulalternatief is het barrière-effect al aanzienlijk toegenomen tot meer dan 50% bij een gemiddelde dagintensiteit van 2.313 voertuigen. Het aantal ondernomen oversteekbewegingen verandert in de tegenovergestelde richting, met een daling van bijna 40%. Wanneer gekeken wordt naar de maximum geobserveerde dagintensiteit zien we dat deze percentages nog groter worden: het barrière-effect bedraagt al meer dan 60%, terwijl de daling in ondernomen oversteekbewegingen toegenomen is met meer dan 40% in vergelijking met het projectalternatief.



Figuur 5.16 – Barrière-effect op de Daalbroekstraat. Deze herneming van figuur 2.2 koppelt het theoretisch model van Defloor et al. (2001) aan de geobserveerde verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat. Zoals de verticale lijnen weergeven, vormt de Daalbroekstraat voor verschillende dieren een barrière in het nulalternatief.

Hoewel Defloor et al. (2001) met deze figuur lijken aan te tonen dat het barrière-effect redelijk groot is op de Daalbroekstraat in de huidige situatie, stellen ze tegelijkertijd dat een aanzienlijke barrière gevormd wordt rond 5.000 voertuigen per dag, terwijl wegen met een dagintensiteit van 1.000 voertuigen redelijk oversteekbaar blijven voor fauna. Het is dus niet eenvoudig een eenduidige conclusie te trekken m.b.t. het barrière-effect. Daarenboven zijn zowel tabel 2.1 als

figuur 5.16 gebaseerd op theoretische modellen, waarbij geen rekening gehouden is met de gemiddelde snelheid, de verschillen tussen dag en nacht, en specifieke omgevingsfactoren. Dit maakt het extra moeilijk om een conclusie te trekken. Bijgevolg is een grondiger onderzoek vereist om een definitief besluit te nemen omtrent het barrière-effect op de Daalbroekstraat en de bijhorende versnippering van het leefgebied. In deze masterproef kan verder gewerkt worden met de conclusie dat het barrière-effect aanwezig is voor verschillende diersoorten en men dit effect zeker niet mag onderschatten, aangezien het in de literatuur als belangrijkste ecologisch effect van wegen beschouwd wordt.

Wat betreft de alternatieve routes is enkel de Weg naar Zutendaal van belang, aangezien ook deze door het NPHK loopt. Helaas zijn geen gegevens beschikbaar m.b.t. de intensiteit op deze weg. Wel is het zo dat in het projectalternatief deze weg ongeveer 1.460 extra voertuigen per dag te verwerken krijgt. Hoewel dit ervoor zorgt dat deze weg door meer dieren als een barrière ervaren wordt, kan aangenomen worden dat het negatieve effect hiervan kleiner is dan het positieve effect van het volledig wegwerken van de barrière die de Daalbroekstraat opwierp. Daarenboven worden door de sluiting van de Daalbroekstraat twee gebieden versmolten tot één geheel, wat vanzelfsprekend een grotere positieve impact zal hebben dan de negatieve impact van extra voertuigen op de Weg naar Zutendaal. Bijgevolg kan ook voor dit ecologisch effect besloten worden dat het projectalternatief verkozen moet worden boven het nulalternatief.

Ter afronding van dit ecologisch effect is het interessant om roadkill hierbij te betrekken, hoewel in hoofdstuk 2 besloten werd om dit effect weg te laten. Uit de ongevalgegevens geleverd door de Politiezone Lanaken-Maasmechelen blijkt immers dat in 2013 vijf van de twaalf geregistreerde ongevallen uit een botsing tussen een voertuig en overstekend wild bestond. Dit is natuurlijk een onderschatting van de werkelijke cijfers, aangezien het hier enkel geregistreerde ongevallen betreft. Toch mag geconcludeerd worden dat er wel degelijk sprake is van roadkill, hoewel het dus geen grote gevolgen heeft voor de populatiegrootte.

5.3.3.3. Wegontwikking door geluidshinder

In de literatuurstudie in hoofdstuk 2 werd duidelijk dat lawaai een zeer complex begrip is. Zo wordt lawaai door verscheidene factoren beïnvloed en heeft het niet dezelfde impact op alle diersoorten. Bijgevolg is het onmogelijk om een volledige bespreking van dit effect te geven. Om toch een beeld te verkrijgen over de geluidsniveaus op de Daalbroekstraat kan tabel 5.28 in beschouwing genomen worden (Van De Genachte et al., 2007). Deze tabel geeft de relatie weer tussen de verkeersintensiteit op een asfaltweg (in personenwagens¹⁷), de toegelaten snelheid en de te verwachten geluidsniveaus (in $L_{Aeq, 1h}$ ¹⁸) op twee verschillende afstanden van de weg (50 m en 100 m).

¹⁷ Dit vormt geen groot probleem voor de gevalstudie, gezien de overgrote meerderheid van de voertuigen uit personenwagens bestaat. De enkele niet-persoonswagens zullen geen ingrijpende invloed hebben op de $L_{Aeq, 1h}$.

¹⁸ Wanneer geluid varieert doorheen de tijd wordt de L_{Aeq} gebruikt om het geluidsniveau aan te geven. De $L_{Aeq, 1h}$ geeft het equivalent continue geluid gedurende één uur in dB[A] van het variërende geluid gedurende één uur dat dezelfde geluidsenergie bevat.

Aantal personenwagens per uur	Snelheid: 70 km/u		Snelheid: 90 km/u		Snelheid: 120 km/u	
	50 m	100 m	50 m	100 m	50 m	100 m
500	56	52	57	53	59	55
1000	59	55	60	56	62	58
2000	62	58	63	59	65	61
4000	65	61	66	62	68	64

Tabel 5.28 – Geluidsniveaus. Deze tabel geeft de relatie tussen de verkeersintensiteit, de snelheid en de te verwachten geluidsniveaus (in dB[A]¹⁹) op een afstand van 50 m en 100 m van de weg.

Helaas zijn de intensiteiten in deze tabel te hoog om toe te passen op de Daalbroekstraat. Immers, de gemiddelde verkeersintensiteit voor de Daalbroekstraat bedraagt overdag (van 6 uur 's ochtends tot 22 uur 's avonds) ongeveer 136 per uur en loopt in piekuren gemiddeld op tot 153 voertuigen per uur. Gelukkig is deze tabel opgesteld volgens een algemene regel: er treedt een verhoging van 3dB[A] op wanneer de verkeersintensiteit verdubbelt (Van De Genachte et al., 2007). Gegeven een toegelaten snelheid van 70 km/u bedragen de te verwachten geluidsniveaus op 50 m en op 100 m van de Daalbroekstraat tijdens deze piekuren respectievelijk tussen 50 en 53 dB[A] en tussen 46 en 49 dB[A], met een respectievelijk etmaalgemiddelde rond 50 en 53 dB[A]. Uit de verkeerstelling is echter gebleken dat de gemiddelde snelheid ongeveer 85 km/u bedroeg, waardoor de cijfers voor een toegelaten snelheid van 90 km/u een realistischere weergave zijn. De te verwachten geluidsniveaus op 50 m en op 100 m van de Daalbroekstraat bedragen tijdens de piekuren bijgevolg respectievelijk tussen 51 en 54 dB[A] en tussen 47 en 50 dB[A], met een respectievelijk etmaalgemiddelde rond 51 en 47 dB[A].

Om een duidelijker beeld van deze niveaus te krijgen, worden hier enkele referentiegeluidsniveaus gegeven (Forman et al., 2003):

- 0 dB[A]: geluid waarneembaar door mensen;
- 20 dB[A]: een stille woestijn;
- 40 dB[A]: 's nachts binnenhuis;
- 60 dB[A]: normale menselijk spraak;
- 80 dB[A]: veilige menselijke limiet voor continu lawaai;
- 120 dB[A]: drempel van auditieve pijn voor de mens.

Om de invloed van dit geluid op fauna in te schatten, kan gebruik gemaakt worden van zogenaamde grenswaarden. Dit is de minimale belasting gemeten bij een bepaald dier waarbij een verstorend effect optreedt (Kleijn, 2008). In de literatuur zijn echter weinig eenduidige gegevens beschikbaar m.b.t. de grenswaarde van geluidshinder voor dieren, o.a. door de grote complexiteit van het begrip 'lawaai'. Voor vogels zijn er wel grenswaarden te vinden. Voor de fazant bijvoorbeeld varieert deze tussen etmaalgemiddelden van 38 tot 53 dB[A], afhankelijk van de studie. Ook voor de koekoek varieert deze, gaande van 36 tot 49 dB[A]. Voor de houtduif werd een grenswaarde vastgesteld gelijk aan een etmaalgemiddelde van 43 dB[A] (Kleijn, 2008). Ook voor

¹⁹ dB[A] is een logaritmische decibeleenheid, afgeleid van de gewone decibel, die rekening houdt met de gevoeligheid van het menselijk oor.

enkele vogels die belangrijk zijn in de SBZ rond de Daalbroekstraat is informatie bekend omtrent de geluidsgevoeligheid. Zo wordt in Bossuyt (2013) gesteld dat de korhoen en slobbeend matig gevoelig zijn voor geluid, wat overeenkomt met een geluidsdrempel voor verstoring van 50 dB[A]. De roerdomp en de blauwborst zijn nog gevoeliger aan geluid, met een geluidsdrempel van 45 dB[A]. Wanneer deze geluidsniveaus vergeleken worden met de geluidsniveaus vastgesteld voor de Daalbroekstraat, kan vastgesteld worden dat deze geluidsdrempels overschreden worden. De fauna rondom de Daalbroekstraat wordt bijgevolg wel degelijk verstoord door het geluid van het wegverkeer. Dit vormt een probleem voor sommige vogelsoorten, zoals de roerdomp en de blauwborst. Decler (2007) stelt immers dat de verstoring van de nestplaats één van de grootste bedreigingen is voor beide soorten. Zeker voor de roerdomp is dit zeer belangrijk, gezien deze soort volgens de *Rode Lijst van Broedvogels* met uitsterven bedreigd is (Devos, Anselin, & Vermeersch, 2004).

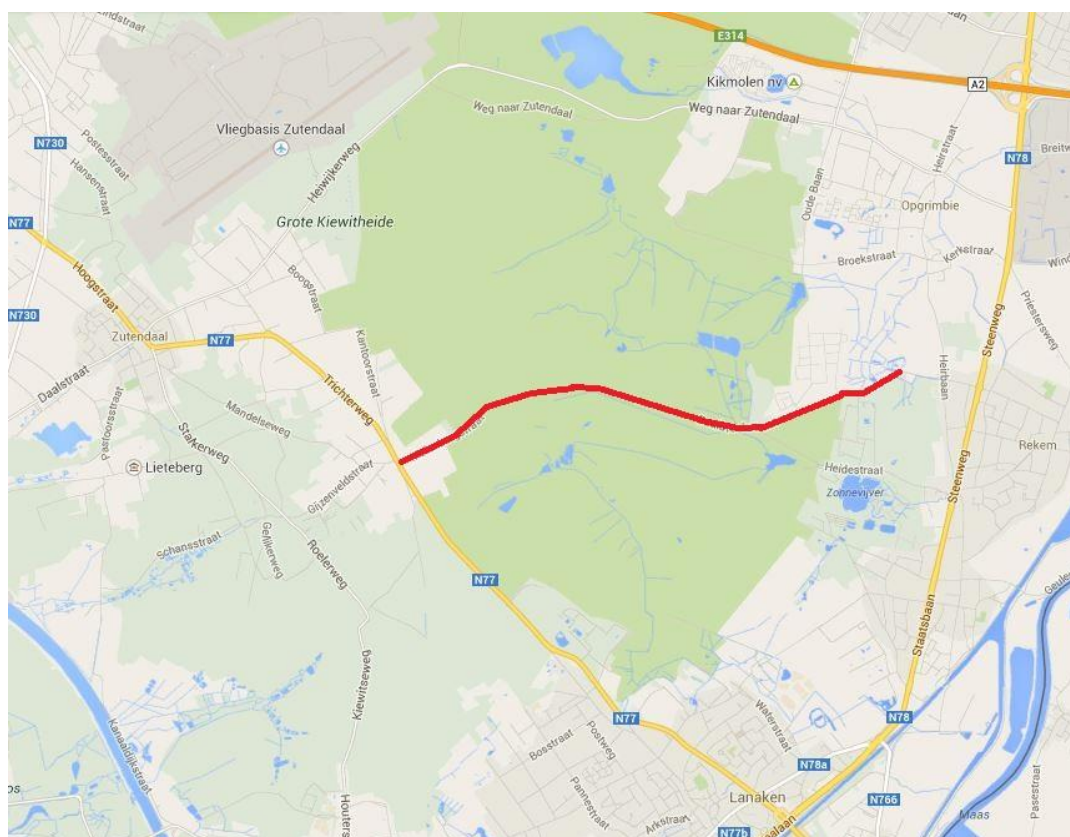
Op gebied van geluidshinder houdt het projectalternatief voor de fauna rondom de Daalbroekstraat bijgevolg een verbetering in. Het projectalternatief brengt echter ook extra verkeer op de Weg naar Zutendaal met zich mee, die evenzeer door het NPHK gaat. Bijgevolg zal het lawaai op deze weg toenemen. Uit de analyse uit paragraaf 3.3 is gebleken dat ongeveer 63% van de verkeersstroom op de Daalbroekstraat in de alternatieve situatie gebruik zal maken van de Weg naar Zutendaal. Dit komt neer op een gemiddelde van 86 voertuigen per uur dat in de piekuren gemiddeld oploopt tot 97 voertuigen per uur. Helaas zijn geen gegevens beschikbaar m.b.t. de huidige verkeersintensiteit op de Weg naar Zutendaal. Bijgevolg kan niet berekend worden welke geluidstoename deze toename in verkeersintensiteit met zich meebrengt. Wel staat vast dat de geluidstoename zeker kleiner zal zijn dan 3 dB[A], aangezien verondersteld wordt dat de huidige intensiteit op deze weg meer dan 86 voertuigen per uur bedraagt en in het projectalternatief dus zeker niet zal verdubbelen. Bijgevolg kan besloten worden dat het positieve effect ter hoogte van de Daalbroekstraat gedeeltelijk teniet gedaan zal worden door de toename van het verkeer op de Weg naar Zutendaal, maar dat dit negatief effect veel kleiner zal zijn. Een daling naar het natuurlijk geluidsniveau rondom de Daalbroekstraat zal namelijk een veel grotere positieve invloed hebben op de fauna dan de negatieve impact van een stijging van minder dan 3 dB[A] ter hoogte van de Weg naar Zutendaal. Ook voor dit effect kan bijgevolg weer besloten worden dat het projectalternatief boven het nulalternatief te verkiezen is.

5.3.3.4. Verspreiding van strooizouten

Wat betreft de verspreiding van strooizouten werd lange tijd gedacht deze op te nemen in de monetaire analyse. Helaas werd dit onmogelijk door enerzijds het feit dat de gemeente Lanaken geen gegevens ter beschikking had omtrent de hoeveelheid strooizouten en anderzijds het feit dat er geen milieukosten beschikbaar waren. Daarom wordt getracht hier in de mate van het mogelijke een kwalitatieve analyse te geven. Hierbij wordt verondersteld dat het strooien van zouten in de gemeente Lanaken op dezelfde manier gebeurt als op de Vlaamse gewest- en snelwegen door de winterdienst van het Agentschap Wegen en Verkeer (<http://www.wegenenverkeer.be>). Daarnaast wordt uitgegaan van een strooihoeveelheid gelijk aan die van de gemeente Heusden-Zolder, d.i.

1,8 kg zout per m gemeenteweg per winter. Voor de Daalbroekstraat komt dit dus neer op een hoeveelheid van 4.680 kg per winter.

In Vlaanderen wordt gebruik gemaakt van NaCl, omdat dit momenteel het meest efficiënte dooimiddel met de beste prijs/kwaliteitverhouding is. Uit de literatuurstudie in hoofdstuk 2 bleek echter dat dit zout behoorlijk milieuonvriendelijk is. Daarom wordt getracht om a.d.h.v. bepaalde strooitechnieken de nadelige milieu-effecten te verminderen. Een voorbeeld hiervan is het bevochtigd strooien, wanneer NaCl met pekels gecombineerd wordt. Dit zorgt ervoor dat het zout beter aan de weg blijft kleven. Daarnaast probeert men zoveel mogelijk preventief te strooien, d.i. strooien alvorens de wegen glad worden. Op die manier probeert men overmatig zoutverbruik te vermijden. Bij curatief strooien, d.i. strooien tijdens een winterse bui, heeft men immers meer zout nodig om door de reeds gevormde vries- of sneeuwlaag te komen.



Figuur 5.17 – Ligging van de Daalbroekstraat t.o.v. aquatische omgevingen. Met betrekking tot dit ecologisch effect is het niet nodig om de alternatieve routes mee te nemen in de analyse. De sluiting van de Daalbroekstraat (rood) houdt namelijk geen veranderingen in voor de hoeveelheid gestrooid zout op deze wegen, vermits dit niet afhankelijk is van de intensiteit.

Deze technieken nemen echter niet weg dat er zout terecht komt in het aanpalend milieu. Zo stelt de winterdienst van het Agentschap Wegen en Verkeer dat 10 tot 20% van droog zout rechtstreeks in de wegbermen terecht komt, terwijl dit bij bevochtigd strooien tot 5% beperkt wordt. De overige zouten worden door het smeltwater in een sterk verdunde vorm van het wegdek afgevoerd (<http://www.wegenenverkeer.be>). Voor de Daalbroekstraat zou dit betekenen dat jaarlijks tussen de 234 en 936 kg NaCl rechtstreeks in de wegberm terecht komt, terwijl de overige 3.744 tot

4.446 kg NaCl in sterk verdunde vorm in het milieu belandt. Hoe groot de impact hiervan is op het milieu is zeer moeilijk in te schatten. Wel staat vast dat deze impact er is. Herinner immers uit hoofdstuk 2 dat strooizouten o.a. leiden tot verzilting van de bodem en verontreiniging van het drinkwater. Daarenboven komen de verhoogde concentraties chloride en natrium gemakkelijk in aquatische omgevingen terecht, waardoor vijvers en stromen verontreinigd kunnen worden. Het is misschien wel dit laatste dat zeer belangrijk is voor de Daalbroekstraat. Op figuur 5.17 is immers te zien dat de Daalbroekstraat in vochtig gebied ligt, omgeven door verscheidene vijvers en stromen. Vast staat dus dat strooizouten een negatief effect hebben op het milieu rondom de Daalbroekstraat en dat het projectalternatief bijgevolg een verbetering inhoudt.

5.3.3.5. Emissies van PM en NO_x

Hoewel de emissies van PM_{2,5}, PM_{coarse} en NO_x reeds opgenomen werden in de monetaire analyse, worden ze hier nogmaals kort besproken. Zoals in paragraaf 5.3.1.5 reeds vermeld, bestaat immers de mogelijkheid om aan de hand van de intensiteit de emissies van PM_{2,5}, PM₁₀ en NO₂ te analyseren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het CAR (Calculation of Air pollution from Road traffic) Vlaanderen II model. Dit is een model dat in 2006 ontwikkeld is door Transport & Mobility Leuven en het Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoeksinstituut. Het betreft een emissiemodel aan de hand waarvan men op een eenvoudige wijze inzicht verkrijgt in de luchtverontreiniging door het plaatselijk verkeer. Op basis van een aantal verkeersparameters en straatkenmerken berekent het model de luchtkwaliteit in een bepaalde straat, met specifieke aandacht voor de concentraties NO₂, PM₁₀ en PM_{2,5} (Jonkers & Vanhove, 2010). Deze waarden worden vergeleken met de Europese normen, zoals vastgelegd in de richtlijn Lucht (Europees Parlement, 2008).

Hoewel het model in feite ontwikkeld is voor het berekenen van de binnenstedelijke luchtkwaliteit en dus minder goede resultaten zal opleveren voor wegen in natuurgebieden, wordt dit model hier toch gebruikt om een inzicht te verkrijgen in de jaarlijkse emissies op de Daalbroekstraat. Voor de instellingen van het model wordt de lezer doorverwezen naar bijlage 6. De resultaten voor de Daalbroekstraat worden weergegeven in tabel 5.29.

