

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de verkeerskunde: mobiliteitsmanagement
(Interfacultaire opleiding)*

Masterproef

*Analyse van het verband tussen Black Carbon
blootstelling en tripkarakteristieken afgeleid uit
GPS-logs en dagboekjes*

Promotor :
Prof.dr.ir Tom BELLEMANS

Copromotor :
Prof. dr. Luc INT PANIS
Mevrouw Evi DONS

Philip Temmerman

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de verkeerskunde,
afstudeerrichting mobiliteitsmanagement*

2011
2012

BEDRIJFSECONOMISCHE WETENSCHAPPEN

*master in de verkeerskunde: mobiliteitsmanagement
(Interfacultaire opleiding)*

Masterproef

*Analyse van het verband tussen Black Carbon
blootstelling en tripkarakteristieken afgeleid uit
GPS-logs en dagboekjes*

Promotor :
Prof.dr.ir Tom BELLEMANS

Copromotor :
Prof. dr. Luc INT PANIS
Mevrouw Evi DONS

Philip Temmerman

*Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de verkeerskunde,
afstudeerrichting mobiliteitsmanagement*

Voorwoord

Dit proefschrift vormt de afsluiting van mijn masteropleiding Verkeerskunde.

Bij het verwezenlijken ervan kon ik rekenen op de hulp van een aantal personen. Ik wil dit voorwoord dan ook gebruiken om hen te bedanken.

Eerst en vooral had ik deze opdracht niet tot een goed einde kunnen brengen zonder de kennis die ons is bijgebracht door onze professoren en hun assistenten gedurende de voorbije jaren.

Uiteraard gaat mijn dank ook uit naar Tom Bellemans (promotor), Luc Int Panis (copromotor) en Evi Dons (begeleider). Zij hebben mij altijd bijgestaan met constructieve feedback en nuttige informatie. Verder wil ik Luc Int Panis nog bedanken voor het voorstellen van dit onderwerp.

Ook andere medewerkers van de onderzoeksinstituten VITO en IMOB hebben bijgedragen tot dit werk met het verzamelen van gegevens en raad bij statistische vraagstukken.

Ik hoop u een duidelijk, interessant en bruikbaar rapport te kunnen presenteren.

Philip Temmerman

Samenvatting

Korte periodes van blootstelling aan hoge concentraties black carbon (BC) vormen een gevaar voor de gezondheid. Deelnemen aan het verkeer is daarvan het voorbeeld bij uitstek omdat dieselmotoren een belangrijke bron zijn van BC. Daarom is het van belang om een idee te hebben van de BC-concentraties waaraan mensen worden blootgesteld als ze onderweg zijn. Het doel van dit onderzoek is dan ook een beter zicht te krijgen op variaties in BC-concentraties in transport en de blootstelling in het verkeer nauwkeuriger te voorspellen aan de hand van bijvoorbeeld de output van een AB-model.

In het kader van een onderzoek door VITO en IMOB hebben 16 personen in de zomer van 2010 en 46 personen in de winter van 2010-2011 een week lang hun blootstelling aan BC gemeten en een dagboek bijgehouden van hun activiteiten en verplaatsingen. De PDA waarop de dagboekjes werden ingevuld, is uitgerust met een GPS-ontvanger en hield de coördinaten bij.

De eerste stap van de gegevensverwerking bestaat uit het samenvoegen van de dagboekjes en de BC-metingen. Het motief van de verplaatsing wordt afgeleid uit de daaropvolgende activiteit of de voorafgaande activiteit als de daaropvolgende activiteit een thuisactiviteit is. Vervolgens kunnen de verplaatsingen gescheiden worden van de activiteiten. In dit onderzoek zal alleen gekeken worden naar de observaties tijdens verplaatsingen.

De volgende stap is het samenvoegen van de verplaatsingsgegevens met de GPS-logs. De GPS-logs zijn niet volledig, het kan zijn dat de PDA niet aan stond, de accu leeg was of dat er geen GPS-ontvangst mogelijk was. Hierdoor zal een deel van de observaties niet voorkomen in de dataset met de toegevoegde GPS-gegevens. Bij de modi over het spoor viel ongeveer twee derde van de observaties weg. Daarom zal voor ritten met de trein, tram en metro de dataset zonder GPS-gegevens gebruikt worden.

Bij de andere modi was de ontvangstkwaliteit van de GPS redelijk goed. Ongeveer twee derde van de tijd was er verbinding en de geregistreerde punten kwamen meestal goed overeen met de wegenkaart van OpenStreetMap. Voor deze modi kan dus wel de dataset gebruikt worden met GPS-gegevens.

Vervolgens werden deze punten gekoppeld met een wegenkaart. Hiervoor is een kaart van het Vlaams Verkeerscentrum gebruikt die gemodelleerde verkeerintensiteiten bevat. Deze kaart is echter weinig gedetailleerd waardoor een deel van de observaties niet gekoppeld kon worden. Er is vanuit gegaan dat het geen zin heeft om de eigenschappen

Samenvatting

van een weg toe te voegen aan de observatie indien ze (op de kaart) meer dan 30 m van elkaar liggen.

De gegevens kunnen nu geanalyseerd worden volgens vervoermiddel, locatie, tijdstip, verplaatsingsmotief, snelheid of verkeersintensiteit.

De voertuigen rondom de observator zijn de directe bron van de gemeten hoeveelheid BC. Hoe meer verkeer (vooral voertuigen met dieselmotor), hoe hoger de BC-concentratie. In een auto op een weg waar 2000 voertuigen per uur voorbijkomen, bedraagt de BC-concentratie ongeveer $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uit de analyse bleek dat de verkeersintensiteit duidelijk terug te vinden is in het verband tussen de gemeten BC-concentraties enerzijds en het gekozen vervoermiddel, het moment van de dag, de stedelijkheidsgraad en de wegcategorie anderzijds.

Het algemeen gemiddelde gemeten in het verkeer bedraagt $4976 \text{ ng}/\text{m}^3$. Er zijn echter duidelijke verschillen indien onderscheid gemaakt wordt naar:

- Vervoermiddel:
auto 6286; bus 6567; fiets 3555; te voet 3175; tram/metro 5066; trein 2394 ng/m^3
- Tijdstip:
spits 5791; dal 4723; weekend 3746 ng/m^3
- Stedelijkheidsgraad:
stad 7764; voorstad 6448; platteland 5777 ng/m^3
- Wegcategorie:
snelwegen 10640; primaire en secundaire wegen 7974; overige wegen 5845 ng/m^3

Ter vergelijking: de gemiddelde BC-concentratie thuis en op het werk bedragen respectievelijk 1255 en 1068 ng/m^3 .

De verschillen in BC tussen stedelijkheidsgraden, wegcategorieën en tijdstippen zijn veel meer uitgesproken in auto en bus dan bij langzaam verkeer. Fietsers en voetgangers zijn blijkbaar beter in staat hoge concentraties te vermijden door verkeersvrije paden en minder drukke wegen te kiezen. De concentratie is al beduidend lager als men een aantal meter van de bron is verwijderd.

De verschillen in blootstelling naargelang het tijdstip en het soort weg zijn terug te vinden in de opdeling volgens verplaatsingsmotief. Veel werk- en dienstengerelateerde verplaatsingen vinden plaats tijdens de spits en kennen daardoor een hogere blootstelling dan bijvoorbeeld onderweg zijn naar ontspanningsactiviteiten of een wandeling maken.

Het motief van de verplaatsing kan echter niet gebruikt worden om een model op te stellen. Het is immers niet direct verantwoordelijk voor de verschillen in blootstelling.

Vervolgens wordt een model opgesteld waarmee BC-concentraties in het verkeer voorspeld kunnen worden. Het model is opgesplitst per vervoermiddel en heeft de vorm van een regressieboom. Het vertakt verder naar tijdstip en vervolgens naar stedelijkheidsgraad.

Enkel bij ritten met de auto waren er voldoende gegevens om de concentraties te bepalen op snelwegen. Het was zelfs mogelijk het model te verfijnen door de verkeersintensiteit in rekening te brengen.

Bij verplaatsingen met de bus, fiets en te voet, was het enkel mogelijk onderscheid te maken tussen tijdstip en stedelijkheidsgraad. Voor verplaatsingen met de tram of metro kon er enkel opgedeeld worden naar tijdstip. Voor treinritten was zelfs dat niet mogelijk en is er enkel een algemeen gemiddelde uitgekomen.

Deze modellen kunnen samen met de output van een AB-model worden gebruikt om de BC-concentratie waaraan verkeersdeelnemers worden blootgesteld te voorspellen.

Trefwoorden: Black Carbon, Blootstelling, Transport, Verkeer, Model, Regressieboom

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Literatuurstudie	3
2.1	Wat is black carbon?	3
2.2	Hoe wordt het gemeten?	4
2.3	Milieueffecten van black carbon	6
2.4	Gezondheidseffecten van black carbon	7
3	Opzet van het onderzoek	9
4	Gegevensverwerking	11
4.1	BC-metingen	11
4.2	Dagboekjes	11
4.3	GPS-logs	13
4.4	Kwaliteitscontrole GPS-logs	14
5	Koppeling met wegenkaart	19
5.1	Wegenkaart	19
5.2	'Spatial join'	21
5.3	Controle	24
5.4	Overzicht	26
6	Analyse	27
6.1	Vervoermiddel	27
6.2	Locatie-eigenschappen	29
6.3	Snelheid	33
6.4	Tijdstip	36
6.5	Verkeersintensiteit	41
6.6	Reistijd	43
6.7	Motief van de verplaatsing	46
7	Model	51
7.1	Variabelen	51
7.2	Methodiek	53

Inhoud

7.3	Resultaten	55
7.3.1	Auto	55
7.3.2	Bus	57
7.3.3	Fiets	57
7.3.4	Te voet	58
7.3.5	Tram & metro	59
7.3.6	Trein	60
8	Conclusie	61
	Bibliografie	63
	Bijlagen	69
Bijlage 1	Spitsfactoren CAR-model	69
Bijlage 2	Wegenkaart	71
Bijlage 3	Correlatiematrices	73
Bijlage 4	Modellen	75

Tabellen & Figuren

Tabel 1	Overzicht verplaatsingsmotieven. _____	12
Tabel 2	Gegevensverlies bij koppeling met GPS-logs. _____	14
Tabel 3	Overzicht wegtypes en -categorieën. _____	31
Figuur 1	Elektronenmicroscopafbeelding van black carbon. _____	3
Figuur 2	Uitstoot van BC door industrie en biomassa (ng C/m ² s). _____	4
Figuur 3	Drie optische manieren om BC te meten. _____	4
Figuur 4	Metten van de koolstofcomponenten van roet. _____	5
Figuur 5	Micro-aethalometer en PDA. _____	10
Figuur 6	Visualisatie van een traject met de gemeten snelheid en BC-concentratie. _	14
Figuur 7	Multipath effect. _____	15
Figuur 8	Tijdsdeel aantal satellieten. _____	17
Figuur 9	Wegenkaart Vlaams Verkeerscentrum. _____	20
Figuur 10	GPS tracks op wegenkaart. _____	21
Figuur 11	Percentage van de GPS-coördinaten binnen x meter van een weg. _____	22
Figuur 12	BC in functie van de afstand tot de weg. _____	23
Figuur 13	Afstand tot dichtstbijzijnde weg in functie van ontvangstkwaliteit. _____	24
Figuur 14	Verkeersintensiteit in functie van tijdstip, gemiddelde van alle GPS-tracks. _	25
Figuur 15	Proces gegevensverwerking. _____	26
Figuur 16	BC in functie van het gekozen vervoermiddel. _____	28
Figuur 17	BC in functie van stedelijkheidsgraad. _____	29
Figuur 18	BC in functie van stedelijkheidsgraad en vervoermiddel. _____	30
Figuur 19	BC in functie van wegcategorie. _____	31
Figuur 20	BC in functie van wegcategorie en vervoermiddel. _____	32
Figuur 21	BC in functie van gereden snelheid, enkel auto. _____	33
Figuur 22	BC in functie van gereden snelheid, per wegcategorie, enkel auto. _____	34
Figuur 23	Uitstoot van EC en OC in functie van de gereden snelheid. _____	35
Figuur 24	BC in functie van tijdstip. _____	36
Figuur 25	BC en snelheid in functie van tijdstip, enkel auto. _____	37
Figuur 26	Snelheidsverschil tussen ochtend- en avondspits, enkel auto. _____	38
Figuur 27	Verschil tussen spits, dal en weekend. _____	39
Figuur 28	Verschil tussen spits, dal en weekend per vervoermiddel. _____	40
Figuur 29	BC in functie van verkeersintensiteit. _____	41
Figuur 30	BC in functie van verkeersintensiteit, per wegcategorie, enkel auto. _____	42
Figuur 31	BC-concentratie tijdens lange autoritten. _____	43

Tabellen & Figuren

Figuur 32	Wegkeuze tijdens lange autoritten.	44
Figuur 33	BC-concentratie en verkeersintensiteit tijdens lange autoritten.	45
Figuur 34	BC in functie van verplaatsingsmotief.	46
Figuur 35	Verplaatsingsmotieven opgedeeld volgens wegcategorie.	47
Figuur 36	Verplaatsingsmotieven opgedeeld volgens spits, dal en weekend.	48
Figuur 37	Modal split per verplaatsingsmotief.	49
Model 1	BC-concentratie auto (ng/m ³)	56
Model 2	BC-concentratie bus (ng/m ³)	57
Model 3	BC-concentratie fiets (ng/m ³)	58
Model 4	BC-concentratie te voet (ng/m ³)	59
Model 5	BC-concentratie tram & metro (ng/m ³)	59
Model 6	BC-concentratie trein (ng/m ³)	60

Gebruikte afkortingen

AB	Activity-Based
BC	Black Carbon
CAR	Calculation of Air pollution from Road traffic
CO ₂	Koolstofdioxide
DOS	Disk Operating System
EC	Elemental Carbon
FEATHERS	Forecasting Evolutionary Activity-Travel of Households and their Environmental RepercussionS
GPS	Global Positioning System
LUR	Land Use Regression
MAAP	MultiAngle Absorption Photometry
OSM	OpenStreetMap
OC	Organic Carbon
OV	Openbaar Vervoer
PARROTS	PDA system for Activity Registration and Recording of Travel Scheduling
PDA	Personal Digital Assistant
SO ₂	Zwaveldioxide
VVC	Vlaams VerkeersCentrum

1 Inleiding

Steeds vaker wordt ervan uitgegaan dat korte periodes van hoge blootstelling aan black carbon (BC) een belangrijke invloed hebben op de gezondheid (U.S. Environmental Protection Agency, 2012). Deelnemen aan het verkeer is daarvan het voorbeeld bij uitstek. Dieselmotoren zijn verantwoordelijk voor een belangrijk deel van de uitstoot van BC. Gemiddeld brengen mensen slechts 6% van hun tijd door in het verkeer maar de BC-concentraties zijn er gemiddeld 4 à 5 keer hoger dan thuis of op het werk; het gevolg is dat het verkeer verantwoordelijk is voor 21% van de persoonlijke blootstelling en 30% van de ingeademde dosis (Dons, Int Panis, Van Poppel, Theunis, & Wets, 2012).

In het licht van deze vaststelling wordt het interessant om een beter beeld te krijgen van de blootstelling aan BC in het verkeer.

Het onderzoek in deze masterproef gaat voort op gegevens die verzameld zijn in het kader van een VITO-IMOB doctoraatswerk. Voor dat onderzoek zijn er koppels gezocht die gedurende een week hun activiteiten en verplaatsingen wilden bijhouden en tegelijkertijd de BC-concentratie wilden meten. Er is gedurende 2 periodes gemeten: in de zomer (mei – juli 2010) en in de winter (december 2010 – februari 2011). In de zomer namen 8 koppels deel aan het onderzoek en in de winter 23. Telkens heeft men dus 2 personen die thuis aan dezelfde concentraties zijn blootgesteld maar een ander activiteitenpatroon hebben.

De gegevens bestaan uit:

- Dagboekjes die de respondenten hebben ingevuld. Deze bevatten activiteiten en verplaatsingen met een tijdsresolutie van 5 minuten. Dit gebeurde met een PDA die is uitgerust met specifieke software voor het ingeven van activiteiten en verplaatsingen;
- BC-metingen. Deze werden elke 5 minuten opgeslagen door een micro-aethalometer die de respondenten bij hadden tijdens hun verplaatsingen en activiteiten;
- GPS-logs die zijn bijgehouden door de PDA waarop de respondenten ook hun dagboekje hebben ingevuld.

Deze gegevens zijn nog niet ten volle benut. De persoonlijk blootstelling is gelinkt aan activiteitenpatronen (Dons, et al., 2011) en aan verkeersomstandigheden (Dons, Int Panis, Van Poppel, Theunis, & Wets, 2012) maar de blootstelling in het verkeer is nog niet ruimtelijk geanalyseerd. Deze verdere analyse van de BC-concentraties en

Inleiding

activiteitenpatronen is mogelijk door ze te koppelen aan GPS-logs. Voor dit onderzoek zullen alleen de verplaatsingen gebruikt worden, niet de activiteiten.

Het eerste deel van dit werk bestaat uit een literatuurstudie. Deze zal de volgende onderwerpen behandelen:

- Wat BC is en hoe het ontstaat;
- Hoe BC wordt gemeten;
- De gezondheidseffecten van BC;
- De milieueffecten van BC.

Vervolgens worden al de gegevens geanalyseerd en worden er verklaringen gezocht voor de bevindingen. De centrale onderzoeksvraag daarbij luidt:

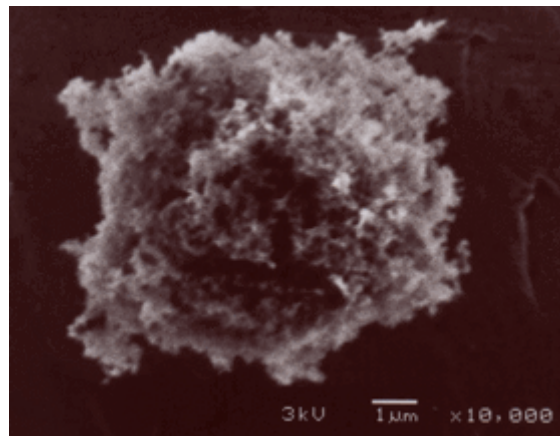
Kan de blootstelling aan black carbon worden voorspeld aan de hand van activiteiten-gebaseerde verplaatsingsgegevens?

Het uiteindelijke doel van dit onderzoek bestaat er uit tot een model te komen waarmee de blootstelling aan BC voorspeld kan worden. De input van dit model zal gezocht worden in de eigenschappen van de verplaatsingen (vervoermiddel, snelheid, tijdstip, dag,...) en eigenschappen van de locatie en/of de route (stedelijkheidsgraad, wegcategorie, verkeersintensiteit,...).

2 Literatuurstudie

2.1 *Wat is black carbon?*

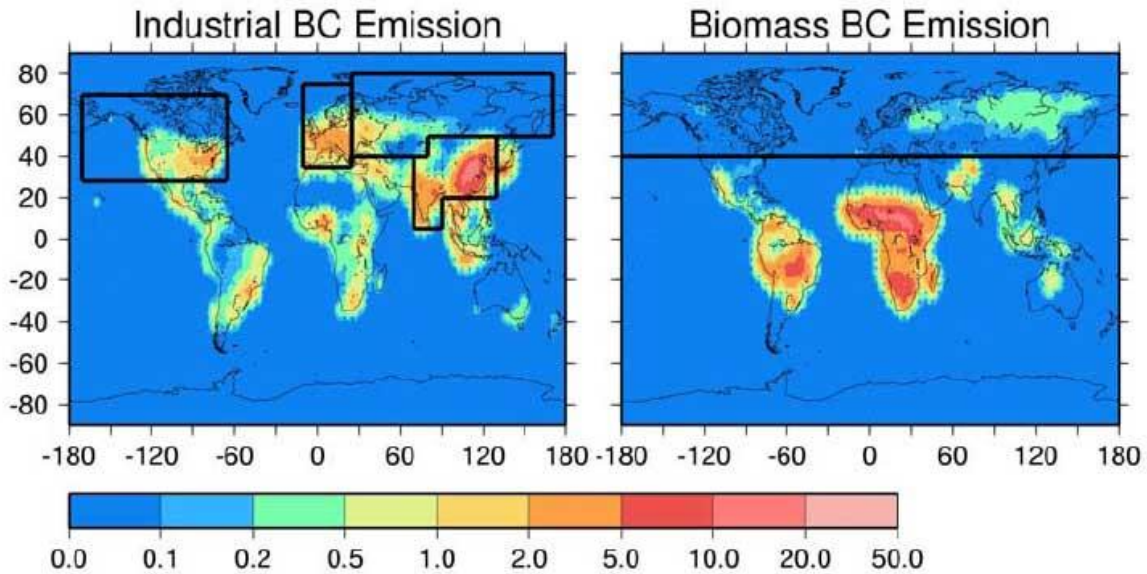
BC is een koolstofrijke aerosol (Pew Center on Global Climate Change, 2010). Een aerosol is een suspensie van vaste deeltjes of vloeistofdruppels in een gas. In dit geval gaat het om vaste deeltjes. De term 'black carbon' slaat op de eigenschap van het absorberen van zichtbaar licht. Het is het bestanddeel van roet dat zorgt voor de zwarte kleur. De licht-absorberende eigenschap is tevens verantwoordelijk voor de effecten van BC op het klimaat.



Figuur 1 Elektronenmicroscopafbeelding van black carbon.

D.M. Smith, University of Denver

BC ontstaat zowel natuurlijk als door menselijke activiteiten als gevolg van een onvolledige verbranding en komt hoofdzakelijk vrij bij dieselmotoren, bosbranden en verbranding van hout, kolen en andere biomassa (Pew Center on Global Climate Change, 2010).



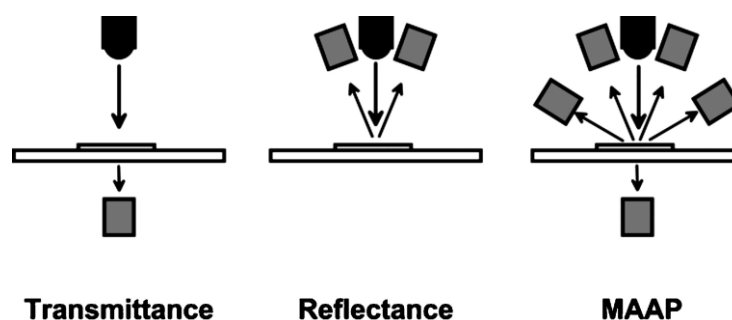
Figuur 2 Uitstoot van BC door industrie en biomassa ($\text{ng C/m}^2 \text{s}$).

(Koch & Hansen, 2005)

Op bovenstaande kaarten is te zien dat de uitstoot van BC het hoogst is in China, ten gevolge van de industrie, en in Centraal-Afrika, waar landbouwgronden regelmatig platgebrand worden (Koch & Hansen, 2005). In West-Europa is het verkeer de grootste bron van BC (Baron, Montgomery, & Tuladhar, 2009). In totaal wordt er ongeveer 12 Tg per jaar uitgestoten (Highwood & Kinnersley, 2006).

2.2 Hoe wordt het gemeten?

Er zijn meerdere methoden om de hoeveelheid BC in de lucht te meten. De meest gebruikte methode bestaat eruit de aerosoldeeltjes op te vangen op een filter en door middel van een lichtbron en een sensor de verdonkering van die filter te meten (Petzold, et al., 2005). Dit kan op verschillende manieren:



Figuur 3 Drie optische manieren om BC te meten.

(Petzold, et al., 2005)

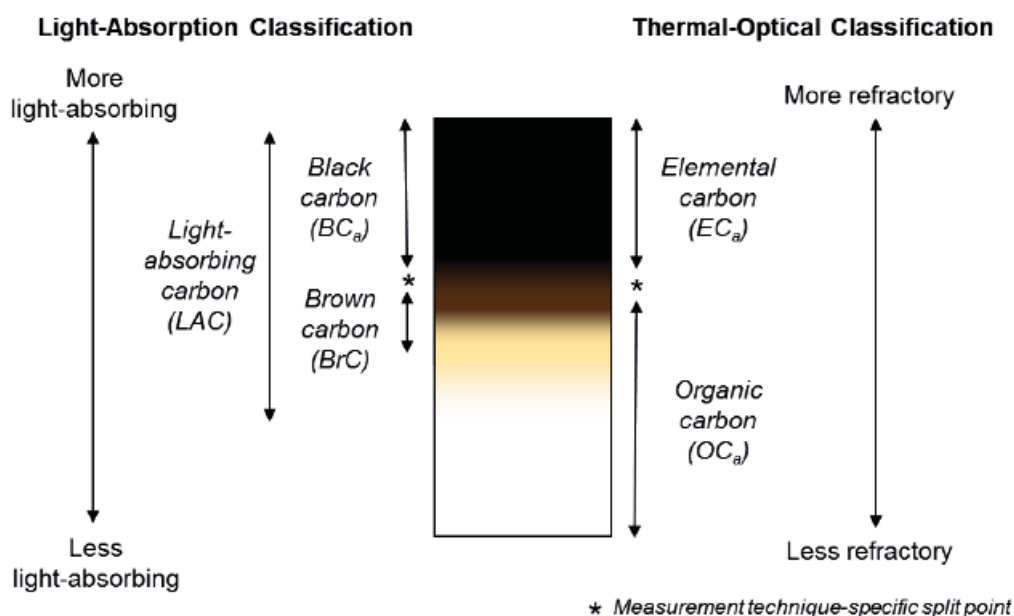
De eerste manier bestaat er uit een lichtstraal door een filter te sturen en met een sensor op te vangen. Een hogere concentratie aan BC op de filter zal ervoor zorgen dat er minder licht wordt doorgelaten.

Een andere manier maakt gebruik van ongeveer dezelfde opstelling maar met de sensor aan dezelfde zijde als de lichtbron. Hier wordt de reflectie van de filter gemeten. De mate van reflectie wordt, net zoals de doorlaatbaarheid, beïnvloed door de hoeveelheid aerosoldeeltjes die op de filter zijn terecht gekomen.

De derde manier die hier wordt voorgesteld is een combinatie van de twee voorgaande. MAAP staat voor 'multiangle absorption photometry'. De vaste meetpunten van de Vlaamse Milieumaatschappij maken gebruik van deze methode.

Een nadeel van deze optische methodes is dat er een aantal correcties nodig zijn (Petzold, et al., 2005). Daarom zit er in de toestellen een tweede lichtbron en sensor. Die straal gaat door een deel van de filter die niet aan de buitenlucht wordt blootgesteld (Weingartner, et al., 2003) (J. Sandradewi, 2008). De lichtstraal door het niet-vervuilde deel van de filter dient als referentie.

Een andere term die veel gebruikt wordt is 'elemental carbon' (EC). Het is ongeveer hetzelfde als black carbon maar aangezien de werking van de meettoestellen verschilt, wordt niet exact hetzelfde gemeten (Watson, Chow, & Chen, 2005).



