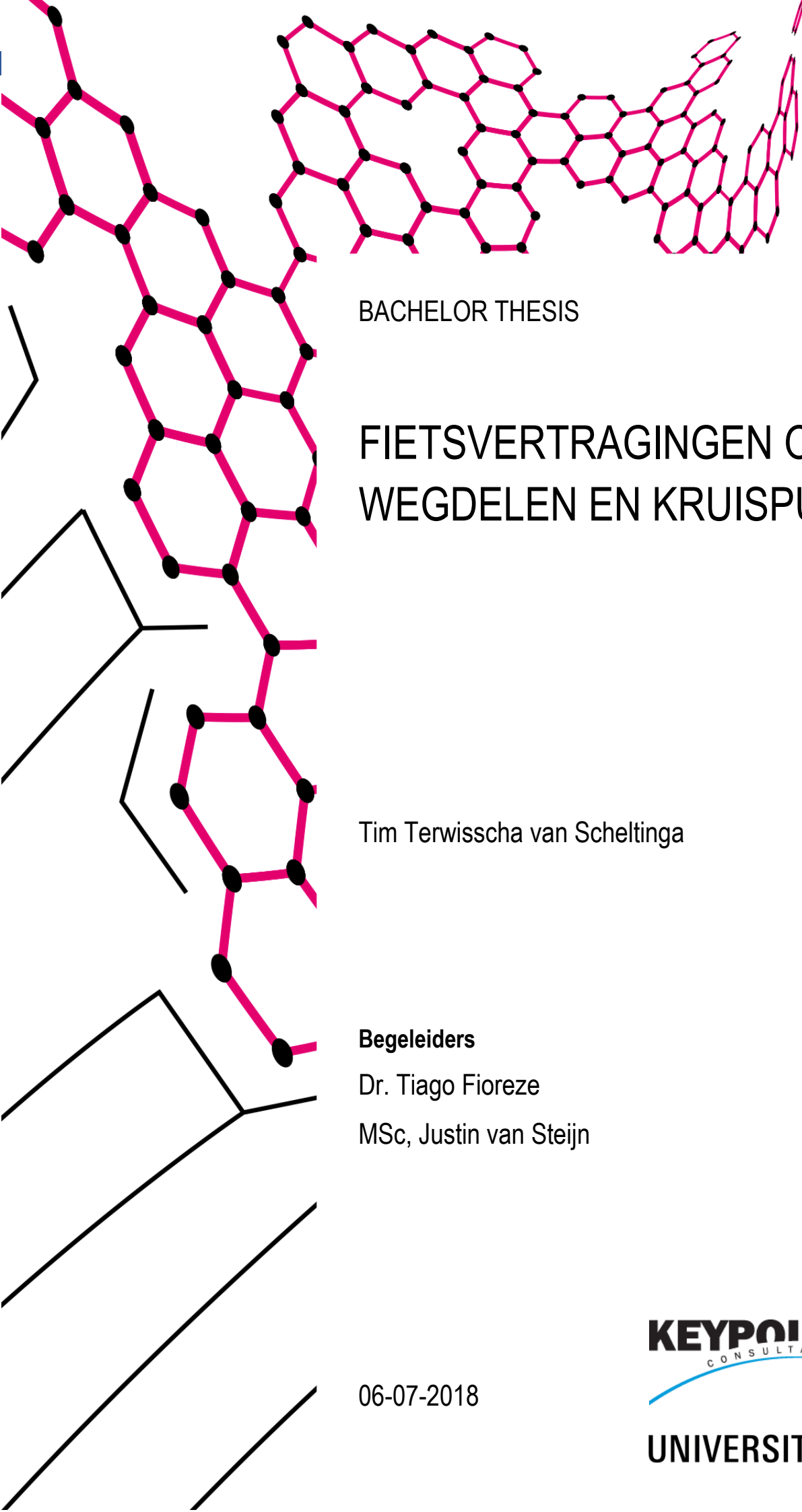




BACHELOR THESIS

FIETSVERTRAGINGEN OP WEGDELEN EN KRUISPUNTEN

Tim Terwisscha van Scheltinga

Begeleiders

Dr. Tiago Fioreze

MSc, Justin van Steijn

06-07-2018



UNIVERSITY OF TWENTE.

Voorwoord

Voor u ligt de bachelor thesis 'Fietsvertraging op wegdelen en kruispunten'. Deze thesis is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de bacheloropleiding Civiele techniek aan de Universiteit Twente en in opdracht van mijn stagebedrijf Keypoint Consultancy. Ik heb dit onderzoek uitgevoerd van april tot juli 2018 in een tijdbestek van twaalf weken. Het afstuderen is een leerzaam proces geweest, waarbij ik veel nieuwe kennis, zowel op theoretisch als op praktisch vlak, heb opgedaan.

Ik wil graag mijn begeleider van de Universiteit Twente, Tiago Fioreze, en mijn begeleider van Keypoint Consultancy, Justin van Steijn, bedanken voor hun inzet. Zij gaven deskundige feedback en stonden altijd paraat om met mij mee te denken. Daarnaast wil ik graag mijn stagebedrijf in het geheel bedanken voor de mogelijkheid om mijn bachelor thesis uit te voeren en de collega's bij Keypoint voor het meedenken met complexe vraagstukken.

Ik wens u veel leesplezier toe!

Tim Terwisscha van Scheltinga

Enschede, 6 juli 2018

Samenvatting

Aangezien het probleem van vertraging op de weg in Nederland de komende jaren blijft groeien, was het doel van dit onderzoek om inzicht te krijgen in fietsvertragingen op wegdelen en kruispunten in het wegennetwerk van Nederland. Het onderzoek heeft allereerst aan de hand van het opstellen van een aantal vertragingfactoren, een interpretatie aan het begrip fietsvertraging gegeven. Aan de hand van deze interpretatie is een nieuwe methode ontwikkeld om de vertragingen van fietsers vast te stellen. Ook is onderzocht welke inwintechiek en databron geschikt zijn om fietsvertragingen op nauwkeurig niveau te kunnen analyseren. Met het vinden van een geschikte methode en databron zijn de vertragingresultaten op wegdelen en kruispunten in Nederland verkregen. In het onderzoek zijn ook de vertragingen op de tijden van de dag verkregen en geanalyseerd.

Summary

Since the problem of delay on the road continuous to grow in the Netherlands, the aim of this research was to gain insight into cyclist delay on road sections and junctions in the Netherlands. Firstly, the research gave an interpretation of the term cyclist delay based on several delay factors. Based on this interpretation, a new method to determine cyclist delay was developed. Besides, an evaluation on a suitable data collecting method and data source to analyse cyclist delay was done. By finding a suitable method and data source, the delay results on road sections and junctions in the Netherlands were obtained. Additionally, the research obtained and analysed the delay on times of the day.

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 bestaat uit een introductie waarin de achtergrond, literatuuronderzoek en onderzoeksdoel- en vragen worden behandeld. In hoofdstuk 2 is de onderzoeksmethode opgenomen, waarin staat beschreven hoe dit onderzoek is uitgevoerd. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van dit onderzoek weer. De resultaten zijn gegeven per onderzoeksvraag. In hoofdstuk 4 is de discussie opgenomen waarin beschreven staat wat de resultaten betekenen en hoe ze het beste geïnterpreteerd kunnen worden. Hoofdstuk 5 zal ten slotte een conclusie geven waarin kort wordt weergegeven wat er allemaal geleerd is van dit onderzoek en waarin de suggesties voor vervolgonderzoek zijn opgenomen.

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	6
1.1	Achtergrond.....	6
1.2	Literatuuronderzoek.....	6
1.3	Onderzoeksdoel en -vragen	8
2	Onderzoeksmethode.....	9
3	Resultaten.....	11
3.1	OV1. Hoe wordt fietsvertraging geïnterpreteerd in dit onderzoek?.....	11
3.2	OV2. Welke databron is geschikt om fietsvertragingen te onderzoeken in Nederland?.....	14
3.3	OV3. Welke methode is geschikt om fietsvertragingen te meten?	16
3.4	OV4. In hoeverre lopen fietsers in Nederland vertraging op?	23
4	Discussie	29
4.1	Definitie fietsvertraging.....	29
4.2	Vertragingsmethode.....	29
4.3	Vertragingsresultaten.....	31
4.4	Limitaties data	31
5	Conclusie	33
5.1	Suggesties voor vervolgonderzoek.....	33
6	Bibliografie.....	35

1 Introductie

Allereerst wordt in sectie 1.1 de achtergrond van dit onderzoek beschreven. In sectie 1.2 is het literatuuronderzoek opgenomen en sectie 1.3 worden het onderzoeksdoel en de onderzoeksvragen weergegeven.

1.1 Achtergrond

Menselijk vervoer bestaat al eeuwen en vormt inmiddels een cruciale factor in ons dagelijks leven. Het eerste voertuig voor op de weg dat onafhankelijk was van mens- of dierkracht werd eind achttiende eeuw ontwikkeld door de uitvinding van de stoommachine (Purdy & Foster, 2018). Later vormde de uitvinding van de fiets in 1839 de basis voor een van de meest gebruikte hedendaagse manieren van transporteren. Tegenwoordig is een leven ondenkbaar zonder de fiets (Scheper & Siemerink, 2017). Door de enorm sterke integratie van transportatie in de samenleving en gezien het feit dat de wereldbevolking groeit en steden alsmaar dichtbevolkter worden, is het niet merkwaardig dat mensen steeds meer vertraging op de weg ervaren. Sommige steden blijven zo hard groeien dat er elk jaar essentiële maatregelen moeten worden genomen om een goede doorstroom van de infrastructuur te blijven waarborgen (EIB, 2016). Het is dan ook niet ondenkbaar dat het organiseren en structuren van de infrastructuur ingenieurs al vele jaren een uitdaging geeft.

Het probleem van vertraging is een bekend thema in de transport engineering. Vertraging is echter een breed begrip dat binnen bepaalde contexten verschillend wordt gebruikt, hoewel het concept in veel gevallen hetzelfde blijft. In de context van weggebruikers, kan vertraging opgevat worden als de extra tijd door omstandigheden dat wordt opgeteld bij de normale reistijd van een onaangetaste trip. Vertraging kan ook worden geïnterpreteerd als het verschil tussen de verwachte reistijd en werkelijke reistijd. Vertraging in het openbaarvervoer wordt vaak aangegeven als de tijd dat een bepaald vervoersmiddel te laat vertrekt of de tijd die een reis met het openbaarvervoer extra neemt in vergelijking met de normale reistijd van die reis.

1.2 Literatuuronderzoek

Allereerst wordt er verder inzicht gegeven in de beschikbare literatuur van de vertraging van fietsers. Het doel van het literatuuronderzoek is een indicatie te geven van eerder gedaan onderzoek dat op welke manier dan ook kan bijdragen aan dit onderzoek. Door de beschikbare literatuur te bekijken, kan meer informatie worden verkregen over de manier waarop vertragingen bij fietsers is benaderd in verschillende onderzoeken. Het kan inzicht geven in de factoren die belangrijk worden geacht voor vertragingen van fietsers, maar kan ook meer algemene informatie geven over bijvoorbeeld het meten van fietsvertragingen.

In een studie uitgevoerd door de Vrije Universiteit (VU) in Amsterdam (Rietveld, 2004) werden de verschillen in fietsgebruik onderzocht tussen gemeenten in Nederland. Naast vele andere factoren, heeft deze studie ook gekeken naar de vertragingen van fietsers. Als maat voor vertraging werd 'seconden per kilometer' gebruikt. In de studie werden de volgende factoren/hindernissen beschouwd die voor vertraging zorgden: het aantal stoppen of afslagen door fietsers per afstandseenheid; De hoeveelheid tijd dat men langs de fiets wandelt of langzaam fietst; of de verplichting om voorrang te geven op een kruispunt. Hindernissen omvatten de aanwezigheid van paaltjes en een te smalle infrastructuur. Uit de resultaten van het onderzoek bleek dat Heerlen (Limburg) de hoogste vertraging had van 50 sec/km en Culemborg (Gelderland) de laagste vertraging van 0 sec/km.