NO ₂	Jaargemiddelde (µg/m ³)	Jaargemiddelde achtergrond (µg/m ³)
2015	18,8	17
2020	16,4	15,1
PM₁₀		
2015	20,8	20,5
2020	20,3	20
PM_{2,5}		
2015	15,2	15
2020	14,9	14,7

Tabel 5.29 – Concentraties op de Daalbroekstraat zoals berekend door het CAR Vlaanderen II model.

Tabel 5.29 geeft de jaargemiddelde concentraties en de jaargemiddelde achtergrondconcentraties van de polluenten voor het jaar 2015 en 2020 op de Daalbroekstraat, op 5,9 m van de weg. Deze jaargemiddelden kunnen vergeleken worden met de grenswaarden voor de menselijke gezondheid zoals vastgesteld in de Europese richtlijn. Voor NO₂ bedraagt de jaargemiddelde grenswaarde 40 µg/m³, voor PM₁₀ 50 µg/m³ en voor PM_{2,5} 25 µg/m³. Dit betekent dat de jaargemiddelde grenswaarden voor de menselijke gezondheid niet overschreden worden op de Daalbroekstraat. Tevens geeft de output van het model aan dat voor NO₂ en PM₁₀ geen enkele keer in een jaar tijd respectievelijk de uurgemiddelde en daggemiddelde grenswaarden overschreden werden, hoewel dit respectievelijk 18 en 35 keer per jaar toegelaten is. Voor PM_{2,5} wordt het aantal overschrijdingen niet berekend. Uit deze analyse kan besloten worden dat de luchtkwaliteit op de Daalbroekstraat in het nulalternatief niet schadelijk is voor de menselijke gezondheid. Over de impact op het milieu brengt het CAR Vlaanderen II model geen verdere informatie aan het licht.

5.3.3.6. Gezondheidskosten voor de mens door geluidshinder

In paragraaf 5.3.2.3 werd de impact van geluid op dieren reeds besproken. Geluid is echter niet enkel hinderlijk voor dieren, ook voor de mens brengt het heel wat negatieve gevolgen met zich mee. Zo kan een te hoog geluidsniveau tot slaaptekort, stress, een te hoge bloeddruk en hart- en vaatziekten leiden, wat zelfs in vroegtijdige sterfte kan uitmonden (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999). Uit schattingen is gebleken dat 17 tot 22% van de bevolking van de Europese Unie – ongeveer 80 miljoen mensen – overdag geconfronteerd wordt met een continu verkeerslawaai van meer dan 65 dB[A], het maximale geluidsniveau dat algemeen als aanvaardbaar beschouwd wordt. Bovendien blijken 170 miljoen mensen blootgesteld te worden aan een geluidsniveau van 55 – 65 dB[A], wat als ernstige geluidsoverlast beschouwd wordt (MER, 2011). Het zijn dan ook deze waarden die als geluidsnormen terugkomen in het Ontwerp Koninklijk Besluit van 1991 betreffende het verkeerslawaai, dat vaak als referentiekader gebruikt wordt.

Geluidshinder voor mensen speelt echter geen rol van betekenis rondom het gedeelte van de Daalbroekstraat dat afgesloten wordt in het projectalternatief, aangezien hier geen bebouwing is. Rondom de Weg naar Zutendaal is dit effect al van groter belang, zij het nog steeds in beperkte mate. De alternatieve route via deze weg doorkruist immers enkel een wijk van Zutendaal en Opgrimbie. Voor de alternatieve route via de gewestwegen is dit effect echter van veel groter belang, gezien het grootste deel van deze route omgeven is door huizen en woonkernen, waaronder Lanaken, Neerharen en Rekem. Hierdoor behoren deze gewestwegen gedeeltelijk tot categorie 2 en gedeeltelijk tot categorie 3 uit tabel 5.30. Een deel van de gewestwegen bestaat echter ook uit vier rijstroken, waardoor ook categorie 1 op bepaalde plaatsen van toepassing is.

Helaas zijn ook hier weer geen gegevens beschikbaar m.b.t. de huidige verkeersintensiteit op de gewestwegen. Bijgevolg kan wederom niet berekend worden welke geluidstoename de stijging in verkeersintensiteit in het projectalternatief met zich meebrengt. Wel kan verondersteld worden dat de intensiteit zeker niet verdubbeld zal worden, gezien slechts 37% van de oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat zullen overschakelen op de gewestwegen (paragraaf 3.3). Dit komt neer op een gemiddelde toename van 50 voertuigen per uur overdag, met pieken tot

maximum 56 voertuigen per uur. Deze cijfers worden vanzelfsprekend ruim overtroffen door de huidige verkeersintensiteit op de gewestwegen. Bijgevolg zal de toename in geluid ver onder de 3 dB[A] liggen. Hierbij kan verondersteld worden dat de verkeerstoename op de gewestwegen er zelfstandig niet voor kan zorgen dat de geluidsnormen uit tabel 5.30 opeens niet meer gehaald worden. Eenzelfde redenering geldt voor de Weg naar Zutendaal. Er kan dus besloten worden dat de uitvoering van het project weinig invloed heeft op de gezondheidskosten van mensen ten gevolge van geluidshinder.

Omgevingskenmerken		L _{Aeq, T} in dB[A]	
		Richtwaarden ²⁰	Maximale waarden ²¹
		Dag/Avond/Nacht	Dag/Avond/Nacht
1. Op minder dan 500 m van wegen met 4 of meer rijstroken, buiten de bebouwde kom in woon- en recreatiegebieden.		60/55/50	70/65/60
2. In woongebieden buiten de bebouwde kom, in recreatiegebieden voor verblijfsrecreatie.		55/50/45	65/60/55
3. In woongebieden binnen de bebouwde kom, behalve in het geval onder 4.		60/55/50	70/65/60
4. In woongebieden binnen de bebouwde kom met overheersende administratieve en commerciële functie.		65/60/55	75/70/65
5. In landelijke en agrarische gebieden, woonuitbreidingsgebieden.		50/45/40	60/55/50
Opmerking:		Dag:	van 07.00 tot 19.00 uur
		Avond:	van 19.00 tot 23.00 uur
		Nacht:	van 23.00 tot 07.00 uur

Tabel 5.30 – Ontwerp-K.B. 1991. Deze tabel geeft de richtwaarden en maximale waarden voor de geluidsniveaus van wegverkeer die vaak als referentie gehanteerd worden. (Tabel overgenomen uit Ecorem n.v. (2012).)

5.4. Sensitiviteitsanalyse

Zoals vermeld in paragraaf 5.3.2.7 is er een zekere mate van onzekerheid betreffende sommige gegevens die gebruikt werden in de monetaire analyse van de KBA. Bijgevolg wordt in deze paragraaf een sensitiviteitsanalyse en meer specifiek een Monte Carlo simulatie uitgevoerd. Hierin zal onderzocht worden in welke mate de NCW zal wijzigen afhankelijk van enkele veronderstellingen betreffende de onzekere variabelen. Meer specifiek zullen de assumpties toegepast worden zoals weergegeven in tabel 5.31. Hierbij wordt aan iedere variabele een triangelair verdeling toegekend met een minimale, maximale en meest waarschijnlijke waarde.

²⁰ Richtwaarden moeten aan de bevolking een voldoeninggevend akoestisch leefmilieu bieden.

²¹ Maximale waarden moeten de bevolking beschermen tegen overmatige hinder.

Variabele	Betekenis	Min	MW	Max
Jaarlijkse groeivoet	Het aantal voertuigen op de Daalbroekstraat wordt in de KBA verondersteld tot 2030 te evolueren volgens de jaarlijkse groeivoeten weergegeven in tabel 5.2. Het is echter niet zeker dat dit ook het geval is voor de Daalbroekstraat. Het is zelfs mogelijk dat het aantal voertuigen constant zal blijven doorheen de tijd. Daarom wordt als maximum- en meest waarschijnlijke waarde de groeivoet uit tabel 5.2 genomen, met als minimumwaarde 0.	0	0,01	0,01
• personenwagens		0	0,01	0,01
• tweewielers		0	0,03	0,03
• lichte vrachtwagens		0	0,01	0,01
• bussen		0	0,023	0,023
• vrachtwagens		0	0,023	0,023
• trailers				
Percentage bussen	In de KBA bedraagt het aandeel bussen t.o.v. het totaal van bussen en vrachtvervoer 4% (paragraaf 5.3.2.1.1), gebaseerd op cijfers van Statbel (FOD Economie, 2013a). Voor de Daalbroekstraat kan dit percentage echter hoger liggen. De huidige 4% betekent namelijk dat op een normale werkdag vier bussen gebruik maken van deze weg. Dit aantal wordt hoe dan ook gehaald, aangezien de werkende residenten van het opvangcentrum Ter Dennen iedere dag opgehaald en teruggebracht worden met een bus, wat overeenkomt met vier ritten per dag. De veronderstelling dat meer bussen op de Daalbroekstraat mogelijk zijn, is dus zeker niet onlogisch.	0,04	0,04	0,08
Initiële investeringskost van de Daalbroekstraat	De wegonderhoudskost van de Daalbroekstraat werd in de KBA berekend als 1,5% van de initiële investeringskost (paragraaf 5.3.2.3.1.1). Deze initiële investeringskost werd gelijkgesteld aan 680.000 euro per km, met een onzekerheidsmarge tussen 450.000 en 1.020.000 euro per km (prijsspeil: 2011). Deze waarden kunnen in de Monte Carlo simulatie toegepast worden.	450.000	680.000	1.020.000

Tabel 5.31 – Veronderstellingen voor sensitiviteitsanalyse. MW staat voor meest waarschijnlijke waarde, min voor minimumwaarde en max voor maximumwaarde.

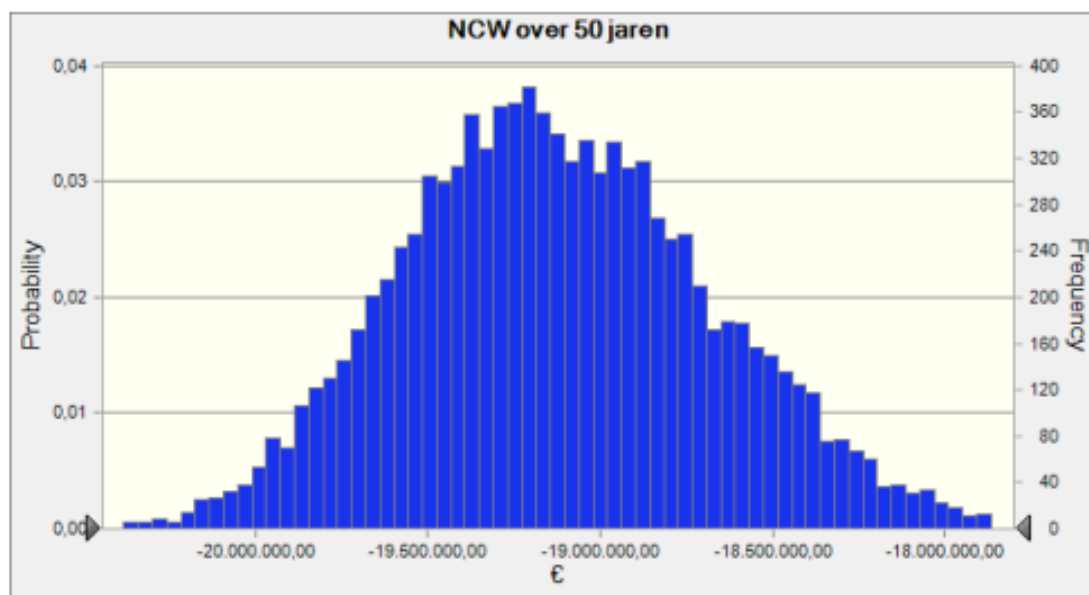
Variabele	Betekenis	Min	MW	Max
Percentage uitbesteding bij onderhoud van de wegbermen van de Daalbroekstraat	Er zijn twee opties voor het onderhoud van de wegbermen van de Daalbroekstraat: door de gemeente zelf of via uitbesteding door een ander bedrijf (paragraaf 5.3.2.3.1.2). De kosten die beide opties met zich meebrengen, verschillen grondig. In de KBA werd verondersteld dat beiden voor de helft toegepast worden. Het is echter ook mogelijk dat één optie meer toegepast wordt dan de andere optie, of zelfs helemaal niet toegepast wordt. Hierbij verandert het percentage 'in eigen beheer' tegengesteld aan het percentage 'via uitbesteding'.	0	0,5	1
MEIK	Zoals uit tabel 5.17 blijkt, is er heel wat onduidelijkheid over de correcte waarde voor de MEIK. In de KBA werd de hoge waarde voor hernieuwing en onderhoud toegepast. In de sensitiviteitsanalyse zal deze waarde echter kunnen wijzigen tussen de lage waarde van kosten van hernieuwing en een gelijke marge boven de hoge waarde van de kosten van hernieuwing en onderhoud.	0,02297	0,03765	0,04756

Tabel 5.31 – Veronderstellingen voor sensitiviteitsanalyse (vervolg).

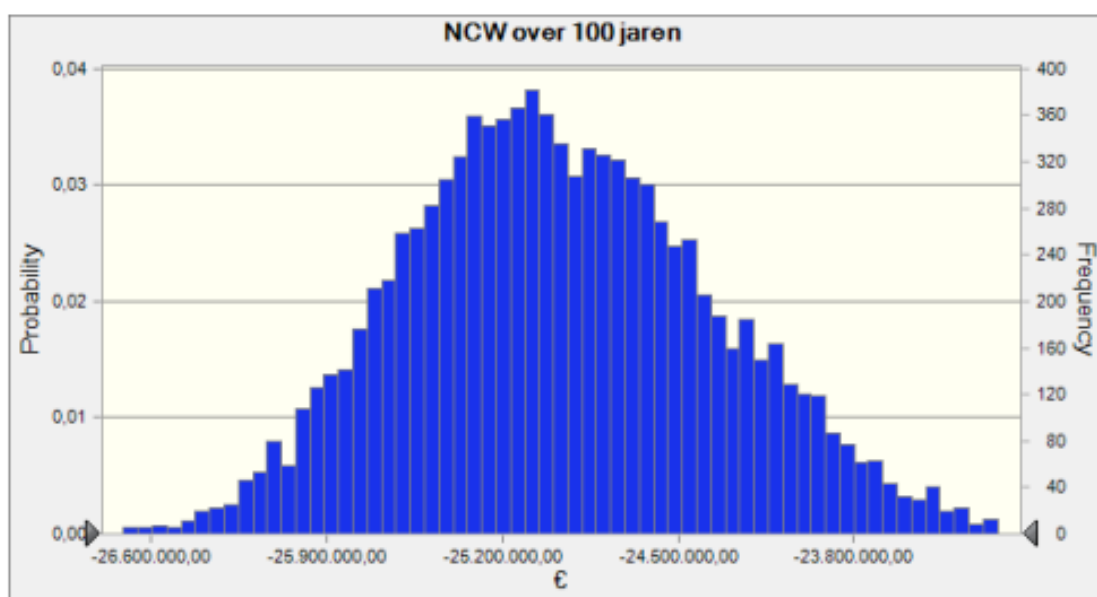
Variable	Betekenis	Min	MW	Max
Correctiefactor voor aantal ongevallen	Zoals vermeld in paragraaf 5.3.2.4 werd bij de berekening van de gemiddelde ongevallenkosten enkel rekening gehouden met de geregistreerde ongevallen. Dit is natuurlijk een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid. Dit wordt in deze sensitiviteitsanalyse behandeld: de minimumwaarde en meest waarschijnlijke waarde voor de correctiefactor is 1 (waarbij het aantal ongevallen gelijk is aan het aantal geregistreerde ongevallen), terwijl de maximumwaarde overeenkomt met de correctiefactor zoals vermeld in Hoornaert (2008). Hierbij zijn echter enkel gegevens beschikbaar voor de personenwagens en tweewielers. De correctiefactor voor het totaal aantal ongevallen ten slotte werd berekend o.b.v. FOD Economie (2013b).			
• Personenwagen: dodelijk gewond		1	1	1,2
• Personenwagen: ernstig gewond		1	1	1,25
• Personenwagen: licht gewond		1	1	2
• Tweewieler: dodelijk gewond		1	1	1,2
• Tweewieler: ernstig gewond		1	1	1,55
• Tweewieler: licht gewond		1	1	3,2
• Totaal aantal ongevallen		1	1	1,94

Tabel 5.31 – Veronderstellingen voor sensitiviteitsanalyse (vervolg).

De Monte Carlo simulatie werd uitgevoerd a.d.h.v. het programma *Crystal Ball*. Hierbij werden 10.000 trials uitgevoerd, waarbij het model iedere keer willekeurig een waarde uit de verdelingen van tabel 5.31 trok om de NCW te bepalen. Op die manier werd een kansverdeling voor de outputparameter bekomen. Voor de NCW over 50 jaren is deze weergegeven in figuur 5.18, voor de NCW over 100 jaren in figuur 5.19. De spreiding van de NCW wordt hierbij verklaard door de spreiding van de variabelen zoals voorgesteld in tabel 5.31. Uit deze figuren kan men met 100% zekerheid de conclusie trekken dat de NCW van het project negatief zal zijn, zowel voor de NCW over 50 jaren als voor de NCW over 100 jaren.



Figuur 5.18 – Kansverdeling voor de NCW over 50 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.



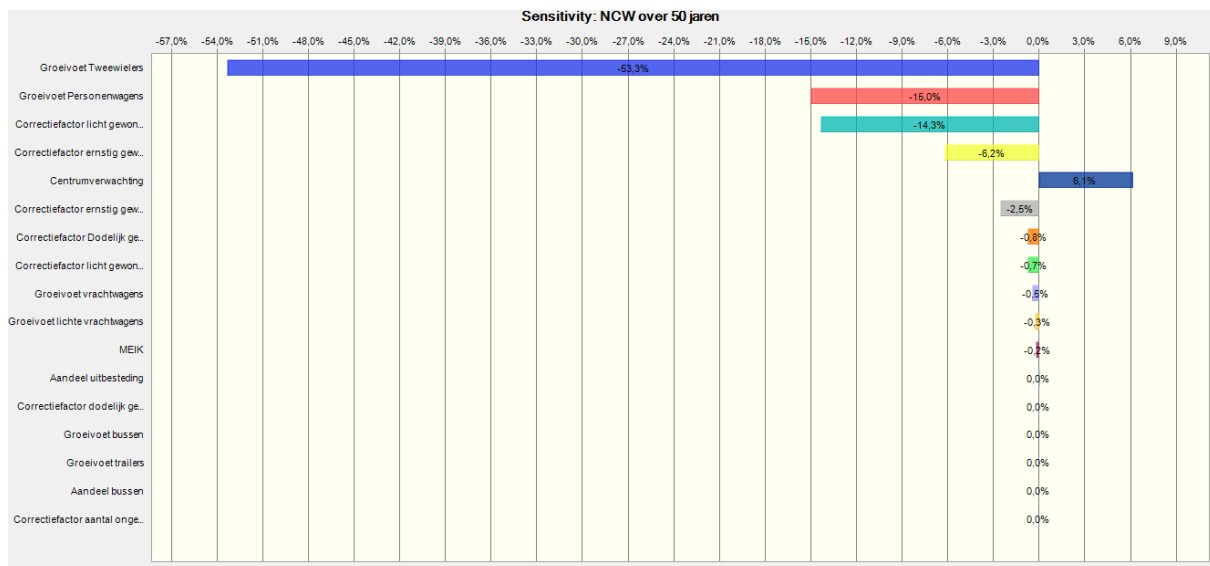
Figuur 5.19 – Kansverdeling voor de NCW over 100 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.