Figuur 4 Meten van de koolstofcomponenten van roet.

(U.S. Environmental Protection Agency, 2012)

EC wordt thermisch gemeten, d.w.z. dat de filter waarop aerosol is verzameld achteraf volgens een bepaald hitteprotocol behandeld wordt. Het nadeel van deze methode is dat

er over een langere periode geaccumuleerd wordt, bv. 1 filter wordt gedurende 12 uur bemonsterd en na analyse geeft dit 1 gemiddelde concentratie voor die 12 uur. Er bestaan verschillende hitteprotocollen en afhankelijk hiervan wordt er iets meer of minder EC gemeten (Watson, Chow, & Chen, 2005). Er is nog geen internationale standaard maar daar wordt wel aan gewerkt. Voor het meten van BC bestaat er overigens ook nog geen wereldwijd gestandaardiseerde referentiemethode (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

2.3 Milieueffecten van black carbon

BC zorgt voor klimaatverandering omdat het zonlicht absorbeert en op die manier opwarmt. Zowel in de lucht als in sneeuw en ijs zorgt de aanwezigheid van BC voor een donkerdere kleur waardoor meer zonlicht wordt geabsorbeerd en in warmte wordt omgezet. Door dit proces is BC, na koolstofdioxide (CO₂), de tweede belangrijkste oorzaak van de opwarming van het klimaat (Ramanathan & Carmichael, 2008); (Unger, et al., 2010); (Bond & Sun, 2005); (Jacobson, 2002).

BC in sneeuw en ijs zorgt er altijd voor dat de sneeuw of het ijs warmer wordt dan als het er niet in zou zitten. In de lucht hangt het effect echter af van de hoogte. Dicht bij de grond zorgt de aanwezigheid van BC voor de meeste opwarming. Naarmate de hoogte toeneemt, neemt het effect af. In de stratosfeer zorgt deze aerosol zelfs voor lagere oppervlaktetemperaturen (Carnegie Institution of Washington, 2011).

Op de neerslag is er een vergelijkbaar effect. In lagere luchtlagen zorgt de aanwezigheid van BC voor minder neerslag en in de hogere lagen voor meer neerslag (Carnegie Institution of Washington, 2011).

Recent onderzoek toont aan dat de mate waarin BC opwarmt afhangt van de concentratie zwaveldioxide (SO₂) en ook afhangt van de oorsprong van de BC (Ramana, et al., 2010).

SO₂ en organische aerosolen reflecteren zonlicht en gaan dus opwarming tegen. Eigenlijk is het de relatieve concentratie BC ten opzichte van de concentratie SO₂ die voor de opwarming van het klimaat zorgt. De oorsprong van de BC speelt ook een rol. Zo is BC afkomstig van fossiele brandstof dubbel zo performant in het opwarmen als BC uit biomassa (Ramana, et al., 2010).

Een belangrijk verschil tussen CO₂ en BC is dat CO₂ tientallen jaren in de atmosfeer blijft hangen nadat het uitgestoten is. BC blijft maar enkele weken aanwezig in de atmosfeer (Pew Center on Global Climate Change, 2010). Hierdoor zijn de resultaten van het terugdringen van de uitstoot van BC veel vlugger merkbaar dan die van CO₂.

Het is zelfs zo dat een dieselwagen in grotere mate bijdraagt aan de opwarming van het klimaat dan een benzinewagen. Een dieselmotor stoot weliswaar een beetje minder CO₂ dan een benzine motor uit maar aan de andere kant veel meer BC. Het totale opwarmingspotentieel kan daardoor toch groter zijn (Kupiainen & Klimont, 2007).

BC wordt ook teruggevonden ver van de bron zoals boven oceanen (Kristjánsson, 2002) en in de stratosfeer boven de polen (Baumgardner, Kok, & Raga, 2004). Het verdwijnt terug uit de atmosfeer door bezinking of sedimentatie (Highwood & Kinnersley, 2006).

2.4 Gezondheidseffecten van black carbon

Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie "zijn verbrandings-gerelateerde aerosolen bijzonder significant inzake effecten op de gezondheid" (Health Effects Institute, 2010). Ultrafijne roetdeeltjes zoals BC kunnen zich tot diep in de longen nestelen (Borm, Schins, & Albrecht, 2004). Vanuit de longblaasjes kunnen ze in de bloedbaan terechtkomen en het bloed verdikken. Dit verhoogt de kans op de vorming van een bloedklonter (Gilmour, et al., 2004). Deze effecten zijn vooral aangetoond bij de uitstoot van dieselmotoren, die een grote bron zijn van deze ultrafijne deeltjes (Nemmar, Hoylaerts, Hoet, & Nemery, 2004).

De gevolgen hiervan kunnen zich onder andere uiten in: een verstoord hartritme (Adar, et al., 2007), verhoogde kans op een beroerte, verhoogde kans op kanker en andere long-, hart- en bloedvaataandoeningen (Highwood & Kinnersley, 2006).

Recent onderzoek door von Klot et al. (2011) toont aan dat de kans op een hartaanval in grote mate afhangt van de tijd die wordt doorgebracht buiten en in het verkeer.

Verschillende studies tonen ook een verband tussen de blootstelling aan BC en vroegtijdig overlijden (Ostro, et al., 2010) (Janssen, et al., 2011) (Dockery & Pope, 2006).

3 Opzet van het onderzoek

Voor het onderzoek zijn er koppels gezocht die gedurende een week hun activiteiten en verplaatsingen wilden bijhouden en tezelfdertijd de concentratie aan BC wilden meten.

Er is gedurende 2 periodes gemeten: in de zomer (mei – juli 2010) en in de winter (december 2010 – februari 2011). In de zomer namen 8 koppels deel aan het onderzoek en in de winter 23. Telkens heeft men dus 2 personen die thuis aan dezelfde concentraties zijn blootgesteld maar die een ander activiteitenpatroon hebben.

Het bijhouden van de activiteiten en de verplaatsingen gebeurde met een PDA die uitgerust is met een GPS-antenne en met de PARROTS-applicatie. PARROTS staat voor 'PDA system for Activity Registration and Recording of Travel Scheduling' en is ontwikkeld door IMOB (Kochan, Bellemans, Janssens, & Timmermans, 2010). Deze applicatie start automatisch op als de PDA wordt ingeschakeld en laat de gebruiker toe op een eenvoudige manier activiteiten en verplaatsingen in te geven.

De interface toont 3 knoppen: Dagboek, Vergrendelen en Uitschakelen. Bij 'Dagboek' krijgt men een dagkalender waarop verplaatsingen en activiteiten ingegeven kunnen worden. Dit kan alleen na afloop van 1 of meerdere activiteiten. Het is niet mogelijk om op voorhand reeds verplaatsingen of activiteiten in te geven.

De knop 'Vergrendelen' zet het scherm uit en start de GPS-logger. De applicatie kan daarna onmiddellijk worden opgeroepen. Aan de gebruikers werd gevraagd tijdens het verplaatsen het apparaat niet uit te schakelen maar te vergrendelen. Als ze eenmaal thuis of op hun werk zijn, mag het toestel weer uit. Zo worden er geen onnodige gps-logs gegenereerd. Het kan zijn dat de gebruikers zich daar soms in hebben vergist.

De GPS-tracker logt iedere seconde de coördinaten. Deze zijn niet gekoppeld aan de ingegeven verplaatsingen of activiteiten. De gebruikers moesten dus het adres ingeven van waar ze zijn geweest.

Het meten van de BC-concentraties gebeurde met een draagbaar meettoestel. Zo een toestel heet een micro-aethalometer en meet de BC-concentratie in de lucht aan de hand van de eerste manier die hierboven bespreken is, de lichtdoorlaatbaarheid (Hansen, Rosen, & Novakov, 1984).

Het toestel heet voluit "microAeth Model AE51". De huidige leverancier is AethLabs (<http://www.aethlabs.com/microaeth>), vroeger was dat Magee Scientific (http://mageesci.com/products/microaeth_AE51.htm).



Figuur 5 **Micro-aethalometer en PDA.**

Het toestel is uitgerust met een pompje die een constante hoeveelheid lucht aanvoert via de luchtinlaat. De luchtaanvoer is ingesteld op 100 ml/minuut. Het toevoergaatje zit aan de linkerkant, naast de filter. De uitvoer zit aan de rechterkant, boven de aan/uitknop.

Dit toestel kan meegenomen worden in hand, jaszak, rugzak en dergelijke. Er moet wel op gelet worden dat het slangetje aan de luchtinlaat naar buiten steekt en niet volledig in de tas of zak zit. Het is immers de bedoeling dat dezelfde concentraties gemeten worden als van de ingeademde lucht.

Aan dit toestel hebben de respondenten niet veel werk. Er werd gevraagd om elke dag de accu op te laden en elke twee dagen de filter te vervangen (Dons, et al., 2011). De filter wordt in de gleuf aan de voorkant geschoven. Deze gleuf is afgedekt met een rubberen plaatje maar die staat, evenals het slangetje op de luchtinlaat, niet op bovenstaande foto (Figuur 5).

Aan de hand van de bijhorende computersoftware kan het toestel geconfigureerd worden. De interface biedt onder andere instelmogelijkheden voor het debiet van het pompje, de tijdsresolutie van de metingen en het synchroniseren van de klok. Er is gekozen om de meting elke 5 minuten te laten plaatsvinden. De gebruikers moesten hier niets aan veranderen en hoefden het toestel niet aan te sluiten op hun PC.

Het toestel is uitgerust met een geheugen van 4 MB. Dit is voldoende om de concentraties bij te houden van ongeveer een maand indien gekozen werd voor een tijdsresolutie van 5 minuten. De gebruikers hoefden zich dus niet bezig te houden met het tussentijds doorsturen van de meetresultaten.

4 Gegevensverwerking

Voor de gegevensverwerking wordt het softwarepakket SAS gebruikt.

4.1 *BC-metingen*

Zoals eerder vermeld, meten de aethalometers de verdonkering van de aan de buitenlucht blootgestelde filter ten opzichte van de afgesloten filter. Deze verdonkeringswaarde wordt dan omgezet in een concentratie uitgedrukt in nanogram per kubieke meter lucht (ng/m³).

Op deze waarden werd ook een correctie toegepast om het effect van variërende achtergrondconcentraties te compenseren. Als achtergrondconcentratie werd het daggemiddelde gebruikt, gemeten door een vast meetstation te Antwerpen Linkeroever, dat deel uitmaakt van het officiële meetnet van de Vlaamse Milieumaatschappij. Dit meetstation is voldoende ver verwijderd van bebouwing en verkeer. Het meetstation is van het MAAP-type.

Er is ook gecorrigeerd voor toestel-specifieke afwijkingen. Alle toestellen zijn naast elkaar gelegd om te zien of ze wel dezelfde waarden geven. Eventuele verschillen zijn bijgehouden en toegepast op de metingen. Metingen met een erg beladen filter of waarbij het toestel een foutmelding gaf zijn niet meegenomen (Dons, Int Panis, Van Poppel, Theunis, & Wets, 2012).

De micro-aethalometer maakt databestanden aan met de meetgegevens en informatie over het toestel zoals de temperatuur en het batterijniveau. Al deze gegevens werden eerder al in 1 bestand gezet.

4.2 *Dagboekjes*

De PDA maakt per dag een tekstbestand aan met de activiteiten en verplaatsingen die de gebruiker heeft ingegeven. Samen met de BC-metingen, werden deze dagboekjes ook al in een groot bestand gezet met alle verzamelde gegevens van alle respondenten.

In de gegevens van dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen 13 activiteiten. Het motief van de verplaatsing wordt afgeleid uit de daaropvolgende activiteit, tenzij het gaat om 'Home-based activities', dan wordt de activiteit die voorafgaat aan de verplaatsing genomen als verplaatsingsmotief (Janssens, Cools, Miermans, Declercq, & Wets, 2011). Het voorspellingsraamwerk FEATHERS (Forecasting Evolutionary Activity-Travel of

Households and their Environmental RepercussionS) maakt onderscheid tussen 10 verplaatsingsmotieven (Kochan, 2011). De 3 motieven die er meer waren, kwamen slechts weinig voor. Voor de betrouwbaarheid van de analyse was het beter deze onder te brengen bij andere motieven.

Tabel 1 Overzicht verplaatsingsmotieven.

Dit onderzoek / PARROTS	FEATHERS	Samengevoegd bij
Bring/get goods/people	Bring/get	
Daily shopping	Shopping(daily)	
Eat		Other
Education		Work
Go for a ride	Touring	
Home-based activities	Being at home	
Leisure	Leisure	
Non-daily shopping	Shopping(non-daily)	
Other	Other	
Service related activities	Services	
Sleep		Home-based activities / Being at home
Social	Social visits	
Work	Work	

Voor dit onderzoek zijn alleen de gegevens nodig van verplaatsingen. Nadat het tripmotief bepaald werd aan de hand van de activiteiten mogen die andere activiteiten uit de dataset. De regels waar de respondenten onderweg zijn worden geselecteerd met de query "location = 'In transport'". Gemiddeld waren de respondenten 6% van de tijd in transport (Dons, Int Panis, Van Poppel, Theunis, & Wets, 2012).

Er worden ook bijkomende eigenschappen van de verplaatsingen berekend. Deze betreffen de tijd in verplaatsing, de duur van de verplaatsing en de spitsfactoren. Spitsfactoren maken het mogelijk om het uur van de dag, wat een categorische variabele is, om te zetten in een continue variabele. Op die manier kan het gemakkelijker in een model worden gebruikt. Het is een waarde per uur die aangeeft hoeveel procent van de dagintensiteit er op dat uur voorbijkomt. Het CAR-model voor Vlaanderen bevat deze waarden zowel voor zwaar verkeer als voor alle verkeer (ook bruikbaar voor licht verkeer) en dit afzonderlijk voor werkdagen, zaterdag en zondagen (Jonkers & Vanhove, 2010). Deze tabel is te vinden in Bijlage 1.

4.3 GPS-logs

De GPS-tracker houdt een aantal gegevens bij. De meest interessante daarvan zijn de coördinaten en de snelheid. De GPS-tracker slaat deze gegevens op in allemaal kleine tekstbestandjes. Deze zijn rond de 8 kB groot en worden per dag in een map geplaatst met als naam de datum. In die map wordt nog een map gemaakt met als naam het cijfer 1. Als map '1' 900 bestanden bevat, wordt er een map '2' gemaakt, enzovoort. Het maximum wat op een dag voorkwam was '4'.

Af en toe is er ook gelogd op dagen dat het niet hoefde. Dit kan het geval zijn bij het instellen van de PDA of omdat de respondenten ermee hebben leren werken. De mappen met een datum die niet binnen de week van het onderzoek vallen mogen verwijderd worden.

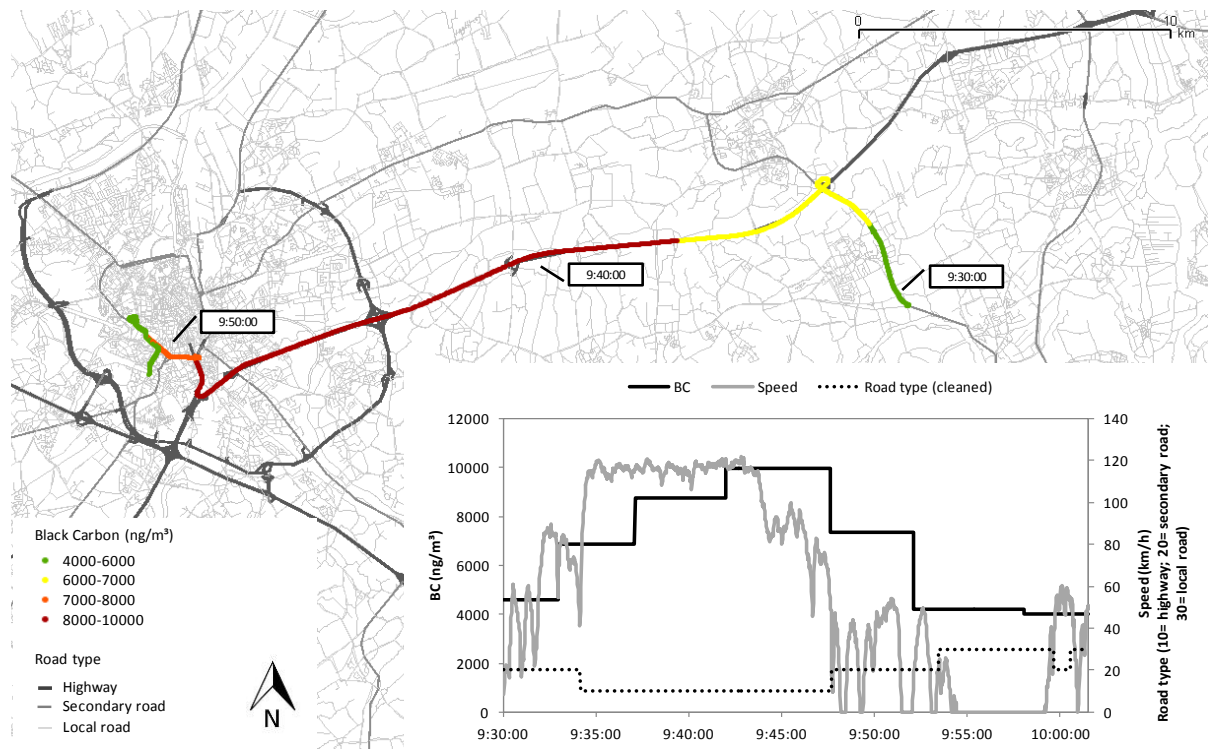
Deze duizenden tekstbestanden mogen samengevoegd worden tot 1 bestand per persoon. Dit kan het eenvoudigst door ze alle bestanden van een persoon in 1 map te plaatsen en er 1 bestand van te maken met het DOS-commando `copy *.txt`.

Vervolgens worden de GPS-gegevens toegevoegd aan de dagboekjes en de BC-metingen. Dat script bestaat uit verschillende secties:

- Inladen van de GPS bestanden
- Uitlezen van de datum en tijd
- Toekennen van bijhorende huishoudnummer en gezinslidnummer
- Selecteren van de rijen met nuttige informatie en goede signaalkwaliteit
- Omzetten van datum, tijd, coördinaten en snelheid in juiste formaat
- Tijd omzetten naar juiste tijdzone en zomertijd/wintertijd
- Gegevens toevoegen aan dagboekjes en BC-concentraties
- Alle data van de personen samenvoegen tot 1 groot bestand

Er ontstaat nu een dataset met 1 regel per seconde. De snelheid en de coördinaten geregistreerd door de GPS veranderen elke seconde. De BC-concentratie verandert elke 5 minuten. Tijdens deze 5 minuten kunnen de omstandigheden veranderen waardoor de blootstelling aan BC stijgt of daalt. Omdat een deel van de verdonkering van de filter plaatsvond bij lage concentraties en een deel bij hoge concentraties, zal de uiteindelijk gemeten concentratie bij zo een overgang tussen de lage en de hoge waarde liggen.

De afbeelding hieronder verduidelijkt dit.



Figuur 6 Visualisatie van een traject met de gemeten snelheid en BC-concentratie.

De toedeling op het wegennet die hier gebruikt is wordt besproken in hoofdstuk 5.

4.4 Kwaliteitscontrole GPS-logs

Door de gegevens terug te brengen naar 1 regel per 5 minuten kan er nagegaan worden hoeveel van de ingegeven verplaatsingsgegevens verloren is gegaan bij de koppeling met de GPS data. Uiteraard worden de volledige gegevens per seconde bewaard. Deze zijn nog nodig voor de koppeling met een wegenkaart.

Tabel 2 Gegevensverlies bij koppeling met GPS-logs.

Mode	Aantal 5-min. Observaties in dagboek	Overgebleven 5-min. observaties na koppeling met GPS	Valt weg	Blijft over
Car driver	3875	2734	29%	71%
Car passenger	975	646	34%	66%
Bike	1339	846	37%	63%
On foot	1401	800	43%	57%
Bus	204	151	26%	74%
Light rail/metro	72	28	61%	39%
Train	677	118	83%	17%
Totaal	8543	5323	38%	62%

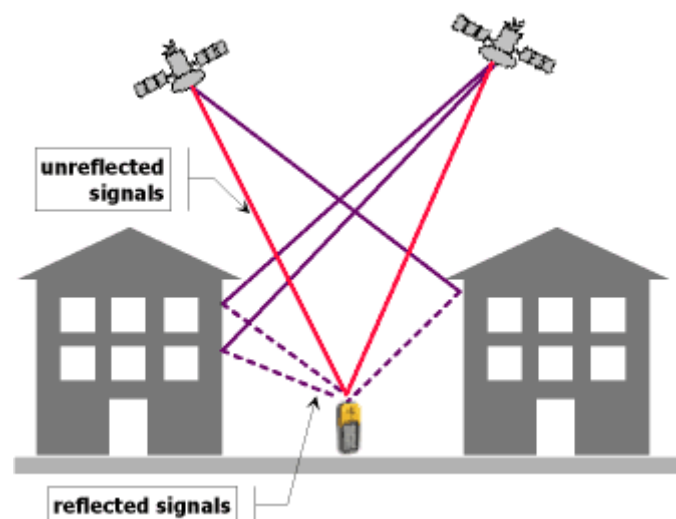
We zien dat iets meer dan een derde van de gegevens is weggevallen omdat er geen GPS ontvangst was of omdat de gebruikers hun PDA te laat of niet hebben aangezet.

Bij verplaatsingen met de trein, tram of metro was er het grootste deel van de tijd geen GPS-verbinding. Volgens Beekhuizen et al. (2011) is er in de meeste modi weinig sprake van volledig signaalverlies, behalve in de trein, daar valt 28% van de tijd het signaal volledig weg.

In dit onderzoek was dat veel meer, echter zitten hier ook menselijke fouten bij zoals het vergeten aanzetten of opladen van de PDA. Mogelijk hebben de respondenten ook gedacht dat het geen zin had om in de trein de GPS aan te hebben staan door een slechte ontvangst.

Omdat meer dan de helft van de metingen in treinen, trams en metro's niet wegvalt bij de koppeling met de GPS-logs, zullen gegevens verzameld in deze modi gebruikt worden zonder plaatsbepaling.

Een van de effecten die de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling negatief beïnvloedt is het zogenaamde 'multipath effect'. Door reflectie kan het signaal dat van de navigatiesatellieten komt via verschillende wegen naar de ontvanger komen (kowoma.de, 2009). Het signaal kan reflecteren tegen gebouwen (de zogenaamde street-canyon) of tegen bergen.



Figuur 7 Multipath effect.

(kowoma.de, 2009)

Het gereflecteerde signaal doet er langer over om de ontvanger te bereiken dan het directe signaal, met afwijkingen tot gevolg. Bij hoge en dichte bebouwing kan het zijn dat enkel het gereflecteerde signaal ontvangen kan worden. In andere gevallen kan het zijn dat de GPS wisselt tussen directe en gereflecteerde signalen.

Er zijn nog andere effecten die de nauwkeurigheid van GPS-signalen beïnvloeden maar die gelden altijd. De mate waarin het multipath effect een rol speelt hangt af van de omringende bebouwing en speelt dus niet bij elke modus en op elke locatie een even grote rol.

In tunnels valt het GPS signaal volledig weg. We zien dat daar het tracé niet wordt gelogd. Zowel het laatste punt voor het ingaan van een tunnel als het eerste punt na het uitgaan ervan hebben nog de juiste coördinaten en een realistische snelheid.

Ter controle worden de GPS-logs tijdens verplaatsingen over de weg geprojecteerd op de gedetailleerde wegenkaart van OpenStreetMap. OpenStreetMap (OSM) is een vrij bewerkbare kaart van de hele wereld. Het kan door iedereen bekeken en aangepast worden op de website <http://www.openstreetmap.org/>. De kaarten zijn ook per land in shapefiles te downloaden van de website <http://www.geofabrik.de/>.

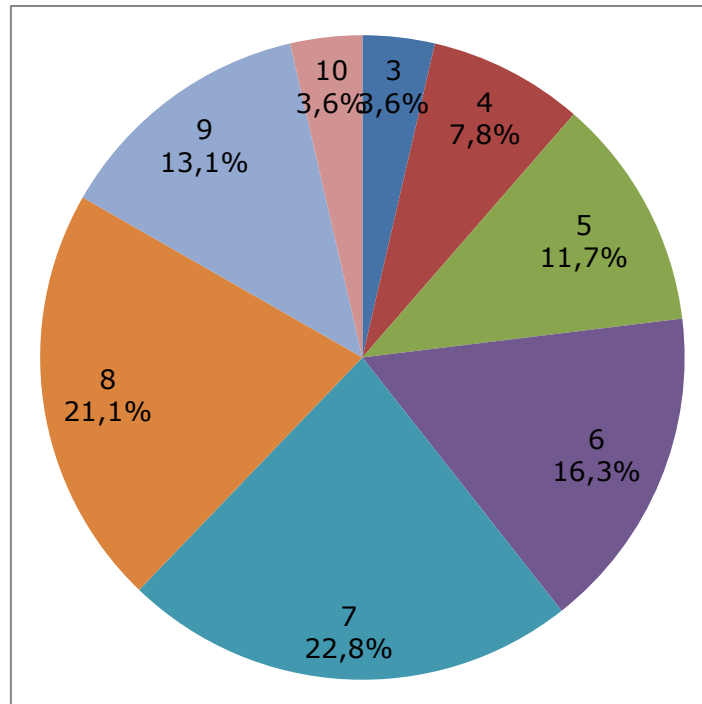
Bij een verbinding met 3 of 4 satellieten lagen de geregistreerde punten niet altijd op een weg, soms deden er zich uitschieters voor.

Bij een ontvangstkwaliteit van minder dan 3 satellieten is er geen plaatsbepaling mogelijk. Er worden dan ook geen coördinaten opgeslagen.

Vanaf 5 satellieten lag het pad altijd mooi op een weg. Er is dan ook besloten alleen de gegevens te koppelen met een wegenkaart als er met minstens 5 satellieten verbinding was.

Het weglaten van de observaties waarbij met slechts 3 of 4 satellieten verbinding was, heeft bij de meeste modellen (Hoofdstuk 7) geleid tot een hogere determinatiecoëfficiënt.

Het diagram hieronder toont hoeveel procent van de tijd er signaal was van hoeveel satellieten. De cijfers bevatten alleen het gebruik op de weg, niet in trein, tram of metro.



Figuur 8 Tijdsaandeel aantal satellieten.

Het weglaten van de GPS punten waarbij verbinding was met maar 3 of 4 satellieten leidt tot een gegevensverlies van 11,4%. Met deze filtering wordt vermeden dat punten worden toegekend aan een verkeerde weg maar zullen er ook correct toegewezen punten wegvallen.

5 Koppeling met wegenkaart

Het doel van dit onderzoek is tot een model te komen waarmee de blootstelling aan BC voorspeld kan worden aan de hand van eigenschappen van de verplaatsing en omgevingsfactoren. Om die omgevingsfactoren mee te kunnen nemen, moeten die gekoppeld worden aan de meetgegevens en GPS-logs. Voor de koppeling met een wegenkaart selecteren we enkel de verplaatsingen op de weg. Het heeft geen zin verplaatsingen per trein, tram of metro proberen te koppelen.