In een onderzoek aan de Portland State University (Broach, 2012) werd het gedrag van 164 volwassen fietsers geanalyseerd door het gebruik van GPS-data. De studie merkte op dat het kruisen van intersecties fietsers vertraagd. De aanwezigheid van een verkeersregelapparaat (signaal of stopbord) heeft een belangrijke invloed op de hoeveelheid vertraging. Verder werden bochten naar rechts in de gebruikte methode vaak genegeerd omdat zulke afslagbewegingen het grootste gedeelte van de verkeersconflicten en vertragingen vermijden.

Een onderzoek dat dezelfde GPS-data van de 164 fietsers in Portland gebruikte is Dill, 2008. Het bespreekt in een van de secties de gemiddelde totale rij snelheden. De gemiddelde totale snelheid, met de momenten dat de fiets niet bewoog, was 17,4 km/h. Het verwijderen van de momenten waarop de fiets een snelheid van nul had resulteerde in een gemiddelde snelheid van 17,9 km/u. Dit duidt op een gemiddelde vertraging van 5,8 sec/km.

Om een inzicht te geven in een manier om de vertraging op de gesignaleerde kruispunten in modellen te benaderen, wordt de volgende aanpak beschreven. In Ehr Gott, 2012 wordt de routekeuze van fietsers onderzocht. Uit de studie blijkt dat de routekeuze op twee factoren is gebaseerd: de reistijd (het belangrijkste) en de veiligheid en het comfort van de route. Voor het modelleren van gesignaleerde kruispunten en om te gaan met de vertraging die wordt veroorzaakt door de verkeerslichten, wordt de volgende methode toegepast. Als R_t de roodfase van een verkeerssignaal is en S_t de totale signaalcycclus, is de mate dat fietsers stoppen te benaderen met R_t/S_t . De gemiddelde vertraging voor gestopte fietsers kan worden benaderd met $R_t/2$. Het vermenigvuldigen van deze twee maten resulteert in de volgende vereenvoudigde benadering voorgesteld door het rapport:

$$\text{gemiddelde vertraging op gesignaleerde kruispunten} = \frac{R_t^2}{2S_t}$$

In een studie uitgevoerd door de University of Canterbury (Ashford, 2014) werden de vertragingen van de fietser bij verkeerslichten onderzocht. De studie richtte zich op de vertraging die fietsers ondervinden op de gesignaleerde kruispunten tijdens typisch woon-werkverkeer in de spitsuren. De methode om de vertraging te bepalen was als volgt: allereerst werd de tijd voor de acceleratie en deceleratie voor het stoppen bij een kruispunt bepaald. Bij het bepalen werd een gemiddelde van 5 seconden berekend, dat vervolgens werd gesteld als vaste tijd, ongeacht de persoonlijke kenmerken van de individuele fietser. Daarna werd de totale tijd van stilstand op het kruispunt bepaald en opgeteld bij de 5 seconden voor de acceleratie en deceleratie. De volgende vier meetwaarden werden gebruikt om vertraging in beeld te brengen: gemiddelde vertraging per stop, gemiddelde vertraging per kruispunt, gemiddelde vertraging per kilometer en gemiddelde vertraging als percentage van de totale reistijd. In de studie werden twee routes onderzocht, die voornamelijk arteriële wegen volgden. Wanneer de gegevens van beide spitsen (Ochtend en Middag) van beide routes werden gecombineerd, kwam eruit dat een fietser moest stoppen bij een gemiddelde van 54% van de gesignaleerde kruispunten met een gemiddelde stoplengte van 33 seconden. Vertraging vertegenwoordigde gemiddeld 15% van de totale reistijd.

In een studie uitgevoerd bij de McGill University (Strauss & Miranda-Moreno, 2017) werden fietssnelheden en vertragingen op wegdeel- en kruispunt-niveau voor het wegennetwerk van Montreal onderzocht. Daarnaast werd een lineair regressiemodel opgesteld om inzicht te verkrijgen op de invloed van het geometrisch ontwerp en de omgevingskenmerken van het netwerk van Montreal op de fietssnelheden op wegdelen. De studie werd uitgevoerd op basis van GPS-data van

fietser dat werd verzameld door een smartphone applicatie. Het onderzoek beschrijft daarbij een methode om op basis van GPS-data de fietssnelheden en -vertragingen te bepalen. Fietsvertragingen werden alleen onderzocht op kruispunten. Het onderzoek definieerde en bepaalde de fietsvertraging op de volgende manier: vertraging werd berekend als het tijdsverschil tussen het fietsen door de intersectie buffer met de wegdeel-snelheid (segment speed) en de intersectie-snelheid zelf. De wegdeel-snelheid is de snelheid op het wegdeel dat het kruispunt nadert, dat representatief staat voor de theoretische snelheid dat wordt gefietst op het kruispunt wanneer er helemaal geen kruispunt is. Deze manier van bepalen van de fietsvertraging houdt rekening met de persoonsgebonden kenmerken van fietsers.

1.3 Onderzoeksdoel en -vragen

Het hoofddoel van dit onderzoek is:

Inzicht verschaffen in de fietsvertragingen op wegdelen en kruispunten in het wegennetwerk van Nederland

Het is het eerste onderzoek dat vertraging van fietsers van een nationaal wegennetwerk met meerdere grote steden onderzoekt. Daarnaast is dit het eerste onderzoek dat niet alleen kruispunten maar ook wegdelen (tussen kruispunten) gaat analyseren op fietsvertragingen.

Om het boven geschreven doel te bereiken zijn de volgende leidende onderzoeksvragen (OV's) opgesteld:

- OV1. Hoe wordt fietsvertraging geïnterpreteerd in dit onderzoek?
 - Welke factoren hebben invloed op fietsvertraging?
 - Wat is de perceptie van de mens op fietsvertraging?
- OV2. Welke databron is geschikt om fietsvertragingen te onderzoeken in Nederland?
- OV3. Welke methode is geschikt om fietsvertragingen te meten?
- OV4. In hoeverre lopen fietsers in Nederland vertraging op?
 - Waar en hoeveel vertraging wordt er opgelopen?
 - Op welke tijden van de dag lopen fietsers vertraging op?

2 Onderzoeksmethode

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is er een onderzoeksmethode opgesteld. De onderzoeksmethode is geschematiseerd in een conceptueel model (figuur 1). Het conceptueel model is verder uitgelicht in de tekst hieronder.



Figuur 1, Conceptueel model van onderzoeksmethode

Allereerst wordt beschreven hoe het begrip fietsvertraging geïnterpreteerd gaat worden in dit onderzoek. Vertraging is een subjectief en abstract begrip, dus dit moet zorgvuldig worden benaderd. Ook omdat de term ‘vertraging’ bij verschillende onderzoeken verschillend gebruikt wordt (zie sectie 1.1), is een duidelijke definitie noodzakelijk. Het definiëren zal gedaan worden door het doen van een literatuuronderzoek. Om te bepalen wat beschouwd gaat worden als zijnde vertraging, is het van belang om eerst alle factoren in overweging te nemen die de vertraging van fietsers kunnen beïnvloeden. Om dit te kunnen doen, worden verschillende bestaande artikelen en onderzoeken naar vertraging uitgelezen en onderzocht. Ook worden verschillende onderzoeken naar de perceptie van de mens op fietsvertragingen beschouwd en bekeken om een nog beter inzicht te krijgen in alle factoren die horen bij fietsvertraging.

Op basis van de definiëring van fietsvertraging zullen er, in samenwerking met Keypoint, meerdere (nieuwe) methodes ontwikkeld worden. Met behulp van een methode-analyse wordt de meest geschikte methode gekozen, die vervolgens geïmplementeerd zal worden. Het onderzoek zal een nieuwe methode ontwikkelen voor het bepalen van fietsvertraging vanwege de missende componenten in eerdere voorgestelde methodes in Strauss & Miranda-Moreno (2017) en Ashford (2014). De benadering voor het berekenen van fietsvertragingen op kruispunten van Strauss & Miranda-Moreno (2017) houdt geen rekening met de invloed van de geometrie van kruispunten op de vertraging van fietsers. Daarnaast gebruikt Ashford (2014) een erg globale benadering bij het bepalen van de vertraging bij de acceleratie en deceleratie op kruispunten, waarbij er geen rekening gehouden wordt met de persoonsgebonden kenmerken van fietsers. Dit onderzoek zal een methode ontwikkelen dat de geometrische kenmerken van de infrastructuur én de persoonsgebonden kenmerken mee neemt in de berekening van de fietsvertragingen op wegdelen en kruispunten.

Om inzicht te verkrijgen in de fietsvertraging in Nederland moet daarnaast onderzocht worden welke databron geschikt is om dit te onderzoeken. Hiervoor worden eerst de inwintechnieken van fietsdata op een rij gezet. Van deze technieken wordt bekeken in hoeverre ze geschikt zijn om fietsvertragingen te onderzoeken. Uit de gekozen inwintechniek wordt bekeken welke databronnen deze inwintechniek gebruikt hebben. Vervolgens wordt daaruit een databron gekozen op basis van

het overeenkomen met de beoogde doelgroep (de 'normale' fietser) en de dekking in het studiegebied.

Nadat een geschikte databron en een geschikte methode is gevonden kan door middel van een data-analyse fietsvertragingen in Nederland bepaald worden. De fietsvertragingen zullen bepaald worden op twee niveaus: wegdelen en kruispunten. Daarnaast zal er ook een analyse naar de vertraging op de tijden van de dag uitgevoerd worden. De vertraging op tijden van de dag zal geanalyseerd worden voor de gemiddelde van alle wegdelen in Nederland. Ook kunnen een of meerdere wegdelen/kruispunten bekeken worden voor de tijdsanalyse. De maatstaf die gebruikt gaat worden op wegdelen is seconden per kilometer (sec/km), omdat deze maatstaf het meest wordt gebruikt bij bestaande onderzoeken en daarnaast intuïtief is. De maatstaf voor het meten van fietsvertragingen op kruispunten zal seconden (sec) zijn. Ook seconden is een intuïtieve maatstaf. Het meten van een vertragingpunt maakt het mogelijk om de vertraging te geven in seconden, in tegenstelling tot de wegdelen, waarbij over een afstand wordt gemeten.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn alle resultaten opgenomen. De resultaten zijn per onderzoeksvraag (OV) gegeven.

3.1 OV1. Hoe wordt fietsvertraging geïnterpreteerd in dit onderzoek?

In deze sectie wordt het begrip fietsvertraging uitgelicht. In 3.1.1 zijn twee algemene definities vanuit de literatuur opgenomen. In 3.1.2 zijn alle factoren opgenomen die invloed hebben op fietsvertragingen. In 3.1.3 is de invloed van de perceptie van de fietser op fietsvertragingen besproken en in 3.1.4 is fietsvertraging beschreven zoals het geïnterpreteerd gaat worden in dit onderzoek.

3.1.1 Algemene definities vertraging

Het begrip vertraging is gedefinieerd in de Cambridge Dictionary als (vertaald):

De situatie waarin je langer moet wachten dan verwacht totdat er iets gebeurt of de tijd dat je moet wachten.

Een andere algemene beschrijving van het begrip vertraging zonder het in de context van fietsers te plaatsen is gedefinieerd bij de American Association of State Highway and Transportation (AASHTO) in de Transportation Glossary (2009) als (vertaald):

De extra reistijd voor een bestuurder, passagier of voetganger vanwege omstandigheden die de gewenste verplaatsing van het verkeer belemmeren. Het wordt gemeten als het tijdsverschil tussen de werkelijke reistijd en de reistijd bij een free-flow.

Deze beschrijvingen geven inzicht in de verschillende opvattingen van het woord vertraging. Bij het definiëren van *fietsvertraging* zullen de verschillende opvattingen meegenomen worden.