Ook kunnen enkele statistische gegevens beschouwd worden. Deze worden weergegeven in figuur 5.20. Zo wordt voor de NCW over 50 jaren een gemiddelde van -19.124.693,37 euro en een mediaan van -19.148.850,97 euro gevonden, wat lager is dan de gevonden waarde in de KBA (-19.310.681,08). Alle 10.000 gegenereerde NCW's liggen binnen het bereik van [-20.684.503,48; -17.615.859,95], met een breedte van 3.068.643,53 euro. Voor de NCW over 100 jaren is er een gemiddelde van -24.967.128,05 euro en een mediaan van -25.004.947,74 euro, wat ook weer lager is dan de gevonden waarde in de KBA (-25.309.734,16). Hierbij liggen alle gegenereerde NCW's binnen het bereik van [-27.083.985,31; -22.865.615,81], met een breedte van 4.218.369,50 euro.

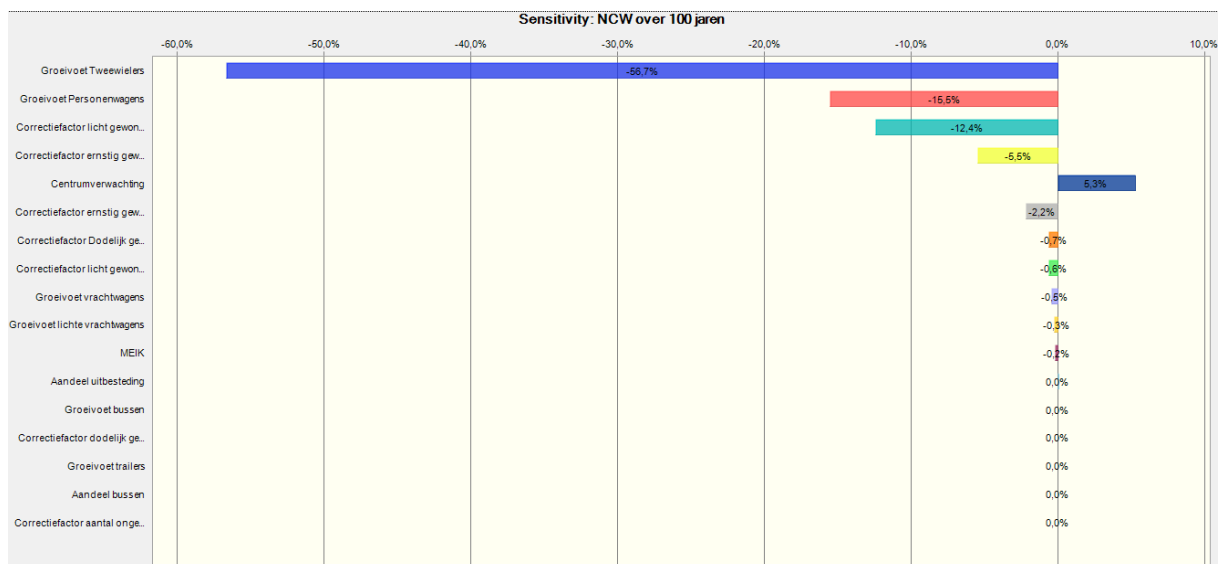
Statistics:	Forecast values	Statistics:	Forecast values
Trials	10.000	Trials	10.000
Base Case	-19.310.681,08	Base Case	-25.309.734,16
Mean	-19.124.693,37	Mean	-24.967.128,05
Median	-19.148.850,97	Median	-25.004.947,74
Mode	—	Mode	—
Standard Deviation	448.737,20	Standard Deviation	621.028,93
Variance	201.365.074.174,45	Variance	385.676.926.957,39
Skewness	0,1865	Skewness	0,2150
Kurtosis	2,79	Kurtosis	2,77
Coeff. of Variation	-0,0235	Coeff. of Variation	-0,0249
Minimum	-20.684.503,48	Minimum	-27.083.985,31
Maximum	-17.615.859,95	Maximum	-22.865.615,81
Range Width	3.068.643,53	Range Width	4.218.369,50
Mean Std. Error	4.487,37	Mean Std. Error	6.210,29

Figuur 5.20 – Statistische gegevens van de Monte Carlo simulatie. Het linkse gedeelte geeft de waarden voor de NCW over 50 jaren, het rechtse gedeelte behandelt de NCW over 100 jaren.

Finaal kan men a.d.h.v. de Monte Carlo simulatie ook onderzoeken wat de invloed is van iedere veronderstelling uit tabel 5.31. Dit is mogelijk a.d.h.v. de *sensitivity charts* in figuur 5.21 voor de NCW over 50 jaren en figuur 5.22 voor de NCW over 100 jaren. Wanneer men deze figuren beschouwt, valt op dat de spreiding in de NCW voornamelijk veroorzaakt wordt door de spreiding in de jaarlijkse groeivoet van tweewielers (respectievelijk -53,3% en -56,7% voor de NCW over 50 en 100 jaren). Hierbij geldt dat hoe hoger de groeivoet is, hoe groter de negatieve waarde van de NCW. Ook de groeivoet van de personenwagens en de lichte vrachtwagens hebben een substantieel negatief effect. Van de onderzochte variabelen heeft enkel de initiële investeringskost van de Daalbroekstraat een positief effect: hoe hoger deze kost, hoe hoger de NCW.



Figuur 5.21 – Sensitivity chart voor de NCW over 50 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.



Figuur 5.22 – Sensitivity chart voor de NCW over 100 jaren, zoals berekend door Crystal Ball.

Hoofdstuk 6 Conclusies

In het laatste hoofdstuk van deze masterproef zullen de belangrijkste resultaten van het onderzoek besproken worden. In paragraaf 6.1 zal de focus liggen op de eerste twee deelvragen, waarbij bepaald werd welke ecologische en economische factoren meegenomen werden in de analyse. Paragraaf 6.2 richt zich dan weer op de derde en vierde deelvraag, die beantwoord werden om te bepalen in welke mate de geïdentificeerde factoren beïnvloed zouden worden door de sluiting van de Daalbroekstraat en om te bepalen of de baten van de afsluiting groter zijn dan de bijhorende kosten. Eindigen doet dit hoofdstuk met een aanbeveling voor verder onderzoek.

6.1. Ecologische en economische effecten

De eerste deelvraag, "*Welke ecologische impact heeft het gebruik van de Daalbroekstraat op het Nationaal Park Hoge Kempen?*", werd beantwoord in hoofdstuk 2. Beginnen deed dit hoofdstuk met een literatuurstudie. Deze literatuurstudie maakte duidelijk dat de laatste decennia heel wat onderzoek gevoerd is naar de ecologische effecten van wegen en verkeer. Dit onderzoek wordt samengebracht onder de noemer *road ecology*, het onderzoeksdomein dat zich toelegt op de relatie tussen de natuurlijke omgeving en het wegennetwerk. Het belang van road ecology is niet te onderschatten in de moderne wereld, gezien de grote wegendichtheid in vele regio's. Voor Vlaanderen bedraagt deze wegendichtheid 4,43 km weg per km², wat bij de hoogste waarden van Europa is.

Wegen en wegverkeer brengen heel wat effecten voor de natuurlijke omgeving met zich mee. Deze effecten kunnen ingedeeld worden in drie categorieën, die elkaar deels overlappen: (1) impact op vegetatie, (2) impact op fauna en (3) fysische, chemische en atmosferische effecten. Hoewel er zeer veel effecten zijn, zijn niet alle effecten van toepassing op de specifieke relatie tussen de Daalbroekstraat en het NPHK. Daarenboven zijn sommige effecten zo omvangrijk dat ze slechts in beperkte mate of helemaal niet onderzocht kunnen worden in een masterproef, die beperkt is in tijd en informatie. Bijgevolg werd een selectie gemaakt van de ecologische effecten die meegenomen werden in het verdere onderzoek, gebaseerd op de literatuurstudie en een observatie ter plekke. De opgenomen ecologische effecten zijn: (1) nettoverlies van biotoop voor vegetatie en leefomgeving voor fauna, (2) barrière-effect met versnippering van het leefgebied, (3) wegonwijking door fauna t.g.v. geluidshinder, (4) emissies van zware metalen, stikstofoxiden en fijn stof en (5) de verspreiding van strooizouten.

In hoofdstuk 3 werd vervolgens de tweede deelvraag beantwoord: *Welke economische effecten zullen optreden door een sluiting van de Daalbroekstraat?* In overleg met Inge Mayeres, een deskundige van VITO, werden vijf economische effecten geïdentificeerd: (1) verandering in brandstofverbruik, (2) verandering in reistijden, (3) verandering in infrastructuurkosten, (4) verandering in aantal ongevallen en (5) impact op de menselijke gezondheid. Omdat heel wat van deze effecten afhankelijk zijn van de verkeersintensiteit op de Daalbroekstraat, werd in hoofdstuk 3 tevens een verkeerstelling uitgevoerd. Deze telling bracht aan het licht dat de Daalbroekstraat in het nulalternatief dagelijks gemiddeld 2.313 voertuigen te verwerken krijgt, waarvan de overgrote

meerderheid (95,19%) uit personenwagens bestaat. Deze voertuigen verplaatsen zich tussen vijf paar van knooppunten die in het onderzoeksgebied gelegen zijn: (1) Zutendaal – Rekem, (2) Zutendaal – Neerharen, (3) Bessemer – Opgrimbie, (4) Bessemer – Rekem en (5) Bessemer – Neerharen (paragraaf 3.3). Op basis van persoonlijke inzichten werd de verkeersstroom op de Daalbroekstraat over deze vijf routes, die beïnvloed worden door de sluiting van de Daalbroekstraat, verdeeld. 42,11% wordt verondersteld zich tussen Zutendaal en Rekem te verplaatsen, terwijl 21,05% aan het paar Zutendaal – Neerharen toegewezen werd. Ook het paar Bessemer – Opgrimbie is verantwoordelijk voor 21,05%. Dit percentage werd gehalveerd voor het paar Bessemer – Rekem. De overige 5,26% van de voertuigen verplaatst zich tussen Bessemer en Neerharen.

6.2. Kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse

Nadat bepaald werd welke ecologische en economische effecten van belang zijn en wat de verkeerssituatie in het nulalternatief inhoudt, kon overgegaan worden tot de derde en vierde deelvraag. In hoofdstuk 4 werd besloten om gebruik te maken van een kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse om een antwoord te leveren op de derde deelvraag, d.i. *"In welke mate doen zich veranderingen voor bij de in de eerste deelvraag geïdentificeerde ecologische invloeden en de in de tweede deelvraag geïdentificeerde economische effecten ten gevolge van een sluiting van de Daalbroekstraat?"* Een kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse is een evaluatiemethode die vanuit maatschappelijk standpunt een overzicht geeft van de voor- en nadelen van alternatieve projecten. Hierbij worden zoveel effecten als mogelijk in monetaire termen uitgedrukt. De effecten waarvoor dit onmogelijk is, door een tekort aan informatie of tijd, worden zo goed mogelijk kwalitatief besproken. A.d.h.v. de uitkomst van de monetaire analyse, de NCW, gecombineerd met de kwalitatieve analyse kan vervolgens een antwoord geleverd worden op de vierde deelvraag: *"Wat is de verhouding tussen de ecologische en economische gevolgen van de sluiting van de Daalbroekstraat?"*.

In hoofdstuk 5 werd de feitelijke kwalitatieve maatschappelijke kosten-batenanalyse uitgevoerd. De effecten die opgenomen werden in de monetaire analyse (paragraaf 5.3.1), en dus in de berekening van de NCW, zijn: (1) verandering in brandstofverbruik, (2) verandering in reistijden, (3) verandering in infrastructuurkosten, (4) verandering in aantal ongevallen, en (5) milieu- en gezondheidseffecten van emissies van zware metalen, NO_x en PM. De overige effecten werden enkel kwalitatief besproken (paragraaf 5.3.2).

6.2.1. Monetaire analyse

De monetaire analyse leverde een NCW op van -19.310.681,08 euro voor een analyseperiode van 50 jaren en een NCW van -25.309.734,16 euro voor een analyseperiode van 100 jaren. Dit betekent dat de geactualiseerde kosten van het project groter zijn dan de geactualiseerde baten en het dus niet aangewezen is om het project uit te voeren.

De niet-geactualiseerde kosten van het projectalternatief worden weergegeven in figuur 5.10 en tabel 5.27. Hierbij valt onmiddellijk op dat de kosten ieder jaar veel groter zijn dan de baten. De

drijvende kracht achter deze negatieve NCW zijn in grote mate de tijdskosten. Deze kosten werden in paragraaf 5.3.2.2 opgesplitst in de interne en externe tijdskosten. Wanneer men figuur 5.6 beschouwt, wordt duidelijk dat het de externe tijdskosten zijn die voor de hoge tijdskosten zorgen. De interne tijdskosten zijn immers relatief klein door het feit dat heel wat oorspronkelijke gebruikers van de Daalbroekstraat tijd winnen door een andere weg te nemen in het projectalternatief (tabel 5.10). De externe tijdskosten van hun kant zijn echter zo groot dat ze verantwoordelijk zijn voor ongeveer twee derde van de totale jaarlijkse kosten (zie figuur 5.10).

De tijdskosten zijn echter niet de enige belangrijke kosten. Ook de kosten van het extra brandstofverbruik, het aantal extra ongevallen en de emissies van schadelijke polluenten dragen bij tot de negatieve NCW (figuur 5.10). Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze kosten veel kleiner zijn dan de tijdskosten. Zo bedragen de extra ongevallenkosten minder dan de helft van de tijdskosten. De brandstofkosten en de milieu- en gezondheidskosten bedragen respectievelijk zelfs maar één tweede en één vierde van de ongevallenkosten. Wat betreft de milieu- en gezondheidskosten is het voornamelijk de negatieve invloed op de menselijke gezondheid van de emissies van PM_{2,5} ter hoogte van de alternatieve routes die bijdraagt aan deze positieve milieu- en gezondheidskosten (figuur 5.9).

Tot slot is er ook nog één economisch effect waarvoor het projectalternatief negatieve kosten oftewel baten met zich meebrengt: de infrastructuurkosten. De infrastructuurkosten die in het projectalternatief wegvallen op de Daalbroekstraat zijn immers bijna zes keer zo groot als de extra infrastructuurkosten op de alternatieve routes (figuur 5.7). Wanneer figuur 5.10 beschouwd wordt, wordt echter duidelijk dat deze vermindering in infrastructuurkosten slechts een voetnoot is in het grotere geheel.

Hoewel de NCW duidelijk negatief is, werd in paragraaf 5.4 een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Er was immers toch een zekere mate van onzekerheid m.b.t. enkele variabelen (tabel 5.31). Deze sensitiviteitsanalyse veranderde de conclusie van de monetaire analyse echter niet: de NCW is met 100% zekerheid kleiner dan nul (figuren 5.18 en 5.19). Dit was natuurlijk te verwachten, aangezien het voornamelijk economische effecten zijn die opgenomen werden in de monetaire analyse. Het zijn dan ook deze effecten die vroeger de reden waren om de weg aan te leggen. Op dit moment zijn er echter ook andere factoren die een belangrijke rol spelen in het beslissingsproces, zoals de ecologische effecten van de weg. Daarom werd in paragraaf 5.3.3 een kwalitatieve analyse uitgevoerd m.b.t. deze ecologische effecten. De conclusies van deze analyse waren helemaal tegenovergesteld aan die van de monetaire analyse.

6.2.2. Kwalitatieve analyse

In de kwalitatieve analyse werden de volgende effecten besproken: (1) nettoverlies van natuurgebied voor vegetatie en fauna, (2) barrière-effect met versnippering van het leefgebied, (3) wegwontwijking door fauna t.g.v. geluidshinder, (4) de verspreiding van strooizouten en (5) de impact van geluidshinder op de menselijke gezondheid. Wat betreft de eerste vier effecten is het zeer duidelijk dat het projectalternatief te verkiezen is boven het nulalternatief. De verkeersstroom op de Daalbroekstraat werpt in het nulalternatief voor verschillende diersoorten namelijk een

barrière op (figuur 5.16) en oefent o.a. via verkeerslawaaï en de introductie van NaCl (paragraaf 5.3.3.4) een negatieve stress uit op het omliggend ecosysteem. Door de weg af te sluiten, verdwijnt de barrière mogelijk helemaal en zullen dieren geen geluidshinder meer ondervinden (paragraaf 5.3.3.3). Daarenboven worden de twee gebieden ten noorden en ten zuiden van de Daalbroekstraat tot één groter geheel ontsnipperd en kan men de oppervlakte van de weg (ongeveer 30.680 m² inclusief wegbermen) als natuurgebied recupereren. Dit kan een grote impact hebben, gezien de hoge kwaliteit van het omliggende natuurgebied. Deze kwaliteit wordt aangetoond door het feit dat de Daalbroekstraat zowel in een SBZ (figuur 5.13) als VEN-gebieden (figuur 5.14) gelegen is, en doordat het omliggend natuurgebied als biologisch waardevol tot biologisch zeer waardevol bestempeld wordt door de BWK (figuur 5.12) en als kwetsbaar door het natuurrichtplan (figuur 5.15).

Een kanttekening bij deze verbeteringen is het feit dat in het projectalternatief de verkeersstroom op de alternatieve routes toe gaat nemen. Dit betekent dat de kwalitatief besproken ecologische effecten op de Weg naar Zutendaal toe zullen nemen. Deze toename in effecten zal natuurlijk veel minder gewichtig zijn dan de verbeteringen ter hoogte van de Daalbroekstraat. Ook de gezondheidskosten ten gevolge van extra geluidshinder in de woongebieden rondom de alternatieve routes worden verondersteld eerder beperkt te zijn, gezien de relatief kleine toename in verkeer op deze wegen t.o.v. de huidige verkeersstroom (paragraaf 5.3.3.6). Bijgevolg is het o.b.v. de kwalitatieve analyse aangewezen om het project uit te voeren.

6.2.3. Conclusie

Op basis van de monetaire en kwalitatieve analyse zou in deze fase van het onderzoek een antwoord geleverd moeten worden op de centrale onderzoeksvraag:

Zijn de baten van de sluiting van de Daalbroekstraat, gelegen in het Nationaal Park Hoge Kempen, groter dan de bijhorende kosten, wanneer rekening gehouden wordt met zowel de economische als de ecologische gevolgen die deze sluiting met zich meebrengt?

Helaas is het antwoord op deze vraag niet eenvoudig. Op basis van de monetaire analyse zou men het project zeker niet mogen uitvoeren. Hierbij beschouwt men echter enkel economische effecten, wat zeker niet de bedoeling van het onderzoek was. Op basis van de kwalitatieve analyse zou men de weg immers wel moeten afsluiten voor doorgaand verkeer. Er is bijgevolg geen eenduidig antwoord op de centrale onderzoeksvraag. Wel kunnen de beleidsmakers de gevonden NCW afwegen tegenover de positieve ecologische effecten die het project met zich meebrengt. Vinden zij dat de positieve effecten de negatieve NCW rechtvaardigen, dan is het aangewezen om de Daalbroekstraat af te sluiten. Zo nee, dan is het aan te raden om verder onderzoek te doen naar de gevolgen van de afsluiting van de Daalbroekstraat alvorens het project definitief overboord te gooien. Om dit verder onderzoek op gang te helpen, worden in de volgende paragraaf enkele aanbevelingen gedaan.

6.3. Aanbevelingen voor verder onderzoek

Afsluiten doet deze masterproef met verschillende aanbevelingen voor verder onderzoek. In paragraaf 6.3.1 ligt de focus op het rittenpatroon in het onderzoeksgebied. In paragraaf 6.3.2 vervolgens worden aanbevelingen gedaan m.b.t. de kwalitatief besproken effecten. De laatste paragraaf ten slotte behandelt de in monetaire termen gewaardeerde effecten.

6.3.1. Aanbevelingen m.b.t. het rittenpatroon

Gedurende deze masterproef werden verschillende veronderstellingen gemaakt om het onderzoek in goede banen te leiden. Deze veronderstellingen leiden er echter toe dat de beoordeling van de effecten niet helemaal overeenstemt met de realiteit. Een voorbeeld hiervan is het rittenpatroon in het onderzochte wegennetwerk, dat in hoofdstuk 3 zeer theoretisch behandeld werd. Zo werd het rittenpatroon van de gebruikers van de Daalbroekstraat bepaald a.d.h.v. het kortste pad-algoritme (paragrafen 3.3.2 en 3.3.3). Vervolgens werd de verkeersstroom op deze weg naar persoonlijke inzichten verdeeld over de geïdentificeerde routes (paragraaf 3.3.4). Deze methode is vanzelfsprekend niet 100% accuraat. Een beter inzicht in dit rittenpatroon kan men verkrijgen door o.a. een bevraging van de gebruikers van de Daalbroekstraat. De resultaten die men dan bekomt, leiden mogelijk tot een verbetering in de berekening van de NCW, vermits heel wat gemonetariseerde effecten hiervan afhankelijk zijn.