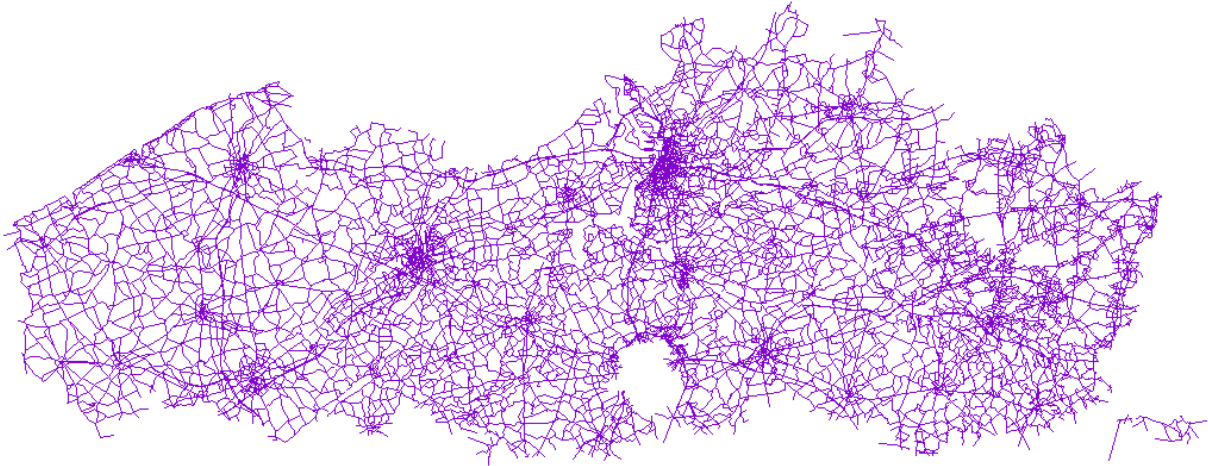
5.1 Wegenkaart

Hiervoor moet er vertrokken worden vanuit een wegenkaart die relevante gegevens bevat. Na een vergelijking van enkele kaarten, bleek die van het Vlaams Verkeerscentrum het meest geschikt. Deze kaart bevat per weg onder andere de volgende nuttige gegevens:

- Wegtype
- Stedelijkheidsgraad
- Gemiddelde snelheid
- Intensiteit licht verkeer (gemodelleerd)
- Intensiteit zwaar verkeer (gemodelleerd)
- Intensiteit alle verkeer (gemodelleerd)

Een overzicht van de kaarteigenschappen is te vinden in Bijlage 2.

Verder zijn er nog een hele reeks eigenschappen die er dubbel in staan of eigenschappen die in dit onderzoek niet nuttig zijn. Deze werden op voorhand verwijderd om de resulterende bestanden niet onnodig groot te maken.



Figuur 9 **Wegenkaart Vlaams Verkeerscentrum.**

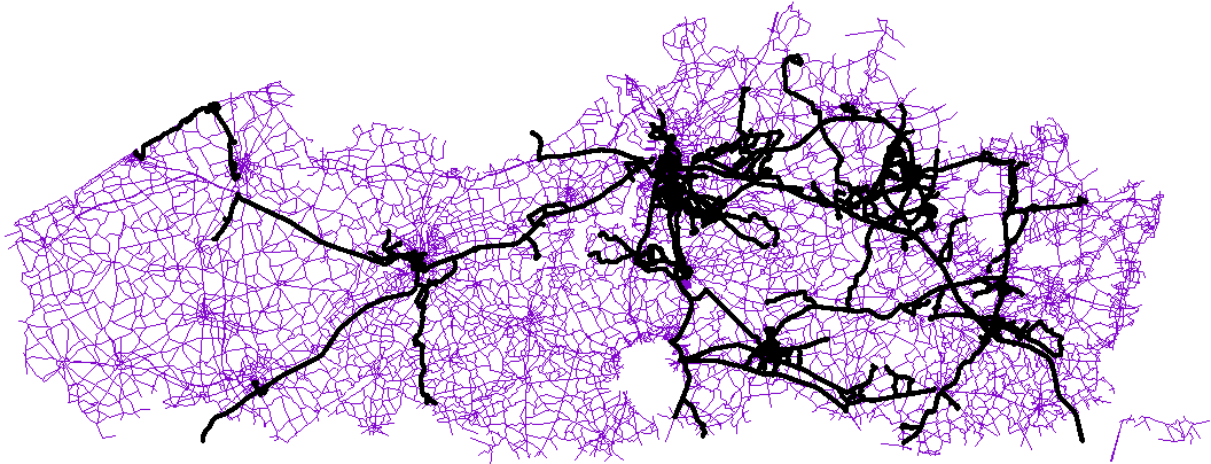
Deze kaart heeft ook enkele beperkingen, namelijk:

- Bevat niet de kleine wegen en paden;
- De polylijnen die het tracé van de wegen voorstellen zijn sterk vereenvoudigd waardoor bochten soms worden afgesneden;
- Enkel Vlaanderen.

De eerste beperking kan tevens een voordeel zijn. Het ontbreken van de meeste ventwegen, landbouwwegen e.d. verkleint de kans dat een coördinaat aan de verkeerde weg wordt toegewezen.

De tweede beperking heeft als gevolg dat het vereenvoudigde tracé tot 100 m naast het werkelijke tracé kan liggen. Meestal blijft de afwijking beperkt tot maximaal 30 m.

Door de derde beperking is het nodig dat de ritten in Wallonië en Frankrijk niet worden meegenomen in de koppeling op basis van locatie. Deze ritten wel meenemen zou de rekentijd enorm verlengen en geen bruikbare gegevens opleveren voor deze ritten. De meest voor de hand liggende oplossing hiervoor bleek het selecteren van de gegevens boven 50,72° noorderbreedte. Hiermee gingen geen observaties in Vlaanderen verloren en werden ritten in Wallonië en Frankrijk zo goed mogelijk weggesneden.



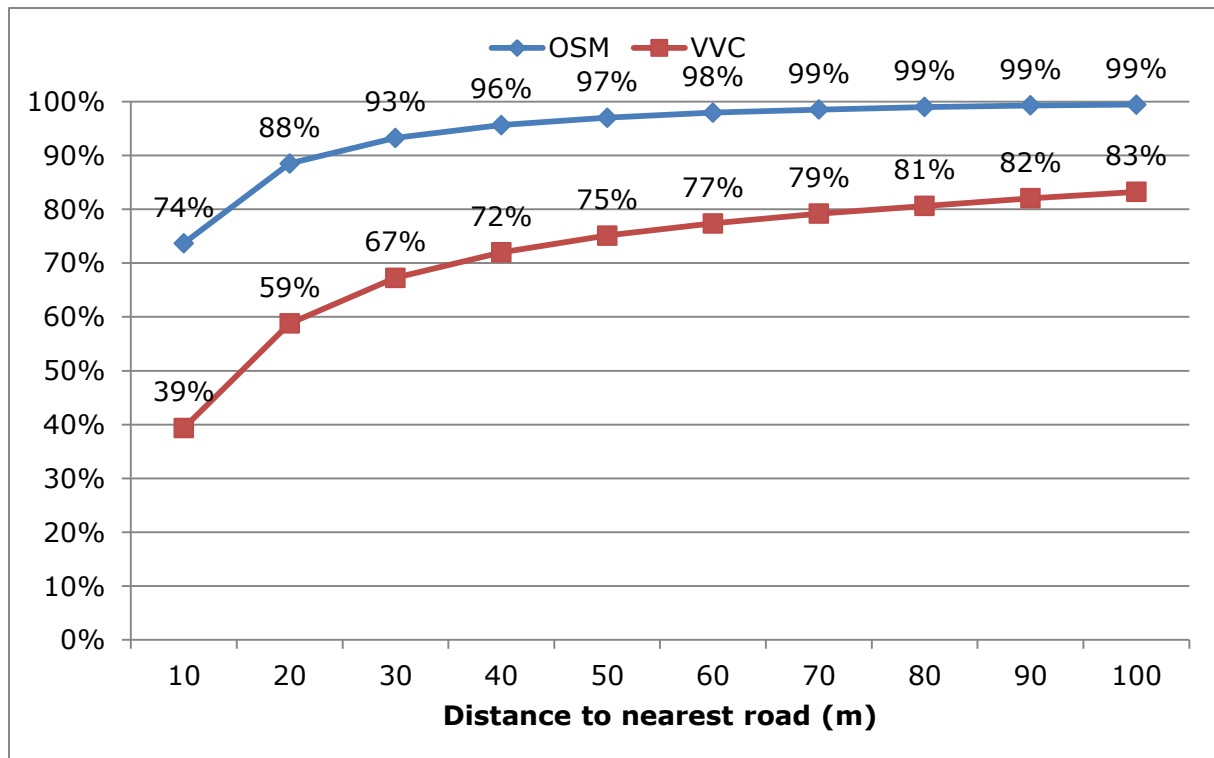
Figuur 10 GPS tracks op wegenkaart.

5.2 'Spatial join'

De koppeling zelf is gedaan met het softwarepakket ArcGIS. De functie heet 'Spatial join'. Omdat het importeren van de dataset in tabelvorm niet lukte in ArcGIS, moest deze eerst worden opgeslagen als 'shapefile'. Dit is gedaan met het open-source programma Quantum GIS.

Bij de koppeling op basis van locatie worden de eigenschappen van de dichtstbijzijnde weg toegevoegd aan de eigenschappen van de geregistreerde coördinaten. Het GIS-programma maakt tevens een kolom 'Distance' aan met de afstand tussen het punt en de dichtstbijzijnde weg.

De grafiek hieronder toont het aandeel van de geregistreerde coördinaten dat binnen een bepaalde afstand van een weg ligt. Ter vergelijking werd er ook gekoppeld met de kaart van OpenStreetMap.

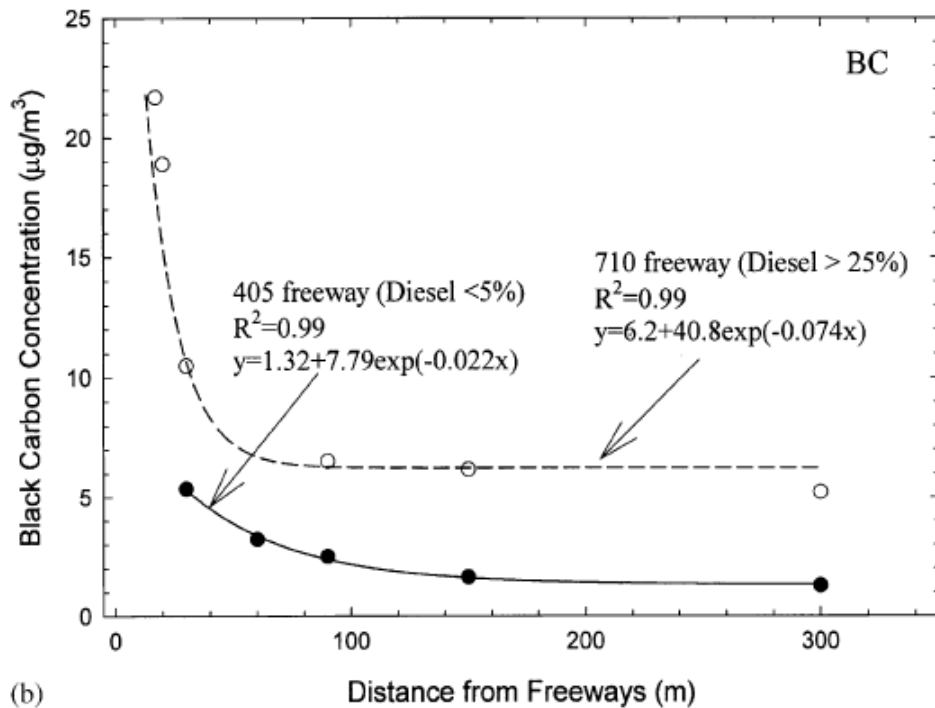


Figuur 11 Percentage van de GPS-coördinaten binnen x meter van een weg.

Geprojecteerd op de kaart van het Vlaams Verkeerscentrum, ligt twee derde van de punten op minder dan 30 m van een weg en drie vierde op minder dan 50 m. De kaart van OpenStreetMap is duidelijk veel gedetailleerder. Maar liefst driekwart van de punten vond binnen de 10 m een weg. Het verschil heeft niet enkel te maken met het detailniveau maar ook met de dekking. De kaart van OSM bevat heel België en die van het Vlaams Verkeerscentrum enkel het Vlaams Gewest. De hier gevonden afstanden bevatten zowel onnauwkeurigheden van de GPS als onnauwkeurigheden van de wegenkaart.

Gezien de mogelijke afwijking tussen de kaart van het Vlaams Verkeerscentrum en het werkelijke tracé van de wegen moet er minstens een tolerantie van 30 m aanvaard worden.

Bij het bepalen van de maximale afwijking moet ook het bereik van BC in acht worden genomen. BC-concentraties zijn heel plaatselijk. Een aantal meter van de weg verwijderd, is de concentratie al beduidend lager (Zhu, Hinds, Kim, Shen, & Sioutas, 2002). Volgens Zhu et al. (2002) ziet die spreiding eruit als in de onderstaande grafiek.



Figuur 12 BC in functie van de afstand tot de weg.

(Zhu, Hinds, Kim, Shen, & Sioutas, 2002)

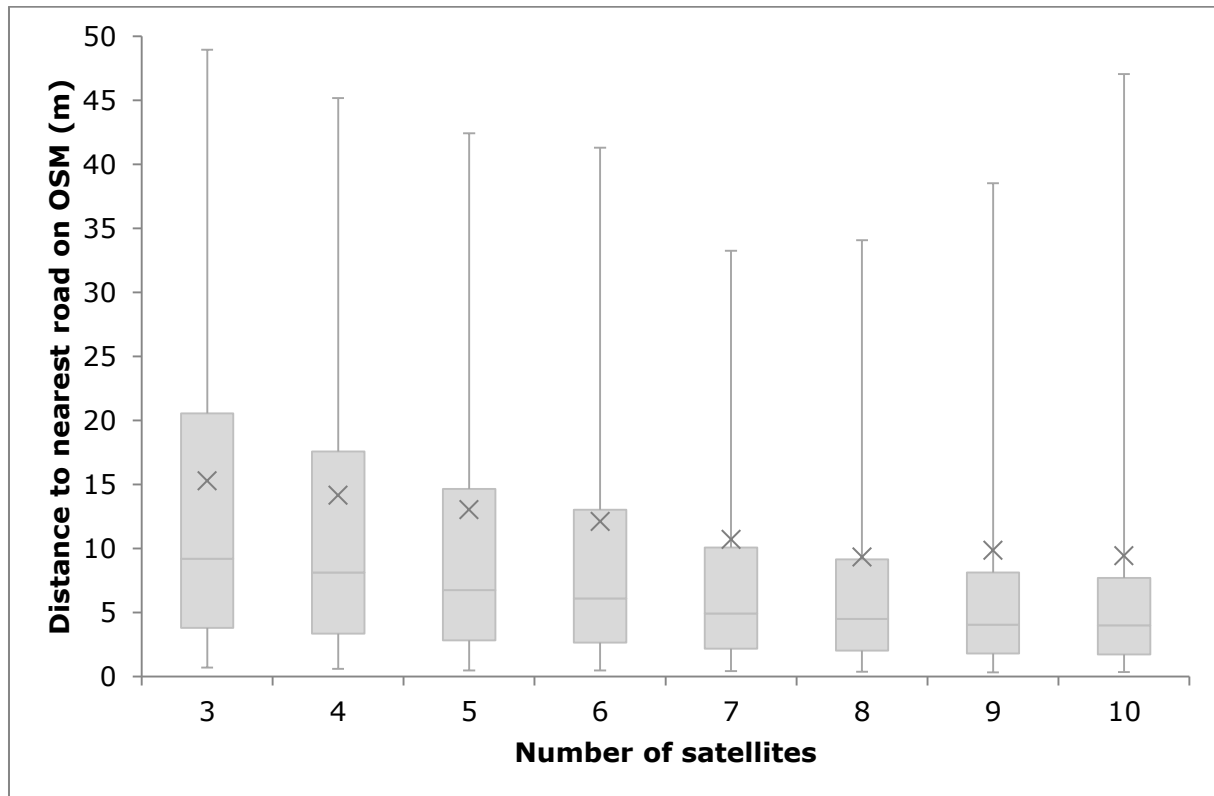
In België zal, door het hoge aandeel dieselloftuigen, de spreiding eerder in de buurt liggen van de stippellijn dan van de doorlopende lijn.

Vanaf 50 m van de bron is de concentratie al nauwelijks hoger dan de achtergrondwaarde. Het zal de onderzoeksresultaten ten goede komen als de toegestane afstand tussen de GPS-coördinaten en de wegen zo klein mogelijk gehouden wordt. Punten die, op kaart, meer dan 30 m van een weg liggen zullen niet worden gebruikt voor de verdere analyse en het opstellen van de modellen.

Door deze selectie zullen ook observaties wegvallen waarvoor geen weg in de buurt lag op de wegenkaart. Het zal dan vooral gaan om observaties met een lage BC-concentratie omdat de gebruikte kaart niet alle kleine wegen bevat. Hoge BC-concentraties zullen meestal wel bewaart blijven omdat alle grote wegen wel aanwezig zijn op de gebruikte kaart.

5.3 Controle

Er is ook gekeken naar de afstand tot de dichtstbijzijnde weg op de kaart van OSM in functie van de kwaliteit van het GPS-sigitaal.



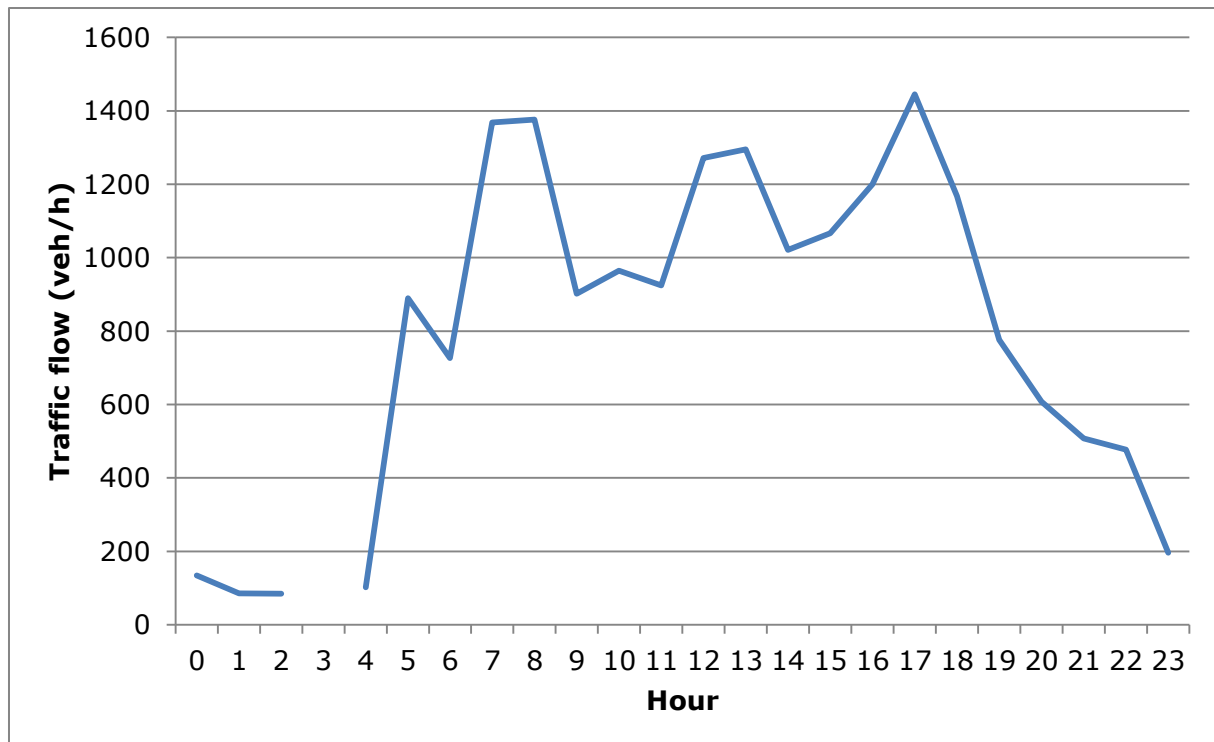
Figuur 13 Afstand tot dichtstbijzijnde weg in functie van ontvangstkwaliteit.

De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x).

Wat opvalt is dat de spreiding veel smaller wordt bij een betere ontvangstkwaliteit.

Na deze koppeling kan nog de momentane verkeerintensiteit berekend worden. De kaart van het Vlaams Verkeerscentrum bevat dagwaarden voor de verkeerintensiteiten, beide richtingen samengeteld. Dit zijn gemodelleerde waarden gebaseerd op metingen tijdens spitsuren. Voor dit onderzoek zou het handig zijn om de verkeerintensiteiten te kennen op het moment van de BC-meting. Dit kan benaderd worden door de dagwaarde voor de verkeerintensiteiten te vermenigvuldigen met de spitsfactoren.

Ter controle van deze berekende gegevens wordt in onderstaande figuur het gemiddelde weergegeven van de verkeerintensiteiten op de wegen waarop onze respondenten zich op dat moment verplaatsten.



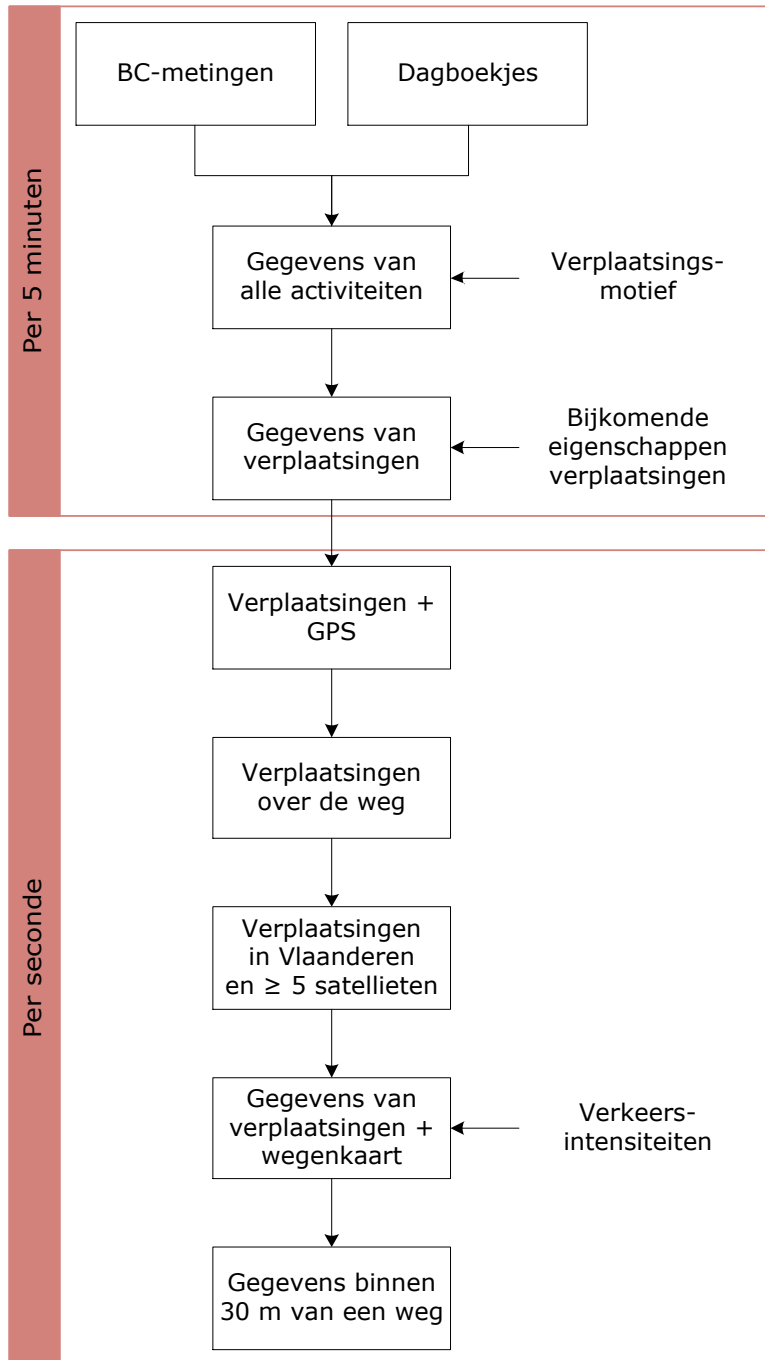
Figuur 14 Verkeersintensiteit in functie van tijdstip, gemiddelde van alle GPS-tracks.

Deze grafiek bevat zowel de weekdays als het weekend. Zonder het weekend is het resultaat lichtjes anders. De verdeling in het weekend is heel verschillend maar omdat er in vergelijking tot de weekdays veel minder ritten plaatsvinden heeft het slechts een beperkte invloed op het totaal.

Het resultaat komt zeer goed overeen met wat we verwachten en met andere onderzoeken zoals dat van Gulliver & Briggs (2005). Enkel om 5 uur lijkt de voorspelde verkeersintensiteit te hoog.

5.4 Overzicht

Het schema hieronder toont het proces van de gegevensverwerking.



Figuur 15 Proces gegevensverwerking.

6 Analyse

De database bevat 7039 BC-metingen waarbij de respondenten in hun dagboekje aangaven 'In transport' te zijn. Bij 2577 (37%) daarvan, was er geen GPS-signaal. Zodoende blijven er 4462 metingen over, ofwel 63%, die ook kunnen gebruikt worden bij de analyses waarvoor GPS gegevens nodig zijn.

Voor verplaatsingen met de trein, tram en metro zal er geen gebruik worden gemaakt van de GPS-gegevens omdat er daarbij te veel metingen wegvallen.

De GPS registreerde de coördinaten en de snelheid per seconde. Dit leverde initieel ongeveer 1,3 miljoen regels op waarbij de respondenten onderweg waren. Na het selecteren van de verplaatsingen over de weg en met een signaal van ten minste 5 satellieten bleven er 1,1 miljoen regels over. Na het filteren op afstand van de weg (maximaal 30 m) en alleen de regels uit het dagboek met een BC-meting bleven er ongeveer 600 000 over.

Nu zijn de gegevens volledig klaar om geanalyseerd te worden. In dit hoofdstuk worden de resultaten van die analyse besproken.