3.1.2 Factoren die invloed hebben op fietsvertraging

Om verder inzicht te verschaffen in het begrip fietsvertraging worden alle factoren, gebaseerd op eerder onderzoek, benoemd en uitgewerkt die van invloed zijn volgens deze onderzoeken op de vertraging van fietsers. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen infrastructurele factoren en milieufactoren.

3.1.2.1 Infrastructurele factoren

Verkeerslichten

Het kruisen van intersecties vertraagt fietsers. De aanwezigheid van verkeerslichten is een belangrijke invloed op de hoeveelheid vertraging (Broach, 2012). Een studie in Nieuw-Zeeland (Rendall, 2012) vond een gemiddelde vertraging van 5,3 seconden per verkeerslicht dat aan fietsvertraging kan worden toegerekend. Eenzelfde studie, maar dan in Portland, VS, berekende een grotere gemiddelde vertraging van 10 seconden per verkeerslicht voor fietsers. Ook wordt de route keuze beïnvloedt door gesignaleerde kruispunten. Broach (2012) concludeerde dat fietsers over het algemeen verkeerslichten vermijden, tenzij er drukke wegen moesten worden gekruist. In dit geval werden verkeerslichten juist gewaardeerd.

Voorrang verlenen

Een factor die op kruispunten ook een aandeel in de vertraging heeft is het voorrang verlenen aan overig verkeer. Voorrang verlenen wordt in dit onderzoek opgevat als het stoppen voor overig

verkeer zonder dat daar verkeerlichten bij komen kijken. Rietveld (2004) en Pucher & Buehler (2007) zijn voorbeelden van studies die het verlenen van voorrang hebben meegenomen in hun onderzoek.

Soorten fietspaden

Verschillende soorten fietspaden *kunnen*, afhankelijk van de inrichting, een belemmering vormen bij het passeren van medeweggebruikers waardoor vertraging wordt opgelopen. Er is verder nog geen onderzoek gedaan of het soort fietspad daadwerkelijk invloed heeft op de vertraging van fietsers. Er kan onderscheidt worden gemaakt in *vrijliggende* en *aanliggende* fietspaden. Daarnaast zijn er ook nog fietsstroken, die onderdeel zijn van de rijbaan en (onofficiële) fietsstraten, die ingericht zijn voor fietsers maar waar tevens auto's zijn toegestaan.

3.1.2.2 Milieufactoren

Wind

Er treedt variatie op in de triptijden van fietsers door de aanwezigheid van wind (Ashford, 2014). Hoewel de invloed van wind op fietsvertragingen echter in meerdere onderzoeken wordt onderstreept, is het nog niet verder onderzocht of gekwantificeerd. De windsnelheid en windrichting zijn beide factoren die moeten worden meegenomen bij het kwantificeren van de invloed van de wind op fietsvertragingen.

Regen

In de literatuur is niet concreet onderzocht of regen de fietssnelheid beïnvloed. Daarentegen is het wel redelijkerwijs aan te nemen dat regen invloed heeft op de snelheid van fietsers en dus ook de vertragingen die wordt opgelopen. In de literatuur is wel de invloed van de regen op het fietsvolume onderzocht. Heinen, Maat & Wee (2011) vond dat regen een negatieve invloed heeft op het aantal fietsers in Nederland.

3.1.3 Perceptie van de fietser

Voordat fietsvertraging geconcretiseerd wordt, is het goed om af te vragen in hoeverre de perceptie van de fietser een rol speelt. Vertraging zoals het gedefinieerd wordt door Cambridge Dictionary is 'De situatie waarin je langer moet wachten dan verwacht'. De verwachte reistijd wordt bepaald door de perceptie van de fietser op de verwachte hindernissen op zijn route. Iedereen weet dat vertragingen op de fiets kunnen optreden. Wanneer deze vertragingen al van tevoren zijn ingeschat en geaccepteerd, dan is het *probleem* van vertraging minder groot geworden.

3.1.3.1 Waardering van tijd

Het probleem van vertraging vanuit bovenbeschreven perspectief, kan vastgesteld worden door te kijken naar de bereidbaarheid van fietsers om tijd te verliezen tijdens hun trip of zegge de mate waarin fietsers de vertraging 'voor lief nemen'. Deze bereidbaarheid om tijd te verliezen is afhankelijk van het soort fietser.

Woon-werkritten versus niet woon-werkritten

Mensen die naar hun werk fietsen vinden een lage reistijd belangrijk (Goldsmith, 1992). Everett (1982) argumenteert dat voor de meeste werkende mensen de lage kosten van een fiets niet opweegt tegen het gepercipieerde tijdsverlies bij het gebruiken van de fiets voor woon-werkverkeer. Verder, ondanks dat veel fietsers die naar hun werk gaan de mogelijkheid tot beweging aangeven als belangrijke reden om te fietsen (Bergström & Magnusson, 2003), neemt het gemak en de positie van de fiets af bij een toename van reistijd, omdat langere reistijden en het moeten leveren van meer

inspanning zorgt voor minder interesse in fietsen (Heinen, van Wee, & Maat, 2010). Wanneer we kijken naar fietsers die niet naar hun werk gaan, valt het op dat zij bereid zijn om meer tijd te verliezen. Een fietser die niet naar het werk gaat is namelijk bereid om meer afstand af te leggen om onveilige kruispunten te vermijden ten opzichte van een fietser die wel naar het werk gaat (Broach, 2012). Volgens Broach (2012) is dit te verklaren door de grotere tijdsdruk en de hogere gevoeligheid voor afstand op hun routekeuze bij fietsers die wél naar hun werk gaan.

3.1.3.2 Acceptatie van vertraging in cijfers

In de Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, 2010) staat beschreven dat fietsers nagenoeg dezelfde hoeveelheid vertraging accepteren als voetgangers. Fietsers en voetgangers worden ongeduldig bij een stop van meer dan 30 seconden. Ashford (2014) concludeerde op basis van GPS onderzoek naar fietsvertraging op twee routes in Nieuw Zeeland dat een gemiddelde stop voor een gesignaleerd kruispunt tijdens de spitsuren 33 seconden duurt en 49% van alle stops langer duurden dan 30 seconden. Voor automobilisten ligt de acceptatie van vertraging anders. Bijl, Vreeswijk, Bie & Berkum (2011) onderzocht dat automobilisten de wachttijd overschatte bij een relatief korte en een relatief lange stop. Bij een 'normale' stop voor auto's (tussen 40 en 60 seconden) wordt de wachttijd ervaren zoals het is.

3.1.4 Interpretatie van fietsvertraging in dit onderzoek

Om een functionele methode te kunnen ontwikkelen en een goede analyse te kunnen doen, zal het begrip fietsvertraging gedefinieerd moeten worden. De volgende definitie is niet de enige 'juiste' definitie van het begrip fietsvertraging. Het omvat de interpretatie van fietsvertraging voor dit onderzoek. Het is belangrijk om deze interpretatie duidelijke toe te lichten, omdat fietsvertraging van oorsprong een breed en subjectief begrip is.

Fietsvertraging is:

De extra reistijd die een fietser oploopt door invloeden van infrastructurele factoren en milieufactoren die zorgen voor een lagere gemiddelde snelheid op een stuk weg ten opzichte van de snelheid bij free-flow op hetzelfde stuk weg.

Er is voor gekozen om de percipiërende factoren niet op te nemen in de interpretatie van fietsvertraging in dit onderzoek vanwege de subjectieve aard ervan. Met deze definitie is de vertraging is te berekenen door het verschil te nemen tussen de werkelijke reistijd van een trip dat hinder ondervindt van de vertragingfactoren (sectie 3.1.2) en de reistijd van een trip dat geen hinder ondervindt (free-flow) van de vertragingfactoren.

3.2 OV2. Welke databron is geschikt om fietsvertragingen te onderzoeken in Nederland?

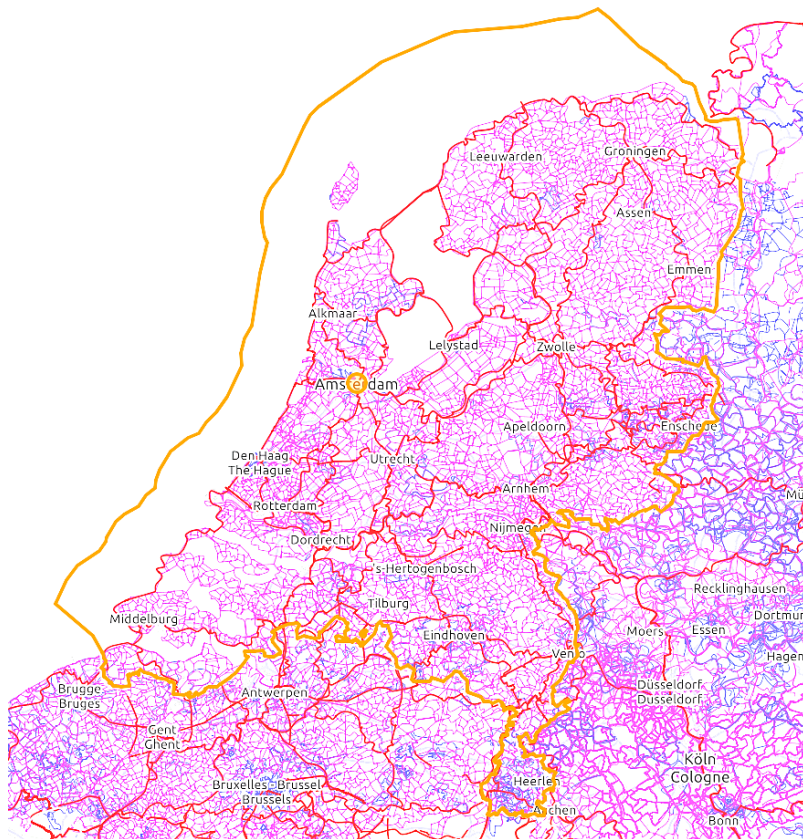
Om deze vraag te beantwoorden zullen eerst de huidige inwintechnieken benoemd worden. In sectie 3.2.2 is het studiegebied weergegeven. Sectie 3.2.3 beschrijft de gebruikte data en waarom deze is gekozen en sectie 3.2.4 de indeling van de data en het wegennetwerk.

3.2.1 Inwintechnieken

Er zijn de afgelopen jaren veel nieuwe technieken ontwikkeld om fietsdata te verzamelen. In Scheper & Siemerink (2017) worden drie belangrijke beschreven: Wifi-tracking, RFID (Radio Frequency Identification) en GPS-tracking. Fietsers kunnen daarnaast ook worden gemeten door 3G/4G-tracking (Asokan, 2015). Deze inwintechnieken, in totaal vier, hebben dezelfde potentie voor het doen van onderzoek naar fietssnelheden. Wifi-tracking wordt nu alleen nog gebruikt bij casestudies omdat er wifi-meetpunten moeten worden neergezet. RFID werkt op basis van het aflezen van RFID-tags die op of in de fiets zitten. Ook de RFID heeft nog weinig data vanwege het moeten plaatsen van een tag op de fiets. 3G/4G-tracking heeft een potentieel goede dekking in het Nederland vanwege het grote gebruik van het 3G/4G netwerk door mobiele telefoons. Het nadeel van 3G/4G tracking is alleen dat het minder exact is dan GPS-tracking, omdat de locatie wordt gemeten door het vergelijken van de verschillende signaalsterktes met de verbinding-stations. GPS-tracking is inmiddels mogelijk via meerdere applicaties door het gebruik van de mobiele telefoon. Grote voorbeelden van applicaties in Nederland zijn de Fiets Tel-app, Strava en de SMART app.

3.2.2 Studiegebied

Het studiegebied van dit onderzoek zal het complete fietsnetwerk van Nederland betreffen, weergegeven in figuur 2.