Ook een verkeerstelling op de alternatieve routes kan leiden tot een betere projectbeoordeling. Zo kan men bijvoorbeeld een betere inschatting geven van het ongevalrisico in het projectalternatief wanneer de intensiteiten op deze routes gekend zijn. Ook enkele kwalitatieve effecten zouden op die manier beter besproken kunnen worden. Denk hierbij maar aan de aanwezigheid van het barrière-effect op de Weg naar Zutendaal en de geluidshinder voor mensen in woongebieden rondom de Weg naar Zutendaal en de gewestwegen.

6.3.2. Aanbevelingen m.b.t. de kwalitatief besproken effecten

In deze masterproef werden heel wat effecten enkel kwalitatief besproken door een beperking in tijd en gegevens. Ideaal zou zijn wanneer al deze effecten monetair gewaardeerd kunnen worden zodat de NCW van het project een vollediger beoordeling van het project oplevert. Natuurlijk is dit niet mogelijk voor alle effecten. Daarom is het aangewezen om in eerste instantie bepaalde effecten grondiger kwalitatief te bespreken. Hierbij wordt in het bijzonder aan drie effecten gedacht: het barrière-effect, wegentwijking door geluidshinder en de verspreiding van strooizouten. Betreffende de eerste twee effecten kan het interessant zijn om diepgaander te focussen op bepaalde diersoorten die belangrijk zijn voor het NPHK. Een aanzet hiervoor kan o.a. gevonden worden in de beschermde soorten van de SBZ 'Mechelse heide en vallei van de Ziepbeek', zoals vooropgesteld door de *Vogelrichtlijn* en de *Habitatrichtlijn* (Europese Commissie, 2002).

Wat betreft de impact van strooizouten was het de bedoeling om reeds in deze masterproef een grondiger onderzoek te doen naar de aanwezigheid van zouten in de bodem rondom de

Daalbroekstraat. Dit werd echter verhinderd door de zachte winter van dit jaar, waardoor er amper zout gestrooid werd. Bijgevolg dient dit effect nog nauwkeuriger onderzocht te worden. Dit kan door verschillende chemische bodemeigenschappen (zoals de pH-waarde en de kationuitwisselingscapaciteit) en microbiële eigenschappen (zoals de microbiële biomassa, de respiratieactiviteit en de potentiële nitrificatiecapaciteit) te onderzoeken. Dit dient één keer in de herfst en één keer in de lente te gebeuren, zodat zowel kortetermijneffecten als effecten op middellange termijn bestudeerd kunnen worden (Hofman, Trávníčková, & Anděl, 2012). De stalen dienen op vier plaatsen genomen te worden: één controlepunt vrij van strooizouten op 50 m bergopwaarts, en drie punten (met verschillende vegetatiebedekking) waar de effecten van strooizouten verwacht worden op 10 m, 30 m en 50 m bergafwaarts (Černohlávková, Hofman, Bartoš, Sáňka, & Anděl, 2008). Deze stalen dienen vervolgens op een correcte manier geïnterpreteerd te worden. Zo wijst een lage microbiële massa op een stresssituatie, terwijl hoge respiratieactiviteit op een verhoogde energievraag van bodemmicro-organismen en een hogere onderhoudsademhaling veroorzaakt door stresscondities wijst (Černohlávková et al., 2008).

Tot slot kunnen ook de in hoofdstuk 2 geëlimineerde ecologische effecten tot nieuwe inzichten leiden. Een voorbeeld hiervan is de hinder van fauna door trillingen. Hoewel nog maar weinig gepubliceerd is m.b.t. dit ecologisch effect en het in een MER zelfs volledig buiten beschouwing gelaten wordt, wordt de laatste tijd steeds meer en meer aangenomen dat trillingshinder een grotere impact heeft dan vroeger gedacht werd. Bijgevolg kan het interessant zijn om de trillingshinder in de nabijheid van de Daalbroekstraat te onderzoeken. Ook wat betreft roadkill kan het wetenswaardig zijn om de situatie op de Daalbroekstraat te bestuderen. In deze masterproef werd roadkill buiten beschouwing gelaten omdat in de literatuur gesteld werd dat het geen schadelijke gevolgen heeft voor de populatiegrootte van de meeste diersoorten. Dit neemt echter niet weg dat roadkill een belangrijke doodsoorzaak is voor verschillende diersoorten. Op de Daalbroekstraat zal dit zeker niet anders zijn, getuige het aandeel aanrijdingen van wilde dieren in de hoeveelheid geregistreerde ongevallen op deze weg voor het jaar 2013 (paragraaf 5.3.3.2). Bijgevolg kan ook een diepgaander onderzoek van roadkill op de Daalbroekstraat interessante inzichten leveren.

6.3.3. Aanbevelingen m.b.t. de monetaire analyse

Drie aanbevelingen kunnen gedaan worden m.b.t. de monetaire analyse. De eerste aanbeveling houdt verband met de berekening van de ongevallenkosten. In de afwezigheid van marginale kosten werden deze kosten in paragraaf 5.3.2.4 berekend o.b.v. de gemiddelde sociale ongevallenkosten voor België voor het jaar 2012 (tabel 5.21). Deze methode is echter niet helemaal correct. Gemiddelde kosten geven namelijk weer hoeveel kosten iedere gebruiker gemiddeld met zich meebrengt, berekend per vkm. Wanneer men wenst te berekenen hoeveel extra kosten één extra vkm bovenop de huidige hoeveelheid vkm met zich meebrengt, is het dus niet correct om de gemiddelde kosten te gebruiken. In een dergelijk geval moet men namelijk gebruik maken van de marginale kosten, die weergeven hoeveel kosten één extra vkm met zich meebrengt. Maar zoals gezegd waren geen marginale ongevallenkosten beschikbaar, waardoor de gemiddelde kosten gebruikt dienden te worden. Het is echter aan te bevelen de marginale

ongevallenkosten voor België of Vlaanderen te berekenen. Op die manier bekomt men immers een correctere inschatting van deze kosten.

Een andere optie om de ongevallenkosten te berekenen, is door gebruik te maken van de werkelijke aantallen van de ongevallen op de wegen in het onderzoeksgebied. Door deze aantallen te combineren met de kosten uit tabel 5.20 zou men een inschatting kunnen maken van de ongevallenkosten van het projectalternatief. Hoewel voor de Daalbroekstraat het aantal ongevallen van de voorbije twee jaren gekend was, werd deze methode niet toegepast in deze masterproef. Er waren immers geen gegevens beschikbaar voor het extra aantal ongevallen die op de alternatieve routes zouden gebeuren. Hoewel dit aantal extra ongevallen vanzelfsprekend pas bekend is na de uitvoering van het projectalternatief, zou men deze methode toch toe kunnen passen. Hiervoor dient men echter een vergelijkbare situatie te vinden, waarin een weg gelijkaardig aan de Weg naar Zutendaal en een weg gelijkaardig aan de N77 en N78 een toename in verkeersintensiteit van gelijke grootte te verwerken krijgen. Hoewel in dit onderzoek geen gelijkaardige situatie gevonden werd, kan dit in de toekomst zeker een optie zijn om tot een correctere inschatting te komen.

De tweede aanbeveling heeft betrekking op de berekening van de milieu- en gezondheidskosten in paragraaf 5.3.2.5. Deze kosten werden berekend o.b.v. de MEK weergegeven in tabellen 5.24 en 5.25. Deze MEK bevatten zowel de marginale externe milieukosten als de marginale externe gezondheidskosten, aangezien in de literatuur geen duidelijk onderscheid gemaakt wordt tussen beide typen kosten. De effecten van emissies van schadelijke polluenten op het milieu verschillen echter grondig van de effecten op de menselijke gezondheid. Bijgevolg is het aangewezen om in verder onderzoek enerzijds marginale externe milieukosten en anderzijds marginale externe gezondheidskosten voor Vlaanderen vast te stellen. Wanneer men hierbij dan ook nog eens een onderscheid maakt tussen de plaats van emissie (enerzijds natuurgebieden en anderzijds woongebieden), dan kunnen de milieu- en gezondheidskosten veel accurater berekend worden. Het is namelijk zo dat op de Daalbroekstraat, waar de emissies wegvallen, de milieukosten veel belangrijker zijn dan op de alternatieve routes (op uitzondering van de Weg naar Zutendaal). Voor de gezondheidskosten geldt vanzelfsprekend het omgekeerde, aangezien de alternatieve routes verscheidene woonkernen passeren. Een betere inschatting van deze kosten kan bijgevolg bekomen worden wanneer men verder onderzoek doet naar de marginale externe milieu- en gezondheidskosten.

Een laatste aanbeveling houdt verband met de evoluties van de kosten. In figuur 5.10 is te zien dat sommige kosten sterker evolueren doorheen de tijd dan andere kosten. Vooral de tijdskosten maken tot 2030 een sterke evolutie door (tabel 5.13). Deze evolutie is afhankelijk van de evolutie van het bbp per hoofd gebaseerd op de demografische en economische vooruitzichten van het Federaal Planbureau (Vandresse et al., 2012). Er zijn echter nog andere kosten die mogelijk afhankelijk zijn van het bbp per hoofd. Het belangrijkste voorbeeld hiervan zijn de ongevallenkosten, en meer specifiek de BTB voor het vermijden van een slachtoffer (tabel 5.20). Een persoon is immers meer bereid te betalen om een slachtoffer te vermijden wanneer zijn bbp hoger ligt. Voor deze cijfers waren echter geen evoluties bekend. Om een correcter resultaat te

bekomen, is het bijgevolg aangewezen om in verder onderzoek voor meer variabelen de evolutie doorheen de tijd in beschouwing te nemen, en liefst zo ver mogelijk in de toekomst.

Lijst van geraadpleegde werken

Geraadpleegde literatuur

- Amrhein, C., Strong, J. E., & Mosher, P. A. (1992). Effect of deicing salts on metal and organic-matter mobilization in roadside soils. *Environmental Science & Technology*, 26(4), 703-709. doi: 10.1021/es00028a006
- ANB. (2005). Natuurrichtplan L11a – Hoge Kempen: Achtergronddocument. Brussel: Agentschap voor Natuur en Bos.
- ANB. (2008). Natuurrichtplan L11a – Hoge Kempen: Kaarten. Brussel: Agentschap voor Natuur en Bos.
- Anselin, A., Vermeersch, G., & Devos, K. (z.d.). Over Speciale Beschermingszones, instandhoudingsdoelstellingen, en broedvogelatlas- en monitoringsgegevens: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Anthierens, A., & Heirman, S. (2007). Kennisgevingsnota Project-MER: R4-Zuid (A. W. e. Verkeer, Trans.). Gent: Vlaamse Overheid.
- Asaeda, T., Ca, V. T., & Wake, A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30(3), 413-427. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5)
- Bennett, A. F. (1988). Roadside vegetation: A habitat for mammals at Naringal, southwestern Victoria. *Victorian Naturalist*, 105, 106-113.
- Bennett, A. F. (1991). Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. In D. A. Saunders & R. J. Hobbs (Eds.), *Nature Conservation 2: The Role of Corridors* (pp. 99-117). Chipping Norton: Surrey Beatty.
- Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). Guidelines for community noise. London: World Health Organization.
- Blauwens, G. (1988). *Welvaartseconomie en kosten-batenanalyse*. Deurne: MIM.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weiner, D. L. (2006). *Cost-benefit analysis: concepts and practice* (3rd ed.). Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education.
- Bogemans, J., Neirinckx, L., & Stassart, J. M. (1989). Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea-abies* (L.) sp.). *Plant and Soil*, 113(1), 3-11. doi: 10.1007/bf02181915

- Bongaerts, C., & Nuijens, J. (2009). Gemeentelijk Ruimtelijk Structuurplan Lanaken. Hasselt: Gemeentebestuur Lanaken.
- Bossuyt, M. (2013). MIRA Themabeschrijving Lawaai Vlaamse Milieumaatschappij.
- Bowles, A. E. (1995). Response of wildlife to noise. In R. L. Knight & K. J. Gutzwiller (Eds.), *Wildlife and Recreationists: Coexistence through Management and Research* (pp. 109-156). Washington D.C.: Island Press.
- Buchanan, B. W. (1993). Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. *Animal Behaviour*, 45(5), 893-899. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/anbe.1993.1109>
- Černohlávková, J., Hofman, J., Bartoš, T., Sáňka, M., & Anděl, P. (2008). Effects of road deicing salts on soil microorganisms. *Plant, Soil and Environment*, 54(11), 479-485.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396-406. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Davis, M. A., Grime, J. P., & Thompson, K. (2000). Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, 88(3), 528-534. doi: 10.1046/j.1365-2745.2000.00473.x
- De Brabander, B. (2005). *Investerings in verkeersveiligheid in Vlaanderen: een handleiding voor kosten-batenanalyse*. Tielt: LannooCampus.
- De Knijf, G., De Saeger, S., Vriens, L., Oosterlynck, P., & Paelinckx, D. (2010). De Biologische Waarderingskaart: Wetenschappelijke ondersteuning van het gebiedsgericht beleid. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- De Nocker, L., Michiels, H., Deutsch, F., Lefebvre, W., Buekers, J., & Torfs, R. (2010). Eindrapport - Actualisering van de externe milieuschadetekosten (algemeen voor Vlaanderen) met betrekking tot luchtverontreiniging en klimaatverandering, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA: VITO.
- De Vlieger, I., Schrooten, L., Vanhulsel, M., Degraeuwe, B., & Vankerkom, J. (2011). LIMOBEL Annex 1: E-motion. Brussel: Belgian Science Policy.
- Declerck, K. (2007). *Europees beschermde natuur in Vlaanderen en het Belgisch deel van de Noordzee : habitattypen, dier- en plantsoorten*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Defloor, W., Van Gulck, T., Peymen, J., Van Straaten, D., & Kuijken, E. (2001). Opstellen prioriteitenatlas voor ontsnipperingsmaatregelen op het transport infrastructuurnetwerk. Brussel: Instituut voor Natuurbehoud.

- Delhaye, E., De Ceuster, G., & Maerivoet, S. (2010). Internalisering van externe kosten van transport in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA. Leuven: Transport & Mobility Leuven.
- Devos, K., Anselin, A., & Vermeersch, G. (2004). Een nieuwe Rode Lijst van de Broedvogels in Vlaanderen (versie 2004): Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- Ecorem n.v. (2012). Milieueffectenrapport Gewestelijk RUP "Afbakening Regionaalstedelijk Gebied Leuven". Aartselaar: Ecorem n.v.
- Edwards-Jones, G., Davies, B., & Hussain, S. S. (2009). *Ecological Economics: An Introduction*. Cornwall: Wiley-Blackwell.
- Eijgenraam, C. J. J., Koopmans, C. C., Tang, P. J. G., & Verster, A. C. P. (2000). Evaluatie van grote infrastructuurprojecten: Leidraad voor kosten-baten analyse (Onderzoeksprogramma Economische Effecten Infrastructuur): Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken.
- Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad van 3 maart 2003 tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG betreffende de kwaliteit van benzine en dieselbrandstof, 2003/17/EG C.F.R. (2003).
- Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad van 20 mei 2008 betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa, 2008/50/EG C.F.R. (2008).
- Europese Commissie. (2002). Werkdocument van de Commissie over Natura 2000. Brussel: Commissie van de Europese Gemeenschappen.
- Europese Commissie. (2009a). Natura 2000. In Europese Commissie (Ed.).
- Europese Commissie. (2009b). *Natura 2000 – de natuur van Europa: ook voor u*. Luxemburg: Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen.
- Eurostat. (2014). *Energy statistics - gas and electricity prices - new methodology from 2007 onwards*. Retrieved from: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/database>
- Farmer, A. M. (1993). The effects of dust on vegetation—a review. *Environmental Pollution*, 79(1), 63-75. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(93\)90179-R](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(93)90179-R)
- FOD Economie. (2005). *Dataset verkeer en vervoer - Lengte van het wegennet in km*. Retrieved from: http://statbel.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/verkeer_vervoer/Lengte_wegen_net.jsp

- FOD Economie. (2011). *Dataset bodemgebruik. België, gewesten en gemeenten (1834-2012)*. Retrieved from: http://statbel.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/environnement/downloadbare_bestanden/bodemgebruik.jsp
- FOD Economie. (2013a). *Afgelegde afstanden in het verkeer*. Retrieved from: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/verkeer_vervoer/verkeer/afstand/#.U3euOIt2n
- FOD Economie. (2013b). *Verkeersongevallen dossier 2012*. Retrieved from: http://statbel.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/verkeer_vervoer/verkeersongevallen_dossier_2012.jsp
- Forman, R. T. T. (1998). Road ecology: A solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology*, 13(4), III-V. doi: 10.1023/a:1008036602639
- Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-+. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207
- Forman, R. T. T., & Deblinger, R. D. (1998). The ecological road effect zone for transportation planning, and a Massachusetts highway example. In G. L. Evink, P. Garrett, D. Zeigler & J. Berry (Eds.), *Wildlife Ecology and Transportation* (pp. 78-96). Tallahassee, Florida: Florida Department of Transportation.
- Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., . . . Winter, T. C. (2003). *Road Ecology: Science and Solutions*. Washington: Island Press.
- Gelbard, J. L., & Belnap, J. (2003). Roads as conduits for exotic plant invasions in a semiarid landscape. *Conservation Biology*, 17(2), 420-432. doi: 10.1046/j.1523-1739.2003.01408.x
- Harris, L. D., & Scheck, J. (1991). From implications to applications: the dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity. In D. A. Saunders & R. J. Hobbs (Eds.), *Nature Conservation 2: The Role of Corridors* (pp. 189-220). Chipping Norton: Surrey Beatty.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9th ed.). Boston: McGraw-Hill Education.
- Hofman, J., Trávníčková, E., & Anděl, P. (2012). Road salts effects on soil chemical and microbial properties at grassland and forest site in protected natural areas. *Plant, Soil and Environment*, 58(6), 282-288.
- Hofstra, G., & Hall, R. (1971). Injury on roadside trees : leaf injury on pine and white cedar in relation to foliar levels of sodium and chloride. *Canadian Journal of Botany*, 49, 613-622.

- Hoornaert, B. (2008). Totale sociale ongevallenkosten, Rapport in opdracht van de FOD Mobiliteit en Vervoer. Brussel: Federaal Planbureau.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., . . . Johnson, C. A. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I tot the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: IPCC.
- IEA. (2013). *World Energy Outlook 2013*: IEA.
- Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., . . . Wandall, B. (2003). *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. Utrecht: KNNV.
- Jones-Lee, M. W. (1992). Paternalistic altruism and the value of statistical life. *The Economic Journal*, 80-90.
- Jonkers, S., & Vanhove, F. (2010). CAR-Vlaanderen V2.0: Handleiding. Leuven: Transport & Mobility Leuven.
- Kinderdorp Molenberg moet over drie jaar weg zijn. (2008, 1/10/2008). *Het Belang van Limburg*. Retrieved from <http://www.hbvl.be/limburg/lanaken/kinderdorp-molenberg-moet-over-drie-jaar-weg-zijn.aspx>
- Kleijn, D. (2008). Effect van geluid op wilde soorten - implicaties voor soorten betrokken bij de aanwijzing van Natura 2000 gebieden. Wageningen: Alterra.
- Krycer bvba. (2009). ViaGraph Analyseprogramma: Gebruikshandleiding. Ternat: Krycer bvba.
- Kuettel, D. A., Sonntag, R. C., Crovetto, J., Becker, Y., Jaekel, J. R., & Satanovsky, A. (2000). *Noise and Texture on PCC Pavements - Results of a Multi-State Study*. Madison: Wisconsin Department of Transportation.
- Lee, C. S. Y., & Fleming, G. G. (1996). Measurement of Highway-Related Noise. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Lee, M. A., Davies, L., & Power, S. A. (2012). Effects of roads on adjacent plant community composition and ecosystem function: An example from three calcareous ecosystems. *Environmental Pollution*, 163(0), 273-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.038>
- Leh, H. O. (1990). Investigations on health conditions of street trees after discontinued use of de-icing salts on streets in Berlin. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 42, 134-142.