6.1 *Vervoermiddel*

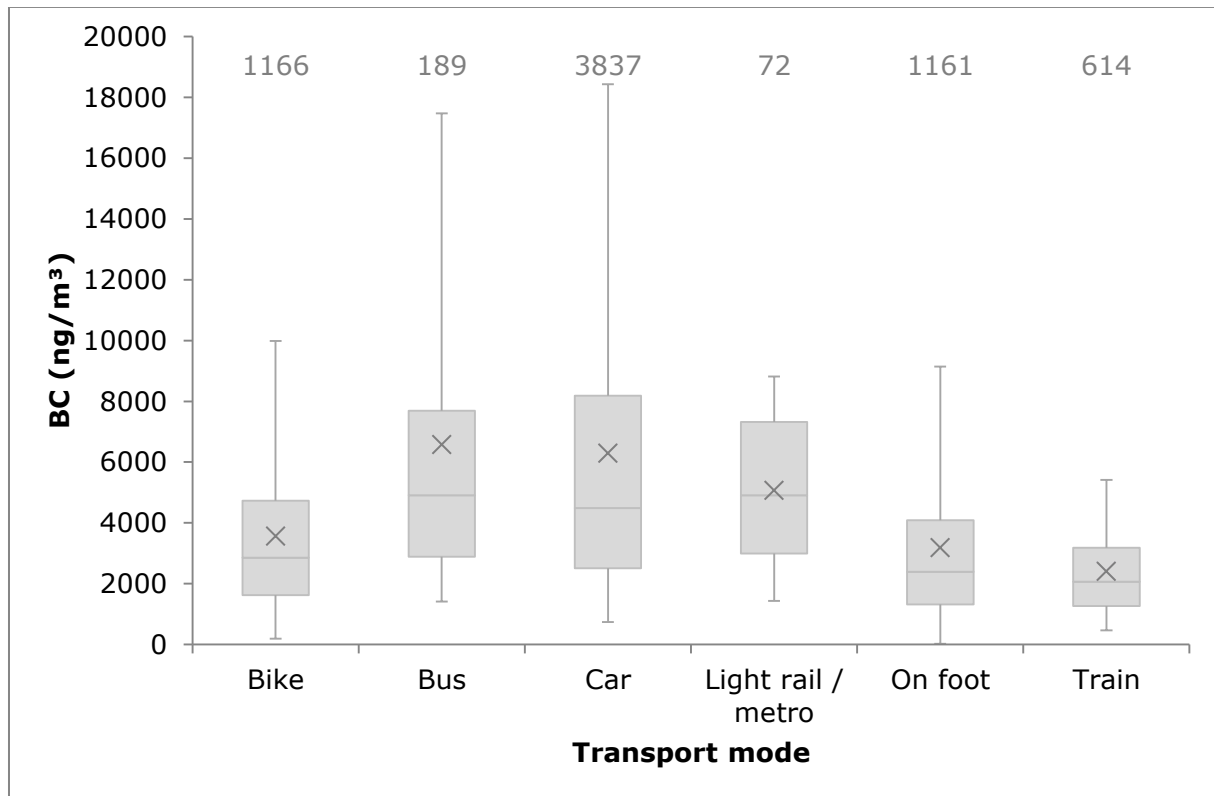
De concentratiewaarden voor bus en auto zijn ongeveer gelijk. De gemiddelde BC-concentratie in auto's bedraagt ongeveer $6,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en bij bussen is dat $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bij de andere modi liggen de waarden beduidend lager. Fietsers en voetgangers maken weliswaar voor een deel gebruik van dezelfde infrastructuur als auto's en bussen, maar kiezen meer voor rustige wegen en kleine paden. Ze kunnen drukke plaatsen mijden.

Metro's en trams hebben meestal hun eigen bedding en produceren zelf geen BC. Daardoor is de gemeten concentratie daar lager dan in auto's en bussen. De concentratie in trams en metro's is wel hoger dan in treinen. Dit komt omdat trams en metro's voornamelijk in grote steden rijden en soms tussen het wegverkeer.

Treinen rijden altijd op een afzonderlijke spoorbedding. De meeste treinen produceren zelf geen BC. Dieseltreinen doen dat wel, maar komen minder vaak voor. Treinen volgen elkaar ook nooit op korte afstand, dus zelfs op een niet-geëlektrificeerde lijn zou men weinig merken van de uitstoot van de voorgaande trein.

Adams, et al. (2002) kwamen voor auto's een hogere concentratie van EC uit dan voor bussen. Hun onderzoek vond plaats in Londen, waar er op veel plaatsen aparte busbanen

zijn. Dat zou een verklaring kunnen zijn voor dit verschil. Op busbanen rijden bussen minder achter andere voertuigen dan op gemengde rijstroken.



Figuur 16 BC in functie van het gekozen vervoermiddel.

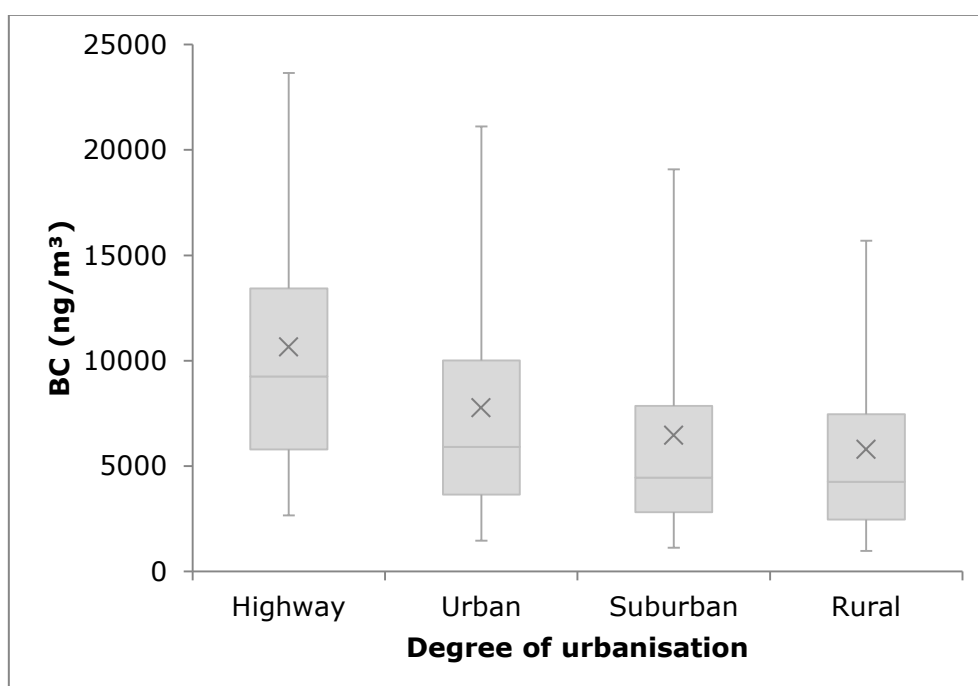
De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x). Bovenaan staat het aantal BC-metingen.

Wat ook opvalt is dat de metingen bij de modi op de weg log-normaal verdeeld zijn terwijl dat bij de modi op het spoor dichter aanleunt bij een standaard-normale verdeling.

6.2 Locatie-eigenschappen

De GPS gegevens laten ook toe te kijken naar de locatie-eigenschappen zoals stedelijkheidsgraad en wegtype. Snelwegen vormen tevens een aparte categorie in stedelijkheidsgraad en komen overeen met de snelwegen in wegtype.

Ter vergelijking: de gemiddelde BC-concentraties bij de respondenten thuis en op het werk waren respectievelijk 1255 en 1068 ng/m³ (Dons, Int Panis, Van Poppel, Theunis, & Wets, 2012).



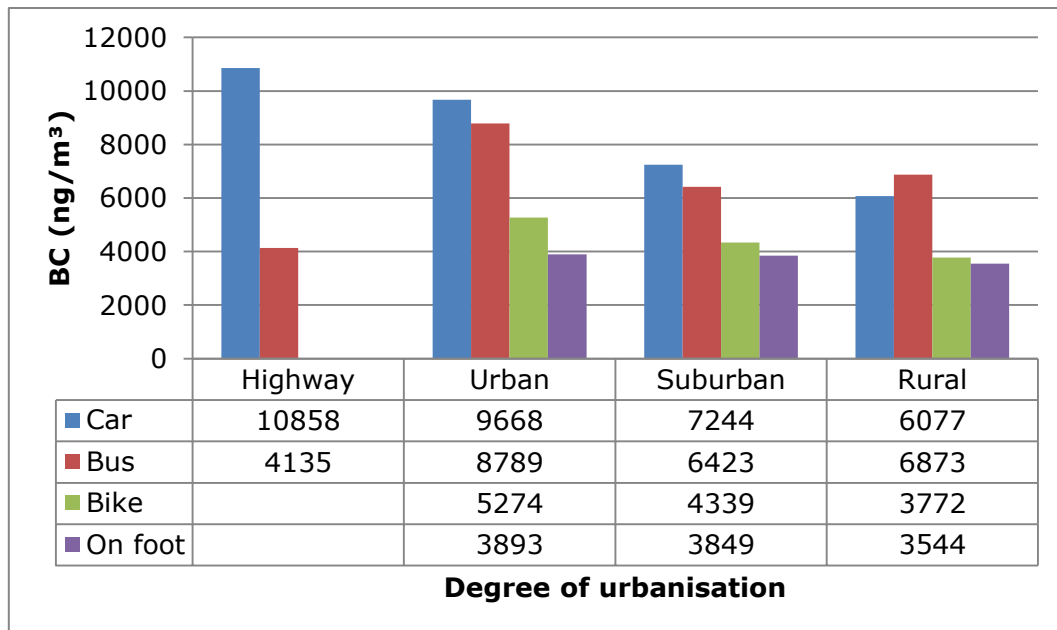
Figuur 17 BC in functie van stedelijkheidsgraad.

De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x).

In voertuigen op snelwegen werden de hoogste BC-concentraties gemeten. Het gemiddelde ligt daar op 10,6 µg/m³. Bij ritten op landelijke wegen is de concentratie over het algemeen het laagste, met een gemiddelde van 5,8 µg/m³.

Zoals Figuur 12 aangaf, doen hoge BC-concentraties zich heel plaatselijk voor. Slechts een aantal meter van de bron verwijderd, is de concentratie al beduidend lager.

Fietsers en voetgangers profiteren van deze sterke daling op korte afstand. Omdat het voetpad en fietspad net naast de weg liggen, worden zwakke weggebruikers aan minder hoge dosissen blootgesteld dan automobilisten. Dat effect is te zien in Figuur 18 en Figuur 20.



Figuur 18 BC in functie van stedelijkheidsgraad en vervoermiddel.

Op de meeste locaties werden in auto's en bussen gelijkaardige concentraties gemeten. Op snelwegen is dit niet het geval, echter zijn er nauwelijks busritten op de snelweg gemaakt. Deze waarde is dan ook niet betrouwbaar.

Fietsers en voetgangers hebben meestal gelijkaardige concentraties gemeten. Verder valt op dat in de steden de concentraties gemeten in gemotoriseerde voertuigen dubbel zo hoog zijn als die gemeten door wakke weggebruikers.

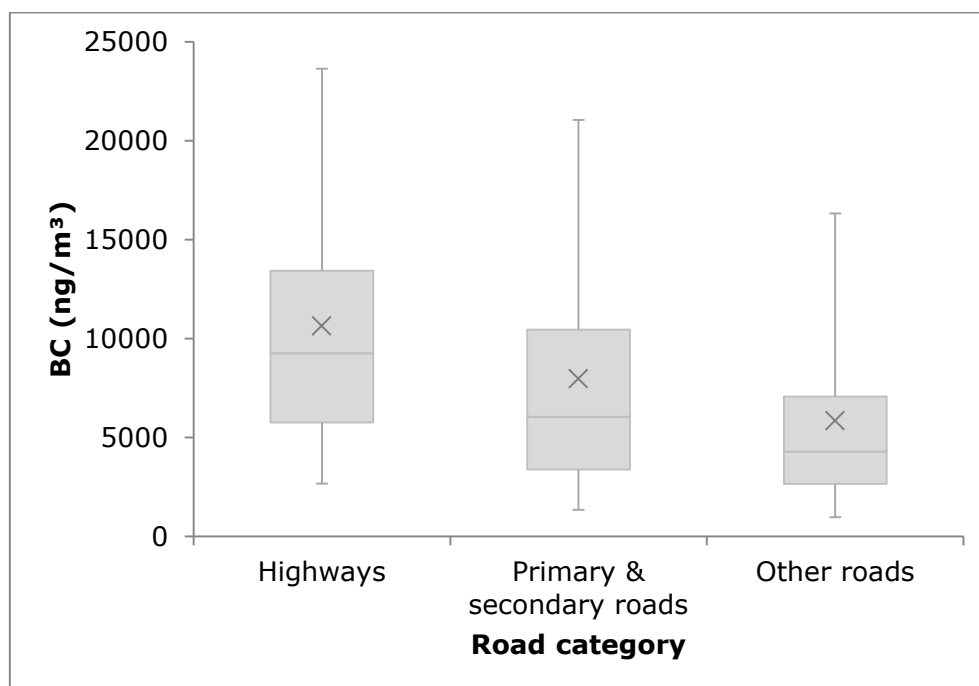
Gulliver & Briggs (2004) maten in voorstedelijk gebied een gemiddeld 16% hogere PM_{10} -concentratie in auto's dan voor voetgangers. Het aandeel van BC in PM_{10} varieert maar het vormt toch een belangrijk bestanddeel (Viidanoja, et al., 2002).

De stedelijkheidsgraad heeft bij automobilisten een grotere invloed op de BC-concentratie dan bij het langzaam verkeer.

Vervolgens wordt er gekeken naar de invloed van het wegtype. De wegcategorieën die hier gebruikt worden zijn gebaseerd op de kolom 'wegtype' in de kaart van het Vlaams verkeerscentrum. Omdat 8 wegtypes te veel is om het overzichtelijk te houden, er te weinig verschil is in de kleinere wegtypes en er wegtypes zijn die in bepaalde provincies een andere code meekregen, werden ze samengenomen in 3 categorieën.

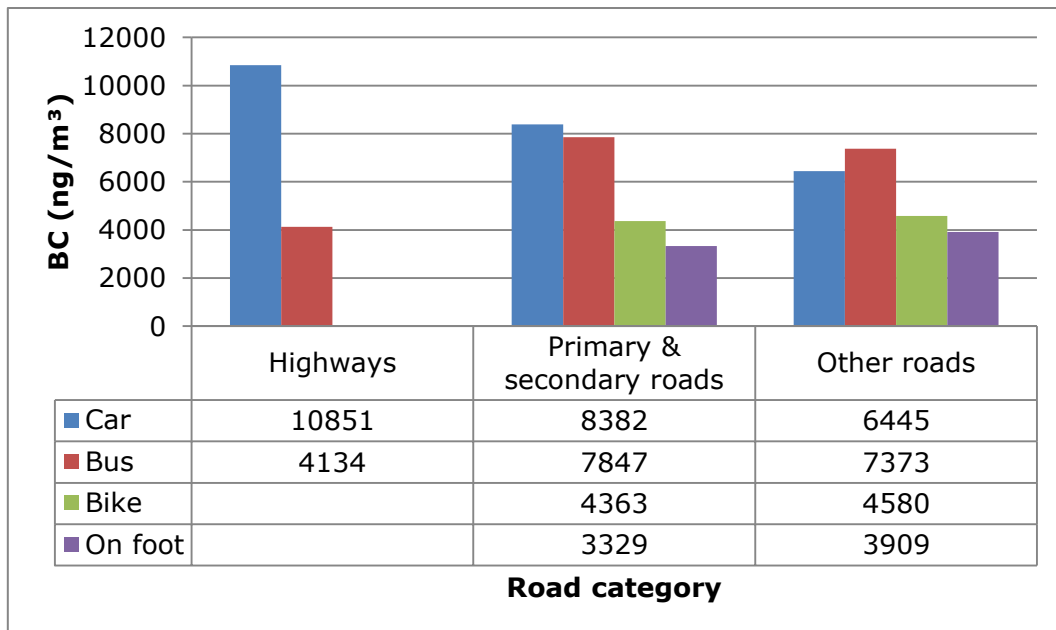
Tabel 3 **Overzicht wegtypes en -categorieën.**

Wegtype	Omschrijving	Wegcat	Omschrijving
1	Snelwegen	1	Snelwegen
2	Op- en afritten		
3	Primaire en secundaire wegen	2	Primaire en secundaire wegen
4	Afhankelijk van provincie secundaire of tertiaire weg	2 of 3	In OVL bij 2; In WVL & LIM bij 3; in VLB & ANT zijn er geen
5 tot 8	Tertiaire en lokale wegen	3	Overige wegen

**Figuur 19** **BC in functie van wegcategorie.**

De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x).

Net zoals bij de onderverdeling naar stedelijkheidsgraad (Figuur 17), bedraagt de gemiddelde concentratie op snelwegen 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op primaire en secundaire wegen is dat 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en op de kleinere wegen 5,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op snelwegen is de BC-concentratie bijna dubbel zo hoog als op de tertiaire wegen. Daarbij komt nog dat de kleine woonstraten en veldwegen niet zijn opgenomen in de kaart van het Vlaams Verkeerscentrum. Het ontbreken van de wegen met het minste verkeer en dus de laagste BC-concentraties overschat bijgevolg het gemiddelde van de laatste categorie.



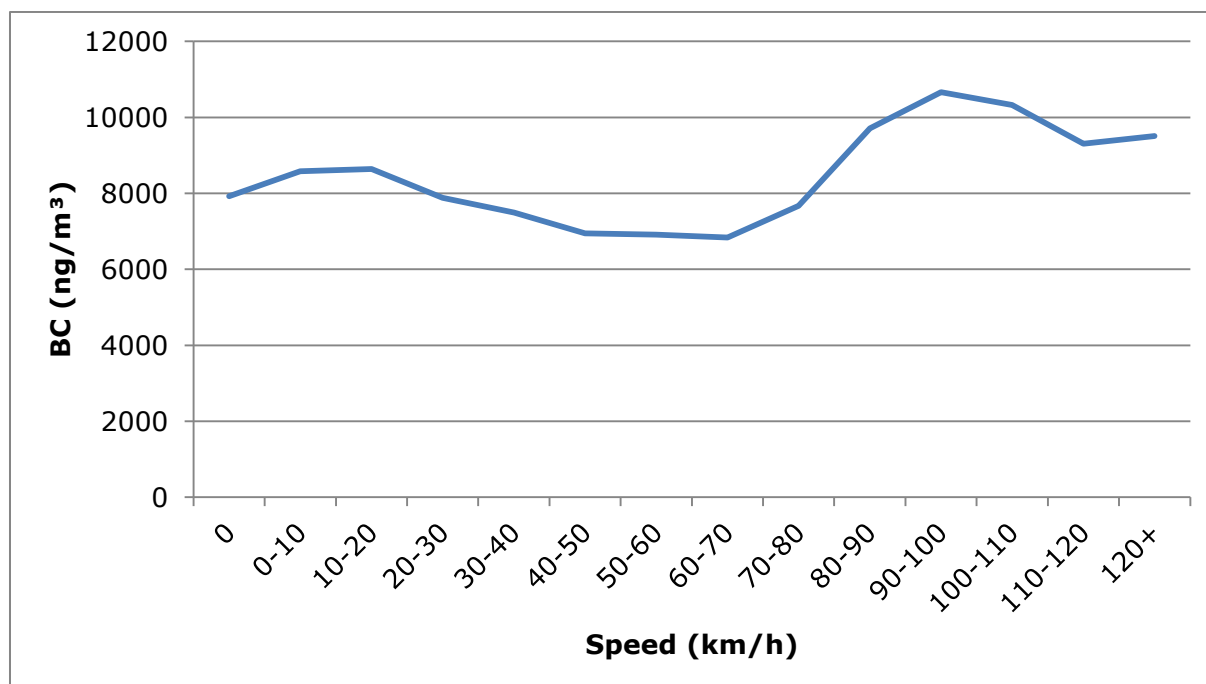
Figuur 20 BC in functie van wegcategorie en vervoermiddel.

Net zoals bij de stedelijkheidsgraad, heeft ook de wegcategorie weinig invloed op de BC-blootstelling van fietsers en voetgangers. Merkwaardig genoeg is de gemeten concentratie door voetgangers lager op primaire en secundaire wegen dan op andere wegen. Dit zou verklaard kunnen worden door de grotere afstand tussen het gemotoriseerd verkeer en het langzaam verkeer en door het wegvallen van de observaties op wegen en paden die niet opgenomen zijn in de gebruikte kaart.

De wegcategorie heeft een veel duidelijkere invloed op de BC-concentraties gemeten in auto's en bussen. De grotere verkeersstromen op wegen van een hogere categorie leiden tot een hogere BC-concentratie. Het gemiddelde voor bussen op snelwegen is niet betrouwbaar omdat het maar over weinig observaties gaat.

6.3 Snelheid

De grafiek hieronder toont het verband tussen de BC-concentratie en de gereden snelheid. De snelheid is weergegeven in categorieën van 10 km/u. Alleen de verplaatsingen met de auto zijn geselecteerd. Gebaseerd op 3380 metingen en bijna 500 000 bijhorende GPS-logs.



Figuur 21 BC in functie van gereden snelheid, enkel auto.

De curve van de BC-concentratie in auto's toont twee bulten. Tussen 30 en 80 km/u zijn de concentraties iets lager dan bij lagere en hogere snelheden.

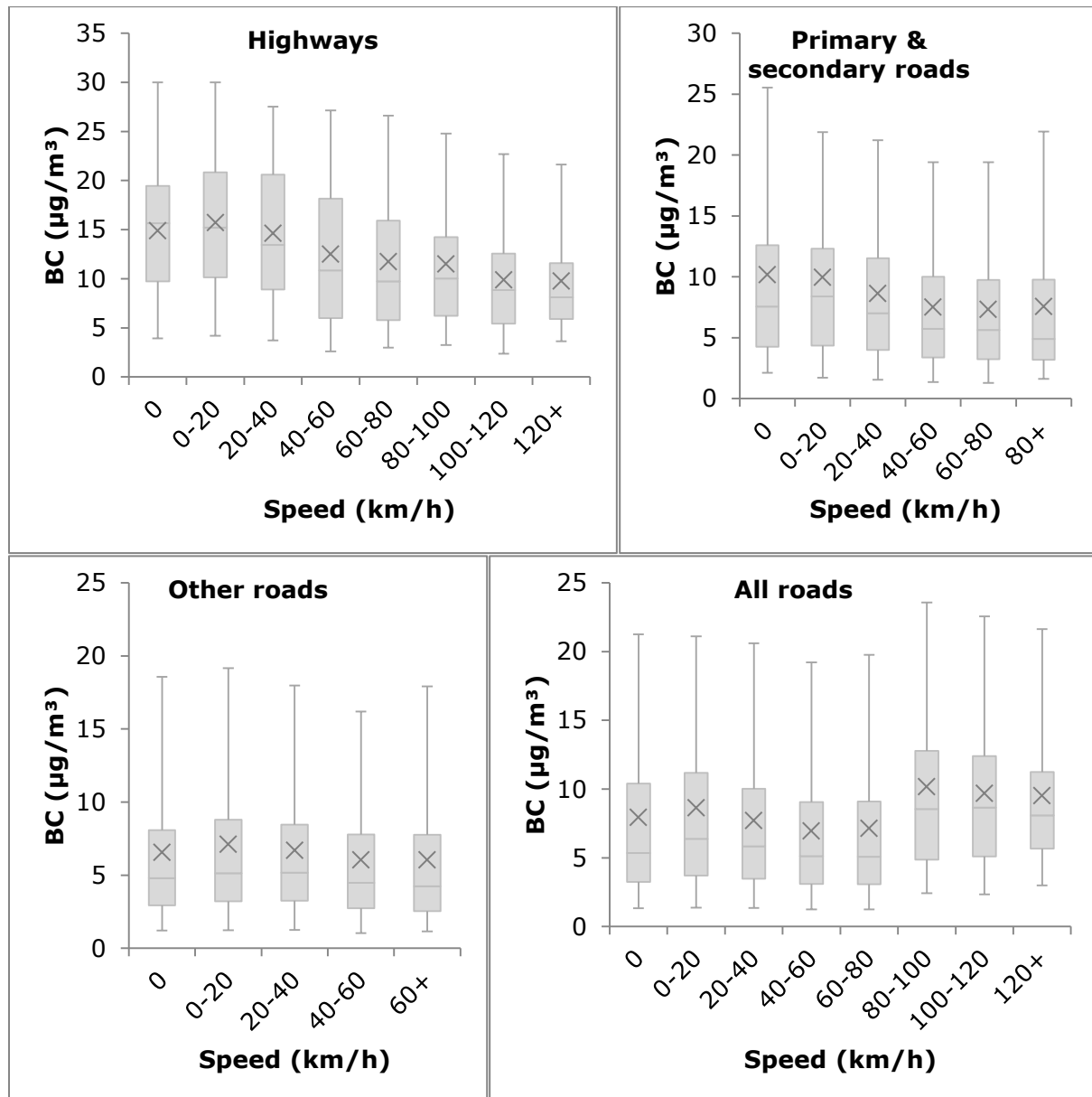
In een boxplot (Figuur 22) zien we dat de stijging vanaf 80 km/u zich voordoet over het hele bereik. De bult bij lage snelheden is hier minder uitgesproken.

Een mogelijke verklaring voor de eerste bult is dat gemiddelde snelheden van 10 tot 30 km/u meer voorkomen op drukke momenten. De voertuigen rijden dan dichter achter elkaar en moeten meer remmen en optrekken. Deze snelheden komen ook meer voor in steden, waar meer kruispunten en verkeerslichten zijn.

De bult bij hoge snelheden kan verklaard worden door het type weg en de hoeveelheid verkeer. Een gemiddelde snelheid van meer dan 90 km/u komt voor op ringwegen en snelwegen. Hier zijn de verkeersintensiteiten hoger en ook het aandeel zwaar verkeer is groter.

Snelheden boven 120 km/u worden doorgaans enkel gehaald als er weinig verkeer is op de snelwegen. Vandaar dat de concentratie die gemeten is bij die snelheden lager ligt.

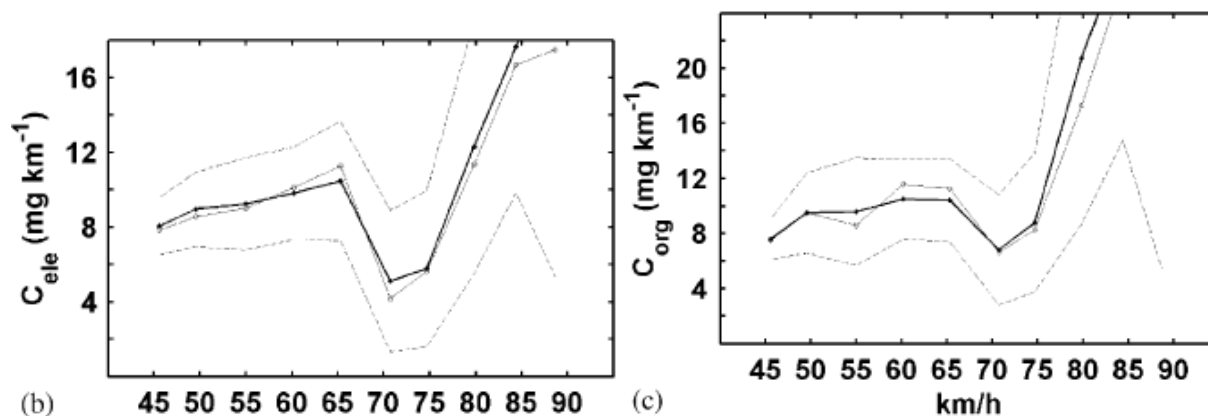
Deze veronderstellingen kunnen gecontroleerd worden door afzonderlijk naar de verschillende wegcategorieën te kijken. Als men bijvoorbeeld 50 km/u rijdt op een snelweg, is er sprake van congestie en dan zal de BC-concentratie in de lucht veel hoger zijn dan op een plaats waar men 50 km/u kan rijden in de stad.