Figuur 2, Fietswegennetwerk van Nederland als studiegebied (oranje omlind)

3.2.3 Beschikbare data

Dit onderzoek zal gebruik maken van de Fietstelweek data verzameld door de Fiets Tel-app. De data van de Fietstelweek is gekozen vanwege de grote dekking in Nederland door het gebruik van de GPS op mobiele telefoons. De GPS-herkomst van de data maakt het daarnaast mogelijk om fietsvertragingen te onderzoeken door middel van de fietssnelheden op nauwkeurig niveau. De GPS-data van de SMART app is niet geschikt omdat het hoofdzakelijk uit de regio Twente komt. Daarnaast is de GPS-data van de Strava-app meer gericht op sportende fietsers in plaats van alledaagse fietsers.

De Fietstelweek is een jaarlijks evenement waarbij Nederlandse fietstrips worden geregistreerd en opgeslagen in een database. Het evenement wordt georganiseerd door Keypoint samen met de Fietsersbond en andere partners. Het is een vrijwillige deelnemen, alhoewel er met de privacygevoelige informatie zorgvuldig wordt omgegaan.

Dit onderzoek zal daarnaast gebruik maken van de OpenStreetMap om de infrastructuur op bepaalde locaties te bepalen en voor het in kaart brengen van de vertragingresultaten.

3.2.4 Opdeling van het netwerk en de data

Het wegennetwerk is opgedeeld in links en nodes. Een link geeft een wegdeel weer dat loopt tussen twee opeenvolgende intersecties. Nodes zijn (meet)punten die geografisch vaststaan die zowel op links als op kruispunten (tussen twee of meerdere) links zich bevinden. Zie figuur 3 voor een voorbeeld van de indeling van de links en de nodes.



Figuur 3, Voorbeeld van de indeling van de links (links) en nodes (rechts) op de Calslaan in Enschede

De gebruikte dataset van de Fietstelweek is opgebouwd uit fietstrips. Elke fietstrip heeft meerdere datapunten. Deze datapunten zijn geregistreerd per node waar de fietsers op zijn route langs is gekomen. Voor elke node is de tijd dat de fietser erover doet en de afstand weergegeven tussen de desbetreffende node en de volgende node. Naast de nodes worden ook de links waar deze nodes zich op bevinden weergegeven. Om de ruwe GPS-data om te zetten in de dataset per node is gebruikt gemaakt van 'map-matching'. Dit principe houdt in dat de verzamelde GPS-locaties zo goed mogelijk wordt gekoppeld aan de wegen van het wegennetwerk, zodat de route van de fietsers in kaart kan worden gebracht.

3.3 OV3. Welke methode is geschikt om fietsvertragingen te meten?

In deze sectie wordt onderzocht welke methode geschikt is om fietsvertragingen te meten. Eerst wordt in sectie 3.3.1 een methode-analyse gedaan om de keuze te maken voor de methode die de vertraging vast zal stellen. Daarna wordt in sectie 3.3.2 de gekozen methode met een flowchart stap voor stap beschreven.

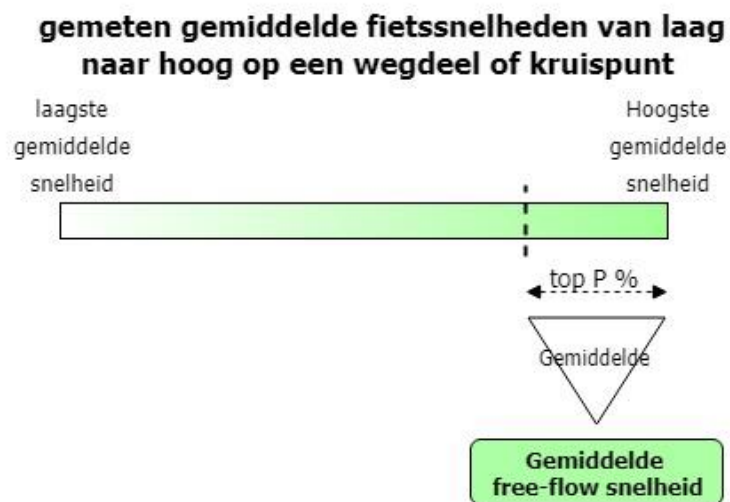
3.3.1 Methode-analyse voor het bepalen van fietsvertragingen

3.3.1.1 Methode 1: Vertraging vaststellen op locatiebasis

Eén manier om vertraging van fietsers te bepalen is op basis van het onderling vergelijken van fietsers op wegdelen en kruispunten. Deze methode houdt in dat fietsers worden gemeten en vergeleken met andere fietsers op hetzelfde wegdeel of kruispunt om vervolgens de onderlinge verschillen in reistijd en snelheid te analyseren. Eerst wordt de zogenoemde free-flow snelheid op het specifieke wegdeel of kruispunt bepaald. Door de free-flow snelheid te vergelijken met de snelheid van vertraagde fietsers, kan een reductie ervan worden afgeleid. Vanuit deze verminderde (dus vertraagde) snelheid kan vervolgens de vertraging per fietser op het wegdeel of kruispunt worden berekend.

Het bepalen van de free-flow snelheid

De manier waarop de free-flow snelheid kan worden bepaald is als volgt. Er wordt gekeken naar een bepaald percentage fietsers met de hoogste gemiddelde snelheid op een wegdeel of kruispunt. Van deze fietsers wordt de gemiddelde snelheid bepaald en gesteld als free-flow snelheid. Figuur 4 geeft een schets weer van deze methode.



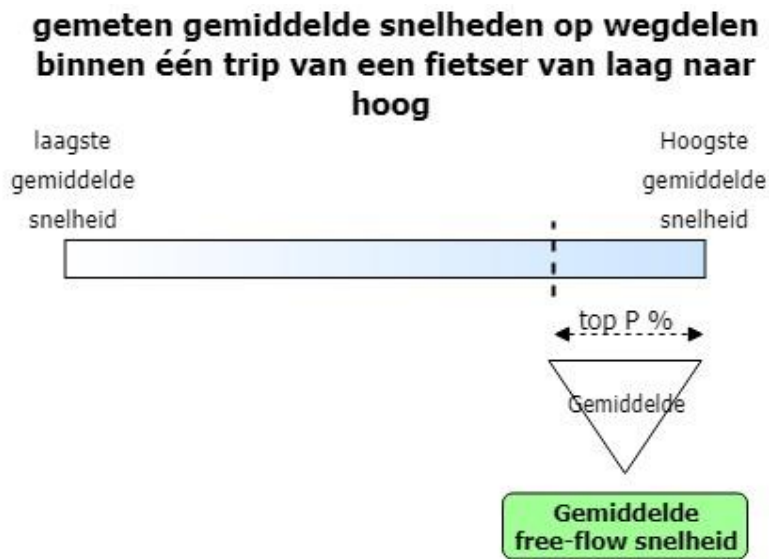
Figuur 4, Bepalen van de free-flow snelheid bij methode 1

Deze manier van bepalen van de free-flow snelheid gaat ervan uit dat de fietsers met de hoogste gemiddelde snelheden op een wegdeel of kruispunt representatief staan voor het fietsen over deze wegdelen/kruispunten zonder het hebben van hindernissen zoals, rode stoplichten of voorrang geven.

3.3.1.2 Methode 2: Vertraging vaststellen op basis van individuele trips

Een tweede manier om vertraging van fietsers te bepalen is op basis van individuele trips. Bij deze methode wordt de gemiddelde snelheid van een individuele trip van een fietser vergeleken met de gewenste free-flow snelheid van die trip. De gewenste free-flow snelheid kan vastgesteld worden

door te kijken naar de spreiding van snelheden binnen de trip van de fietser. De free-flow snelheid op basis van individuele trips wordt volgens hetzelfde principe als bij de free-flow berekening van methode 1 bepaald en wordt schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5, Bepalen van de free-flow snelheid bij methode 2

3.3.1.3 Analyse van methode 1 en 2

Om de methode te kiezen die het beste aansluit bij dit onderzoek, zijn de plus en minpunten van deze twee methodes op een rij gezet.

Methode 1: Vertraging vaststellen op locatiebasis

Plus	Min
• Betrekking op wegdelen en kruispunten • Free-flow snelheid afhankelijk van geometrische invloeden van infrastructuur*	• Verschil individuele standaard snelheden van fietsers invloed op de free-flow snelheid

Methode 2: Vertraging vaststellen op basis van individuele trips

Plus	Min
• Betrekking op individuele fietsers • Free-flow snelheid persoonsgebonden	• Free-flow snelheid onafhankelijk van geometrische invloeden van infrastructuur*

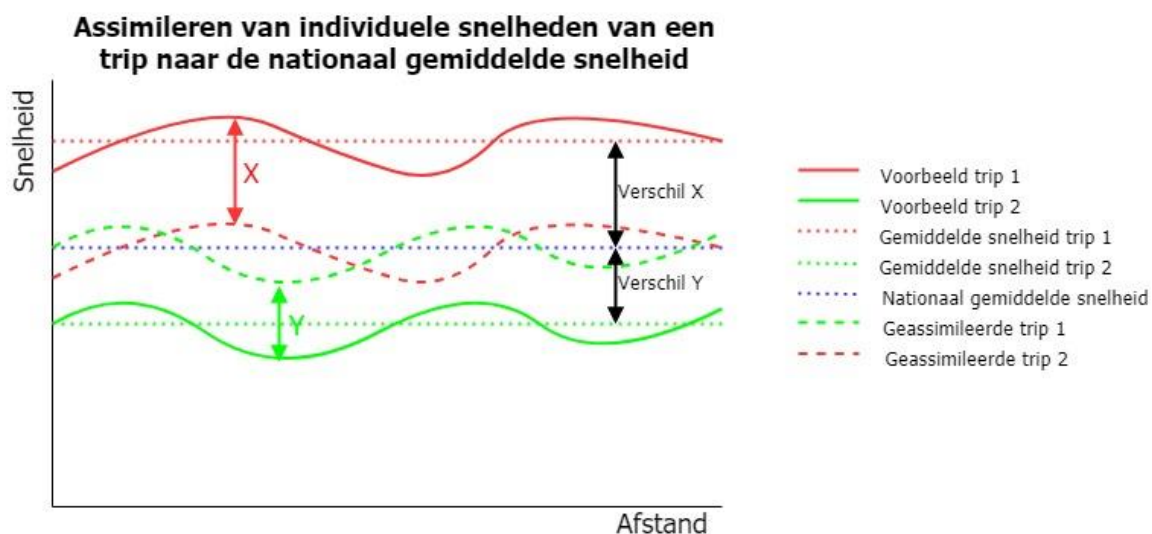
*: geometrische invloeden die niet zijn opgenomen in de vertragingfactoren zoals bochten en drempels.

Het is op te merken dat alle pluspunten van de ene methode, negatieve aspecten zijn van de andere methode. De verschillen tussen de twee methodes en de gevolgen ervan zijn dan ook goed zichtbaar. Er zijn twee componenten te onderscheiden: de geometrische invloed van de infrastructuur op de berekening van de free-flow snelheid en de persoonsgebonden invloed op de berekening van de free-flow snelheid. Met de persoonsgebonden invloed wordt bedoeld dat bij de berekening van de free-flow snelheid rekening gehouden wordt met de standaard snelheid van de individuele fietser op zijn trip. Wordt hier geen rekening mee gehouden bij de berekening van de free-flow snelheid, dan kan een wielrenner, die standaard sneller rijdt, bepalend zijn voor de hoeveelheid vertraging voor iemand die standaard veel langzamer fietst. De geometrische invloed van de infrastructuur en de

persoonsgebonden invloed zijn beide belangrijk om mee te nemen in de berekening van de free-flow snelheid. Het is dan ook wenselijk om een methode te ontwikkelen die bij de berekening van de free-flow snelheid rekening houdt met beide componenten. De volgende sectie beschrijft een aanvulling op methode 1.