- Liddle, M. (1997). *Recreation ecology: The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism*. London: Chapman and Hall.
- Mader, H. J. (1984). Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biological Conservation*, 29(1), 81-96. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207\(84\)90015-6](http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207(84)90015-6)
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, And Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: IPCC.
- MER. (2011). Eindrapport Richtlijnenboek discipline geluid en trillingen. Brussel: Vlaamse Overheid.
- Milieurapport Vlaanderen. (2011). *Dataset ruimtegebruik door transportnetwerk*. Retrieved from: <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/MIRA-T/sectoren/transport/ruimtegebruik-door-transport/ruimtegebruikdoor-transportnetwerk/>
- Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2012). *Living in the Environment* (17th ed.). Australia: Brooks/Cole.
- Nicodème, C., Diamandouros, K., Díez, J., Durso, C., Brex, C., & Metushi, S. (2013). ERF 2012 European Road Statistics. Brussel: ERF.
- Nuijens, J., Van Den Bosch, J., & Gilissen, J. (2013). Heel de Hoge Kempen: Strategisch project in het Vlaams Ruimtelijk beleid: Projectbureau Nationaal Park Hoge Kempen.
- Ochelen, S., & Putzeijs, B. (2008). Milieubeleidskosten: begrippen en berekeningsmethoden (N. e. E. Departement Leefmilieu, Trans.). Brussel: Vlaamse Overheid.
- OECD. (2013). *Energy Prices and Taxes, Volume 2013 Issue 3*: OECD.
- Oud-Rekem is Mooiste Dorp van Vlaanderen. (2008, 29/05/2008). *De Standaard*. Retrieved from <http://www.standaard.be/cnt/5k1shu42>
- Overheid koopt Molenberg voor goedkoop toerisme. (2006, 18/12/2006). *Het Belang van Limburg*. Retrieved from <http://www.hbvl.be/Archief/guid/overheid-koopt-molenberg-voor-goedkoop-toerisme.aspx?artikel=201551a3-3369-4101-8e39-d6b9eda40113>
- Pearce, D., Atkinson, G., & Mourato, S. (2006). *Cost-Benefit Analysis and the Environment: recent developments*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Proost, S., & Rousseau, S. (2007). *Inleiding tot de milieueconomie* (2nd ed.). Leuven: Acco.
- Provincie Limburg. (2011a). Gemeentelijke fiches demografie: gemeente Lanaken: Provincie Limburg.

- Provincie Limburg. (2011b). Gemeentelijke fiches demografie: gemeente Maasmechelen: Provincie Limburg.
- Provincie Limburg. (2011c). Gemeentelijke fiches demografie: gemeente Zutendaal: Provincie Limburg.
- Richtlijn van de Raad van 2 april 1979 inzake het behoud van de vogelstand, 79/409/EEG C.F.R. (1979).
- Richtlijn van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna, 92/43/EEG C.F.R. (1992).
- Reid, L. M., & Dunne, T. (1984). Sediment Production From Forest Road Surfaces. *Water Resources Research*, 20(11), 1753-1761. doi: 10.1029/WR020i011p01753
- Reijnen, R., Foppen, R., Braak, C. T., & Thissen, J. (1995). The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied Ecology*, 32(1), 187-202.
- RLKM vzw. (2011). Landschapskrant najaar 2011: editie Nationaal Park Hoge Kempen. Genk: RLKM vzw.
- Rodts, J., Holsbeek, L., & Muyldermans, S. (1998). *Dieren onder onze wielen: fauna en wegverkeer*. Brussel: VUBPRESS.
- Schauvliege, J. (2010). *Beleidsbrief Leefmilieu en Natuur 2010-2011*. Brussel: Vlaams Parlement
Retrieved from
http://www.jokeschauvliege.be/sites/jschauvliege/files/Beleidsnota_leefmilieu%20en%20Natuur.pdf.
- Sijm, J., van der Welle, A., Tieben, B., Hof, B., & Kocsis, V. (2013). Naar een breder afwegings- en reguleringskader voor investeringen in interconnectoren: de Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.
- Sinnadurai, S. (1981). High-pressure sodium street lights affect crops in Ghana. *World Crops*, 33(6), 120-122.
- Slezakova, K., Castro, D., Pereira, M. C., Morais, S., Delerue-Matos, C., & Alvim-Ferraz, M. C. (2010). Influence of Traffic Emissions on the Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Outdoor Breathable Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association (Air & Waste Management Association)*, 60(4), 393-401. doi: 10.3155/1047-3289.60.4.393
- Spellerberg, I. F. (1998). Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology and Biogeography*, 7(5), 317-333. doi: 10.1046/j.1466-822x.1998.00308.x

- T. N. S. Opinion & Social. (2011). *Climate Change Special Eurobarometer 372, Wave EB75.4*. Brussels: European Commission.
- Trombulak, S. C., & Frissell, C. A. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30. doi: 10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x
- Usher, M. B. (1988). Biological invasions of nature reserves: A search for generalisations. *Biological Conservation*, 44(1-2), 119-135. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207\(88\)90007-9](http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207(88)90007-9)
- Van De Genachte, G., Bakx, N., De Coster, K., Lambrechts, J., Indeherberg, M., Putzeys, G., . . . Mentens, J. (2007). *Richtlijnenboek Wegen* (N. e. E. Departement Leefmilieu, Trans.). Brussel: Vlaamse Overheid.
- Van Steertegem, M. (2005). *MIRA-T 2005: Milieurapport Vlaanderen: thema's*. Leuven: Vlaamse Milieumaatschappij.
- Vandresse, M., Gusbin, D., Hertveldt, B., & Hoornaert, B. (2012). *Vooruitzichten van de transportvraag in België tegen 2030*. Brussel: Federaal Planbureau.
- Vanherle, K., Heyndrickx, C., Liebens, J., & Grispen, R. (2011). *Opmaak MKBA: onderzoek naar de economische en maatschappelijke impact van een nieuwe verbinding van Haspengouw met de E40*. Leuven: Transport & Mobility Leuven.
- Vercayie, D., Herremans, M., Verbeylen, G., Verbelen, D., Lambrechts, J., Smets, L., . . . Vanreusel, W. (2012). *Monitoring van verkeersslachtoffers langs Vlaamse wegen: "Dieren onder de wielen"*. België: Vlaamse Overheid - Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Natuurpunt Studie vzw en Vogelbescherming Vlaanderen vzw.
- Vertonghen, R., & Van Rompuy, V. (1994). *Sociaal-economische kosten-batenanalyse: evaluatie van investeringsprojecten in de publieke sector* (3rd ed.). Leuven: Acco.
- VITO. (z.d.). *MIMOSA of de koppeling van een verkeersstroommodel met een emissiemodel*. Mol: VITO.
- Decreet van 21 oktober 1997 betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu, 1998036441 C.F.R. (1997).
- Decreet van 18 mei 1999 houdende de organisatie van de ruimtelijke ordening, Titel II, 1999035652 C.F.R. (1999).
- Vriens, L., Bosch, H., & De Knijf, G. (2011). *De biologische waarderingskaart : biotopen en hun verspreiding in Vlaanderen het het Brussels Hoofdstedelijk Gewest*. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

Way, J. M. (1977). Roadside verges and conservation in Britain: A review. *Biological Conservation*, 12(1), 65-74. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207\(77\)90058-1](http://dx.doi.org/10.1016/0006-3207(77)90058-1)

Wesemann, P. (2000). Economic evaluation of road safety measures: contribution to the 117th ECMT Round Table, 26 and 27 October 2000, Paris *SWOV rapport / Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid [Leidschendam] - Leidschendam; vol. D-2000- 16E* (pp. 39). Leidschendam: Institute for Road Safety Research.

Geraadpleegde websites

<http://www.ruimtevlaanderen.be/NL/Beleid/Planning/Plannen/Bestemmingsplan>, geraadpleegd op 17 februari 2014.

<http://www.rlkm.be/nl/hoge-kempen/algemeen/>, geraadpleegd op 19 februari 2014.

<http://www.bedrijventerreinenlimburg.be/fb111nrac600iwu1att40.aspx>, geraadpleegd op 27 december 2013.

<http://www.bedrijventerreinenlimburg.be/fb111knfc600czv1att99.aspx>, geraadpleegd op 27 december 2013.

<http://geo-vlaanderen.agiv.be/geo-vlaanderen/bwk/#BWK>, geraadpleegd op 20 november 2013.

<http://geo-vlaanderen.agiv.be/geo-vlaanderen/natura2000/#>, geraadpleegd op 20 november 2013.

<http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/geo-vlaanderen/ven/>, geraadpleegd op 20 november 2013.

http://www.natuurenbos.be/nl-BE/Natuurbeleid/Natuur/VEN_en_IVON/Inleiding.aspx, geraadpleegd op 19 november 2013.

<http://www.ecoscore.be/hoe-bereken-je-de-co2-uitstoot-uit-het-brandstofverbruik>, geraadpleegd op 16 april 2014.

<http://www.wegenenverkeer.be/taken-en-bevoegdheden/winterdienst.html>, geraadpleegd op 18 mei 2014.

<http://www.wegenenverkeer.be/winterdienst/dooizouten.html>, geraadpleegd op 18 mei 2014.

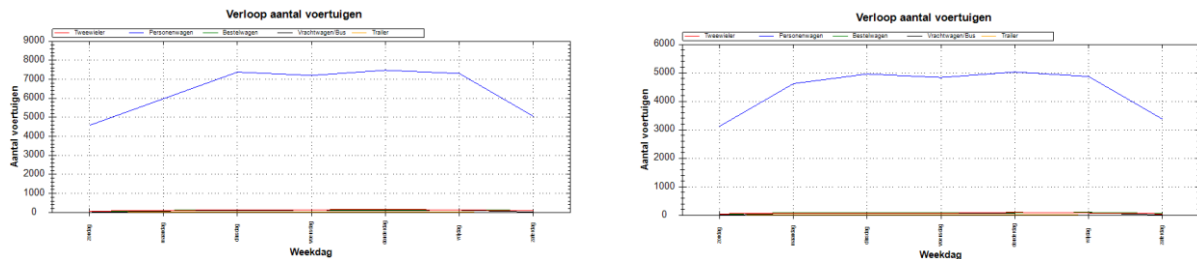
<http://bestat.economie.fgov.be/BeStat/BeStatMultidimensionalAnalysis;jsessionid=00007HsD3ZHs6qcof-Z9nAo5Ydm:13rvc5338>, geraadpleegd op 15 maart 2014.

<http://www.tmleuven.be/methode/tremove/home.htm>, geraadpleegd op 10 april 2014.

Bijlagen

Bijlage 1: Verkeerstellingen

Hoewel de telling in de Daalbroekstraat plaatsvond van maandag 4 november 2013 om 18h02 tot maandag 25 november 2013 om 17h28 werd ervoor geopteerd om niet deze volledige periode te analyseren. Deze periode bevat namelijk 11 november, de dag waarop Wapenstilstand gevierd wordt. Uit de resultaten bleek dat deze feestdag een redelijke impact op de telgegevens had, aangezien op die dag veel minder voertuigen gebruik maakten van de Daalbroekstraat dan op een gewone werkdag het geval is. Bijgevolg werd besloten om de telling te beperken tot de periode van maandag 11 november 2013 om 17h28 tot maandag 25 november 2013 om 17h28, tevens de eindtijd van de volledige telperiode. Op deze manier wordt de invloed van 11 november aanzienlijk gereduceerd tot een bijna verwaarloosbaar deel, en zullen de verdere berekeningen toch nog op een voldoende grote periode gebaseerd zijn.



Figuur B.1 – Verloop van het aantal voertuigen. Beide grafieken geven het aantal geregistreerde voertuigen weer voor iedere dag van de week, gaande van zondag uiterst links tot zaterdag uiterst rechts. In de linkse grafiek worden deze gegevens weergegeven voor de volledige analyseperiode (van 4 tot 25 november), terwijl de rechtse grafiek opgesteld is voor de verkorte periode van 11 tot 25 november. In de linkse grafiek valt op dat het aantal personenwagens (blauwe lijn) op maandag veel lager ligt in vergelijking met het aantal personenwagens op alle andere werkdagen, terwijl dit verschil in de rechtse grafiek enorm gereduceerd is tot een bijna verwaarloosbare hoeveelheid. Eenzelfde conclusie kan getrokken worden voor de andere voertuigtypen, hoewel dit niet duidelijk is in de bovenstaande grafieken. De kortere analyseperiode, waarin 11 november voor een groot gedeelte buiten beschouwing gelaten wordt, levert bijgevolg de beste basis voor de verdere berekeningen.

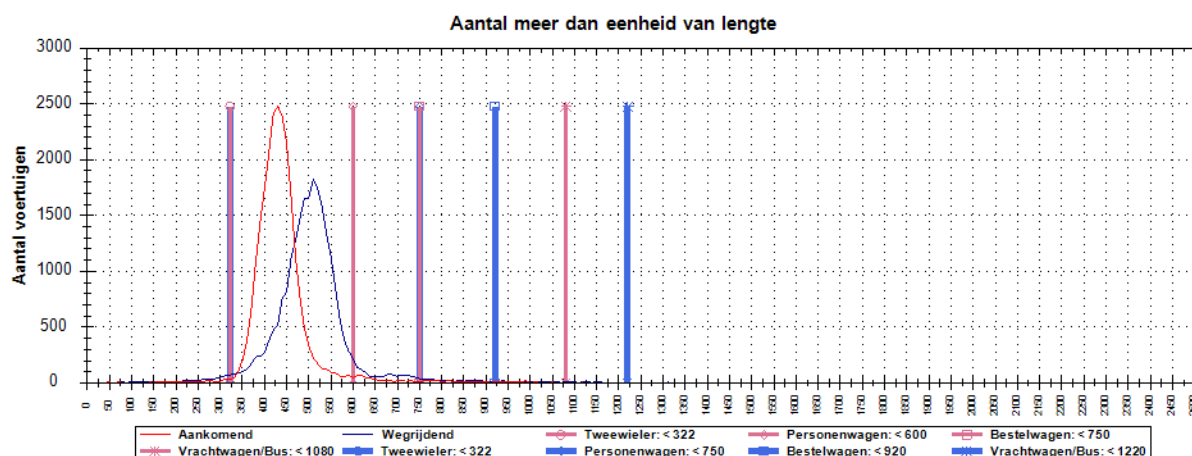
De verkeerstelling maakte een onderscheid tussen vijf verschillende voertuigklassen: (1) tweewielers, d.i. brommers en motoren, met een fysieke lengte kleiner dan 2,5 m, (2) personenwagens, met een fysieke lengte kleiner dan 5,2 m, (3) bestelwagens en lichte vrachtwagens, met een fysieke lengte tot 9 m, (4) vrachtwagens/bussen, met een fysieke lengte tot 12 m, en (5) trailers, d.i. zeer grote vrachtwagens – o.a. met aanhangwagens – met een fysieke lengte groter dan 12 m.

Voordat verdergegaan kan worden naar de resultaten van de telling, moet één zaak nog verklaard worden. Uit de eerste resultaten van de telling bleek dat de gegevens in beide rijrichtingen redelijk goed met elkaar overeenkwamen. Enkel m.b.t. de voertuigklasse tweewielers was er een groot verschil tussen beide rijrichtingen. Het aantal tweewielers lag in de wegrijdende richting (richting

Rekem) namelijk meer dan dubbel zo hoog als het aantal in de aankomende richting (richting Bessemer). Ook de gemiddelde snelheid van deze tweewielers lag in de wegrijdende richting aanzienlijk hoger. Dit verschil is toe te schrijven aan meetfouten van de wegradar. De handleiding (Krycer bvba, 2009) stelt namelijk dat een meting over twee rijstroken in principe altijd tot fouten leidt, o.a. doordat meerdere voertuigen zich op hetzelfde moment in de meetstraal van de radar bevinden en de radar dus geen vrij zicht heeft op alle voertuigen. Enkel op straten met een gering verkeer kan een bidirectionele meting een verwaarloosbare fout bevatten. Dit was hier echter niet het geval, zoals uit de resultaten voor de tweewielers bleek. Op aanraden van Tim De Ceunynck, een doctoraatsbursaal verbonden aan het Instituut voor Mobiliteit (IMOB), werd vervolgens een inputparameter voor de tweewielers aangepast. Deze aanpassing reduceerde het verschil aanzienlijk maar toch niet volledig, aangezien nog steeds meer tweewielers aangetroffen werden in de wegrijdende richting, zij het wel in mindere mate. Wel was het zo dat de gemiddelde snelheid van de tweewielers in wegrijdende richting nog steeds veel hoger lag dan in aankomende richting. Toch werd besloten om met deze gegevens verder te gaan, aangezien dit de beste benadering van de werkelijkheid was.

B1.1 Verdelingscurve

Aan de hand van de verdelingscurve van de geregistreerde voertuigen kan men de kwaliteit van de lengtereregistratie van de metingen beoordelen. In het geval van goede metingen zijn de verdelingscurven typisch normaal verdeeld. Zoals figuur B.2 aantoont, is zowel de verdelingscurve van de aankomende voertuigen als die van de wegrijdende voertuigen normaal verdeeld, wat op een goede kwaliteit van de lengtereregistratie wijst. Wel hebben beide curven een verschillende vorm, wat o.a. te wijten is aan het feit dat de afstand tussen de radar en de voertuigen op de wegrijdende richting groter is dan de afstand tot de voertuigen op de aankomende richting.



Figuur B.2 – Verdelingscurve van de lengtereregistraties. De rode curve geeft de verdeling van de aankomende voertuigen (richting Bessemer), de blauwe curve geeft de verdeling van de wegrijdende voertuigen (richting Rekem). De loodrechte balken geven de klassengrenzen weer, de inputparameters die gebruikt worden om de geregistreerde voertuigen in de juiste voertuigklasse in te delen. Het is deze inputparameter die voor tweewielers in de wegrijdende richting aangepast werd om meer realistische resultaten te verkrijgen.

B1.2 Verloopenalyse

B1.2.1 *Algemeen overzicht*

In tabel B.1 wordt het verkeersverloop op de Daalbroekstraat gedurende de analyseperiode weergegeven. Personenwagens vertegenwoordigen het grootste aandeel van de voertuigen (95,19%), op ruime afstand gevolgd door lichte vrachtwagens (1,76%), tweewielers (1,51%) en vrachtwagens/bussen (1,27%). Het aantal trailers is zeer laag (0,27%). Wanneer beide rijrichtingen afzonderlijk beschouwd worden, kan opgemerkt worden dat de totale intensiteit in de aankomende richting (16.326 voertuigen) net hoger ligt dan de intensiteit in de weggrijdende richting (16.049 voertuigen). De onderlinge verhoudingen zijn ongeveer gelijk, hoewel het aantal tweewielers beduidend hoger ligt in de weggrijdende richting dan in de aankomende richting. Dit verschil werd, zoals reeds vermeld, waarschijnlijk geïnduceerd door de meetfouten van de verkeersradar.

Wat betreft de snelheden valt onmiddellijk op dat de voertuigen op de Daalbroekstraat aanzienlijk sneller rijden dan de toegelaten 70 km/u. Meer zelfs, in de aankomende richting is 83,47% van de voertuigen in snelheidsovertreding, terwijl dit in de weggrijdende richting zelfs 85,66% bedraagt. Dit betekent dat in totaal 84,56% van de voertuigen te snel rijdt. Het hoeft dan ook niet te verwonderen dat de gemiddelde snelheid op de Daalbroekstraat gelijk is aan 85,42 km/u. De hoogst geregistreerde snelheid bedroeg zelfs 198 km/u. Wederom valt echter het verschil op tussen de tweewielers in de aankomende richting en in de weggrijdende richting, met een respectievelijke gemiddelde snelheid van 57,09 km/u en 81,18 km/u. Ook dit is waarschijnlijk weer te wijten aan de meetfouten van de verkeersradar.