Figuur 22 BC in functie van gereden snelheid, per wegcategorie, enkel auto.

De boxplots tonen de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x).

Kristensson et al. maten de uitstoot van verscheidene gassen en deeltjes in een tunnel in Stockholm, Zweden. De uitstoot van EC en 'organic carbon' (OC) tonen ongeveer dezelfde trend als Figuur 21.



Figuur 23 Uitstoot van EC en OC in functie van de gereden snelheid.

(Kristensson, et al., 2004)

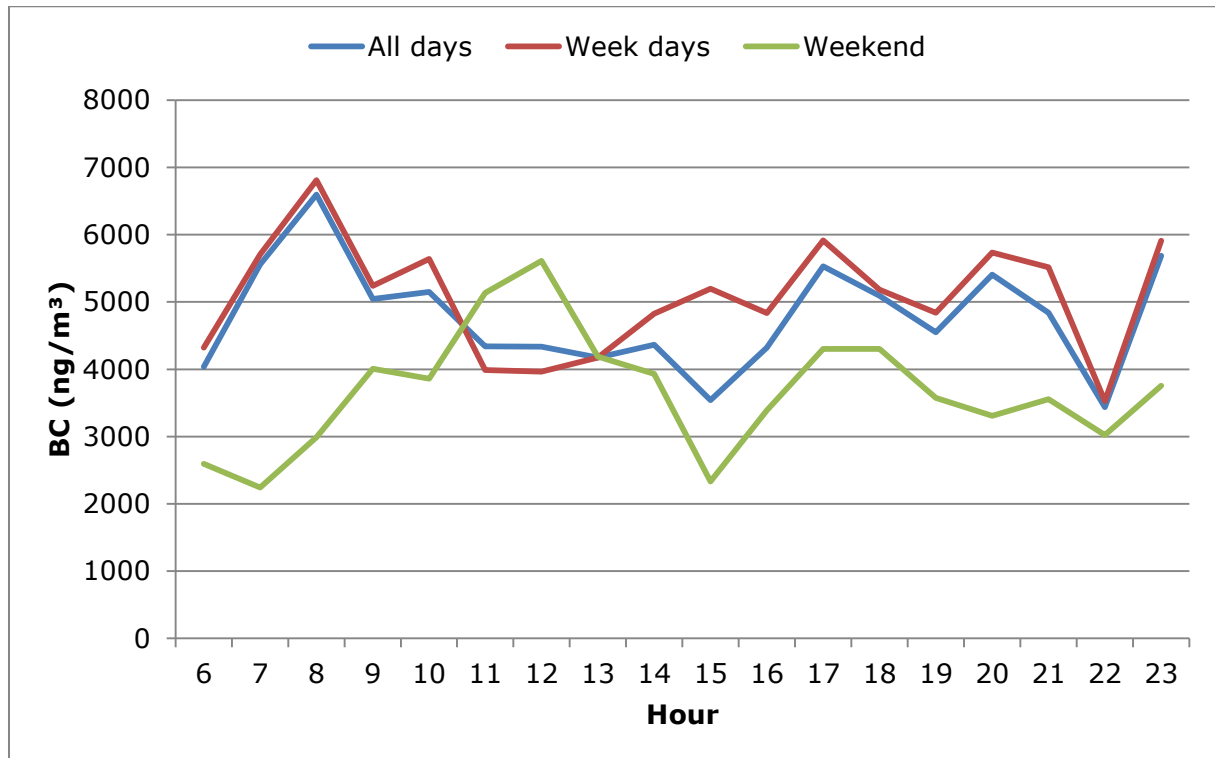
In het onderzoek van Kristensson et al. (2004) is er enkel tussen 70 en 75 km/u een lagere uitstoot gemeten, terwijl in dit onderzoek vanaf 40 km/u een lagere concentratie aan BC gemeten werd. In het onderzoek van Kristensson et al. (2004) is de uitstoot van EC en OC vanaf 85 km/u dubbel zo hoog als bij lagere snelheden. In dit onderzoek is het verschil in concentratie tussen hoge en lage snelheden veel kleiner. Dit verschil kan verklaard worden dat de uitstoot per gereden kilometer weergegeven is, en de concentratie geen rekening houdt met de verkeersintensiteit.

Volgens Issarayangyun & Greaves (2007) bestaat er een negatief verband tussen de gereden snelheid en de concentratie aan fijn stof. In dit onderzoek kan hetzelfde gezegd worden voor BC, als er naar de verschillende wegcategorieën afzonderlijk gekeken wordt. Wat vooral opvalt is de hoge concentratie bij lage snelheden op snelwegen. Als er langzamer dan 60 km/u gereden wordt op snelwegen is er sprake van congestie. De BC-concentraties zijn dan hoger omdat er veel voertuigen aanwezig zijn en men dicht achter voorliggers rijdt.

6.4 Tijdstip

De hoeveelheid verkeer hangt sterk af van het moment van de dag. Dit zou ook zichtbaar moeten zijn in de gemeten BC-concentraties.

Figuur 24 toont de BC-concentratie per uur van de dag. De gegevens zijn van alle transportmodi. Tussen 0 uur en 6 uur waren er onvoldoende metingen om een doorlopende grafiek te kunnen weergeven.



Figuur 24 BC in functie van tijdstip.

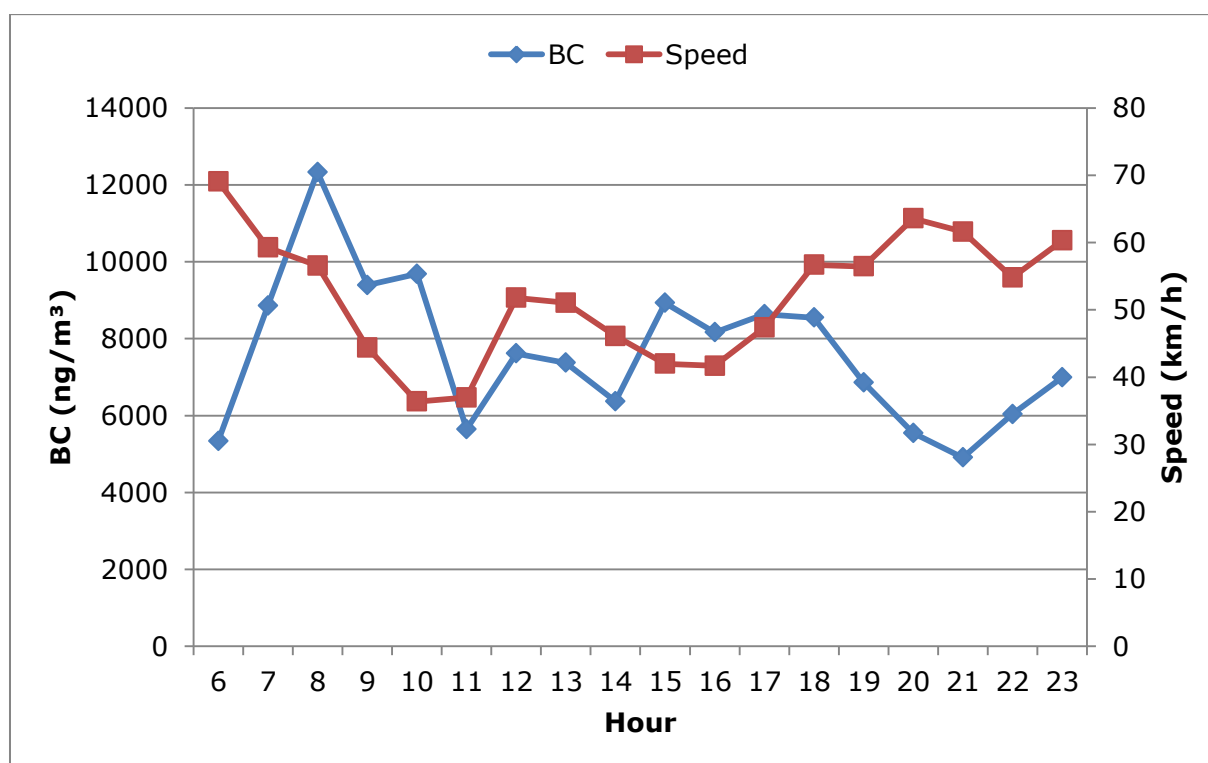
Bovenstaande grafiek toont een hogere piek in de ochtend dan in de namiddag. Issarayangyun & Greaves (2007) maten in de ochtendspits een 25% hogere concentratie van fijn stof dan in de avondspits. Volgens hen was dat te wijten aan de grotere congestie tijdens de ochtendspits, daar de gemiddelde snelheden ook lager waren (Issarayangyun & Greaves, 2007).

Ook Pakkanen et al. (2000) vonden een hogere piek in de voormiddag dan in de namiddag, maar met een nog groter verschil. Hun dagcurve op zaterdagen en zondagen bleek veel vlakker dan hier het geval is.

Op deze afbeelding is ook te zien welke kleine invloed de metingen in het weekend hebben op het totaal. De gemiddelden van alle 7 dagen zijn zo goed als gelijk aan de

gemiddelden van de werkdagen. Enkel om 15 uur is er een groot verschil van $\pm 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit komt door uitzonderlijk lage meetwaarden in het weekend.

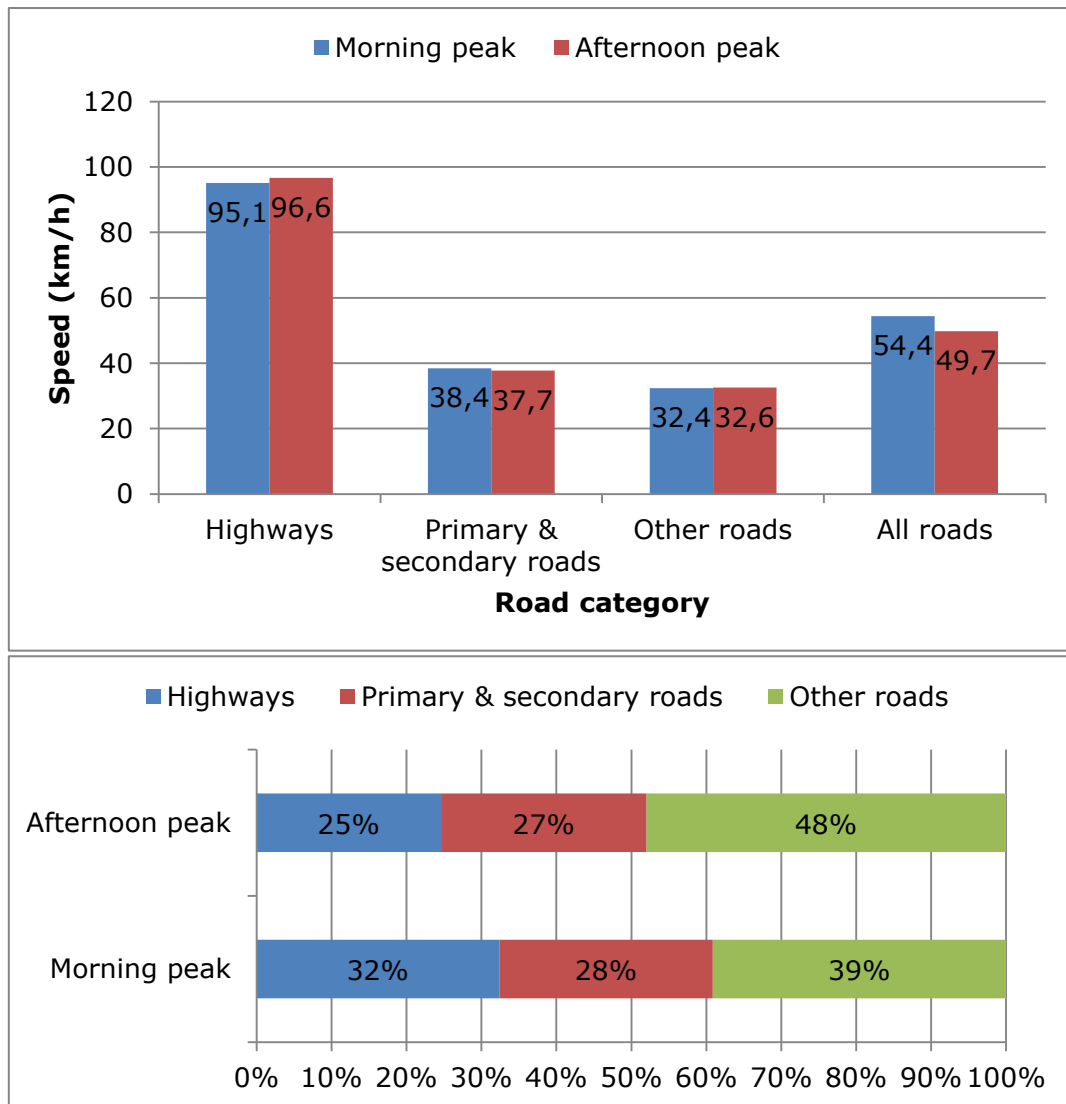
In dit onderzoek lijkt het verschil tussen ochtend- en avondspits minder groot. Om het goed te kunnen vergelijken wordt in onderstaande afbeelding de gemiddelde gemeten snelheid en gemiddelde BC-concentratie weergegeven, enkel van de autoritten en enkel tijdens werkdagen.



Figuur 25 BC en snelheid in functie van tijdstip, enkel auto.

Zonder de invloed van de metingen tijdens het weekend en de andere modi, is het verschil tussen de ochtend- en avondspits groter. Een verband met snelheid valt moeilijk uit de grafiek op te maken.

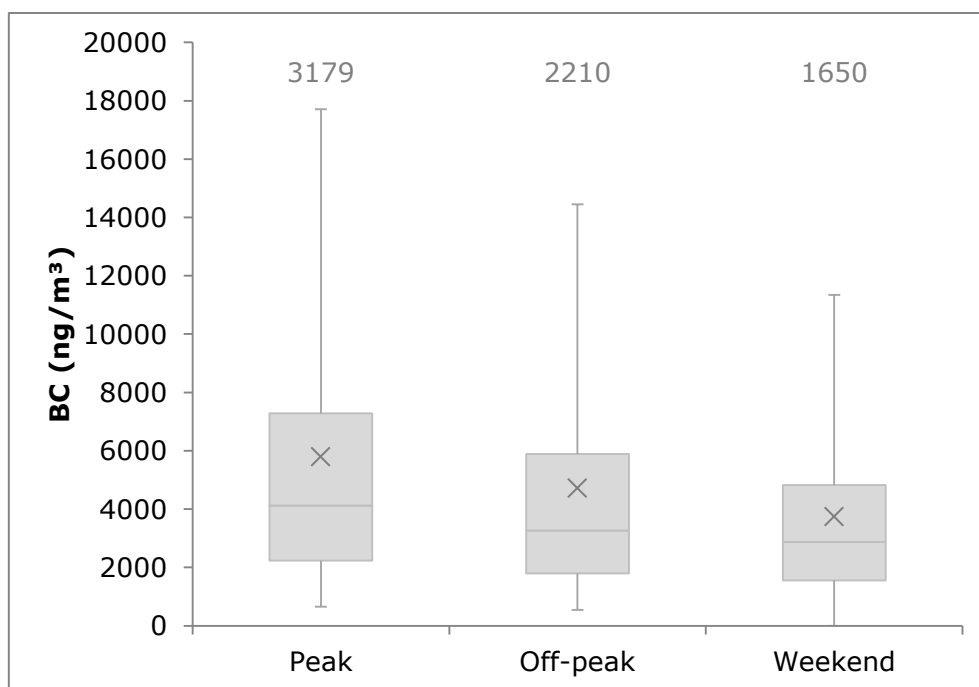
Tijdens de hele ochtendspits (7 tot 10 uur) is de gemiddelde snelheid zelfs hoger dan tijdens de avondspits (16 tot 19 uur). Dit komt niet door de hogere snelheid op de verschillende wegen maar door een andere routekeuze. De gemiddelde snelheid op de verschillende wegcategorieën is nagenoeg hetzelfde tijdens de ochtendspits als tijdens de avondspits.



Figuur 26 Snelheidsverschil tussen ochtend- en avondspits, enkel auto.

De hogere gemiddelde snelheid tijdens de ochtendspits wordt niet verklaard door een hogere snelheid op sommige wegen, wel door meer snelweggebruik. Tijdens de ochtendspits wordt er gemiddeld 32% van de tijd op snelwegen gereden. Tijdens de avondspits is dat 25%. Dit verschil verklaart tevens de hogere gemiddelde BC-blootstelling. Op snelwegen is die immers hoger dan op andere wegen.

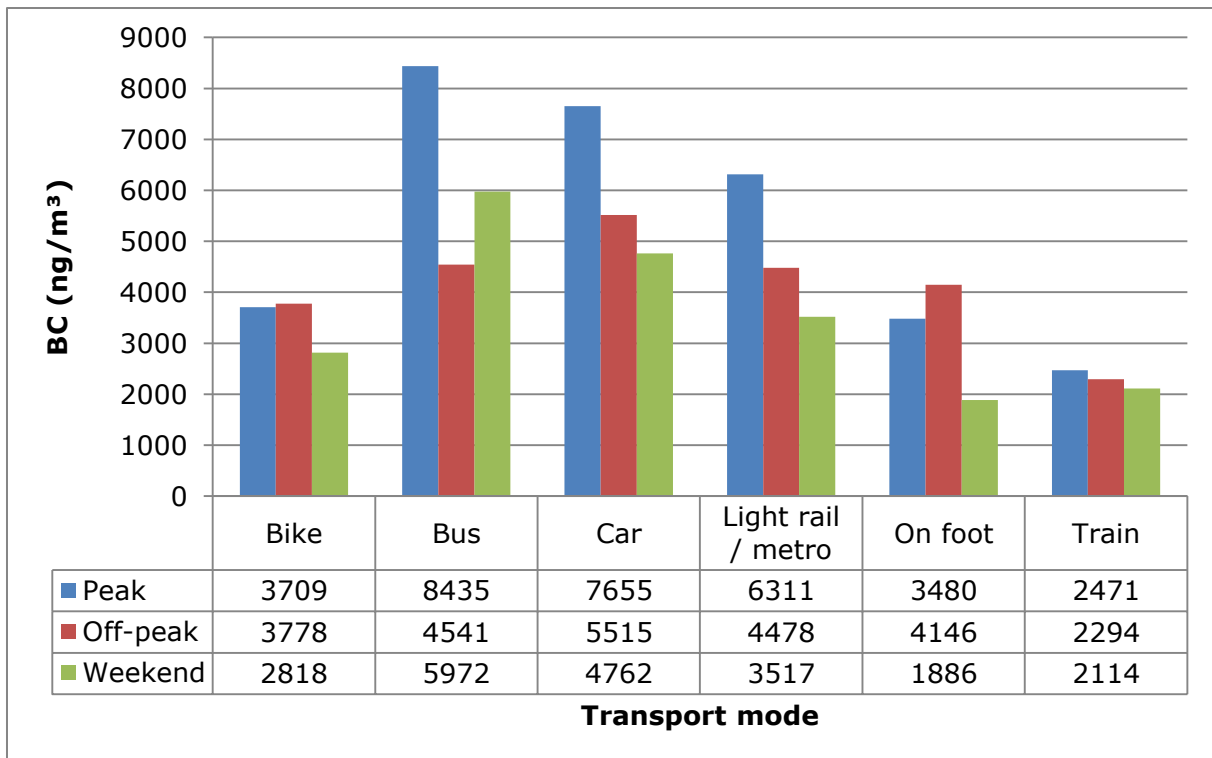
Zoals vermeld, wordt de spits gedefinieerd als de periode tussen 7 en 10 uur en tussen 16 en 19 uur. Deze afbakening wordt ook gehanteerd in het Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen (Janssens, Cools, Miermans, Declercq, & Wets, 2011). Het uiteindelijke verschil in BC-concentratie, voor alle modi, wordt weergegeven in de figuur hieronder.



Figuur 27 Verschil tussen spits, dal en weekend.

De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (×). Bovenaan staat het aantal BC-metingen.

Zoals verwacht liggen de BC-concentraties een stuk hoger tijdens de spits dan tijdens de daluren of in het weekend, met respectievelijk 5791, 4723 en 3746 ng/m³. Terwijl de spits maar 6 uur van een dag beslaat, en alleen tijdens werkdagen, werden dan veruit de meeste metingen geregistreerd.



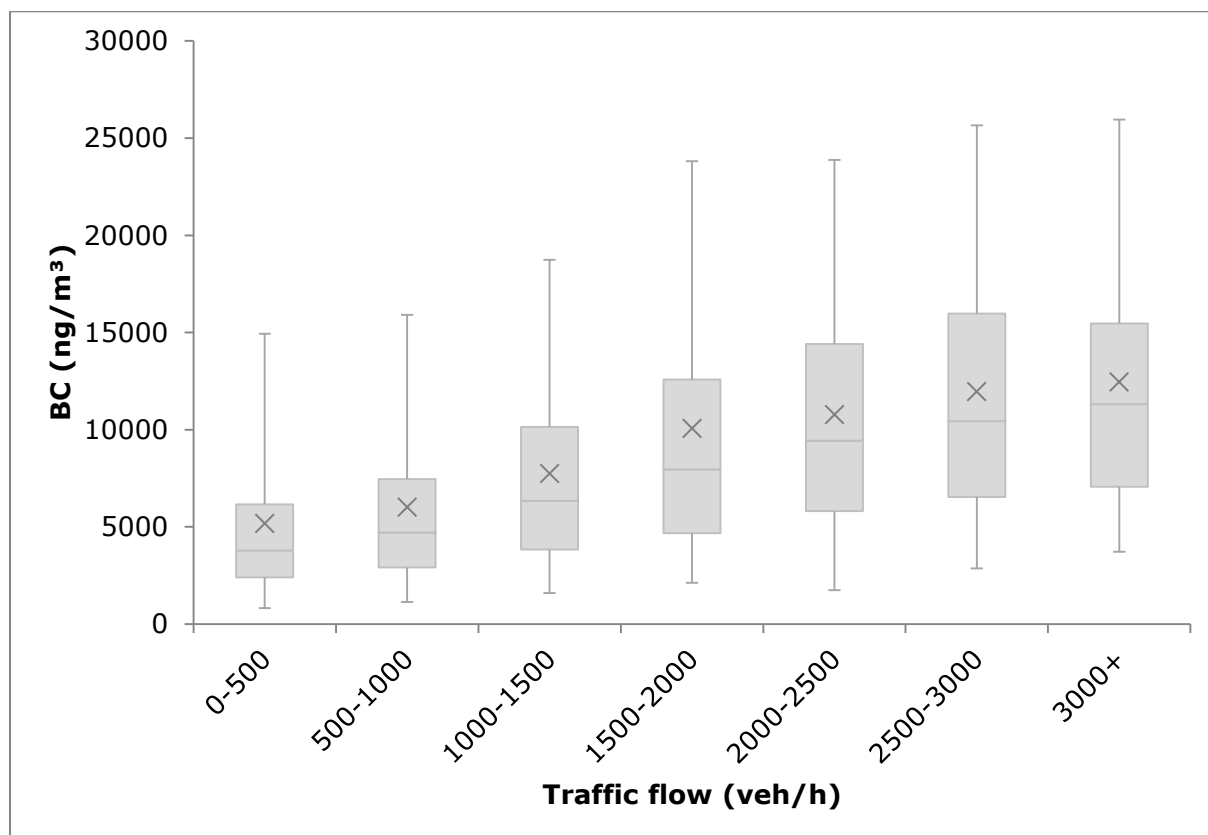
Figuur 28 Verschil tussen spits, dal en weekend per vervoermiddel.

Fiets en te voet tonen ook hier ongeveer dezelfde BC-concentraties en de verschillen tussen piek en dal zijn kleiner dan bij de andere modi. Alleen in de trein zijn de verschillen nog kleiner en de waarden nog lager. Spoorwegen zijn dan ook het verst verwijderd van het overige verkeer. Verder valt nog de hoge concentratie in bussen tijdens het weekend op. Omdat het aantal metingen in deze categorie beperkt is, wordt het gemiddelde sterk beïnvloed door enkele hoge uitschieters gemeten gedurende een bepaalde verplaatsing.

6.5 Verkeersintensiteit

De oorzaak van de grote verschillen naargelang het tijdstip, is grotendeels te zoeken in de verkeersintensiteit. Deze verschilt namelijk sterk naargelang het moment van de dag.

Figuur 29 geeft de BC-concentraties weer in functie van de verkeersintensiteit. De verkeersintensiteit is weergegeven in categorieën van 500 motorvoertuigen per uur. De blootstellingsgegevens betreffen alle modi op de weg.