3.3.1.4 Methode 3: Aanvulling van methode 1 door de individuele snelheden van een trip te assimileren naar de nationaal gemiddelde snelheid

De berekening van de free-flow snelheid van methode 1 is geschematiseerd in figuur 4. Deze berekening houdt nog op geen enkele wijze rekening met de standaard snelheden van individuele fietsers. Om toch de snelheden die fietsers individueel standaard fietsen mee te nemen in de berekening van de free-flow snelheid bij methode 1 is het volgende bedacht. Voordat de gemiddelde snelheden van verschillende fietsers op wegdelen/kruispunten onderling vergeleken worden, worden deze gemiddelde snelheden eerst geassimileerd naar de nationaal gemiddelde snelheid. Dit houdt in dat alle snelheden van één fietser op wegdelen/kruispunten van één trip met dezelfde hoeveelheid verhoogd of verlaagd worden naar de nationaal gemiddelde snelheid. Hierdoor worden de fluctuaties binnen een trip behouden maar wordt de gemiddelde snelheid van de gehele trip aangepast naar de nationaal gemiddelde snelheid zodat vervolgens de individuele fietsers op een wegdeel goed kunnen worden vergeleken met andere fietsers op datzelfde wegdeel. Figuur 6 schematiseert de methode van het assimileren van de snelheden op wegdelen/kruispunten.



Figuur 6

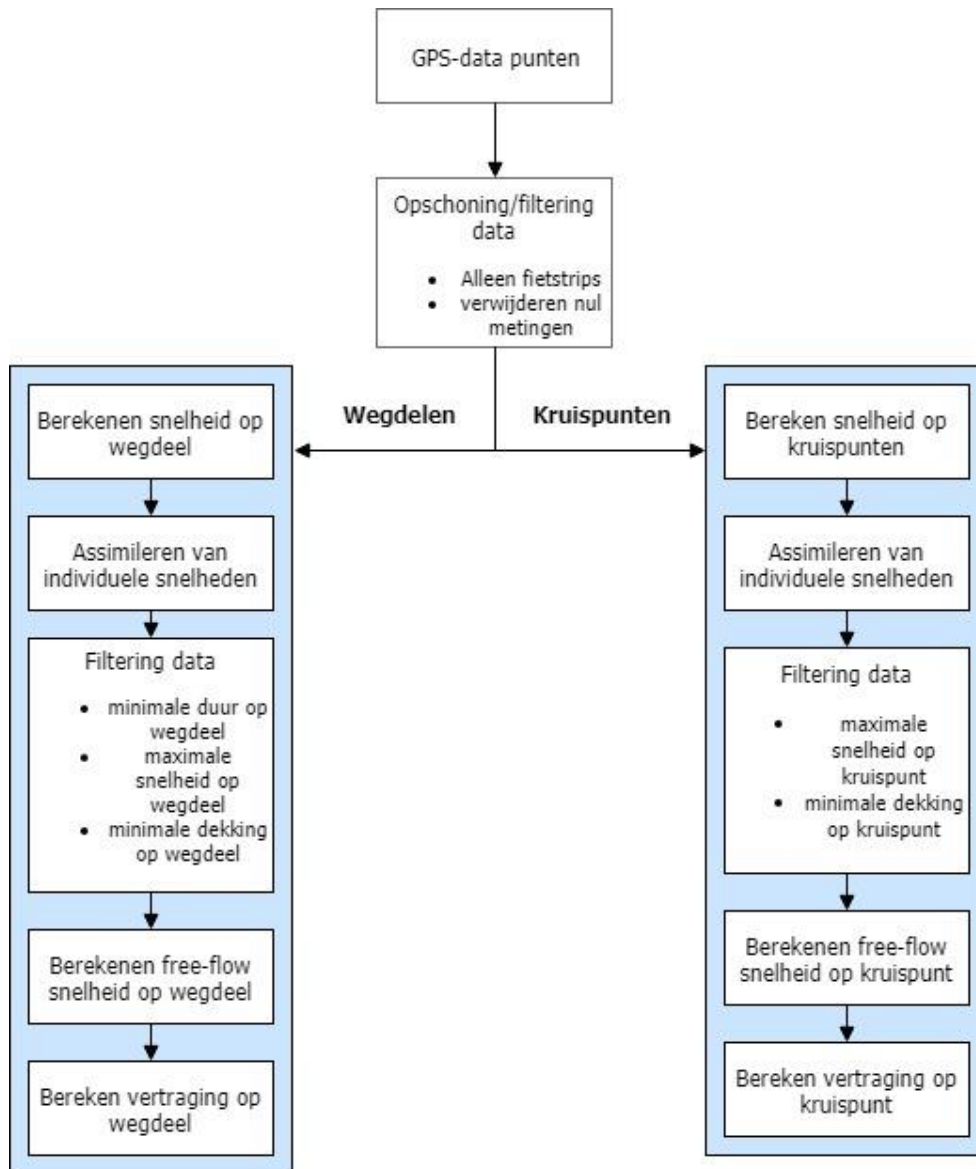
3.3.1.5 Keuze voor 1 van de 3 methodes

Methode 1 is een methode die fietsers op wegdelen en kruispunten onderling vergelijkt om op basis daarvan de vertraging te berekenen. Methode 2 berekent de vertraging door te kijken naar de individuele trips van fietsers. De voor en nadelen van beide methodes zijn uitgewerkt in sectie 3.3.1.3. Na deze analyse is methode 3 ontwikkeld met de benadering van methode 1 als basis met een aanvulling van de missende (persoonsgebonden) componenten van methode 2 voor het bepalen van de free-flow snelheid.

Omdat methode 3 de geometrische invloed van de infrastructuur én de invloed van de persoonsgebonden kenmerken mee neemt in de berekening van de free-flow snelheid, **zal methode 3 geïmplementeerd gaan worden**. In de volgende sectie staat stap voor stap beschreven hoe methode 3 geïmplementeerd is.

3.3.2 Flowchart van gekozen (vertrags-)methode met beschrijvingen

In deze sectie staat beschreven op basis van een flowchart welke onderdelen en op wat voor manier ze zijn geïmplementeerd. In figuur 7 is de flowchart van de gekozen methode te zien. De flowchart geeft de stappen weer die worden ondernomen om van ruwe GPS-data naar de vertraging te gaan.



Figuur 7, flowchart van de gekozen methode

Het berekenen van de snelheid op een wegdeel

De berekening van de snelheid van een fietser op een wegdeel is als volgt. Als $t_{ij,L}$ de tijd in uren is tussen twee opeenvolgende nodes i en j op link L en $d_{ij,L}$ de afstand in kilometers tussen dezelfde nodes i en j op dezelfde link L dan is de snelheid v_L in km/u (op de link L) in de volgende vergelijking (1):

$$v_L = \frac{\sum d_{ij,L}}{\sum t_{ij,L}} \quad (1)$$

Berekenen snelheid op kruispunt

De berekening van de snelheid van een fietser op een kruispunt is als volgt gebeurd. De node tussen twee of meerdere links is altijd een kruispunt van wegen. Omdat de snelheid alleen over een afstand kan worden genomen en nooit op een enkel punt, wordt gekeken naar de node vóór de node van het kruispunt en de node ná de node van het kruispunt. Van de weggedeeltes tussen deze nodes worden de afstanden en de tijden dat een fietser erover doet genomen. Vervolgens kan de snelheid voor elk kruispunt tussen twee opeenvolgende links worden berekend volgens de volgende vergelijking (2):

$$v_k = \frac{d_{in} + d_{nj}}{t_{in} + t_{nj}} \quad (2)$$

Hierin is v_k de benaderde snelheid in km/u op kruispunt K , d_{in} de afstand in kilometers tussen node voor het kruispunt i en node van het kruispunt zelf n en d_{nj} de afstand in kilometers tussen de node van het kruispunt zelf en de volgende node j . t_{in} is de tijd in uren dat een fietser erover doet om van de node ervoor (i) tot de node van kruispunt (n) te fietsen en t_{nj} is de tijd in uren dat een fietser erover doet om van de node van het kruispunt (n) tot de node erna (j) te fietsen.

Opschonen en filteren van data

Omdat de dataset ook data van andere weggebruikers bevat (o.a. voetgangers en automobilisten) moet de data gefilterd worden op fietsers.

Daarnaast, vanwege de gevoelige aard van GPS-data, is een opschoning van de data noodzakelijk. De app wordt gerund op een telefoon waarbij de nauwkeurigheid van de GPS onzeker is. GPS is bovendien gevoelig voor hoge objecten, zoals bomen en gebouwen (Gordon, 2013). Maar ook bij het gebruiken van de app kunnen menselijke fouten worden gemaakt. De volgende voorwaarden en maatregelen zijn opgesteld op basis van het handmatig inspecteren van de data:

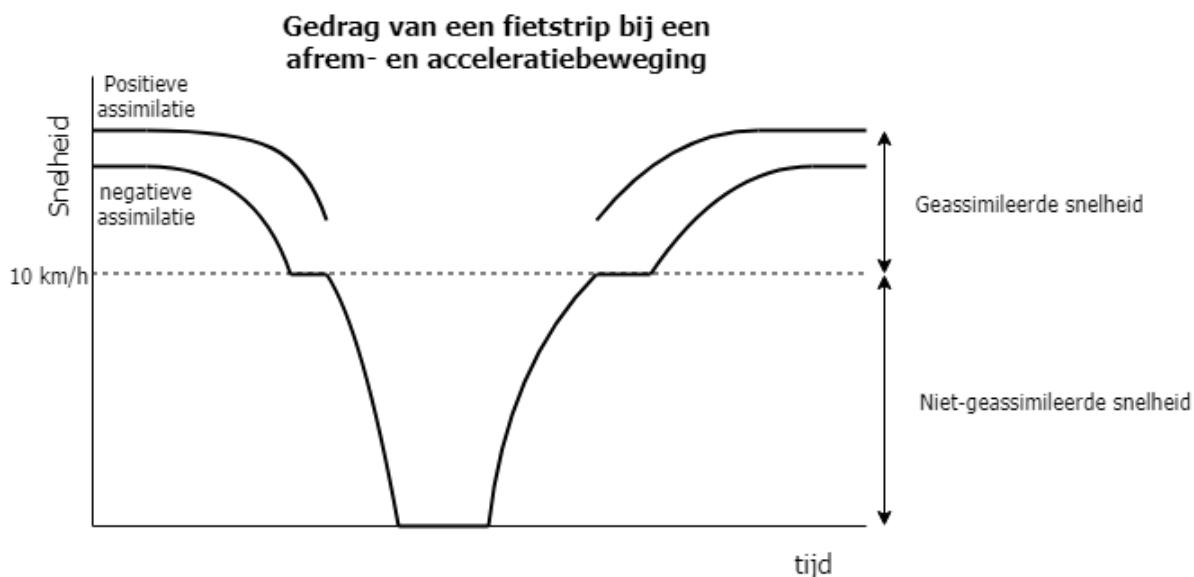
1. **Verwijderen van nulmetingen:** In de datapunten komt voor dat de tijd t_{ij} dat fietsers erover doen om tussen twee opeenvolgende nodes te fietsen op nul staat, terwijl de afstand ertussen wel is geregistreerd. Dit resulteert in onjuiste hoge gemiddelde snelheden op de links en kruispunten. Een simpele voorwaarde is gesteld op dit op te lossen: Verwijder een datapunt als $t_{ij} = 0$ sec.
2. **Minimale duur op wegdeel:** Bij de inspectie van de data is opgevallen dat wanneer de gesommeerde reistijd op één hele link niet meer dan 0.00057 uur (ong. 2 sec) bedraagt, er enorme hoge gemiddelde snelheden op deze link worden geconstateerd (vaak > 80 km/h). Een verdere analyse bracht het volgende aan het licht: Een link dat dit weergeeft, heeft vaak meerdere nodes met tijden van 0 en vaak één of twee nodes met een zeer lage tijd ten opzichte van de afstand. Dit fenomeen duidt duidelijk op GPS-fouten waarbij er geen of een minimale tijd wordt geregistreerd. Op dit tegen te gaan is de volgende voorwaarde gesteld: Verwijder de datapunten op de hele link van een fietsers als t_L (*gesommeerde tijd op link*) $\leq 0,00056$ uur (≈ 2 sec).
3. **Maximale snelheid op wegdeel of kruispunt:** Een trip met een snelheid v op een wegdeel of kruispunt van groter dan 30 km/h is geen 'gewone' fietser (Strauss & Miranda-Moreno, 2017). Snelheden van boven de 30 km/h komen daarentegen wel voor in de data. Dit kan komen door een aantal mogelijkheden. De fietser kan op een e-bike fietsen, een fiets die elektrisch wordt ondersteund, dat significant harder gaat dan een niet-elektrisch ondersteunde fiets. De mogelijkheid bestaat ook dat door een menselijk fout de app data registreert terwijl de weggebruiker zich in een gemotoriseerd voertuig bevindt. Omdat dit

onderzoek de 'gewone' fietser onderzoekt, is een eenvoudige voorwaarde opgesteld: verwijder een datapunt als de snelheid op een wegdeel of kruispunt (v_l of v_k) > 30 km/h.