B1.2.2 *Intensiteiten*

Voor het verdere verloop van de masterproef is het nodig om over extra gegevens te beschikken met betrekking tot de intensiteit. Deze gegevens worden weergegeven in tabellen B.2, B.3 en B.4. Voor een deel van deze gegevens kon een beroep gedaan worden op de ingebouwde functies van ViaGraph, het analyseprogramma dat bij de verkeersradar hoort. Een ander deel van de gegevens diende zelf berekend te worden, waaronder ook de intensiteiten per dag en per jaar. Hierbij volstond het echter, aldus Prof. dr. Davy Janssens van IMOB, om de gegevens van de analyseperiode eenvoudigweg te extrapoleren naar de gevraagde periode.

Ook wanneer deze tabellen beschouwd worden, valt onmiddellijk op dat de overgrote meerderheid van voertuigen vertegenwoordigd wordt door personenwagens, op ruime afstand gevolgd door lichte vrachtwagens, tweewielers en vrachtwagens/bussen. De categorie trailers vertegenwoordigt slechts een zeer klein aandeel. Tevens kan opgemerkt worden dat de intensiteiten op werkdagen beduidend hoger liggen dan de intensiteiten op weekenddagen. Ook tijdens de piekuren liggen de intensiteiten veel hoger dan tijdens de daluren. Dit verschil is vooral te wijten aan het grote verschil in personenwagens op de weg tijdens de piek- en daluren.

Voertuigklasse	Beide richtingen			Aankomend (richting Bessemer)			Wegrijdend (richting Rekem)		
	Intensiteit	Gemiddelde snelheid	Maximale snelheid	Intensiteit	Gemiddelde snelheid	Maximale snelheid	Intensiteit	Gemiddelde snelheid	Maximale snelheid
Tweewieler	488	71,95	168	187	57,09	147	301	81,18	168
Personenwagen	30.818	85,90	198	15.548	85,55	198	15.270	86,25	169
Lichte vrachtwagen	570	77,79	123	314	77,75	111	256	77,85	123
Vrachtwagen/bus	412	77,08	135	237	76,78	108	175	77,47	135
Trailer	87	82,11	175	40	78,78	112	47	84,96	175
Totaal	32.375	85,42	198	16.326	84,93	198	16.049	85,92	175

Tabel B.1 – Verloopenanalyse van de Daalbroekstraat gedurende de analyseperiode (11 tot 25 november 2013). De intensiteit geeft het aantal geregistreerde voertuigen van iedere voertuigklasse tijdens deze periode. De gemiddelde en maximale snelheid worden in km/u weergegeven. In de derde en vierde kolom worden de resultaten opgesplitst in beide richtingen.

Gemiddelde intensiteit op de Daalbroekstraat per							
Voertuigklasse	Jaar	Dag	Werkdag	Weekenddag	Piekuur	Daluur	Uur overdag
Tweewieler	12.732	35	38	26	2	1	2
Personenwagen	804.020	2.201	2.436	1.615	146	74	130
Lichte vrachtwagen	14.871	41	47	26	2	1	2
Vrachtwagen/bus	10.749	29	39	7	2	1	2
Trailer	2.270	6	8	2	0	0	0
Totaal ²²	844.641	2.313	2.567	1.676	153	77	136

Tabel B.2 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat (incl. beide richtingen). Voor de werkdagen werd rekening gehouden met de dagen van maandag tot vrijdag. Voor de weekenddagen gelden vanzelfsprekend enkel zaterdag en zondag. Met piekuren worden hier de periodes 6u – 9u en 16u – 19u bedoeld. De daluren betreffen alle andere uren. De gemiddelde intensiteit per uur overdag geeft de gemiddelde intensiteit per uur over de periode 6u – 22u.

²² Door afronding naar gehele getallen is het mogelijk dat het totaal aantal voertuigen licht afwijkt van de som van het aantal voertuigen in alle individuele voertuigklassen. Deze opmerking geldt ook voor tabellen B.3, B.4 en B.5.

Gemiddelde intensiteit richting Bessemer per

Voertuigklasse	Jaar	Dag	Werkdag	Weekenddag	Piekuur	Daluur	Uur overdag
Tweewieler	4.879	13	15	11	1	0	1
Personenwagen	405.636	1.111	1.233	804	73	37	65
Lichte vrachtwagen	8.192	22	26	14	1	1	1
Vrachtwagen/bus	6.183	17	22	4	1	1	1
Trailer	1.044	3	4	1	0	0	0
Totaal	425.934	1.166	1.300	832	77	39	68

Tabel B.3 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat in de richting Bessemer. Voor de werkdagen werd rekening gehouden met de dagen van maandag tot vrijdag. Voor de weekenddagen gelden vanzelfsprekend enkel zaterdag en zondag. Met piekuren worden hier de periodes 6u – 9u en 16u – 19u bedoeld. De daluren betreffen alle andere uren. De gemiddelde intensiteit per uur overdag geeft de gemiddelde intensiteit per uur over de periode 6u – 22u.

Gemiddelde intensiteit richting Rekem per

Voertuigklasse	Jaar	Dag	Werkdag	Weekenddag	Piekuur	Daluur	Uur overdag
Tweewieler	7.853	22	24	16	2	1	1
Personenwagen	398.383	1.091	1.202	812	73	36	65
Lichte vrachtwagen	6.679	18	21	12	1	1	1
Vrachtwagen/bus	4.566	13	16	3	1	0	1
Trailer	1.226	3	4	1	0	0	0
Totaal	418.707	1.146	1.268	843	77	38	68

Tabel B.4 – Samenvatting van de gegevens omtrent de intensiteit op de Daalbroekstraat richting Rekem. Voor de werkdagen werd rekening gehouden met de dagen van maandag tot vrijdag. Voor de weekenddagen gelden vanzelfsprekend enkel zaterdag en zondag. Met piekuren worden hier de periodes 6u – 9u en 16u – 19u bedoeld. De daluren betreffen alle andere uren. De gemiddelde intensiteit per uur overdag geeft de gemiddelde intensiteit per uur over de periode 6u – 22u.

B1.3 Frequentieanalyse

De frequentieanalyse levert informatie over hoeveel voertuigen in de gekozen analyseperiode reden, ingedeeld volgens de voertuigklasse of snelheidsklasse. De onderstaande cijfers zijn berekend voor de analyseperiode van maandag 11 november 2013 om 17h28 tot maandag 25 november 2013 om 17h28. Deze procentuele gegevens zijn echter algemeen toepasbaar, aangezien er vanuit gegaan wordt dat deze cijfers eenvoudigweg te extrapoleren zijn naar de gevraagde periode.

B1.3.1 Snelheid

Tabel B.5 geeft de frequentieanalyse m.b.t. de snelheid van de voertuigen richting Bessemer, richting Rekem en in beide richtingen samen. In de richting van Rekem wordt er over het algemeen iets sneller gereden, maar deze verschillen zijn niet al te groot. Ook in deze tabel valt weer op dat de overgrote meerderheid van de voertuigen de maximaal toegelaten snelheid van 70 km/u overtreedt. Sterker nog, bijna 60% van de voertuigen rijdt sneller dan 80 km/u. Dit verklaart natuurlijk de hoge gemiddelde snelheid van 85,42 km/u.

Snelheid	Beide richtingen	Richting Bessemer	Richting Rekem
Minder dan 50 km/u	1,16%	1,21%	1,12%
51 – 60 km/u	1,66%	1,94%	1,39%
61 – 70 km/u	12,61%	13,39%	11,83%
71 – 80 km/u	24,67%	24,91%	24,42%
81 – 90 km/u	26,38%	25,42%	27,37%
91 – 100 km/u	17,80%	17,76%	17,84%
101 – 110 km/u	8,95%	8,96%	8,94%
111 – 120 km/u	4,07%	4,08%	4,07%
Meer dan 120 km/u	2,68%	2,33%	3,03%
Totaal	100%	100%	100%
Gemiddelde snelheid	85,42 km/u	84,93 km/u	85,92 km/u
Percent in overtreding	84,56%	83,47%	85,66%

Tabel B.5 – Snelheidsfrequentieanalyse. Deze tabel geeft het aandeel voertuigen dat binnen één bepaalde snelheidsklasse geregistreerd werd. Tevens worden de gemiddelde snelheid en het percentage voertuigen dat te snel reed (meer dan 70 km/u) weergegeven.

B1.3.2 Voertuigklasse

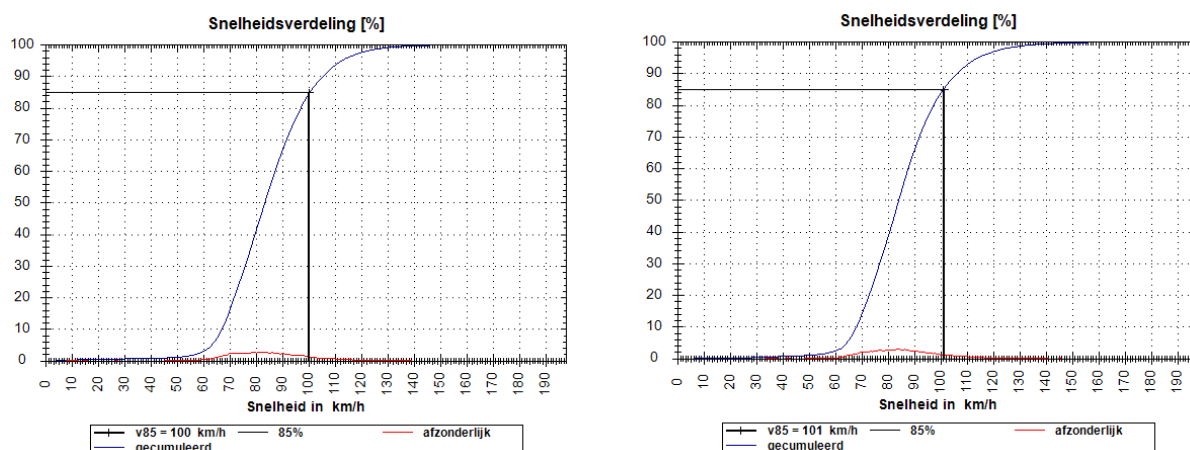
Tabel B.6 geeft de frequentieanalyse m.b.t. de voertuigklasse voor de voertuigen richting Bessemer, richting Rekem en in beide richtingen samen. Zoals reeds meerdere malen duidelijk werd, vertegenwoordigen de personenwagens veruit het grootste aandeel. Wanneer beide richtingen met elkaar vergeleken worden, valt op dat er in de richting van Bessemer meer lichte vrachtwagens en vrachtwagens/bussen rijden, terwijl in de richting van Rekem veel meer tweewielers geregistreerd werden.

	Beide richtingen	Richting Bessemer	Richting Rekem
Tweewieler	1,51%	1,15%	1,88%
Personenwagen	95,19%	95,23%	95,15%
Lichte vrachtwagen	1,76%	1,92%	1,60%
Vrachtwagen/bus	1,27%	1,45%	1,09%
Trailer	0,27%	0,25%	0,28%
Totaal	100%	100%	100%

Tabel B.6 – Frequentieanalyse m.b.t. de voertuigklasse. Deze tabel geeft het aandeel voertuigen dat binnen één bepaalde voertuigklasse geregistreerd werd.

B1.4 Snelheidsverdeling

Tot slot wordt in figuur B.3 de snelheidsverdeling voor beide rijrichtingen gegeven. De relatieve frequentiecurve volgt bij benadering een normale verdeling, zowel in de richting van Bessemer als in de richting van Rekem. Wanneer de cumulatieve frequentiecurven beschouwd worden, wordt wederom duidelijk dat de gemiddelde snelheid (50%-percentiel) op ongeveer 85 km/u ligt. Wanneer het 85%-percentiel beschouwd wordt, valt het op dat dit op ongeveer 100 km/u ligt. Dit betekent dat 15% van de voertuigen minstens 100 km/u reed.



Figuur B.3 – Snelheidsverdeling. De linkse grafiek geeft de snelheidsverdeling voor de rijrichting Bessemer, terwijl de rechtse grafiek de rijrichting Rekem vertegenwoordigt. De rode curve geeft de relatieve frequentie, de blauwe curve geeft de cumulatieve frequentie.

Bijlage 2: Het kortste pad-algoritme

Het algoritme voor het kortste padprobleem werd overgenomen uit het boek *Introduction to Operations Research* (Hillier & Lieberman, 2010):

Doelstelling van iedere n^{de} iteratie:

Zoek het n^{de} dichtstbijzijnde knooppunt t.o.v. van het vertrekpunt (dit moet herhaald worden voor $n = 1, 2, \dots$ totdat het n^{de} dichtstbijzijnde knooppunt de bestemming is).

Input voor de n^{de} iteratie:

De $n-1$ dichtstbijzijnde knooppunten t.o.v. het vertrekpunt (die opgelost zijn in de vorige iteraties), samen met hun kortste pad en afstand vanuit het vertrekpunt. Deze knooppunten worden, samen met het vertrekpunt, de opgeloste knooppunten genoemd, terwijl de andere knooppunten als onopgelost bestempeld worden.

Kandidaten voor het n^{de} dichtstbijzijnde knooppunt:

Ieder opgelost knooppunt dat rechtstreeks verbonden is met een link (d.i. een ongerichte boog) naar één of meer onopgeloste knooppunten levert één kandidaat, namelijk het onopgeloste knooppunt met de kortste link.

Berekening van het n^{de} dichtstbijzijnde knooppunt:

Sommeer voor ieder dergelijk opgelost knooppunt en zijn kandidaat de afstand tussen hen met het kortste pad tussen het vertrekpunt en dit opgelost knooppunt. De kandidaat met de kleinste afstand is dan het n^{de} dichtstbijzijnde knooppunt, en zijn kortste pad is dat pad dat deze afstand genereert.

Merk op dat dit algoritme enkel van toepassing is op een verbonden en ongericht netwerk. Verbonden betekent dat ieder paar van knooppunten met elkaar verbonden is, zoals het geval is voor het te onderzoeken netwerk. Een ongericht netwerk is een netwerk waarbij alle bogen ongericht zijn (d.i. in beide richtingen gebruikt kunnen worden). Dit is niet het geval voor het te onderzoeken netwerk, aangezien de boog tussen Neerharen en Bessemer maar in één richting gebruikt kan worden. Toch kan dit algoritme toegepast worden op het te onderzoeken netwerk, mits de boog tussen Neerharen en Bessemer met de nodige zorg behandeld wordt. Wanneer nodig wordt extra uitleg m.b.t. deze boog in de voetnoten geleverd.

Bijlage 3: Toepassing van het kortste pad-algoritme op de referentiesituatie o.b.v. de reistijden

Iteratie (n)	Opgeloste knooppunten	Dichtst-bijzijnd onopgelost knooppunt	Totale tijd	n ^{de} dichtst-bijzijnd knooppunt	Minimum-tijd	Laatste verbinding
Zutendaal – Bessemer						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
<i>Kortste pad: Z-B</i>						
Zutendaal - Lanaken-West						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
<i>Kortste pad: Z-B-LW</i>						
Zutendaal - Lanaken-Centrum						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
3	Z B LW	O N LC	584 211 + 561 211 + 121 + 170	LC	502	LW-LC
<i>Kortste pad: Z-B-LW-LC</i>						
Zutendaal - Lanaken-Oost						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
3	Z B LW	O R LC	584 211 + 561 211 + 121 + 170	LC	502	LW-LC
4	Z B LC	O R LO	584 211 + 561 211 + 121 + 170 + 148	O	584	Z-O
5	B LC	R LO	211 + 561 211 + 121 + 170 + 148	LO	650	LC-LO

	O	R	584 + 133			
<i>Kortste pad: Z-B-LW-LC-LO</i>						
Zutendaal-Neerharen						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
3	Z B LW	O R LC	584 211 + 561 211 + 121 + 170	LC	502	LW-LC
4	Z B LC	O R LO	584 211 + 561 211 + 121 + 170 + 148	O	584	Z-O
5	B LC O	R LO R	211 + 561 211 + 121 + 170 + 148 584 + 133	LO	650	LC-LO
6	B O LO	R R N	211 + 561 584 + 133 211 + 121 + 170 + 148 + 165	R	717	O-R
7	LO B R	N N ²³ N	211 + 121 + 170 + 148 + 165 211 + 614 584 + 133 + 107	N	815	LO-N
<i>Kortste pad: Z-B-LW-LC-LO-N</i>						
Zutendaal – Rekem						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
3	Z B LW	O R LC	584 211 + 561 211 + 121 + 170	LC	502	LW-LC

²³ Hoewel de boog B-R nog niet gebruikt is, wordt hier toch overgeschakeld naar de boog B-N. Het knooppunt R werd namelijk reeds bereikt via een snellere route (Z-O-R), waardoor de boog B-R geen functie meer heeft.

4	Z B LC	O R LO	584 211 + 561 211 + 121 + 170 + 148	O	584	Z-O
5	B LC O	R LO R	211 + 561 211 + 121 + 170 + 148 584 + 133	LO	650	LC-LO
6	B O LO	R R N	211 + 561 584 + 133 211 + 121 + 170 + 148 + 165	R	717	O-R
<i>Kortste pad: Z-O-R</i>						
Zutendaal – Opgrimbie						
1	Z	B	211	B	211	Z-B
2	Z B	O LW	584 211 + 121	LW	332	B-LW
3	Z B LW	O R LC	584 211 + 561 211 + 121 + 170	LC	502	LW-LC
4	Z B LC	O R LO	584 211 + 561 211 + 121 + 170 + 148	O	584	Z-O
<i>Kortste pad: Z-O</i>						
Bessemer - Lanaken-West						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
<i>Kortste pad: B-LW</i>						
Bessemer - Lanaken-Centrum						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
2	B LW	Z LC	211 121 + 170	Z	211	B-Z
3	LW B Z	LC R O	121 + 170 561 211 + 584	LC	291	LW-LC

<i>Kortste pad: B-LW-LC</i>						
Bessemer - Lanaken-Oost						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
2	B LW	Z LC	211 121 + 170	Z	211	B-Z
3	LW B Z	LC R O	121 + 170 561 211 + 584	LC	291	LW-LC
4	B Z LC	R O LO	561 211 + 584 121 + 170 + 148	LO	439	LC-LO
<i>Kortste pad: B-LW-LC-LO</i>						
Bessemer – Neerharen						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
2	B LW	Z LC	211 121 + 170	Z	211	B-Z
3	LW B Z	LC R O	121 + 170 561 211 + 584	LC	291	LW-LC
4	B Z LC	R O LO	561 211 + 584 121 + 170 + 148	LO	439	LC-LO
5	B Z LO	R O N	561 211 + 584 121 + 170 + 148 + 165	R	561	B-R
6	Z LO B R	O N N N	211 + 584 121 + 170 + 148 + 165 614 561 + 107	N	604	LO-N
<i>Kortste pad: B-LW-LC-LO-N</i>						
Bessemer – Rekem						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
2	B	Z	211	Z	211	B-Z

	LW	LC	121 + 170			
3	LW B Z	LC R O	121 + 170 561 211 + 584	LC	291	LW-LC
4	B Z LC	R O LO	561 211 + 584 121 + 170 + 148	LO	439	LC-LO
5	B Z LO	R O N	561 211 + 584 121 + 170 + 148 + 165	R	561	B-R
<i>Kortste pad: B-R</i>						
Bessemer – Opgrimbie						
1	B B	Z LW	211 121	LW	121	B-LW
2	B LW	Z LC	211 121 + 170	Z	211	B-Z
3	LW B Z	LC R O	121 + 170 561 211 + 584	LC	291	LW-LC
4	B Z LC	R O LO	561 211 + 584 121 + 170 + 148	LO	439	LC-LO
5	B Z LO	R O N	561 211 + 584 121 + 170 + 148 + 165	R	561	B-R
6 ²⁴	Z R	O O	211 + 584 561 + 133	O	694	R-O
<i>Kortste pad: B-R-O</i>						
Lanaken-West - Lanaken-Centrum						
1	LW	B	121	B	121	LW-B
2	LW B	LC Z	170 121 + 211	LC	170	LW-LC
<i>Kortste pad: LW-LC</i>						
Lanaken-West - Lanaken-Oost						

²⁴ Vermis in iteratie 5 het knooppunt R reeds bereikt werd, heeft het geen zin om nog bogen op te nemen richting knooppunten R en N.