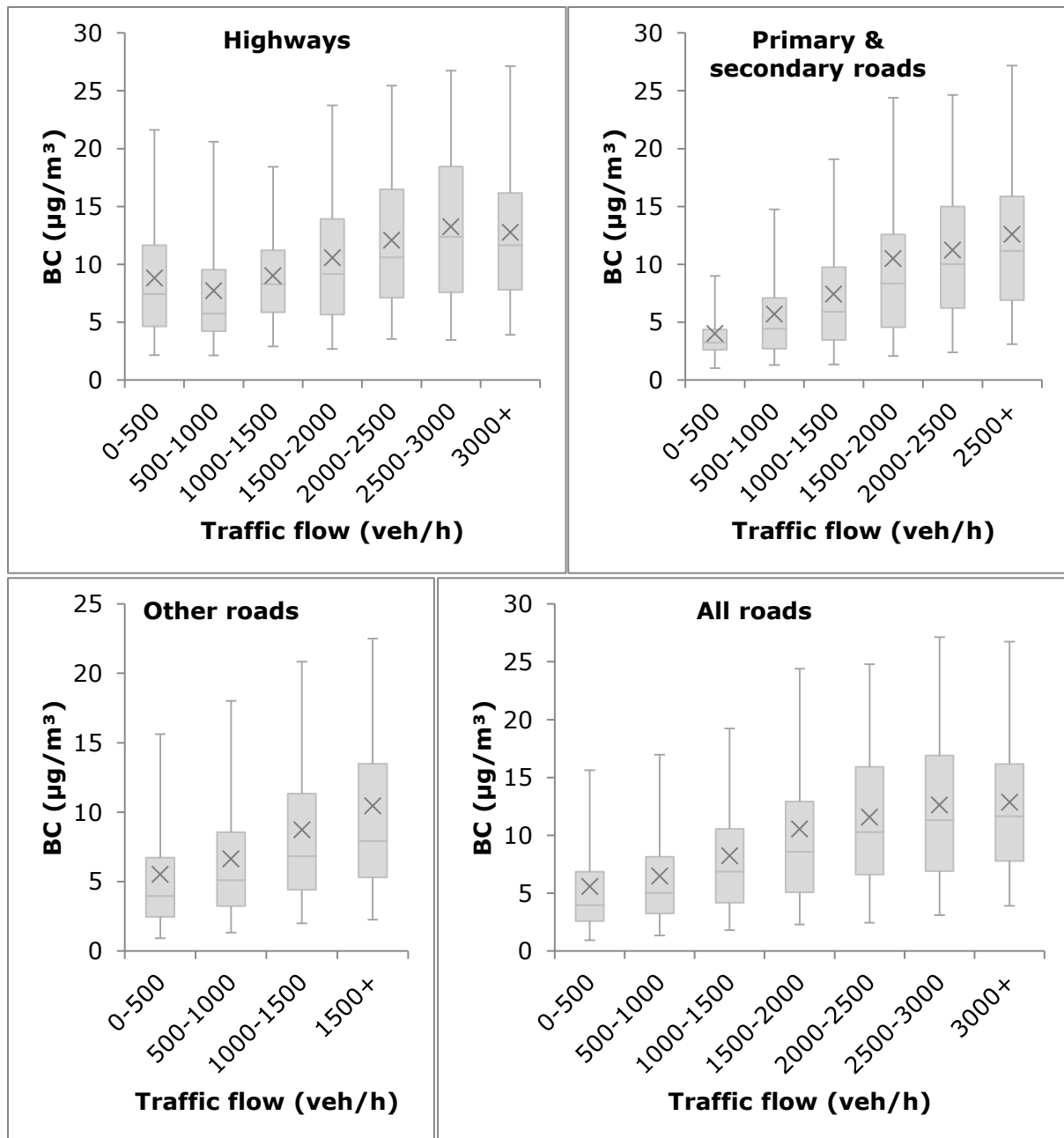
Figuur 29 BC in functie van verkeersintensiteit.

De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (x).

We zien een sterk verband tussen de BC-concentratie en de verkeersintensiteit. Op drukke wegen is de concentratie meer dan dubbel zo hoog als op rustige wegen.

Zoals bij de snelheid, kan ook hier per wegcategorie gekeken worden naar de invloed van de verkeersintensiteit op de BC-concentratie. In onderstaande boxplots worden enkel de metingen in auto's weergegeven.

De BC waarden gemeten in andere modi dan de auto wegen door hun kleinere aantal slechts zeer beperkt op het totaal. Vandaar dat de BC-waarden gemeten in auto's (Figuur 30) bijna gelijk zijn aan de gemiddelde waarden van alle modi (Figuur 29).

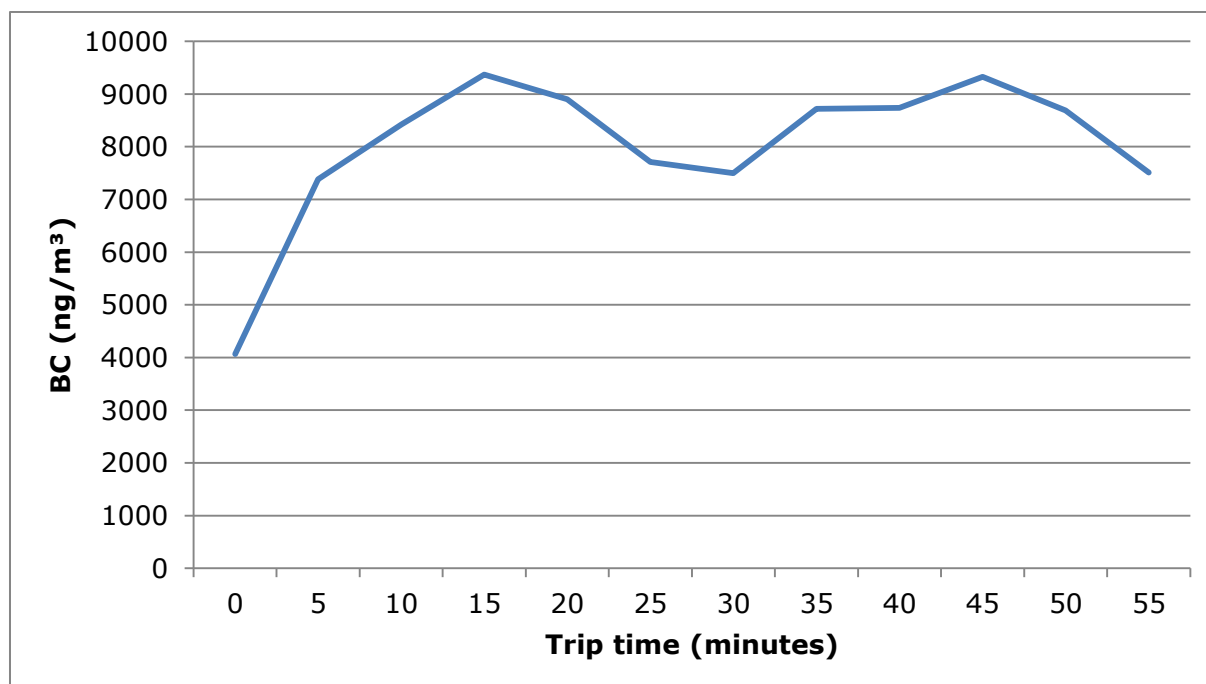


Figuur 30 BC in functie van verkeersintensiteit, per wegcategorie, enkel auto.

Op snelwegen valt de hogere concentratie op bij lage verkeersintensiteiten (minder dan 500 voertuigen per uur). In deze categorie is de gemiddeld gemeten snelheid ook lager dan bij hogere verkeersintensiteiten (59 km/u tegenover 90 tot 100 km/u). Het gaat hier evenwel niet om congestie, maar om op- en afritten van snelwegen. Blijkbaar is de BC-concentratie relatief hoog op op- en afritten doordat daar hard moet worden geacceleerd en mogelijk ook door de nabijheid van overige wegen waar ook een aanzienlijke hoeveelheid BC wordt uitgestoten. Bij de laagste intensiteitsklasse zitten ook nachtelijke snelwegritten.

6.6 Reistijd

Een opvallend resultaat is de stijging van de BC-concentratie gedurende het eerste kwartier van ritten met de auto. De onderstaande grafieken tonen het eerste uur van autoritten die minstens een uur duren. Het gaat hier over 56 autoritten, waarvan er op elke moment bij minstens 29 ook goede GPS-ontvangst was.



Figuur 31 BC-concentratie tijdens lange autoritten.

Vooraf het eerste kwartier van de ritten is er een stijging van de blootstelling aan BC. Bij vertrek is er een gemiddelde concentratie van $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemeten, een kwartier later is dat $9,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Door onnauwkeurigheden in de dagboekjes kan het zijn dat er gedurende de eerste 5 minuten nog overlap is met de voorgaande activiteit. De eerste meting kan bijgevolg een onderschatting zijn van de werkelijke BC-concentratie in het verkeer.

Volgens Fruin, Winer, & Rodes (2004) is er geen causaal verband tussen de BC-concentratie en de reistijd. De concentratie steeg onmiddellijk bij het oprijden van de snelweg en daalde onmiddellijk tot een lage waarde bij het afrijden ervan in een rustige omgeving. Er is dus geen sprake van accumulatie van deze pollutant in auto's.

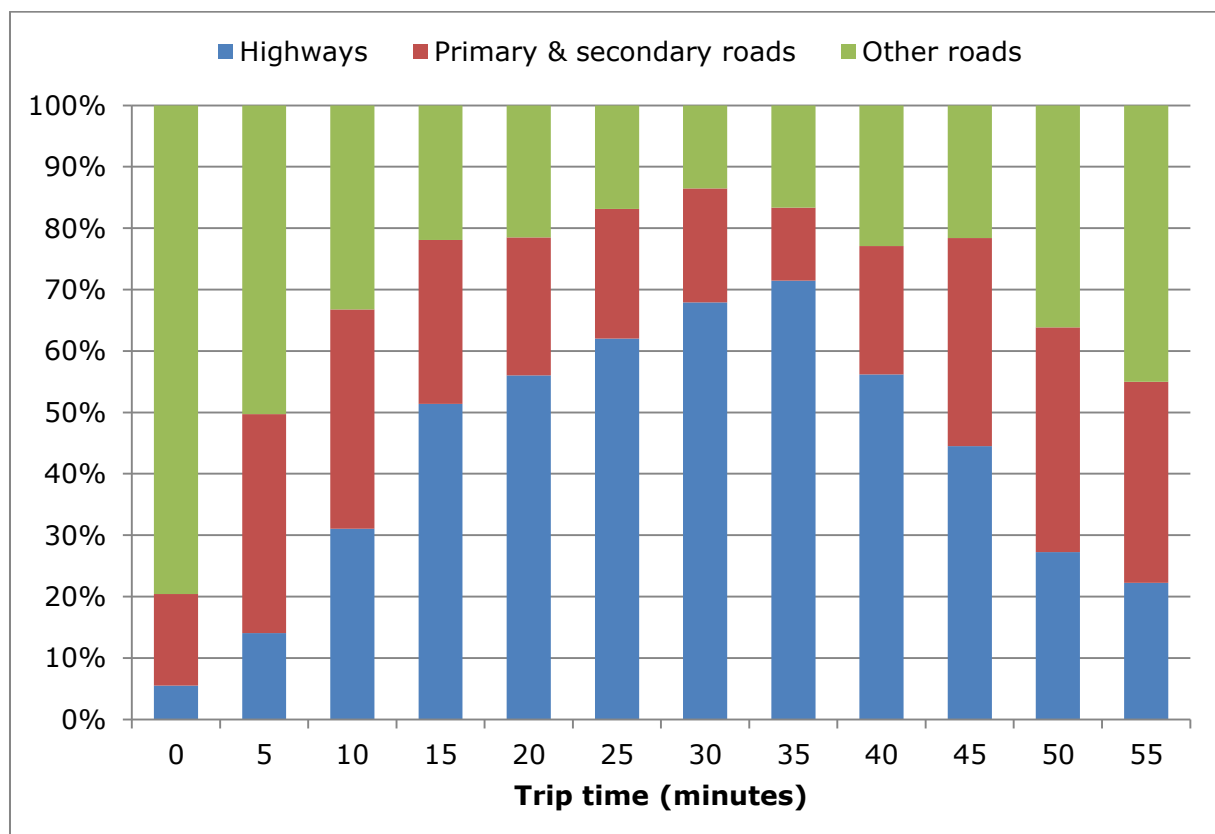
Er kan wel enige vertraging zitten tussen een verandering in luchtkwaliteit buiten en binnenin het voertuig. De tijd die nodig is voor het vernieuwen van de lucht in de volledige binnenruimte van een auto is afhankelijk van het type voertuig, de instelling van de ventilatie en de rijnsnelheid. Het varieert van 1 uur (bij lage snelheid en ventilatie op laagste stand) tot iets meer dan 1 minuut (bij hoge snelheid en ventilatie op hoogste

stand). Bij een rijsnelheid van 110 km/u duurt het gemiddeld 3 minuten om de volledige binnenruimte van nieuwe lucht te voorzien (Knibbs, de Dear, & Atkinson, 2009).

De stijgingen en dalingen hier zouden dus te verklaren moeten zijn aan de hand van de gekozen route. De meeste ritten vertrekken thuis, in een woonstraat met weinig verkeer, of op het werk, op bijvoorbeeld een bedrijventerrein. Na een tijdje komt men op grotere verbindingswegen en snelwegen terecht.

In deze dataset zijn er maar weinig ritten die veel langer dan een uur duren. Na 3 kwartier daalt de BC-concentratie weer. Het lijkt er dus op dat de reizigers dan weer kleinere wegen nemen omdat ze bijna op hun bestemming zijn.

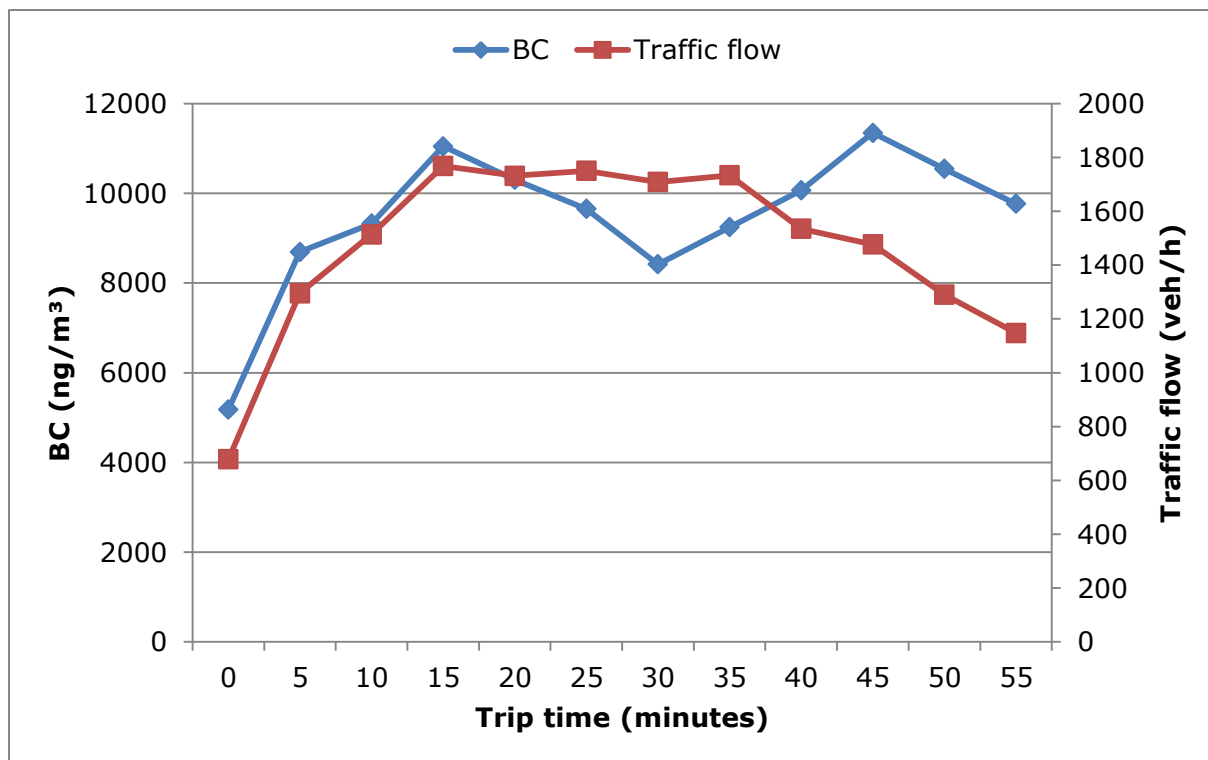
De volgende grafiek toont het aandeel van verschillende wegcategorieën tijdens deze ritten.



Figuur 32 Wegkeuze tijdens lange autoritten.

Na een half uur rijden bevindt ruim twee derde van de automobilisten zich op de snelweg. Slechts 14% rijdt dan nog op kleine wegen.

Het grootste verschil tussen deze wegcategorieën is de hoeveelheid verkeer dat er op zit. De volgende grafiek toont voor dezelfde autoritten de gemiddelde verkeersintensiteit op de wegen waarop op dat moment gereden werd.



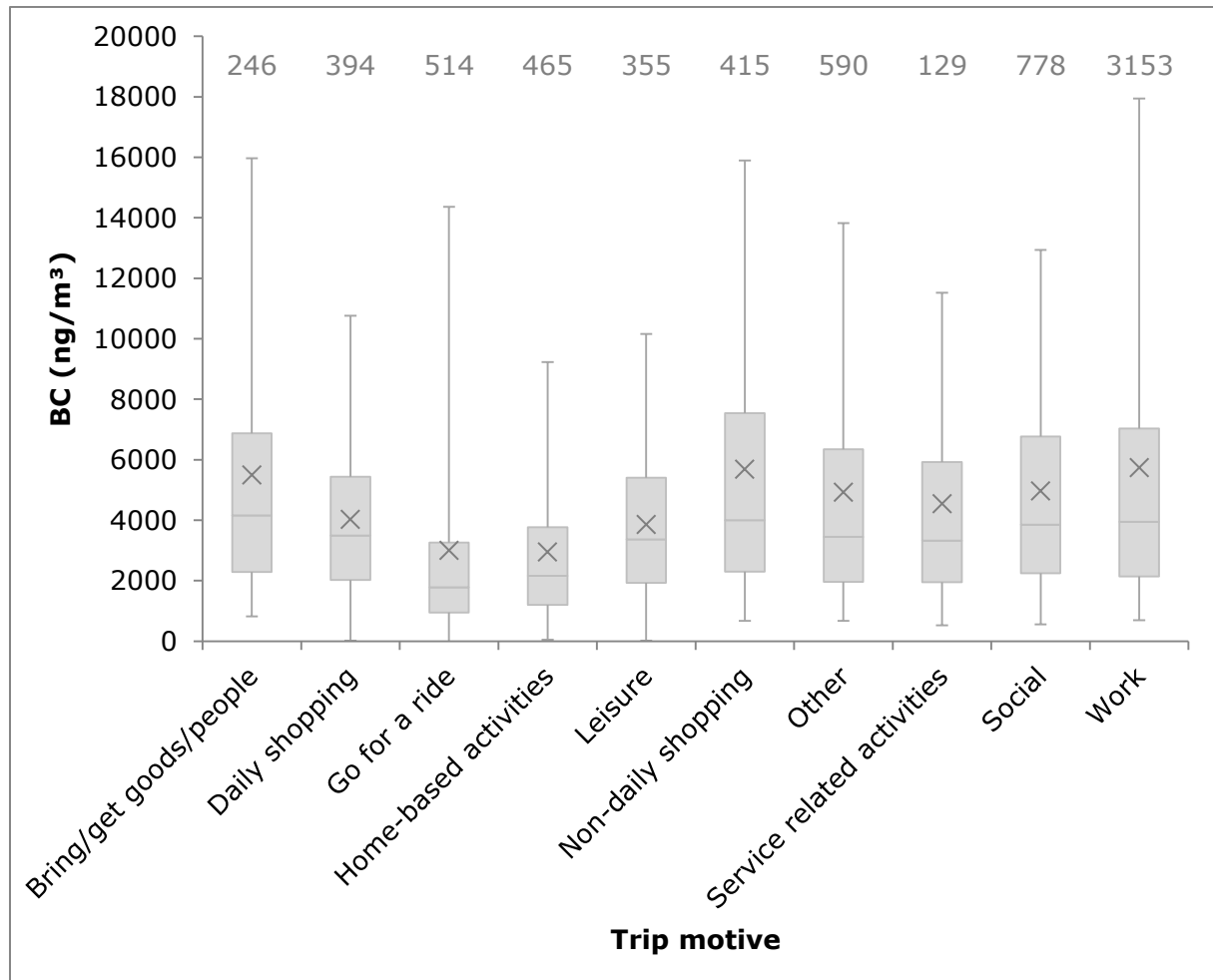
Figuur 33 BC-concentratie en verkeersintensiteit tijdens lange autoritten.

Deze grafiek insinueert een sterk verband tussen de BC-concentratie en de verkeersintensiteit op dat moment. Alleen de kleine daling in het midden is hier niet in terug te vinden.

De curve voor de BC-concentratie ziet er in Figuur 31 iets anders uit dan in de laatste grafiek omdat het in het eerste geval gaat om alle autoritten uit de dagboekjes en in het tweede geval om de autoritten met GPS-ontvangst en die zijn overgebleven na de koppeling met de wegenkaart en de daaropvolgende selectie op basis van afstand tussen de GPS-punten en de weg.

6.7 Motief van de verplaatsing

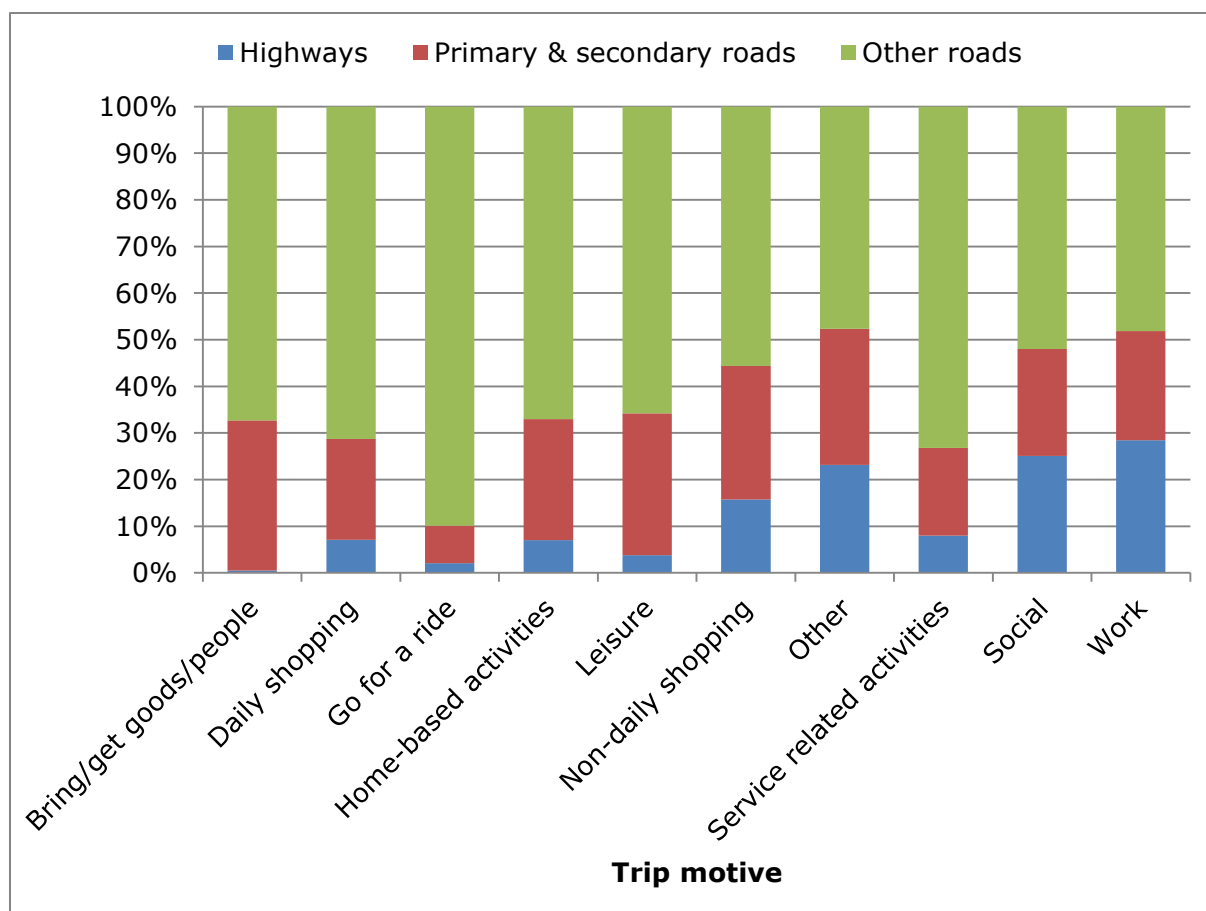
Het motief van de verplaatsing staat niet in direct verband met de BC-concentratie. Het zijn de externe omstandigheden die bepalend zijn voor de blootstelling aan BC, niet de reden waarom men zich verplaatst. Toch zijn er duidelijke verschillen tussen de verschillende verplaatsingsmotieven.



Figuur 34 BC in functie van verplaatsingsmotief.

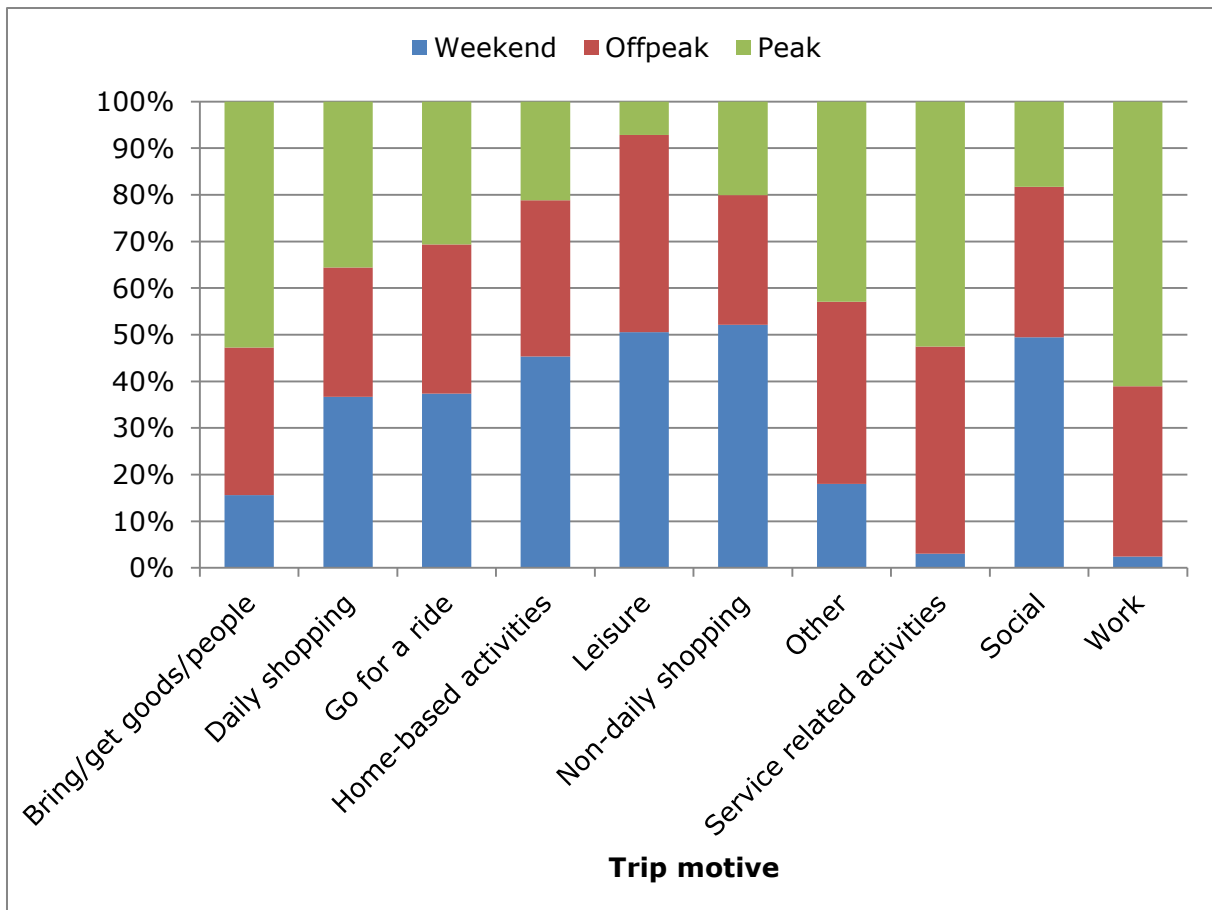
De boxplot toont de 5^e, 25^e, 75^e, 95^e percentielen, de mediaan en het gemiddelde (×). Bovenaan staat het aantal BC-metingen.