4. **Minimale dekking op wegdeel of kruispunt:** Voor het berekenen van een accurate free-flow snelheid is het van belang om een minimale dekking te hebben. De minimale dekking voor dit onderzoek is gesteld op 5 fietsers per wegdeel of kruispunt. Om dit toe te passen is de volgende voorwaarde opgesteld: Verwijder een wegdeel of kruispunt uit de berekening als het aantal fietsers op een wegdeel of kruispunt < 5 .

Assimileren van individuele snelheden

Het is van belang om persoonsgebonden kenmerken, waaronder de individuele standaardsnelheden, mee te nemen in de berekening van de free-flow snelheid (sectie 3.3.1.3). Om hiermee rekening te houden wordt, voordat de free-flow snelheid wordt berekend, de individuele tripsnelheid vergeleken met de nationaal gemiddelde snelheid. Het verschil wordt vervolgens gecompenseerd door elke datapunt van de trip te assimileren volgens de methode geschematiseerd in figuur 6. Daarnaast zijn een aantal voorwaarden gesteld zodat de snelheid bij een afrem- en acceleratiebeweging van fietsers niet geassimileerd wordt, omdat de individuele standaardsnelheid geen invloed mag hebben op het gedrag bij een afrem- of acceleratiebeweging (figuur 8). Er wordt vanuit gegaan dat fietsers bij free-flow een minimale individuele snelheid van 10 km/h bereiken. Wanneer de snelheid lager is dan 10 km/h wordt deze niet geassimileerd omdat dit duidt op een afrem- of acceleratiebeweging. Wanneer bij een trip met een negatieve assimilatie, de snelheid hoger is dan 10 km/h maar bij assimilatie onder de 10 km/h komt, zal de snelheid op 10 km/h worden gesteld. Dit vormt een (korte) overgangperiode tussen de geassimileerde individuele snelheid en de niet-geassimileerde snelheid bij afrem- of acceleratiebeweging.



Figuur 8

Berekenen van free-flow snelheid

De berekening van de free-flow snelheid gebeurt vervolgens met de nieuwe geassimileerde snelheden door het kijken naar een bepaald percentage van fietsers met hoogste snelheden op een bepaald wegdeel of kruispunt. De methode is al beschreven in sectie 3.3.1.1 en geschematiseerd in figuur 4. In dit onderzoek is voor gekozen op basis van eerdere onderzoeken binnen Keypoint

Consultancy voor (percentage) $P = 20\%$. Aangenomen is dat dit getal de onvertraagde snelheid op een wegdeel of kruispunt weergeeft.

Berekenen van de vertraging

Tenslotte, zal de vertraging berekend worden door de free-flow snelheid op een wegdeel of kruispunt te vergelijken met de lagere (vertraagde) snelheden van fietsers op hetzelfde wegdeel of kruispunt.

De berekening van de vertraging op een wegdeel L gebeurt volgens de volgende vergelijking (3):

$$D_L = \frac{1}{v_{d,L} \cdot 3600} - \frac{1}{v_{f,L} \cdot 3600} \quad (3)$$

Hierin is D_L de vertraging in sec/km op wegdeel L , $v_{d,L}$ de vertraagde snelheid in km/u op wegdeel L en $v_{f,L}$ de free-flow snelheid in km/u op wegdeel L .

De berekening van de vertraging op kruispunt K gebeurt volgens de volgende vergelijking (4):

$$D_K = \left(\frac{1}{v_{d,K} \cdot 3600} - \frac{1}{v_{f,K} \cdot 3600} \right) \cdot (d_{in} + d_{nj}) \quad (4)$$

Hierin is D_K de vertraging in seconden op kruispunt K , $v_{d,K}$ de vertraagde snelheid in km/u op kruispunt K , $v_{f,K}$ de free-flow snelheid in km/u op kruispunt K , d_{in} de afstand in kilometers tussen node voor het kruispunt i en node van het kruispunt zelf n en d_{nj} de afstand in kilometers tussen de node van het kruispunt zelf n en de volgende node j .

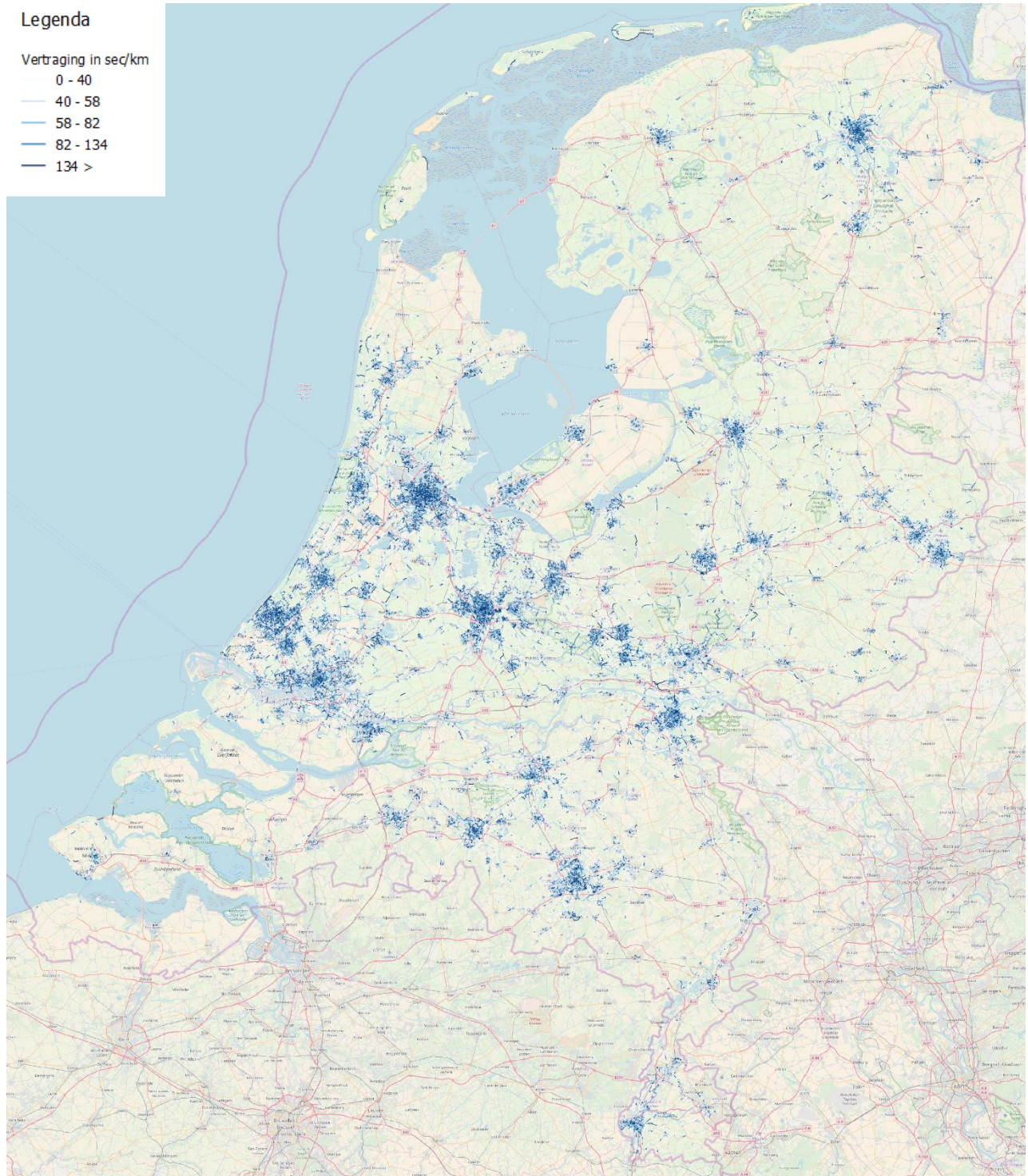
3.4 OV4. In hoeverre lopen fietsers in Nederland vertraging op?

In deze sectie wordt, aan de hand van de vertragingresultaten op wegdelen, kruispunten en tijden van de dag, weergegeven in hoeverre fietsers in Nederland vertraging oplopen. De resultaten zijn verkregen door de methode beschreven in sectie 3.3.2 toe te passen op de data van de Fietstelweek beschreven in sectie 3.2.3.

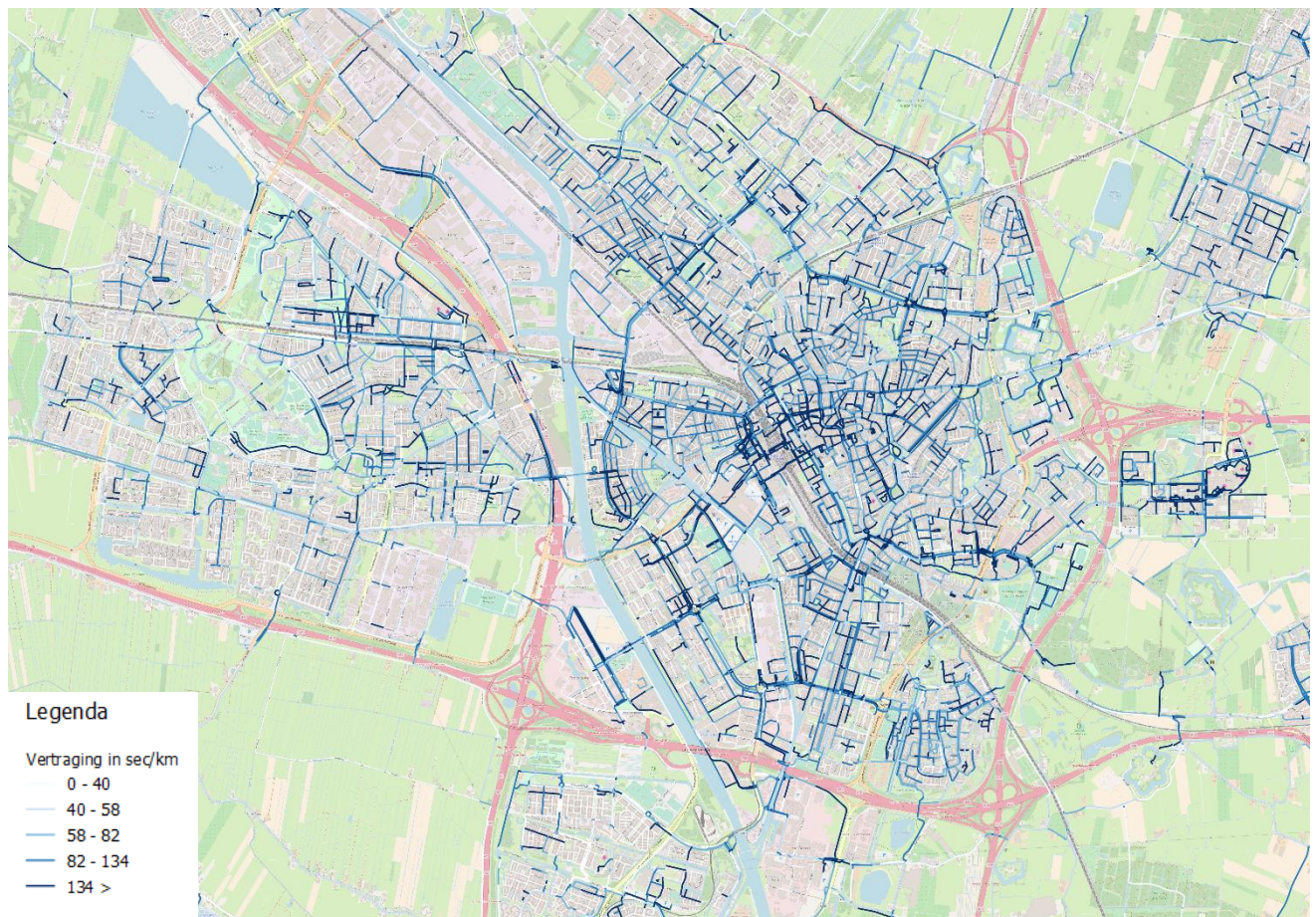
Wat is opgenomen in de beschrijving van de gekozen (vertraging-)methode en zeer relevant is om te bedenken bij het lezen van de resultaten is dat er pas een vertraging op een wegdeel of kruispunt wordt berekend en weergegeven als er in de data minimaal 5 fietsers hebben gefietst (sectie 3.3.2, *opschonen en filteren van data*, punt 4). Als een wegdeel of kruispunt dus niet blauw is gekleurd dan kan het zijn dat er wel een vertraging wordt opgelopen op dat wegdeel of kruispunt, alleen kan het niet worden berekend vanwege de slechte dekking van fietsers. Daarnaast moet de gevoeligheid van de data in het achterhoofd gehouden worden. Individuele fietsers kunnen de gemiddelde vertraging erg hoog laten blijken, door bijvoorbeeld op een wegdeel of kruispunt vrijwillig te wachten, om welke reden dan ook. Ook komt het voor in de data dat fietsers die zijn aangekomen op hun bestemming niet direct de tracking van de Fiets Tel-app stoppen, wat resulteert in een hoge vertraging bij het doen van de analyse voor die fietser op het wegdeel van hun bestemming. Mocht een wegdeel een lage dekking hebben, dus weinig andere fietsers, dan is de gemiddelde vertraging op dat wegdeel gevoelig voor dit soort individuele 'fouten'.