1	LW	B	121	B	121	LW-B
2	LW B	LC Z	170 121 + 211	LC	170	LW-LC
3	LC B	LO Z	170 + 148 121 + 211	LO	318	LC-LO
<i>Kortste pad: LW-LC-LO</i>						
Lanaken-West – Neerharen						
1	LW	B	121	B	121	LW-B
2	LW B	LC Z	170 121 + 211	LC	170	LW-LC
3	LC B	LO Z	170 + 148 121 + 211	LO	318	LC-LO
4	B LO	Z N	121 + 211 170 + 148 + 165	Z	332	B-Z
5	LO Z B	N O R	170 + 148 + 165 121 + 211 + 584 121 + 561	N	483	LO-N
<i>Kortste pad: LW-LC-LO-N</i>						
Lanaken-West – Rekem						
1	LW	B	121	B	121	LW-B
2	LW B	LC Z	170 121 + 211	LC	170	LW-LC
3	LC B	LO Z	170 + 148 121 + 211	LO	318	LC-LO
4	B LO	Z N	121 + 211 170 + 148 + 165	Z	332	B-Z
5	LO Z B	N O R	170 + 148 + 165 121 + 211 + 584 121 + 561	N	483	LO-N
6	Z B N	O R R	121 + 211 + 584 121 + 561 170 + 148 + 165 + 107	R	590	N-R
<i>Kortste pad: LW-LC-LO-N-R</i>						

Lanaken-West – Opgrimbie						
1	LW	B	121	B	121	LW-B
2	LW B	LC Z	170 121 + 211	LC	170	LW-LC
3	LC B	LO Z	170 + 148 121 + 211	LO	318	LC-LO
4	B LO	Z N	121 + 211 170 + 148 + 165	Z	332	B-Z
5	LO Z B	N O R	170 + 148 + 165 121 + 211 + 584 121 + 561	N	483	LO-N
6	Z B N	O R R	121 + 211 + 584 121 + 561 170 + 148 + 165 + 107	R	590	N-R
7 ²⁵	Z R	O O	121 + 211 + 584 170 + 148 + 165 + 107 + 133	O	723	R-O
Kortste pad: LW-LC-LO-N-R-O						
Lanaken-Centrum - Lanaken-Oost						
1	LC	LO	148	LO	148	LC-LO
Kortste pad: LC-LO						
Lanaken-Centrum – Neerharen						
1	LC	LO	148	LO	148	LC-LO
2	LC LO	LW N	170 148 + 165	LW	170	LC-LW
3	LW LO	B N	170 + 121 148 + 165	B	291	LW-B
4	B LO	Z N	170 + 121 + 211 148 + 165	N	313	LO-N
Kortste pad: LC-LO-N						
Lanaken-Centrum – Rekem						

²⁵ Vermis in iteratie 6 het knooppunt R reeds bereikt werd, heeft het geen zin om nog bogen op te nemen richting knooppunt R.

1	LC	LO	148	LO	148	LC-LO
2	LC	LW	170	LW	170	LC-LW
	LO	N	148 + 165			
3	LW	B	170 + 121	B	291	LW-B
	LO	N	148 + 165			
4	B	Z	170 + 121	N	313	LO-N
	LO	N	+ 211 148 + 165			
5	B	Z	170 + 121	R	420	N-R
	N	R	+ 211 148 + 165 + 107			

Kortste pad: LC-LO-N-R

Lanaken-Centrum – Opgrimbie

1	LC	LO	148	LO	148	LC-LO
2	LC	LW	170	LW	170	LC-LW
	LO	N	148 + 165			
3	LW	B	170 + 121	B	291	LW-B
	LO	N	148 + 165			
4	B	Z	170 + 121	N	313	LO-N
	LO	N	+ 211 148 + 165			
5	B	Z	170 + 121	R	420	N-R
	N	R	+ 211 148 + 165 + 107			
6	B	Z	170 + 121	Z	502	B-Z
	R	O	+ 211 148 + 165 + 107 + 133			
7 ²⁶	Z	O	170 + 121	O	553	R-O
	R	O	+ 211 + 584 148 + 165 + 107 + 133			

Kortste pad: LC-LO-N-R-O

Lanaken-Oost – Neerharen

²⁶ Vermis in iteratie 5 het knooppunt R reeds bereikt werd, heeft het geen zin om nog bogen op te nemen richting knooppunten R en N.

1	LO	LC	148	LC	148	LO-LC
2	LO	N	165	N	165	LO-N
	LC	LW	148 + 170			
<i>Kortste pad: LO-N</i>						
Lanaken-Oost – Rekem						
1	LO	LC	148	LC	148	LO-LC
2	LO	N	165	N	165	LO-N
	LC	LW	148 + 170			
3	N	R	165 + 107	R	272	N-R
	LC	LW	148 + 170			
<i>Kortste pad: LO-N-R</i>						
Lanaken-Oost – Opgrimbie						
1	LO	LC	148	LC	148	LO-LC
2	LO	N	165	N	165	LO-N
	LC	LW	148 + 170			
3	N	R	165 + 107	R	272	N-R
	LC	LW	148 + 170			
4	R	O	165 + 107 + 133	LW	318	LC-W
	LC	LW	148 + 170			
5	R	O	165 + 107 + 133	O	405	R-O
	LW	B	148 + 170 + 121			
<i>Kortste pad: LO-N-R-O</i>						
Neerharen – Rekem						
1	N	R	107	R	107	N-R
<i>Kortste pad: N-R</i>						
Neerharen – Opgrimbie						
1	N	R	107	R	107	N-R
2	N	LO	165	LO	165	N-LO
	R	O	107 + 133			
3	N	B	614	O	240	R-O
	LO	LC	165 + 148			
	R	O	107 + 133			
<i>Kortste pad: N-R-O</i>						
Rekem – Opgrimbie						
1	R	N	107	N	107	R-N
2	R	O	133	O	133	R-O
	N	LO	107 + 165			
<i>Kortste pad: R-O</i>						

Bijlage 4: Toepassing van het kortste pad-algoritme op de referentiesituatie o.b.v. de reisafstanden

Iteratie (n)	Opgeloste knooppunten	Dichtst-bijzijnd onopgelost knooppunt	Totale afstand	n ^{de} dichtst-bijzijnd knooppunt	Minimum-afstand	Laatste verbinding
Zutendaal – Bessemer						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
<i>Kortste pad: Z-B</i>						
Zutendaal - Lanaken-West						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
<i>Kortste pad: Z-B-LW</i>						
Zutendaal - Lanaken-Centrum						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
3	Z B B LW	O N R ²⁷ LC	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5	LC	7,3	LW-LC
<i>Kortste pad: Z-B-LW-LC</i>						
Zutendaal - Lanaken-Oost						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
3	Z B B LW	O N R LC	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5	LC	7,3	LW-LC
4	Z B	O N	8,7 2,4 + 5,8	N R ²⁸	8,2 8,5	B-N B-R

²⁷ Volgens het algoritme dient men enkel het dichtstbijzijnde onopgeloste knooppunt van een opgelost knooppunt op te nemen. Voor knooppunt B is dat in deze iteratie knooppunt N. Toch wordt ook knooppunt R opgenomen, aangezien de verbinding B-N slechts in één richting geldt (van Bessemer naar Rekem). Voor de andere richting (Rekem naar Bessemer) is bijgevolg knooppunt R het dichtstbijzijnde onopgeloste knooppunt. Dezelfde redenering geldt voor ieder probleem dat hier opgelost zal worden en waar de verbinding B-N (en dus ook B-R opgenomen) wordt.

	B LC	R LO	2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4			
5	Z N R LC	O LO N ²⁹ LO	8,7 2,4 + 5,8 + 2,6 2,4 + 6,1 + 1,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4	O LO	8,7 8,7	Z-O LC-LO
<i>Kortste pad: Z-B-LW-LC-LO</i>						
Zutendaal-Neerharen						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
3	Z B B LW	O N R LC	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5	LC	7,3	LW-LC
4	Z B B LC	O N R LO	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	8,2 8,5	B-N B-R ³⁰
5	Z R LC	O N LO	8,7 2,4 + 6,1 + 1,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4	O LO	8,7	Z-O LC-LO
6	O R	R N	8,7 + 1,6 2,4 + 6,1 + 1,1	N	9,6	R-N

²⁸ Hoewel B-R slechter is dan B-N moet ook deze gekozen worden, aangezien B-N slechts in één richting toegankelijk is. Voor ieder probleem hier opgelost zal deze redenering gelden waar de verbinding B-N (en dus ook B-R) gekozen wordt.

²⁹ Volgens het algoritme mag N hier niet meer gekozen worden, aangezien dit knooppunt al opgelost is. Toch kan N hier gekozen worden, aangezien N enkel opgelost was in de situatie waarin men van Neerharen naar Bessemer rijdt en niet omgekeerd. Een analoge redenering geldt voor ieder probleem hier opgelost waar knooppunt N reeds opgelost is in de richting Neerharen-Bessemer, maar nog niet in de tegengestelde richting.

³⁰ Aangezien de bestemming bereikt is, zou men volgens het algoritme hier moeten stoppen. Deze oplossing geldt enkel wanneer men de Daalbroekstraat langs de kant van Neerharen betreedt (aangezien een gedeelte slechts toegankelijk is in één richting). Bijgevolg wordt het algoritme hier nog verder gezet, opdat ook een oplossing gevonden kan worden voor de tegengestelde richting. Een analoge redenering geldt voor ieder probleem hier opgelost waar Neerharen als bestemming en vertrekpunt fungeert.

	LO	N	2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4 + 2,6			
<i>Kortste pad van Neerharen naar Zutendaal: Z-B-N</i>						
<i>Kortste pad van Zutendaal naar Neerharen: Z-B-R-N</i>						
Zutendaal – Rekem						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
3	Z B B LW	O N R LC	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5	LC	7,3	LW-LC
4	Z B B LC	O N R LO	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	8,2 8,5	B-N B-R ³¹
5	N	R	2,4 + 5,8 + 1,1	R	9,3	/
<i>Kortste pad: Z-B-R</i>						
Zutendaal – Opgrimbie						
1	Z	B	2,4	B	2,4	Z-B
2	Z B	O LW	8,7 2,4 + 2,4	LW	4,8	B-LW
3	Z B B LW	O N R LC	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5	LC	7,3	LW-LC
4	Z B B LC	O N R LO	8,7 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	8,2 8,5	B-N B-R
5	Z	O	8,7	O	8,7	Z-O

³¹ Analooq met de eerdere uitleg wordt hier rekening gehouden met het feit dat de verbinding B-N slechts in één richting toegankelijk is. Daarom wordt ook de verbinding B-R opgenomen. Op die manier wordt de eindbestemming bereikt. Toch is het hier niet aangewezen om te stoppen, aangezien het mogelijk is dat een betere oplossing gevonden kan worden voor de richting Rekem-Zutendaal, namelijk via de verbinding B-N. Een analoge redenering geldt voor gelijkaardige situaties in alle hier opgeloste problemen.

	R	O	2,4 + 6,1 + 1,6	LO	8,7	LC-LO
	N	³²	2,4 + 5,8 + 2,6			
	LC	LO	2,4 + 2,4 + 2,5 + 1,4			
<i>Kortste pad: Z-O</i>						
Bessemer - Lanaken-West						
1	B	Z	2,4	Z	2,4	B-Z
	B	LW	2,4	LW	2,4	B-LW
<i>Kortste pad: B-LW</i>						
Bessemer - Lanaken-Centrum						
1	B	Z	2,4	Z	2,4	B-Z
	B	LW	2,4	LW	2,4	B-LW
2	B	R	6,1	LC	4,9	LW-LC
	B	N	5,8			
	Z	O	2,4 + 8,7			
	LW	LC	2,4 + 2,5			
<i>Kortste pad: B-LW-LC</i>						
Bessemer - Lanaken-Oost						
1	B	Z	2,4	Z	2,4	B-Z
	B	LW	2,4	LW	2,4	B-LW
2	B	R	6,1	LC	4,9	LW-LC
	B	N	5,8			
	Z	O	2,4 + 8,7			
	LW	LC	2,4 + 2,5			
3	B	R	6,1	N	5,8	B-N
	B	N	5,8	R	6,1	B-R
	Z	O	2,4 + 8,7			
	LC	LO	2,4 + 2,5 + 1,4			
4	R	N	6,1 + 1,1	LO	6,3	LC-LO
	N	LO	5,8 + 2,6			
	Z	O	2,4 + 8,7			
	LC	LO	2,4 + 2,5 + 1,4			
<i>Kortste pad: B-LW-LC-LO</i>						

³² Vanuit N mag men niet naar R gaan, aangezien dit knooppunt reeds opgelost is. Enkel het knooppunt LO blijft dan nog over. Het heeft echter geen zin om dit knooppunt te kiezen, aangezien er geen andere verbindingen meer zijn die tot de eindbestemming zullen leiden (immers, Z-O en R-O zullen reeds bezet zijn wanneer deze route één van de twee knooppunten Z of R bereikt).

Bessemer – Neerharen						
1	B B	Z LW	2,4 2,4	Z LW	2,4 2,4	B-Z B-LW
2	B B Z LW	R N O LC	6,1 5,8 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5	LC	4,9	LW-LC
3	B B Z LC	R N O LO	6,1 5,8 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	5,8 6,1	B-N B-R
4	R Z LC	N O LO	6,1 + 1,1 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4	LO	6,3	LC-LO
5	R Z LO	N O N	6,1 + 1,1 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4 + 2,6	N	7,2	R-N
Kortste pad van Neerharen naar Bessemer: B-N						
Kortste pad van Bessemer naar Neerharen: B-R-N						
Bessemer – Rekem						
1	B B	Z LW	2,4 2,4	Z LW	2,4 2,4	B-Z B-LW
2	B B Z LW	R N O LC	6,1 5,8 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5	LC	4,9	LW-LC
3	B B Z LC	R N O LO	6,1 5,8 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	5,8 6,1	B-N B-R
4	N	R	5,8 + 1,1	R	6,9	/
Kortste pad: B-R						
Bessemer – Opgrimbie						
1	B B	Z LW	2,4 2,4	Z LW	2,4 2,4	B-Z B-LW
2	B B	R N	6,1 5,8	LC	4,9	LW-LC

	Z LW	O LC	2,4 + 8,7 2,4 + 2,5			
3	B B Z LC	R N O LO	6,1 5,8 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4	N R	5,8 6,1	B-N B-R
4	R N Z LC	O / O LO	6,1 + 1,6 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4	LO	6,3	LC-LO
5	R Z LO	O O N	6,1 + 1,6 2,4 + 8,7 2,4 + 2,5 + 1,4 + 2,6	O	7,7	R-O
<i>Kortste pad: B-R-O</i>						
Lanaken-West - Lanaken-Centrum						
1	LW	B	2,4	B	2,4	LW-B
2	LW B	LC Z	2,5 2,4 + 2,4	LC	2,5	LW-LC
<i>Kortste pad: LW-LC</i>						
Lanaken-West - Lanaken-Oost						
1	LW	B	2,4	B	2,4	LW-B
2	LW B	LC Z	2,5 2,4 + 2,4	LC	2,5	LW-LC
3	LC B	LO Z	2,5 + 1,4 2,4 + 2,4	LO	3,9	LC-LO
<i>Kortste pad: LW-LC-LO</i>						
Lanaken-West – Neerharen						
1	LW	B	2,4	B	2,4	LW-B
2	LW B	LC Z	2,5 2,4 + 2,4	LC	2,5	LW-LC
3	LC B	LO Z	2,5 + 1,4 2,4 + 2,4	LO	3,9	LC-LO
4	LO B	N Z	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 2,4	Z	4,8	B-Z
5	LO B B	N N R	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1	N	6,5	LO-N

	Z	O	2,4 + 2,4 + 8,7			
<i>Kortste pad: LW-LC-LO-N</i>						
Lanaken-West – Rekem						
1	LW	B	2,4	B	2,4	LW-B
2	LW B	LC Z	2,5 2,4 + 2,4	LC	2,5	LW-LC
3	LC B	LO Z	2,5 + 1,4 2,4 + 2,4	LO	3,9	LC-LO
4	LO B	N Z	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 2,4	Z	4,8	B-Z
5	LO B B Z	N N R O	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 8,7	N	6,5	LO-N
6	N B Z	R R O	2,5 + 1,4 + 2,6 + 1,1 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 8,7	R	7,6	N-R
<i>Kortste pad: LW-LC-LO-N-R</i>						
Lanaken-West – Opgrimbie						
1	LW	B	2,4	B	2,4	LW-B
2	LW B	LC Z	2,5 2,4 + 2,4	LC	2,5	LW-LC
3	LC B	LO Z	2,5 + 1,4 2,4 + 2,4	LO	3,9	LC-LO
4	LO B	N Z	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 2,4	Z	4,8	B-Z
5	LO B B Z	N N R O	2,5 + 1,4 + 2,6 2,4 + 5,8 2,4 + 6,1 2,4 + 2,4 + 8,7	N	6,5	LO-N
6	N B	R R	2,5 + 1,4 + 2,6 + 1,1 2,4 + 6,1	R	7,6	N-R

	Z	O	2,4 + 2,4 + 8,7			
7	R	O	2,5 + 1,4 + 2,6 + 1,1 + 1,6	O	9,2	R-O
	Z	O	2,4 + 2,4 + 8,7			
<i>Kortste pad: LW-LC-LO-N-R-O</i>						
Lanaken-Centrum - Lanaken-Oost						
1	LC	LO	1,4	LO	1,4	LC-LO
<i>Kortste pad: LC-LO</i>						
Lanaken-Centrum - Neerharen						
1	LC	LO	1,4	LO	1,4	LC-LO
2	LC	LW	2,5	LW	2,5	LC-LW
	LO	N	1,4 + 2,6			
3	LW	B	2,5 + 2,4	N	4,0	LO-N
	LO	N	1,4 + 2,6			
<i>Kortste pad: LC-LO-N</i>						
Lanaken-Centrum - Rekem						
1	LC	LO	1,4	LO	1,4	LC-LO
2	LC	LW	2,5	LW	2,5	LC-LW
	LO	N	1,4 + 2,6			
3	LW	B	2,5 + 2,4	N	4,0	LO-N
	LO	N	1,4 + 2,6			
4	LW	B	2,5 + 2,4	B	4,9	LW-B
	N	R	1,4 + 2,6 + 1,1			
5	B	Z	2,5 + 2,4 + 2,4	R	5,1	N-R
	N	R	1,4 + 2,6 + 1,1			
<i>Kortste pad: LC-LO-N-R</i>						
Lanaken-Centrum - Opgrimbie						
1	LC	LO	1,4	LO	1,4	LC-LO
2	LC	LW	2,5	LW	2,5	LC-LW
	LO	N	1,4 + 2,6			
3	LW	B	2,5 + 2,4	N	4,0	LO-N
	LO	N	1,4 + 2,6			
4	LW	B	2,5 + 2,4	B	4,9	LW-B
	N	R	1,4 + 2,6 + 1,1			

5	B N	Z R	2,5 + 2,4 + 2,4 1,4 + 2,6 + 1,1	R	5,1	N-R
6	B R	Z O	2,5 + 2,4 + 2,4 1,4 + 2,6 + 1,1 + 1,6	R	6,7	R-O
Kortste pad: LC-LO-N-R-O						
Lanaken-Oost – Neerharen						
1	LO	LC	1,4	LC	1,4	LO-LC
2	LO LC	N LW	2,6 1,4 + 2,5	N	2,6	LO-N
Kortste pad: LO-N						
Lanaken-Oost – Rekem						
1	LO	LC	1,4	LC	1,4	LO-LC
2	LO LC	N LW	2,6 1,4 + 2,5	N	2,6	LO-N
3	N LC	R LW	2,6 + 1,1 1,4 + 2,5	R	3,7	N-R
Kortste pad: LO-N-R						
Lanaken-Oost – Opgrimbie						
1	LO	LC	1,4	LC	1,4	LO-LC
2	LO LC	N LW	2,6 1,4 + 2,5	N	2,6	LO-N
3	N LC	R LW	2,6 + 1,1 1,4 + 2,5	R	3,7	N-R
4	R LC	O LW	2,6 + 1,1 + 1,6 1,4 + 2,5	LW	3,9	LC-LW
5	R LW	O B	2,6 + 1,1 + 1,6 1,4 + 2,5 + 2,4	O	5,3	R-O
Kortste pad: LO-N-R-O						
Neerharen – Rekem						
1	N	R	1,1	R	1,1	N-R
Kortste pad: N-R						
Neerharen – Opgrimbie						
1	N	R	1,1	R	1,1	N-R

2	N R	LO O	2,6 1,1 + 1,6	LO	2,6	N-LO
3	N LO R	B LC O	5,8 2,6 + 1,4 1,1 + 1,6	O	2,7	R-O
<i>Kortste pad: N-R-O</i>						
Rekem – Opgrimbie						
1	R	N	1,1	N	1,1	R-N
2	R N	O LO	1,6 1,1 + 2,6	O	1,6	R-O
<i>Kortste pad: R-O</i>						

Bijlage 5: Overzicht van de belangrijkste formules van de KBA

B5.1 NCW van het projectalternatief

De totale jaarlijkse kosten die het projectalternatief in jaar t ($= 2014, \dots, 2113$) met zich meebrengt, wordt berekend door:

$$\begin{aligned} \text{Jaarlijkse kosten}_t &= \text{Brandstofkosten}_t + \text{Tijdskosten}_t + \text{Infrastructuurkosten}_t + \text{Ongevallenkosten}_t \\ &+ \text{Milieu- en gezondheidskosten}_t \end{aligned}$$

De berekening van de verschillende termen wordt voorgesteld in paragrafen B5.2 tot B5.6. De NCW wordt berekend volgens de volgende formule:

$$NCW = -\sum_t \frac{1}{(1+r)^{t-2014}} * \text{Jaarlijkse kosten}_t \quad \text{voor } t = 2014, \dots, 2113 \text{ of voor } t = 2014, \dots, 2063.$$

De discontovoet r is in de eerste 30 jaren gelijk aan 0,04. Na deze periode wordt hij berekend door de formule:

$$r_t = \sqrt[30]{1,04^{30} \cdot 1,02^{t-30}} - 1$$

B5.2 Verandering in brandstofverbruik

Stap 1: het jaarlijks aantal voertuigen van voertuigklasse i die in het nulalternatief gebruik maken van de Daalbroekstraat in jaar t ($= 2014, \dots, 2113$).