Bovenstaande grafiek laat ons zien dat de blootstelling aan BC sterk afhankelijk is van het motief van de verplaatsing. Naar het werk gaan levert een dubbel zo hoge waarde op als bijvoorbeeld recreatieve verplaatsingen of naar huis gaan. Het is uiteraard niet het motief zelf dat voor deze verschillen verantwoordelijk is. Het verschil zit in de gekozen route, het gekozen moment en het gebruikte vervoermiddel.



Figuur 35 Verplaatsingsmotieven opgedeeld volgens wegcategorie.

Ondanks dat het weekend slechts 2 van de 7 dagen beslaat, wordt de helft van sociale- en ontspanningsactiviteiten tijdens het weekend ondernomen. Diensten en werken worden, op een paar procent na, bijna altijd op werkdagen gedaan. Deze verdeling is mede verantwoordelijk voor het verschil in blootstelling tijdens het onderweg zijn naar deze activiteiten.

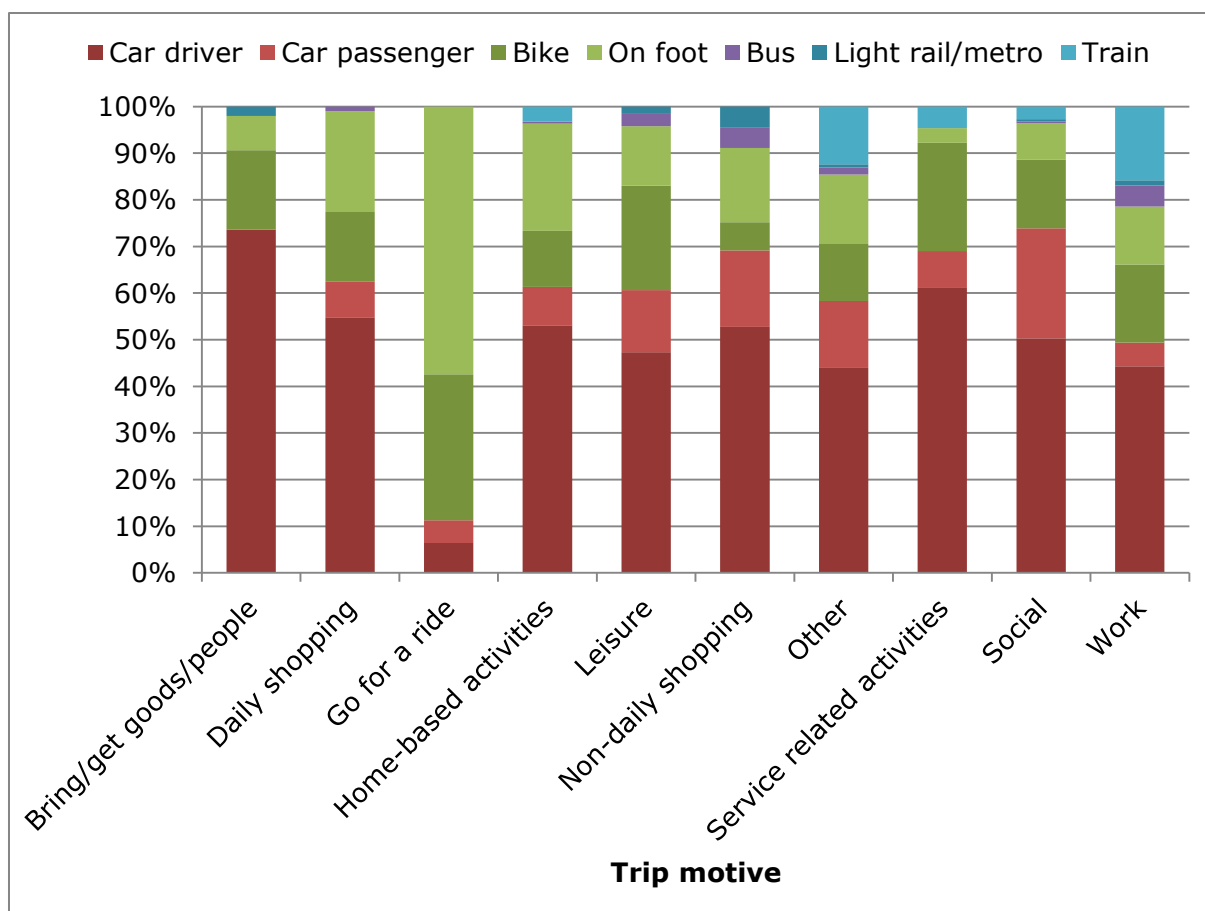


Figuur 36 Verplaatsingsmotieven opgedeeld volgens spits, dal en weekend.

Verplaatsingen naar het werk, naar diensten of om personen of goederen op te halen of weg te brengen gebeuren het vaakst tijdens de spits. Dit verklaart deels de hogere BC-blootstelling. Verplaatsingen met doel ontspanning, vrije tijd of iemand bezoeken gebeuren meestal tijdens het weekend.

De verplaatsingsmotieven 'Social' en 'Non-daily shopping' kennen een relatief hoge gemiddelde BC-blootstelling ondanks het feit dat ze vaak in het weekend voorkomen. Andere motieven die voornamelijk tijdens het weekend plaatsvinden kennen een duidelijk lagere gemiddelde BC-concentratie.

Ten slotte kan ook per verplaatsingsmotief de modal split bekeken worden.



Figuur 37 Modal split per verplaatsingsmotief.

Het openbaar vervoer wordt over het algemeen weinig gekozen. Een uitzondering op dat vlak zijn werk-gerelateerde verplaatsingen. Daarvan gebeurt 15% met de trein. Bij 9 van de 10 verplaatsingsmotieven wordt voor minstens de helft van de ritten de auto genomen. Enkel 'Go for a ride' gebeurt meestal met de fiets en te voet.

Bijna niemand doet boodschappen met het openbaar vervoer, ook voor de andere verplaatsingsmotieven speelt het openbaar vervoer slechts een beperkte rol.

7 Model

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen bedraagt 4976 ng/m³. Dit is gebaseerd op een set van 7039 metingen. Per mode zal een model opgesteld om de BC-concentratie nauwkeuriger te kunnen voorspellen.

7.1 Variabelen

Tot de mogelijke verklarende variabelen behoren:

- Triplengte (in minuten)
- Tijd onderweg (in minuten)
- Piek-dal-weekend (3 categorieën)
- Spitsfactor alle verkeer (per uur in % van de dagintensiteit)
- Spitsfactor zwaar verkeer (per uur in % van de dagintensiteit)
- Dag van de week (7 categorieën)
- Uur van de dag (24 categorieën)
- Motief van de verplaatsing (10 categorieën)

Een aantal van deze parameters mogen niet gebruikt worden in een model omdat ze geen plausibel verband houden met de BC-blootstelling of omdat ze worden benaderd door andere variabelen.

Er is geen wezenlijk verschil in BC-concentraties tussen de verschillende weekdays. Tevens is er per dag gecorrigeerd voor achtergrondconcentraties. Het weekend toont wel lagere waarden, maar dat verschil kan worden opgevangen door de variabele piek-dal-weekend.

De triplengte en tijd onderweg kunnen ook beter niet gebruikt worden. Er is immers geen sprake van accumulatie. Tevens zou de toevoeging van de variabele 'tijd onderweg' de toepassing van het model gecompliceerd maken doordat er elke minuut een andere waarde bijkomt.

Ook verplaatsingsmotief zal niet worden gebruikt in het model. De reden waarom een verplaatsing wordt gemaakt heeft geen invloed op de blootstelling aan vervuiling. Het speelt wel een rol in de keuze voor het moment en de route. Die elementen horen wel in het model.

De verplaatsingen met modi op de weg (auto, bus, fiets en te voet) zijn gekoppeld aan een wegenkaart. Dit resulteert in de volgende bijkomende variabelen:

Model

- Door GPS geregistreerde snelheid (km/h)
- Gemiddelde snelheid op die weg (km/h)
- Intensiteit alle verkeer op die weg (mvt/dag)
- Intensiteit zwaar verkeer op die weg (mvt/dag)
- Intensiteit alle verkeer berekend met spitsfactor (mvt/uur)
- Intensiteit zwaar verkeer berekend met spitsfactor (mvt/uur)
- Provincie (5 categorieën)
- Stedelijkheidsgraad (4 categorieën)
- Wegcategorie (3 categorieën)

Ook hier zijn er variabelen die niet zullen worden opgenomen in de modellen. Er zal geen onderscheid gemaakt worden naargelang de provincie omdat sommige provincies ondervertegenwoordigd zijn in de verplaatsingen.

Hier moet ook opgelet worden voor samenhang tussen de verschillende variabelen (multicollineariteit). Er zijn 2 soorten snelheden: door de GPS geregistreerd en de gemiddelde snelheid op die weg aangegeven door het Vlaams Verkeerscentrum. Slechts één van beide mag gebruikt worden in een model.

Het verband tussen snelheid en BC-concentratie is niet continu stijgend. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het gebruiken van de snelheid in een model.

Bij het opnemen van de verkeersintensiteit in een model moet ook opgelet worden voor multicollineariteit. De verkeersintensiteit kan uitgedrukt zijn per uur of per dag en gelden voor alle verkeer of alleen voor het zwaar verkeer. Deze variabelen zijn sterk met elkaar gecorreleerd en ook met de spitsfactoren uit het CAR-model. Slechts één van deze 6 mag gebruikt worden.

Het verband tussen verkeerintensiteit en BC is wel continu stijgend.

Aan de hand van een correlatiematrix zal gekeken worden welke van deze mogelijkheden het meest bepalend is voor de BC-concentratie. Deze correlatiematrices zijn te vinden in Bijlage 3.

7.2 Methodiek

De modellen werden opgesteld in SAS met de regression-procedure. Er werd gekozen voor stepwise regression. Hiervoor was het wel nodig om dummyvariabelen aan te maken voor de categorische variabelen. Met stepwise regression wordt na het toevoegen van een variabele ook geprobeerd andere variabelen die al eerder waren toegevoegd te verwijderen. Op die manier combineert het de voordelen van forward en backward regression.

Deze methodiek zal gebruikt worden om de modellen op te stellen. De modeloutput van de eerste stap is te vinden in Bijlage 4.

Voor de weergave van de modellen is gekozen voor een boomstructuur. Deze begint aan de linkerkant met het algemeen gemiddelde voor dat vervoermiddel. De onderverdeling wordt gemaakt volgens wat na elke stap:

- De meest significante variabele is;
- De meest waarschijnlijk gekende variabele is.

Zo kan er bijvoorbeeld niet begonnen worden met de verkeersintensiteit, deze is immers meestal niet gekend. Het moment van de dag daarentegen, zal bijna altijd geweten zijn.

De boom wordt verder vertakt zolang de variabelen significant zijn op een significantieniveau van 0,05 en zolang het resultaat plausibel is. Met plausibel wordt bedoeld dat er een positief verband is tussen BC en de verkeersintensiteit en dat de BC-concentratie hoger is tijdens de spitsuren dan erbuiten, en hoger is op wegen van een hogere categorie en hoger in steden dan in landelijke gebieden.

Als een verdere opdeling bij slechts een minderheid van de categorieën mogelijk is, wordt het geheel weggelaten. De boomstructuur zal niet automatisch aangemaakt worden, maar handmatig. Hiermee kan bij elke stap gecontroleerd worden of de vertakking zinvol is en leidt tot een plausibele schatting.

Voor elk vervoermiddel wordt er een regressieboom opgesteld. Deze begint met de onderverdeling volgens tijdstip (weekdag-spits – weekdag-dal – weekend). Om de gemiddelde BC-concentratie te meten bij deze onderverdeling kunnen alle metingen gebruikt worden. De nodige informatie (vervoermiddel en tijdstip) is immers bij elke meting gekend. Voor verder onderverdeling, volgens stedelijkheidsgraad, is locatiebepaling nodig. Dit is enkel mogelijk indien er GPS-ontvangst was. Vanaf dan wordt er overgeschakeld op de dataset waar niet alle BC-metingen inzitten en met een observatie per seconde.

Model

De methodiek komt grotendeels overeen met die voor opstellen van een Land Use Regression (LUR) model, waarvoor volgend algoritme gebruikt wordt om het model te bouwen (Larson, Henderson, & Brauer, 2009) (Nethery, Teschke, & Brauer, 2008):

- Rangschik alle variabelen volgens hun absolute correlatie met de gemeten pollutent
- Bepaal de hoogst gerangschikte variabele in elke subcategorie
- Elimineer de andere variabelen in elke subcategorie die gecorreleerd (Pearson's $r \geq 0,6$) zijn met de hoogst gerangschikte variabele
- Stop alle overgebleven variabelen in een stapsgewijze lineaire regressie
- Verwijder de variabelen met een niet-significante t-statistiek ($\alpha=0,05$) en degene die in tegenspraak zijn met eerder gemaakte veronderstellingen
- Herhaal stap 4 en 5 om te convergeren en verwijder de variabelen die minder dan 1% bijdragen tot de R^2 om tot een niet te complex model te komen

Het resulterende model heeft meestal tussen de 3 en de 6 onafhankelijke variabelen en ziet er als volgt uit:

$$\text{Concentratie pollutent} = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 - \beta_4 X_4$$

Met deze vergelijking kan voor elke situatie of locatie in het studiegebied snel de bijhorende concentratie berekend worden.

Het uiteindelijk model ziet er in het geval van een regressieboom anders uit dan dat van een LUR-model, maar de variabelen worden op dezelfde manier geselecteerd.

In dit onderzoek is er veel belang gehecht aan de bruikbaarheid van het model. Een formule, zoals bij een LUR-model, kan immers niet gebruikt worden als een van de variabelen niet gekend is.

Een tweede reden om een boom te verkiezen boven een formule is dat we hier voornamelijk beschikken over categorische variabelen. Per categorie kunnen de coëfficiënten van de andere variabelen veranderen. Met vaste coëfficiënten zou het model niet de volledige variatie kunnen dekken.

Er is dus gekozen voor een regressieboom die niet alleen op het einde van de takken een waarde geeft maar ook na iedere vertakking. Een voordeel van deze benadering is dat de boom niet volledig doorlopen hoeft te worden om tot een resultaat te komen. Als er bijvoorbeeld niet geweten is op welke locatie de rit plaatsvindt, kan er toch een waarde afgelezen worden. Deze waarde is dan uiteraard een minder nauwkeurige benadering dan de waarde aan het einde van een tak.

Het toepassen van het model levert een gemiddelde concentratie op voor het deel van de verplaatsing waarbinnen de variabelen gelijk blijven. Als bepaalde variabelen veranderen

tijdens de verplaatsing komt men verschillende waarden na elkaar uit, waarvan een gewogen gemiddelde genomen kan worden.

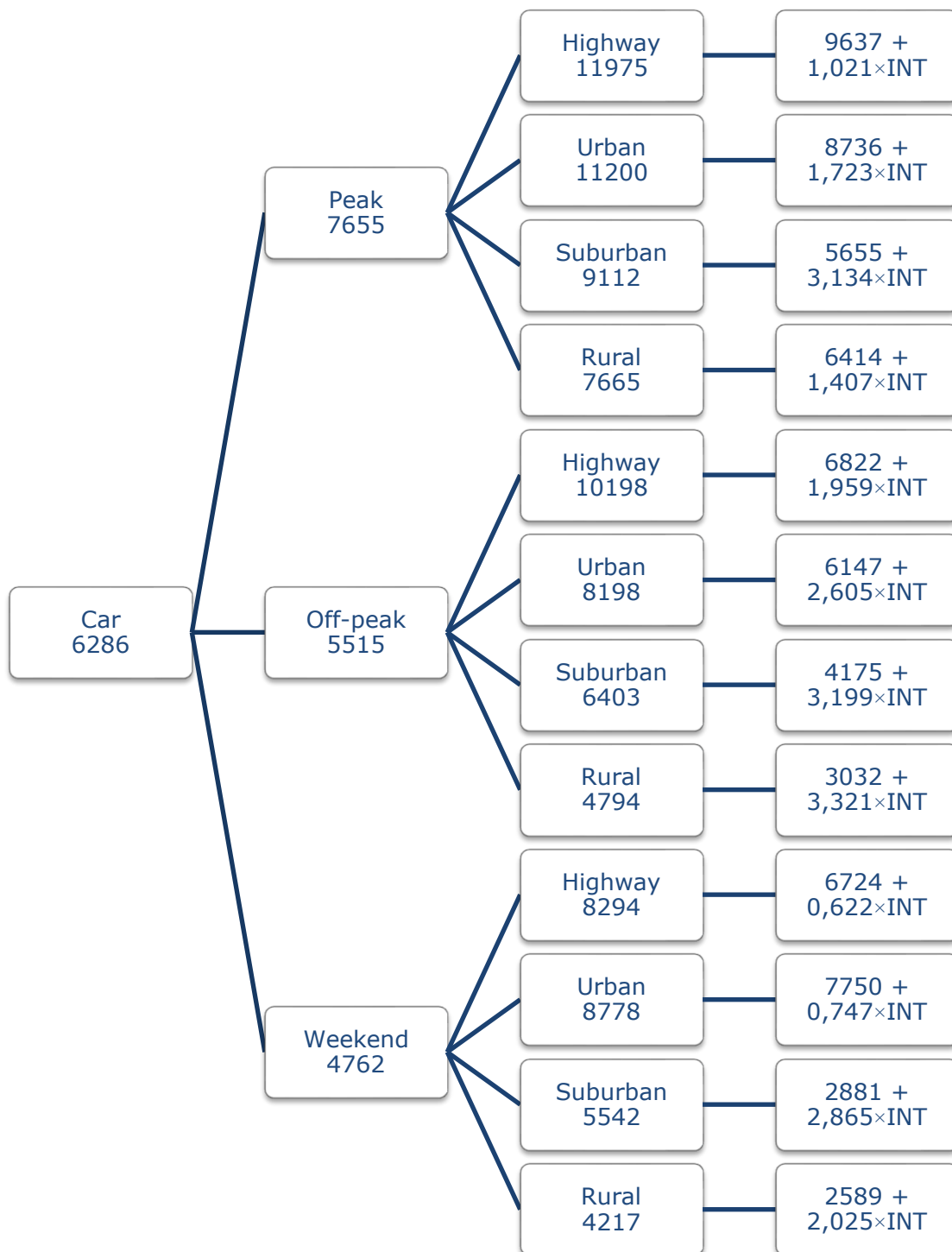
Bij elke modus wordt ook een algemeen gemiddelde gegeven. Aangezien de BC-concentraties log-normaal verdeeld zijn, wordt niet de standaardafwijking gegeven maar de interkwartielafstand ($Q_3 - Q_1$).

7.3 Resultaten

7.3.1 Auto

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen met de auto bedraagt 6286 ng/m^3 ($Q_3 - Q_1 = 5681$). Dit is gebaseerd op een set van 3837 metingen.

Een nauwkeurigere voorspelling wordt gegeven door onderstaande regressieboom. De getallen stellen de BC-concentraties voor in ng/m^3 .



Model 1 BC-concentratie auto (ng/m³)

'×INT' wil zeggen dat het getal vermenigvuldigd moet worden met de verkeersintensiteit, uitgedrukt in aantal voertuigen per uur.

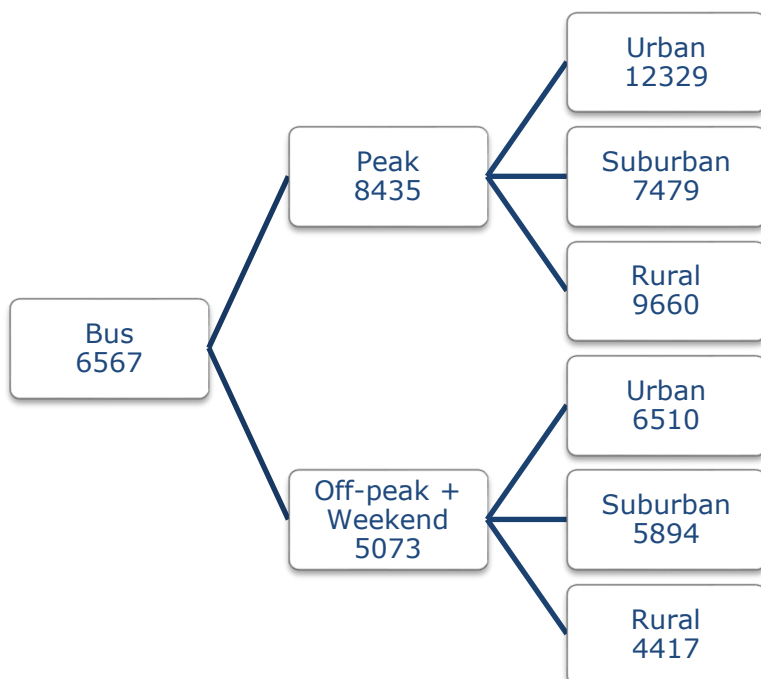
Zoals vermeld, zijn de waarden bij de onderverdeling Spits-Dal-Weekend gebaseerd op alle metingen, ook die waarbij geen GPS-signaal was. Vanaf de volgende onderverdeling, volgens stedelijkheidsgraad, zijn enkel de metingen gebruikt waarbij GPS-locatie mogelijk was. Omdat de gebruikte wegenkaart niet alle wegen kent, zijn in landelijke

gebieden vooral de observaties met lage BC-metingen weggevallen. Dit resulteert in een onlogische waarde tijdens de spits. De gemiddelde concentratie voor alle autoritten tijdens de spits is lager dan die van de laagste categorie eronder, namelijk platteland.

7.3.2 Bus

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen met de bus bedraagt 6567 ng/m³ ($Q_3 - Q_1 = 4799$). Dit is gebaseerd op een set van 189 metingen.

Een nauwkeurigere voorspelling wordt gegeven door onderstaande regressieboom. De getallen stellen de BC-concentraties voor in ng/m³.



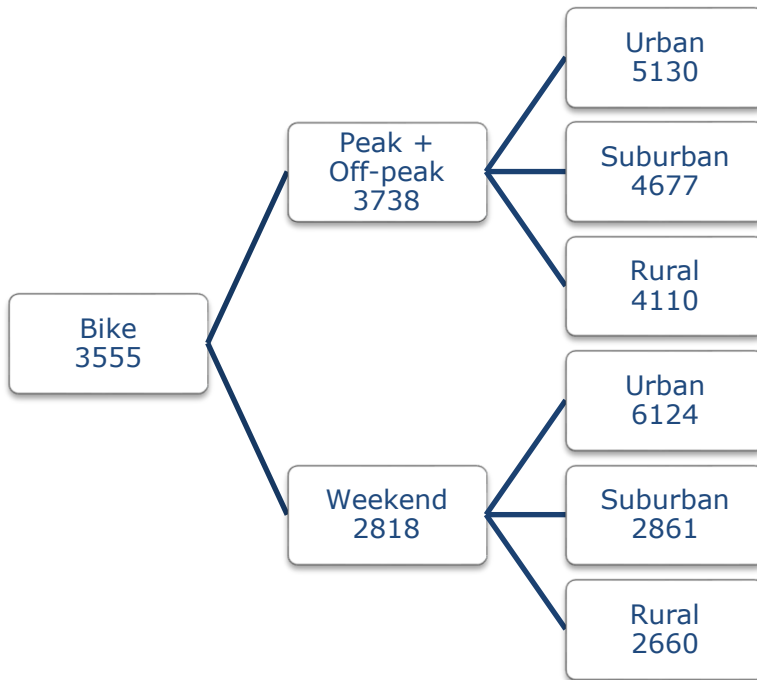
Model 2 BC-concentratie bus (ng/m³)

Het bleek niet mogelijk een valide waarde te vinden voor de BC-concentratie in bussen op snelwegen. Er waren wel observaties tijdens busritten op snelwegen, maar te weinig voor een betrouwbaar model.

7.3.3 Fiets

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen met de fiets bedraagt 3555 ng/m³ ($Q_3 - Q_1 = 3310$). Dit is gebaseerd op een set van 1166 metingen.

Een nauwkeurigere voorspelling wordt gegeven door onderstaande regressieboom. De getallen stellen de BC-concentraties voor in ng/m³.



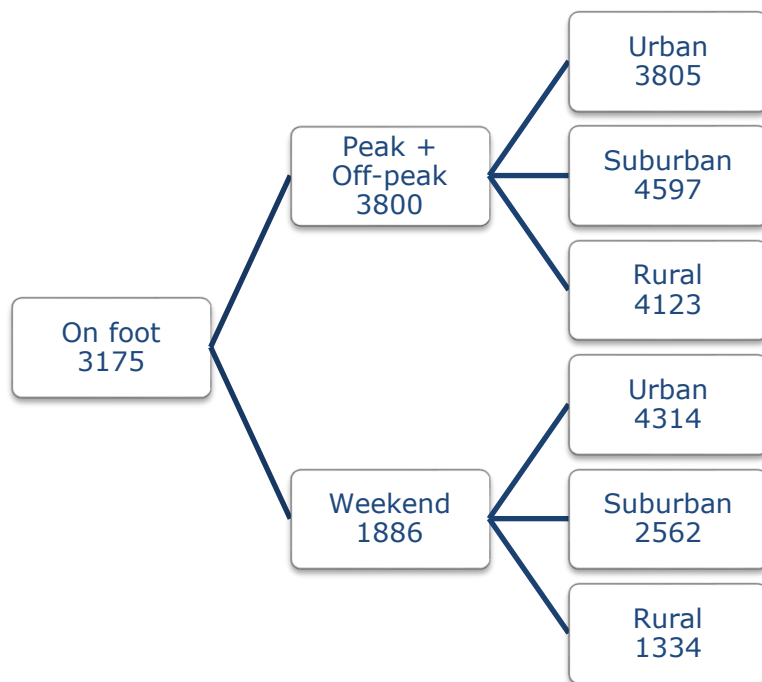
Model 3 BC-concentratie fiets (ng/m³)

Hier doet zich hetzelfde probleem voor als bij autoritten in de spits. Het zijn vooral lage BC-metingen waarvoor geen passende weg is gevonden op de wegenkaart. Hierdoor is de gemiddelde waarde voor weekdays lager dan de laagste waarde in de volgende stap (stedelijkheidsgraad).

7.3.4 Te voet

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen te voet bedraagt 3175 ng/m³ ($Q_3 - Q_1 = 2771$). Dit is gebaseerd op een set van 1161 metingen.

Een nauwkeurigere voorspelling wordt gegeven door onderstaande regressieboom. De getallen stellen de BC-concentraties voor in ng/m³.



Model 4 BC-concentratie te voet (ng/m³)

Ook hier doet zich hetzelfde probleem voor als bij autoritten in de spits. Omdat het vooral lage BC-metingen zijn waarvoor geen passende weg is gevonden op de wegenkaart, is het gemiddelde voor weekdays lager dan de laagste waarde in de volgende stap (stedelijkheidsgraad). Tevens is het onlogisch dat tijdens weekdays de gevonden BC-concentratie in steden lager is dan in andere gebieden.