3.4.1 Vertraging op wegdelen

In figuur 9 zijn de vertragingen op wegdelen in het gehele studiegebied, Nederland, te zien. De wegdelen worden blauw gekleurd wanneer er een vertraging wordt waargenomen, dat loopt van lichtblauw, een lagere vertraging, naar donkerder blauw, een hogere vertraging. In figuur 10 is de stad Utrecht te zien (figuur 9 ingezoomd). De reden dat er ingezoomd wordt op de stad Utrecht is omdat het Smakkelaarsveld, het drukste befietste wegdeel van Nederland, hier is gelegen. Het Smakkelaarsveld wordt gebruikt voor het weergeven van de resultaten van verdere analyses van de tijden van de dag en de afslagbewegingen, omdat dit vanwege de grootste dekking het betrouwbaarste resultaat oplevert. De vertraging op wegdelen is gegeven in seconden per kilometer.



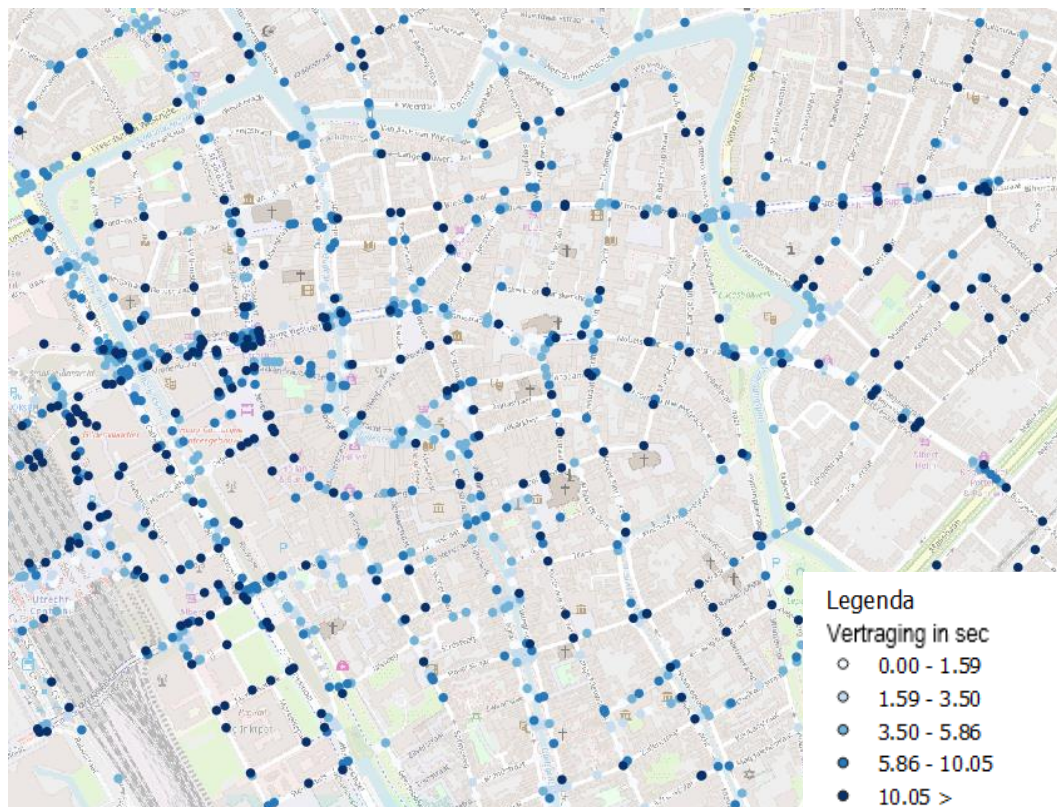
Figuur 9, vertraging op wegdelen in Nederland



Figuur 10, vertraging op wegdelen in Utrecht

3.4.2 Vertraging op kruispunten

Figuur 11 laat de vertragingen op kruispunten in het centrum van Utrecht zien. De vertragingen zijn gegeven in seconden, lopend van een lage vertraging (lichtblauw) naar hogere vertragingen (donkerblauw). Gelijkwaardige kruispunten zullen één vertragingpunt hebben. Door de ingewikkeldere aard van rotondes en gesignaleerde kruispunten waarbij het fietspad meerdere wegdelen kruist, zullen de vertragingen op deze kruispunten door meerdere punten zijn aangeduid. Bij het zien van twee achtereenvolgende vertragingpunten op een rotonde of gesignaleerd kruispunt moet worden bedacht dat de vertraging van het wegdeel ertussen (tussen twee nodes, voor uitleg zie sectie 3.3.2, *berekenen van de vertraging*) invloed heeft op de hoeveelheid vertraging van beide punten. Ook kan het voorkomen dat een vertragingpunt zich niet op een kruising van wegdelen bevindt. Hier is dan wel sprake van een scheiding tussen twee links, waar een vertraging wordt geconstateerd veroorzaakt door andere factoren.



Figuur 11, vertraging op kruispunten in centrum van Utrecht

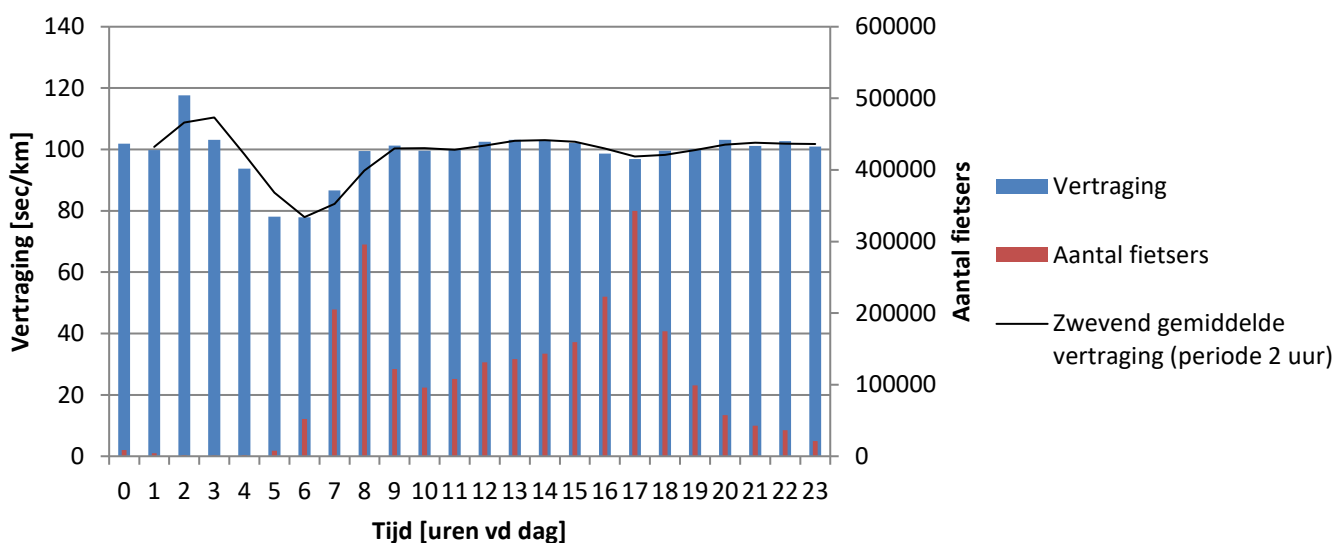
3.4.3 Tijdsanalyse vertraging

De vertragingen van fietsers zijn ook op tijden van de dag geanalyseerd. Vanwege de gevoeligheid van de data is een trendlijn toegevoegd die een zwevend gemiddelde weergeeft met een tijdsperiode van 2 uur. In de grafieken is ook het aantal fietsers per uur weergegeven om een inzicht te verschaffen in het fietsgebruik en de eventuele gevolgen voor de vertraging. Nogmaals moet erbij vermeld worden dat er, vanwege de gevoeligheid van de data, alleen een vertraging wordt bepaald als er op het desbetreffende uur 5 fietsers of meer in de data zijn opgenomen.

Tijdsanalyse op wegdelen

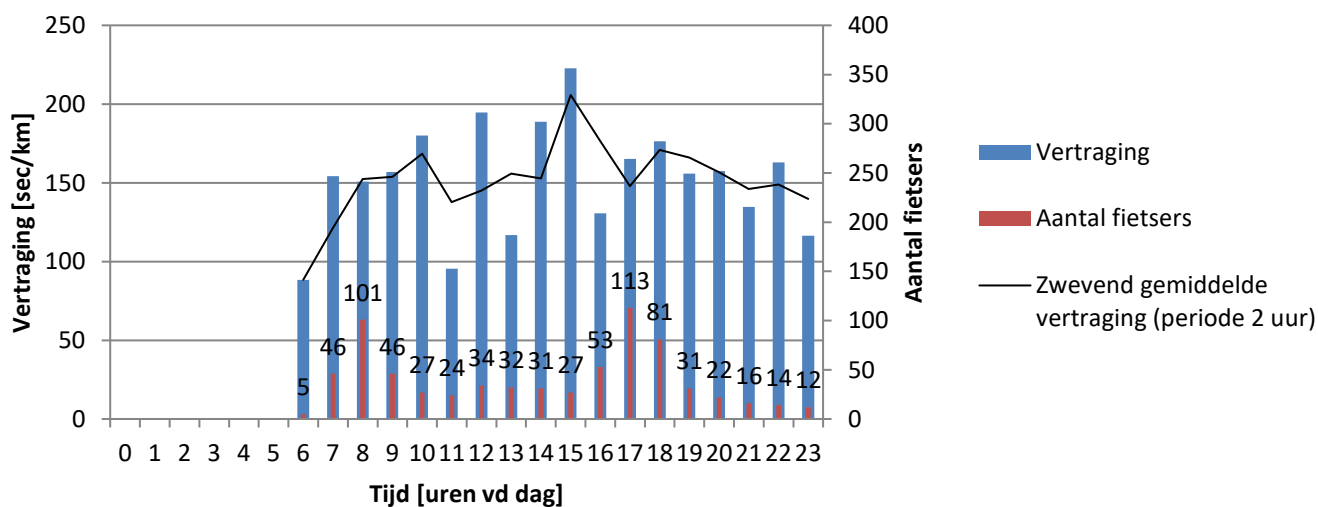
In figuur 12 zijn de gemiddelde vertragingen per uur op wegdelen in het gehele studiegebied, Nederland, te zien. Te zien is een kleine dip tussen 4 en 7 uur 's ochtends. Voor de rest blijft de vertraging over de dag nagenoeg gelijk. Ook is er ingezoomd op een wegdeel. De vertraging per uur op het wegdeel (fietspad) van het Smakkelaarsveld in het centrum van Utrecht is in figuur 13 te zien. Hier kan een kleine toename tussen 7 en 9 's ochtends en 2 en 5 's avonds worden afgelezen. Figuur 15 geeft de locatie van het fietspad van het Smakkelaarsveld weer (oranje lijn).