- Voor $t = 2015, \dots, 2030$; gegeven *aantal voertuigen* $_{i, 2014}$:

$$\text{Aantal voertuigen}_{i,t} = \text{Aantal voertuigen}_{i,t-1} * (1 + \text{Jaarlijkse groeivoet}_i)$$

De *jaarlijkse groeivoet* $_i$ waarmee het aantal voertuigen toeneemt, wordt weergegeven in tabel 5.2.

- Voor $t = 2031, \dots, 2113$:

$$\text{Aantal voertuigen}_{i,t} = \text{Aantal voertuigen}_{i,t-1}$$

Stap 2: het jaarlijks aantal extra kilometers gereden door voertuigklasse i in het projectalternatief in jaar t ($= 2014, \dots, 2113$).

$$\begin{aligned} \text{Aantal extra vkm}_{i,t} &= \text{Aantal voertuigen}_{i,t} \\ &* \sum_r \sum_d (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Percentage rijrichting in route}_{i,r,d} \\ &* \text{Extra km}_{r,d}) \end{aligned}$$

Hierbij is:

- r = de route, met vijf mogelijkheden: Zutendaal – Rekem, Zutendaal – Neerharen, Bessemer – Opgrimbie, Bessemer – Rekem en Bessemer – Neerharen;

- d = de rijrichting, met twee mogelijkheden: Bessemer en Rekem;
- *Percentage route in totale verkeersstroom_r* = aandeel van het totaal aantal voertuigen op de Daalbroekstraat dat gebruik maakt van route r (zie tabel 5.3, kolom 2);
- *Percentage rijrichting in route_{r,d}* = aandeel van de voertuigen van voertuigklasse i op de route r dat in rijrichting d rijdt (zie tabel 5.4);
- *Extra km_{r,d}* = kilometers die voertuigen op route r in rijrichting d extra moeten rijden in het projectalternatief (zie tabel 5.3, kolom 3 en kolom 4).

Stap 3: extra brandstofverbruik van brandstof f door voertuigklasse i in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

$$\text{Extra brandstofverbruik}_{f,i,t} = \text{Aantal extra vkm}_{i,t} * \text{Gemiddeld brandstofverbruik}_{f,i,t}$$

Met:

- f = het type brandstof, met zes mogelijkheden: CNG, diesel, benzine 98, benzine 95, LPG, elektriciteit.
- *Gemiddeld brandstofverbruik_{f,i,t}* = het gemiddeld verbruik van brandstof f door voertuigen van voertuigklasse i in jaar t .

Stap 4: extra brandstofkosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

$$\text{Brandstofkosten}_t = \sum_i \sum_f (\text{Extra brandstofverbruik}_{f,i,t} * \text{Brandstofprijs}_{f,t})$$

Met:

- *Brandstofprijs_{f,t}* = de prijs van brandstof f in jaar t (zie tabel 5.7, met tabel 5.8 voor de evolutie van de prijzen tot het jaar 2035. Na 2035 blijven de prijzen constant).

B5.3 Verandering in reistijden

Basisformule: de extra tijdskosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

$$\text{Tijdskosten}_t = \text{Interne tijdskosten}_t + \text{Externe tijdskosten}_t$$

Interne tijdskosten: de interne tijdskosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

$$\text{Interne tijdskosten}_t = \text{Interne tijdskosten in piekuren}_t + \text{Interne tijdskosten in daluren}_t$$

Met:

$$\text{Interne tijdskosten in piekuren}_t = \sum_i (\text{Extra tijd in piekuren}_{i,t} * \text{VOT piekuren}_{i,t})$$

$$\text{Interne tijdskosten in daluren}_t = \sum_i (\text{Extra tijd in daluren}_{i,t} * \text{VOT daluren}_{i,t})$$

De VOT in 2008 is voor iedere voertuigklasse i weergegeven in tabel 5.12 (samen met de evolutie tot 2030 in tabel 5.13). De extra tijd die voertuigen van voertuigklasse i in het projectalternatief

samen rijden tijdens de piekuren/daluren in jaar t (= 2014, ..., 2113) kan als volgt berekend worden:

Extra tijd in piekuren_{i,t}

$$= \text{Aantal voertuigen in piekuren}_{i,t} \\ * \sum_r \sum_d (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Percentage rijrichting in route}_{i,r,d} \\ * \text{Extra tijd}_{r,d})$$

Extra tijd in daluren_{i,t}

$$= \text{Aantal voertuigen in daluren}_{i,t} \\ * \sum_r \sum_d (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Percentage rijrichting in route}_{i,r,d} \\ * \text{Extra tijd}_{r,d})$$

Hierbij is *Extra tijd_{r,d}* de extra tijd die een gebruiker van de Daalbroekstraat in het projectalternatief moet rijden wanneer hij op route r in richting d rijdt (tabel 5.10, kolom 3 en kolom 4).

Externe tijdskosten: de externe tijdskosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

$$\text{Externe tijdskosten}_t = \text{Externe tijdskosten in piekuren}_t + \text{Externe tijdskosten in daluren}_t$$

Met:

$$\text{Externe tijdskosten in piekuren}_t = \sum_i (\text{METK piekuren}_{i,t} * \text{Extra vkm op alternatieve routes in piekuren}_{i,t})$$

$$\text{Externe tijdskosten in daluren}_t = \sum_i (\text{METK daluren}_{i,t} * \text{Extra vkm op alternatieve routes in daluren}_{i,t})$$

De METK in 2008 is voor iedere voertuigklasse i weergegeven in tabel 5.14 (samen met de evolutie tot 2030 in tabel 5.13). De extra voertuigkilometers die voertuigen van voertuigklasse i in het projectalternatief samen rijden tijdens de piekuren/daluren in jaar t (= 2014, ..., 2113) kunnen als volgt berekend worden:

Extra vkm op alternatieve routes in piekuren_{i,t}

$$= \text{Aantal voertuigen in piekuren}_{i,t} \\ * \sum_r (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Extra aantal km op alternatieve route}_r)$$

Hierbij is *Extra aantal km op alternatieve route_r* de extra kilometers die een voertuig in het projectalternatief moet rijden voor route r (zie tabel 5.15).

B5.4 Verandering in infrastructuurkosten

Basisformule: de extra infrastructuurkosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Infrastructuurkosten_t

$$\begin{aligned} &= \text{Extra infrastructuurkosten op alternatieve routes}_t \\ &- \text{Infrastructuurkosten op Daalbroekstraat}_t \end{aligned}$$

Extra infrastructuurkosten op alternatieve routes: de extra infrastructuurkosten op de alternatieve routes in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Extra infrastructuurkosten op alternatieve routes_t

$$= MEIK_{vrachtwagens,t} * \text{Extra vkm op alternatieve routes in piekuren}_{vrachtwagens,t}$$

De MEIK wordt weergegeven in tabel 5.18. De extra voertuigkilometers die vrachtwagens (d.i. in dit geval vrachtwagens, trailers en bussen) van voertuigklasse i in het projectalternatief samen rijden tijdens de piekuren/daluren in jaar t (= 2014, ..., 2113) kunnen als volgt berekend worden:

Extra vkm op alternatieve routes in piekuren_{vrachtwagens,t}

$$\begin{aligned} &= \text{Aantal vrachtwagens, trailers en bussen}_t \\ &* \sum_r \text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Extra aantal km op alternatieve route}_r \end{aligned}$$

Hierbij is *aantal vrachtwagens, trailers en bussen_t* de som van het aantal vrachtwagens, trailers en bussen op de Daalbroekstraat in het nulalternatief in jaar t (= 2014, ..., 2113).

Infrastructuurkosten op Daalbroekstraat: de infrastructuurkosten op de Daalbroekstraat in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het nulalternatief.

Infrastructuurkosten op Daalbroekstraat_t

$$\begin{aligned} &= \text{Wegonderhoudskost}_t + \text{Onderhoudskost wegberm}_t + \text{Strooikosten}_t \\ &+ \text{Verlichtingskosten}_t \end{aligned}$$

B5.5 Verandering in aantal ongevallen

Basisformule: de jaarlijkse extra ongevallenkosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Ongevallenkosten_t

$$= \text{Slachtoffergerelateerde ongevallenkosten}_t + \text{Ongevallengerelateerde ongevallenkosten}_t$$

Slachtoffergerelateerde ongevallenkosten: de extra slachtoffergerelateerde ongevallenkosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Slachtoffergerelateerde ongevallenkosten_t

$$= \sum_i (\text{Gemiddelde slachtoffergerelateerde ongevallenkost}_{i,t} * \text{Aantal extra vkm}_{i,t})$$

De gemiddelde slachtoffergerelateerde ongevallenkosten worden voor iedere voertuigklasse weergegeven in de derde kolom van tabel 5.22.

Ongevallengerelateerde ongevallenkosten: de extra ongevallengerelateerde ongevallenkosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Ongevallengerelateerde ongevallenkosten_t

$$= \text{Gemiddelde slachtoffergerelateerde ongevallenkost}_t * \text{Aantal extra vkm}_t$$

De gemiddelde ongevallengerelateerde ongevallenkosten worden voor iedere voertuigklasse weergegeven in de derde kolom van tabel 5.22. Het *aantal extra vkm_t* kan als volgt berekend worden:

$$\text{Aantal extra vkm}_t = \sum_i (\text{Aantal extra vkm}_{i,t})$$

B5.6 Milieu- en gezondheidseffecten

Basisformule: de jaarlijkse extra milieu- en gezondheidskosten in jaar t (= 2014, ..., 2113) in het projectalternatief.

Milieu – en gezondheidskosten_t

$$= \text{Kosten van zware metalen}_t + \text{Kosten van NOX}_t + \text{Kosten van PMcoarse}_t \\ + \text{Kosten van van PM}_{2,5,t}$$

Hierbij is:

Kosten van zware metalen_t

$$= \sum_i ((\text{MEK van uitlaatemissies van zware metalen}_{i,t} \\ + \text{MEK van niet – uitlaatemissies van zware metalen}_{i,t}) * \text{Aantal extra vkm}_{i,t})$$

$$\text{Kosten van NOX}_t = \sum_i (\text{MEK van NOX}_{i,t} * \text{Aantal extra vkm}_{i,t})$$

$$\text{Kosten van PMcoarse}_t = \sum_i (\text{MEK van PMcoarse}_{i,t} * \text{Aantal extra vkm}_{i,t})$$

De MEK van zware metalen, NO_x en PM_{coarse} is weergegeven in tabel 5.24. De kosten van PM_{2,5} vereisen echter meer uitleg. De basisformule voor deze pollutant is als volgt:

$$\text{Kosten van PM}_{2,5,t} = \text{Kosten van PM}_{2,5} \text{ op plattelandswegen}_t + \text{Kosten van PM}_{2,5} \text{ op stadswegen}_t$$

Met:

Kosten van PM_{2,5} op plattelandswegen_t

$$= \sum_i \text{Aantal extra vkm op plattelandswegen}_{i,t} \\ * (\text{MEK van uitlaatemissies van PM}_{2,5} \text{ op plattelandswegen}_{i,t} \\ + \text{MEK van niet – uitlaatemissies van PM}_{2,5} \text{ op plattelandswegen}_{i,t})$$

Kosten van PM_{2,5} op stadswegen_{i,t}

$$\begin{aligned}
 &= \sum_i \text{Aantal extra vkm op stadswegen}_{i,t} \\
 &\quad * (\text{MEK van uitlaatemissies van PM}_{2,5} \text{ op stadswegen}_{i,t} \\
 &\quad + \text{MEK van niet – uitlaatemissies van PM}_{2,5} \text{ op stadswegen}_{i,t})
 \end{aligned}$$

De MEK van PM_{2,5} wordt zowel voor plattelands- als stadswegen weergegeven in tabel 5.25. Het *aantal extra vkm op plattelandswegen_{i,t}* en het *aantal extra vkm op stadswegen_{i,t}* worden als volgt berekend:

Aantal extra vkm op plattelandswegen_{i,t}

$$\begin{aligned}
 &= \text{Aantal voertuigen}_{i,t} \\
 &\quad * \sum_r \sum_d (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Percentage rijrichting in route}_{i,r,d} \\
 &\quad * \text{Extra km in natuurgebied}_{r,d})
 \end{aligned}$$

Aantal extra vkm op stadswegen_{i,t}

$$\begin{aligned}
 &= \text{Aantal voertuigen}_{i,t} \\
 &\quad * \sum_r \sum_d (\text{Percentage route in totale verkeersstroom}_r * \text{Percentage rijrichting in route}_{i,r,d} \\
 &\quad * \text{Extra km in woongebied}_{r,d})
 \end{aligned}$$

De *extra km in natuurgebied_{r,d}* en de *extra km in woongebied_{r,d}* geven respectievelijk weer hoeveel km een gebruiker van de Daalbroekstraat in het projectalternatief extra door natuurgebieden en woongebieden rijdt op route r in rijrichting d. Deze waarden worden respectievelijk weergegeven in de zevende en zesde kolom van tabel 5.26.

Bijlage 6: Instellingen van het CAR Vlaanderen II model

In het CAR Vlaanderen II model dienen verscheidene inputparameters ingevuld te worden. Deze worden hier achtereenvolgens besproken.

B6.1 Intensiteit

De intensiteit geeft de totale intensiteit in aantal motorvoertuigen per etmaal. Op de Daalbroekstraat bedraagt dit 2.313 voertuigen.

B6.2 Fracties

Om het aantal motorvoertuigen per etmaal in te delen in de verschillende voertuigfracties, dienen vier percentages ingevuld te worden:

- Fractie licht: het aandeel van de totale intensiteit dat als licht verkeer gekarakteriseerd kan worden;
- Fractie middelzwaar: het aandeel van de totale intensiteit dat als middelzwaar (vracht)verkeer gekarakteriseerd kan worden;
- Fractie zwaar: het aandeel van de totale intensiteit dat als zwaar (vracht)verkeer gekarakteriseerd kan worden;
- Fractie autobus: het aandeel van de totale intensiteit dat als autobus gekarakteriseerd kan worden.

Deze indeling gebeurt volgens de indeling weergegeven in figuur B.4.

Categorie	definitie volgens gewichtsklasse	benaderende omschrijving	profiel
Lichte Motorvoertuigen 1	gemotoriseerde tweewielers en motoren met zijspan (>50cc), personenauto's, bestelwagens		
Middelzware Motorvoertuigen 2	vrachtwagens 3,5-20 ton MTM	vrachtwagens met 2 assen en vier achterwielen	
Zware Motorvoertuigen 3	vrachtwagens >20 ton MTM	-vrachtwagens met 3 of meer assen -vrachtwagens met aanhanger -trekkers met oplegger	
Bussen 4	autobussen		

Figuur B.4 – Richtlijnen voor de indeling van de totale intensiteit in voertuigfracties.

Voor de Daalbroekstraat gelden de volgende percentages: 98,4586872% lichte motorvoertuigen, 1,1405097% middelzware motorvoertuigen, 0,2687259% zware motorvoertuigen en 0,1320772% autobussen.

B6.3 Snelheidstypering

Het CAR Vlaanderen II model maakt onderscheid tussen vijf snelheidstyperingen:

- Snelweg, met een gemiddelde rijsnelheid van 100 km/uur;
- Buitenweg, d.i. een weg met een snelheidslimiet van maximaal 0 km/uur en een gemiddelde snelheid van 44 km/uur;
- Doorstromend stadsverkeer, d.i. doorstromend verkeer binnen de bebouwde kom of op een stadsstraat, met een gemiddelde snelheid van 26 km/uur;
- Normaal stadsverkeer, met een gemiddelde snelheid van 19 km/uur;
- Stagnerend verkeer, d.i. wanneer de doorstroming van het verkeer belemmerd wordt, met een gemiddelde snelheid van 13 km/uur.

Voor de Daalbroekstraat geldt natuurlijk de typering van een buitenweg.

B6.4 Wegtype

Het CAR Vlaanderen II model maakt onderscheid tussen vijf wegtypen:

- Weg door open terrein met incidenteel gebouwen of bomen binnen een straal van 100 m;
- Weg met aan beide zijden bebouwing, waarbij de afstand tussen de wegas en de gevel kleiner is dan drie keer maar groter dan 1,5 keer de hoogte van de bebouwing;
- Weg met aan beide zijden bebouwing, waarbij de afstand tussen de wegas en de gevel kleiner is dan 1,5 keer maar groter dan 1,5 keer de hoogte van de bebouwing;
- Weg met aan één zijde min of meer aaneengesloten bebouwing op een afstand van minder dan 3 keer de hoogte van de bebouwing;
- Basistype: alle wegen anders dan de voorgaande typen.

Hier wordt duidelijk dat het model eigenlijk ontwikkeld is voor binnenstedelijk verkeer. Omdat de Daalbroekstraat aan geen van de mogelijke typen voldoet, wordt hij ingedeeld bij de basistypen.

B6.5 Bomenfactor

Voor de bomenfactor zijn er drie opties:

- 1: hier en daar bomen of helemaal geen;
- 1,25: één of meer rijen bomen met een onderlinge afstand van minder dan 15 meter met openingen tussen de kronen;
- 1,5: de kronen raken elkaar en overspannen minstens een derde van de straatbreedte.

Voor de Daalbroekstraat werd natuurlijk een bomenfactor van 1,5 gekozen.

B6.6 Fractie stagnatie

Dit is de etmaalgemiddelde fractie van de verkeersintensiteit die stagnerend is. Voor de Daalbroekstraat wordt deze verondersteld 0 te zijn, wat overeenkomt met geen stagnerend verkeer.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Go through or go around: een bio-economisch model

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur-operationeel management en logistiek**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Lucas, Robin

Datum: **1/06/2014**