7.3.5 Tram & metro

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen met de tram of metro bedraagt 5066 ng/m³ (Q₃ - Q₁ = 4332). Dit is gebaseerd op een set van 72 metingen.

Een nauwkeurigere voorspelling wordt gegeven door onderstaande regressieboom. De getallen stellen de BC-concentraties voor in ng/m³.



Model 5 BC-concentratie tram & metro (ng/m³)

Model

De verplaatsingen met de tram of metro zijn niet gekoppeld met de wegenkaart. Metro's hebben bijna altijd hun eigen bedding en stoten zelf geen BC uit. Trams rijden meestal wel op een weg waar ook ander verkeer zit. Er zijn ook te weinig metingen om onderscheid te maken met meerdere categorieën of continue variabelen.

De enige variabele met een significante invloed op de BC-concentratie is moment van de dag. Tijdens de spits (op weekdays van 7 tot 10 uur en van 16 tot 19 uur) bedraagt de gemiddelde concentratie 6311 ng/m³, op andere momenten 4070 ng/m³.

7.3.6 Trein

De gemiddelde gemeten BC-concentratie voor alle verplaatsingen met de trein bedraagt 2394 ng/m³ ($Q_3 - Q_1 = 1918$). Dit is gebaseerd op een set van 614 metingen.



Model 6 BC-concentratie trein (ng/m³)

Er is geen model gevonden voor de BC-blootstelling in treinen. Net zoals bij tram en metro, zijn ook de verplaatsingen met de trein niet gekoppeld met de wegenkaart. Het heeft ook geen zin om variabelen op te nemen zoals intensiteit of eigenschappen van de spoorweg. De meeste treinen stoten immers zelf geen BC uit. Geen enkele variabele die wel gekend is – zoals moment van de dag – toont een significant verband met de BC-concentratie.

8 Conclusie

Het doel van dit onderzoek bestond er uit de BC-blootstelling in het verkeer te voorspellen.

Er zijn grote verschillen in BC-blootstelling aangetoond naargelang het moment van de dag, de stedelijkheidsgraad en het soort weg. Deze verschillen zijn vooral merkbaar bij het gemotoriseerd verkeer. Bij het langzaam verkeer zijn deze verschillen kleiner en bovendien zijn alle waarden lager dan bij het gemotoriseerd verkeer.

Fietsers en voetgangers kunnen rustigere paden of zelfs verkeersvrije paden kiezen en zo verder verwijderd blijven van de bron. BC reikt niet zo ver. Op slechts 50 m van de bron is de concentratie er al nauwelijks hoger dan de achtergrondwaarde.

Hoewel een sterk verband aangetoond is tussen verkeersintensiteit en BC-blootstelling, is dat voor de meeste transportmodi niet terug te vinden in het model. Enkel voor ritten met de auto is er een voldoende verklarend model gevonden met de verkeersintensiteit als één van de verklarende variabelen.

Voor de andere modi wordt de hoeveelheid verkeer, en daarmee ook de BC-concentratie, benaderd door variabelen zoals het tijdstip en de stedelijkheidsgraad. Bij deze modi zijn er te weinig observaties om het model verder te verfijnen.

Als modelstructuur is er gekozen voor een boom. De voorspelde waarden worden niet enkel op het einde van de takken weergegeven, maar ook bij elke vertakking. Zo hoeft de boom niet volledig doorlopen te worden om een, zij het minder nauwkeurige, voorspelling te bekomen.

Omdat de gebruikte wegenkaart niet alle kleine wegen bevat, zijn er veel observaties met een lage BC-concentratie weggevallen bij de ruimtelijke analyse. Hierdoor wordt het gemiddelde in landelijke gebieden overschat. Tevens zijn de gemiddelde concentraties volgens tijdstip, vervoermiddel en verplaatsingsmotief, waarbij alle metingen gebruikt zijn, over het algemeen lager dan de gemiddelde concentraties volgens stedelijkheidsgraad, wegcategorie, snelheid en verkeersintensiteit, waarbij enkel metingen gebruikt zijn waarbij de GPS-coördinaten een match vonden op de wegenkaart.

De modellen zijn enkel toepasbaar voor black carbon en enkel in Vlaanderen. De gebruikte metingen vonden enkel plaats in Vlaanderen en bovendien is de samenstelling van het verkeer in België anders dan in andere landen.

Bibliografie

- Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J., Colvile, R. N., Older, M. J., & Kendall, M. (2002). Assessment of road users' elemental carbon personal exposure levels, London, UK. *Atmospheric Environment* 36, 5335-5342.
- Adar, S. D., Gold, D. R., Coull, B. A., Schwartz, J., Stone, P. H., & Suh, H. (2007). Focused Exposures to Airborne Traffic Particles and Heart Rate Variability in the Elderly. *Epidemiology* 18, 95-103.
- Baron, R. E., Montgomery, D. W., & Tuladhar, S. D. (2009). *An Analysis of Black Carbon Mitigation as a Response to Climate Change*. Frederiksberg, DK: Copenhagen Consensus Center.
- Baumgardner, D., Kok, G., & Raga, G. (2004). Warming of the Arctic lower stratosphere by light absorbing particles. *Geophysical Research Letters* 31, 6117-6120.
- Beekhuizen, J., Kromhout, H., Huss, A., & Vermeulen, R. (2011). *Performance of GPS-Tracking Devices in Exposure Assessment*. Utrecht, NL: Universiteit Utrecht.
- Bond, T. C., & Sun, H. (2005). Can reducing black carbon emissions counteract global warming? *Environmental Science & Technology* 39, 5921-5926.
- Borm, P. J., Schins, R. P., & Albrecht, C. (2004). Inhaled particles and lung cancer, Part B: Paradigms and risk assessment. *Int. J. Cancer* 110, 3-14.
- Carnegie Institution of Washington. (2011, April 14). *Climate change from black carbon depends on altitude*. Opgehaald van Carnegie Institution for Science: http://carnegiescience.edu/news/climate_change_black_carbon_depends_altitude
- Dockery, D. W., & Pope, C. A. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Air & Waste Management Association* 56, 709-742.
- Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., & Wets, G. (2012). Personal exposure to Black Carbon in transport microenvironments. *Atmospheric Environment* 55, 392-398.
- Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., & Wets, G. (2011). Impact of time-activity patterns on personal exposure to black carbon. *Atmospheric Environment* 45, 3594-3602.

Bibliografie

- Fruin, S. A., Winer, A. M., & Rodes, C. E. (2004). Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures. *Atmospheric Environment* 38, 4123-4133.
- Gilmour, P. S., Ziesenis, A., Morrison, E. R., Vickers, M. A., Drost, E. M., Ford, I., . . . Donaldson, K. (2004). Pulmonary and systemic effects of short-term inhalation exposure to ultrafine carbon black particles. *Toxicology and Applied Pharmacology* 195, 35-44.
- Gulliver, J., & Briggs, D. J. (2004). Personal exposure to particulate air pollution in transport. *Atmospheric Environment* 38, 1-8.
- Gulliver, J., & Briggs, D. J. (2005). Time-space modeling of journey-time exposure traffic-related air pollution using GIS. *Environmental Research* 97, 10-25.
- Hansen, A. D., Rosen, H., & Novakov, T. (1984). The aethalometer — An instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles. *Science of The Total Environment* 36, 191-196.
- Health Effects Institute. (2010). *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. Boston, MA: Health Effects Institute.
- Highwood, E. J., & Kinnersley, R. P. (2006). When smoke gets in our eyes: The multiple impacts of atmospheric black carbon on climate, air quality and health. *Environment International* 32, 560-566.
- Issarayangyun, T., & Greaves, S. (2007). Analysis of minute-by-minute exposure to fine particulates inside a car – A time-series modelling approach. *Transportation Research Part D*, 347-357.
- J. Sandradewi, A. S.-G. (2008). Study of Aerosol from Wood Burning Versus Other Sources (AEROWOOD) Using a Multiwavelength Aethalometer. *In Aerosol & Atmospheric Optics: Visual Air Quality and Radiation* 56.
- Jacobson, M. Z. (2002). Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. *Journal of Geophysical Research* 107, 4410-4432.
- Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fisher, P., van Bree, L., ten Brink, H., . . . Cassee, F. R. (2011). Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5. *Epidemiology* 22, 1691-1699.

- Janssens, D., Cools, M., Miermans, W., Declercq, K., & Wets, G. (2011). *Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen 4.2 (2009-2010)*. Diepenbeek, BE: Instituut voor Mobiliteit.
- Jonkers, S., & Vanhove, F. (2010). *CAR-Vlaanderen V2.0: Handleiding*. Leuven, BE: Transport & Mobility Leuven.
- Knibbs, L. D., de Dear, R. J., & Atkinson, S. E. (2009). Field study of air change and flow rate in six automobiles. *Indoor Air*, 303–313.
- Koch, D., & Hansen, J. (2005). Distant origins of Arctic black carbon: A Goddard Institute for Space Studies ModelE experiment. *Journal of Geophysical Research* 110, 14.
- Kochan, B. (2011). *Feathers Data*. Diepenbeek, BE: Transportation Research Institute (IMOB).
- Kochan, B., Bellemans, T., Janssens, D., & Timmermans, H. J. (2010). Quality assessment of location data obtained by the GPS-enabled PARROTS survey tool. *Journal of Location Based Services* 4, 93-104.
- kowoma.de. (2009, April 19). *Sources of Errors in GPS*. Opgehaald van kowoma.de: <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>
- Kristensson, A., Johansson, C., Westerholm, R., Swietlicki, E., Gidhagen, L., Wideqvist, U., & Vesely, V. (2004). Real-world traffic emission factors of gases and particles measured in a road tunnel in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment* 38, 657-673.
- Kristjánsson, J. E. (2002). Studies of the aerosol indirect effect from sulfate and black carbon aerosols. *Journal of Geophysical Research* 107, 4246-4264.
- Kupiainen, K., & Klimont, Z. (2007). Primary emissions of fine carbonaceous particles in Europe. *Atmospheric Environment* 41, 2156-2170.
- Larson, T., Henderson, S. B., & Brauer, M. (2009). Mobile Monitoring of Particle Light Absorption Coefficient in an Urban Area as a Basis for Land Use Regression. *Environmental Science and Technology* 43, 4672-4678.
- Nemmar, A., Hoylaerts, M. F., Hoet, P. H., & Nemery, B. (2004). Possible mechanisms of the cardiovascular effects of inhaled particles: systemic translocation and prothrombotic effects. *Toxicology Letters* 149, 243–253.

Bibliografie

- Nethery, E., Teschke, K., & Brauer, M. (2008). Predicting personal exposure of pregnant women to traffic-related air pollutants. *Science of the Total Environment* 395, 11-22.
- Ostro, B., Lipsett, M., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Garcia, C., . . . Bernstein, L. (2010). Long-Term Exposure to Constituents of Fine Particulate Air Pollution. *Environmental Health Perspectives* 118, 363-369.
- Pakkanen, T. A., Kerminen, V.-M., Ojanen, C. H., Hillamo, R. E., Aarnio, P., & Koskentalo, T. (2000). Atmospheric black carbon in Helsinki. *Atmospheric Environment* 34, 1497-1506.
- Petzold, A., Schloesser, H., Sheridan, P. J., Arnott, W. P., Ogren, J. A., & Virkkula, A. (2005). Evaluation of Multiangle Absorption Photometry for Measuring Aerosol Light Absorption. *Aerosol Science and Technology* 39, 40-51.
- Pew Center on Global Climate Change. (2010). *What is Black Carbon?* Arlington, VA: Pew Center on Global Climate Change.
- Ramana, M. V., Ramanathan, V., Feng, Y., Yoon, S.-C., Kim, S.-W., Carmichael, G. R., & Schauer, J. J. (2010). Warming influenced by the ratio of black carbon to sulphate and the black-carbon source. *Nature Geoscience* 3, 542-545.
- Ramanathan, V., & Carmichael, G. R. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience* 1, 221-227.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2012). *Report to Congress on Black Carbon*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Unger, N., Bond, T. C., Wang, J. S., Koch, D. M., Menon, S., Shindell, D. T., & Bauer, S. (2010). Attribution of climate forcing to economic sectors. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 3382-3387.
- Viidanoja, J., Sillanpää, M., Laakia, J., Kerminen, V.-M., Hillamo, R., Aarnio, P., & Koskentalo, T. (2002). Organic and black carbon in PM_{2.5} and PM₁₀: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 36, 3183-3193.
- von Klot, S., Cyrus, J., Hoek, G., Kühnel, B., Pitz, M., Kuhn, U., . . . Peters, A. (2011). Estimated Personal Soot Exposure Is Associated With Acute Myocardial Infarction Onset in a Case-Crossover Study. *Progress in Cardiovascular Diseases* 53, 361-368.

- Watson, J. G., Chow, J. C., & Chen, L.-W. A. (2005). Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparisons. *Aerosol and Air Quality Research* 5, 65-102.
- Weingartner, E., Saathoff, H., Schnaiter, M., Streit, N., Bitnar, B., & Baltensperger, U. (2003). Absorption of light by soot particles: determination of the absorption coefficient by means of aethalometers. *Journal of Aerosol Science* 34, 1445-1463.
- Zhu, Y., Hinds, W. C., Kim, S., Shen, S., & Sioutas, C. (2002). Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmospheric Environment* 36, 4323-4335.

Bijlagen

Bijlage 1 Spitsfactoren CAR-model

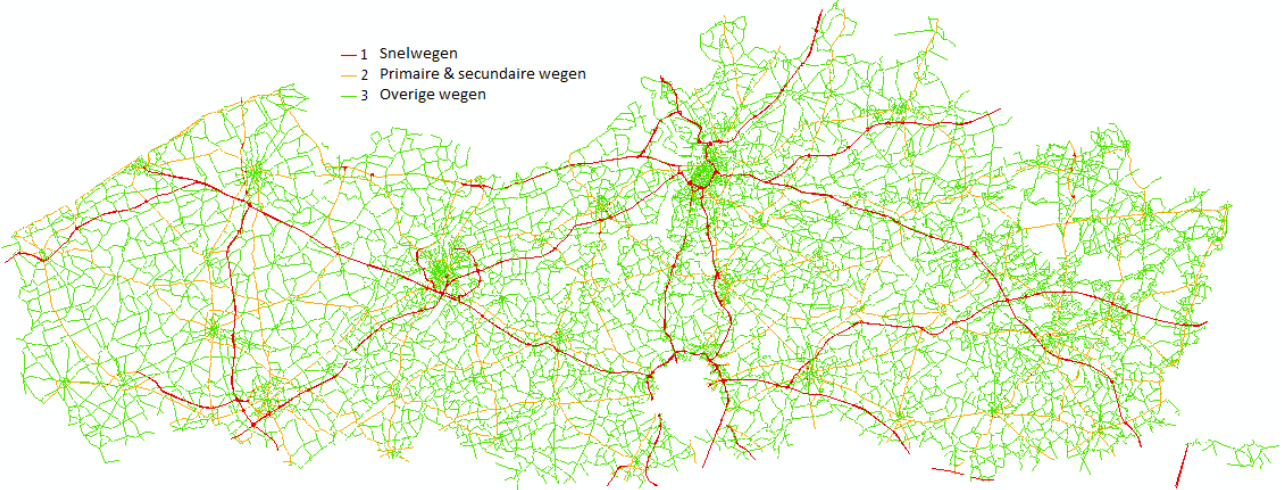
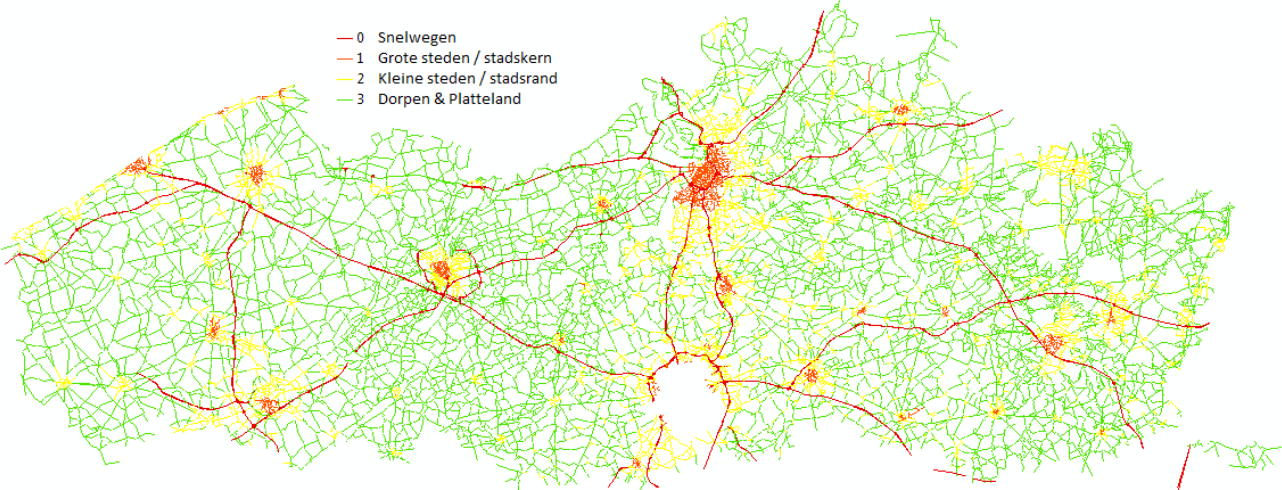
	werkdag		zaterdag		zondag	
	av	zv	av	zv	av	zv
0u-1u	0,42	0,23	1,47	1,71	2,18	1,62
1u-2u	0,26	0,25	0,97	1,25	1,59	1,04
2u-3u	0,16	0,39	0,66	1,21	1,12	1,00
3u-4u	0,24	0,57	0,53	1,25	0,86	0,60
4u-5u	1,02	1,33	0,53	1,70	0,69	0,74
5u-6u	2,52	2,78	0,84	2,60	0,77	1,12
6u-7u	3,78	5,43	1,28	4,17	1,02	1,82
7u-8u	8,00	6,07	2,16	5,42	1,45	2,14
8u-9u	7,39	7,58	4,06	6,74	2,60	2,86
9u-10u	5,27	7,38	5,96	7,75	4,35	4,40
10u-11u	5,41	7,77	7,08	7,99	5,81	5,62
11u-12u	5,22	7,40	7,13	7,53	6,91	6,13
12u-13u	5,56	7,03	6,48	6,81	6,36	5,49
13u-14u	6,39	7,79	6,88	6,68	6,00	6,21
14u-15u	5,94	7,10	7,69	6,63	7,13	6,78
15u-16u	6,05	6,96	7,50	5,93	7,40	6,60
16u-17u	8,14	6,52	7,52	5,55	7,84	6,88
17u-18u	8,32	5,39	7,70	5,29	8,51	7,72
18u-19u	6,41	4,25	7,12	4,48	8,17	7,69
19u-20u	4,11	2,98	5,65	3,30	6,79	7,05
20u-21u	3,11	2,40	3,57	2,10	5,16	5,99
21u-22u	3,02	1,17	2,47	1,56	3,54	4,78
22u-23u	2,13	0,66	2,47	1,31	2,38	3,53
23u-24u	1,11	0,56	2,28	1,03	1,36	2,20

av = alle verkeer; zv = zwaar verkeer

Bijlage 2 Wegenkaart

Short description of dataset	Flanders road network with linked peak hour traffic intensities
Name of dataset	Multimodaal model Vlaanderen (MMM2007) (Flemish multimodal traffic model)
Type of data	Vector
Accuracy/resolution dataset	Approximately 40% of total road length is included in this dataset, including all the main roads. No traffic is assigned to 3% of all segments.
Completeness	Covers whole of the Flanders (Northern Belgium)
Coordinate system	Lambert-72 (Lambert Conformal Conic)
Year for which data are available	2007
Source of the data	Flemish Traffic Control Centre (Vlaams Verkeerscentrum)
Remarks	Only evening peak hour intensities for an average workday were available. For light traffic, these were multiplied by 12.02 to obtain daily workday traffic intensity, and by 0.96 to obtain 24-h averages over entire weeks, following the Belgian CAR manual: http://www.tmleuven.be/project/car/Handleiding_CAR-Vlaanderen_v2.0.pdf (In Dutch). For heavy traffic a similar methodology was used: peak hour intensities were multiplied by 18.55 to obtain daily traffic intensities, and by 0.80 to obtain 24-h averages over entire weeks. Total traffic is calculated as the sum of light and heavy traffic.

Attribuut	Omschrijving
Wegtype	1 = snelweg → 8 = lokale weg
Stedelijkheidsgraad	0 = snelweg (behalve in OVL en VLB, aangepast a.d.h.v. wegtype) 1 = grote stad / stadskern 2 = kleine stad / stadsrand 3 = platteland
Gemiddelde snelheid	km/u
LV-uurintensiteit	Aantal lichte voertuigen, gemeten tijdens een spitsuur in de namiddag
ZV-uurintensiteit	Aantal zware voertuigen, gemeten tijdens een spitsuur in de namiddag
LV-dagintensiteit	Metingen licht verkeer omgerekend naar een totale waarde voor een gemiddelde dag
ZV-dagintensiteit	Metingen zwaar verkeer omgerekend naar een totale waarde voor een gemiddelde dag
Totale dagintensiteit	Som van licht verkeer en zwaar verkeer



Bijlage 3 Correlatiematrixes

Auto

Pearson Correlation Coefficients, N = 3837
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	0.13720 <.0001	0.09805 <.0001	0.11748 <.0001	0.13125 <.0001

Auto (toegedeeld)

Pearson Correlation Coefficients, N = 486558
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	Speed	snelheidav	AV_uurint	ZV_uurint
bc	1.00000	0.07407 <.0001	0.15548 <.0001	0.35234 <.0001	0.31087 <.0001

Bus

Pearson Correlation Coefficients, N = 189
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	0.22219 0.0021	0.21729 0.0027	0.01597 0.8274	-0.13770 0.0588

Bus (toegedeeld)

Pearson Correlation Coefficients, N = 23908
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	Speed	snelheidav	AV_uurint	ZV_uurint
bc	1.00000	-0.08006 <.0001	-0.20193 <.0001	-0.00323 0.6177	-0.07966 <.0001

Fiets

Pearson Correlation Coefficients, N = 1166
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	-0.05300 0.0704	-0.06236 0.0332	-0.01107 0.7057	-0.08288 0.0046

Bijlagen

Fiets (toegedeeld)

Pearson Correlation Coefficients, N = 74851
Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	Speed	snelheidav	AV_uurint	ZV_uurint
bc	1.00000	-0.09878 <.0001	-0.00941 0.0100	0.15719 <.0001	0.04496 <.0001

Te voet

Pearson Correlation Coefficients, N = 1161
Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	-0.20987 <.0001	-0.19821 <.0001	-0.03503 0.2330	-0.09218 0.0017

Te voet (toegedeeld)

Pearson Correlation Coefficients, N = 45276
Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	Speed	snelheidav	AV_uurint	ZV_uurint
bc	1.00000	0.02908 <.0001	-0.02478 <.0001	-0.03163 <.0001	0.02022 <.0001

Tram & metro

Pearson Correlation Coefficients, N = 72
Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	0.14649 0.2195	0.00269 0.9821	-0.10341 0.3874	-0.10894 0.3623

Trein

Pearson Correlation Coefficients, N = 614
Prob > |r| under H0: Rho=0

	bc	av	zv	trip_time	trip_dur
bc	1.00000	0.06817 0.0915	0.10504 0.0092	-0.09136 0.0236	-0.05956 0.1404

Bijlage 4 Modellen

Auto

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read	3837
Number of Observations Used	3837

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	6058300513	3029150256	90.91	<.0001
Error	3834	1.277514E11	33320648		
Corrected Total	3836	1.338097E11			

Root MSE	5772.40404	R-Square	0.0453
Dependent Mean	6286.47139	Adj R-Sq	0.0448
Coeff Var	91.82264		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	1	5514.83176	166.15105	33.19	<.0001	36708936797
PeakP	1	2139.80853	217.05932	9.86	<.0001	3238220426
PeakW	1	-752.72422	252.47911	-2.98	0.0029	296165395

Bus

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read	189
Number of Observations Used	189

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	527744198	527744198	15.00	0.0001
Error	187	6578165200	35177354		
Corrected Total	188	7105909399			

Root MSE	5931.04999	R-Square	0.0743
Dependent Mean	6567.18872	Adj R-Sq	0.0693
Coeff Var	90.31338		

Bijlagen

Parameter Estimates

Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	Intercept	1	5072.58581	578.81121	8.76	<.0001	2701768309
PeakP		1	3362.85656	868.21682	3.87	0.0001	527744198

Fiets

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read	1166
Number of Observations Used	1166

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	157273174	157273174	8.47	0.0037
Error	1164	21619904006	18573801		
Corrected Total	1165	21777177180			

Root MSE	4309.73325	R-Square	0.0072
Dependent Mean	3555.03751	Adj R-Sq	0.0064
Coeff Var	121.22891		

Parameter Estimates

Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	Intercept	1	3738.07860	141.01878	26.51	<.0001	13050998342
PeakW		1	-919.93930	316.14203	-2.91	0.0037	157273174

Te voet

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read	1161
Number of Observations Used	1161

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	935233046	935233046	56.16	<.0001
Error	1159	19301455338	16653542		
Corrected Total	1160	20236688384			

Root MSE 4080.87517 R-Square 0.0462
 Dependent Mean 3174.73471 Adj R-Sq 0.0454
 Coeff Var 128.54224

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	1	3799.56207	145.93180	26.04	<.0001	11289477467
PeakW	1	-1914.04899	255.41502	-7.49	<.0001	935233046

Tram & metro

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read 72
 Number of Observations Used 72

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	89301423	89301423	16.83	0.0001
Error	70	371343624	5304909		
Corrected Total	71	460645047			

Root MSE 2303.23879 R-Square 0.1939
 Dependent Mean 5065.99422 Adj R-Sq 0.1823
 Coeff Var 45.46469

Parameter Estimates

Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	Intercept	1	4069.88276	364.17403	11.18	<.0001	662557829
PeakP		1	2241.25077	546.26104	4.10	0.0001	89301423

Trein

Dependent Variable: bc

Number of Observations Read 614
 Number of Observations Used 614

Analysis of Variance

Bijlagen

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	0	0	.	.	.
Error	613	2812505006	4588100		
Corrected Total	613	2812505006			

Root MSE	2141.98495	R-Square	0.0000
Dependent Mean	2394.20183	Adj R-Sq	0.0000
Coeff Var	89.46551		

Parameter Estimates

Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type II SS
Intercept	Intercept	1	2394.20183	86.44348	27.70	<.0001	3519572273

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Analyse van het verband tussen Black Carbon blootstelling en tripkarakteristieken afgeleid uit GPS-logs en dagboekjes

Richting: **master in de verkeerskunde-mobiliteitsmanagement**

Jaar: **2012**

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,

Temmerman, Philip

Datum: **28/05/2012**