Gemiddelde vertraging per uur op wegdelen in Nederland



Figuur 12

Vertraging per uur wegdeel Smakkelaarsveld

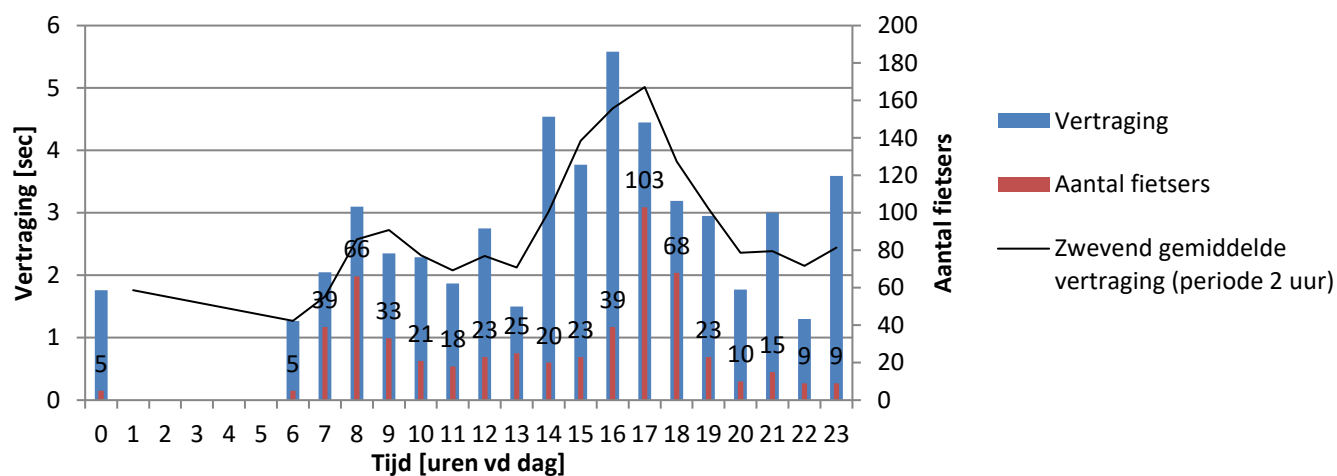


Figuur 13

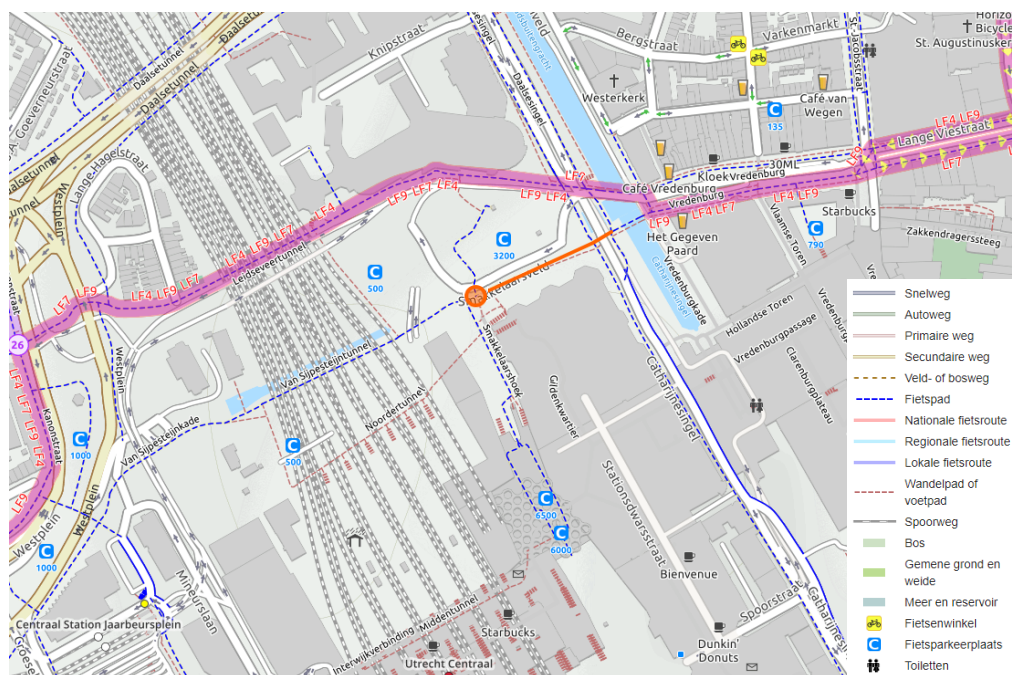
Tijdsanalyse op kruispunten

Ook op kruispunten zijn de vertragingen op tijden van de dag geanalyseerd. Voor het presenteren van de resultaten is er ingezoomd op één kruising: Smakkelaarsveld met Smakkelaarshoek. De resultaten van de vertraging per uur op deze kruising is te zien in Figuur 14. Er kan een kleine toename worden waargenomen tussen 7 en 9 's ochtends en een redelijk tot grote toename tussen 2 en 6 's middags/'s avonds. Figuur 15 geeft de locatie van het kruispunt weer.

Vertraging kruising smakkelaarsveld met smakkelaarshoek



Figuur 14



Figuur 15, locatie Smakkelaarsveld met het wegdeel (oranje lijn) en kruispunt met Smakkelaarshoek (oranje punt)

4 Discussie

In dit hoofdstuk staat beschreven wat de resultaten van hoofdstuk 3 precies betekenen en hoe ze geïnterpreteerd kunnen worden. Allereerst wordt de gemaakte definitie van fietsvertraging besproken. In sectie 4.2 wordt de ontwikkelde (vertragings-)methode behandeld. In sectie 4.3 worden de vertragingresultaten kritisch bekeken en als laatste worden de limitaties van de data opgesomd.

4.1 Definitie fietsvertraging

Vertraging is een subjectief begrip. Naast het feit dat de menselijke perceptie een rol speelt, zullen de aangewezen factoren die invloed hebben op vertraging van persoon tot persoon verschillen. Vandaar dat de gemaakte definitie in dit onderzoek niet de enige juiste definitie is. In de gekozen definitie zijn bepaalde infrastructurele invloeden, zoals verkeerslichten en het voorrang geven, gesteld als vertragingfactoren. Deze factoren vormen een dunne scheidlijn met de geometrische invloeden, die, net als de menselijke perceptie, niet zijn gekozen als zijnde vertragingfactoren. De reden hiervoor is dit verschil: De geometrische invloeden zoals bochten, drempels en hellingen, zijn factoren die voor elke fietser hetzelfde blijven op een weggedeelte of kruispunt. De definitie is dus zo opgesteld dat als iets hoort bij de geometrie van de omgeving, het niet als vertragingfactor wordt gezien.

4.2 Vertragingmethode

De vertragingmethode is zo ontwikkeld dat alleen de gestelde vertragingfactoren invloed hebben op de vertraging. Daarnaast was het doel om rekening te houden met de geometrische kenmerken van wegdelen en kruispunten en de persoonsgebonden kenmerken van fietsers. De methode kon niet worden ontwikkeld zonder het maken van een aantal aannames. Deze aannames hebben (bijna) allemaal betrekking op de berekening van de free-flow snelheid, omdat dit het meest complexe gedeelte is. Nadat de free-flow snelheid van elk wegdeel of kruispunt is bepaald, kan de free-flow snelheid met de echte snelheid van de fietsers vergeleken worden voor een relatief simpele bepaling van de vertraging. Hieronder zijn de discussiepunten besproken van de ontwikkelde methode.

4.2.1 Bepalen Free-flow snelheid

De free-flow snelheid wordt berekend door het onderling vergelijken van fietsers op wegdelen en kruispunten. Het idee hierachter is dat de fietsers die op een wegdeel of kruispunt weinig vertraging oplopen de free-flow snelheid bepalen voor fietsers die veel vertraging oplopen op hetzelfde wegdeel of kruispunt. Deze methode voor het bepalen van de free-flow snelheid heeft een aantal limitaties. Als eerste moet er een minimaal aantal fietsers op een wegdeel of kruispunt in de data zijn opgenomen voordat de free-flow snelheid op dat wegdeel of kruispunt kan worden bepaald. Ten tweede kan een wielrenner met een hoge individuele standaardsnelheid bepalend zijn voor de free-flow snelheid van een fietsers die standaard langzamer fietst, denk aan oudere mensen. Deze limitatie is opgelost door het assimileren van de individuele standaardsnelheid van fietsers. De methode van het assimileren is verder besproken in sectie 3.3.2. De derde limitatie is het feit dat wanneer fietsers altijd vertraging oplopen, bijvoorbeeld doordat een weggedeelte altijd druk is, de free-flow snelheid te laag wordt gesteld, omdat fietsers nooit de echte free-flow snelheid op dit wegdeel of kruispunt kunnen fietsen. Hiervoor is niets aangepast in de methode, waardoor dit in het achterhoofd moet worden gehouden bij het bekijken van de resultaten.

4.2.1.1 *Assimileren individuele standaardsnelheden*

Het assimileren van de individuele standaardsnelheden gebeurt om te voorkomen dat standaard snelle fietsers niet bepalend zijn voor de free-flow snelheid van standaard langzame fietsers. Vanuit het oogpunt voor het berekenen van de vertraging is het niet wenselijk om de snelheden van fietsers aan te passen, maar omdat de methode de snelheden van fietsers op wegdelen en kruispunten onderling vergelijkt om de geometrische kenmerken van die wegdelen en kruispunten mee te nemen in de berekening van de free-flow, is het wel noodzakelijk. Om niet aan de snelheden bij een afrem- en acceleratiebeweging te komen zal een aangepaste maatregel ervoor zorgen dat snelheden onder de 10 km/u niet geassimileerd worden. De keuze is gemaakt om dit op een vaste snelheid van 10 km/u te zetten. Bij deze keuze wordt ervan uit gegaan dat de individuele standaardsnelheid van alle fietsers minimaal 10 km/u is. Mocht een fietser een standaardsnelheid van minder dan 10 km/u hebben, zal de snelheid van de fietser onterecht niet geassimileerd worden.

4.2.1.2 *Aannames van free-flow berekening*

Daarnaast zijn er aannames gemaakt die open staan voor een verandering bij bijvoorbeeld verder onderzoek. Als eerste is de free-flow snelheid op een wegdeel of kruispunt gesteld als het gemiddelde van de hoogste 20 procent van de gemiddelde snelheden op een wegdeel of kruispunt. Er kan hier ook worden gekozen voor een bepaald percentiel van bijvoorbeeld 85 of 90 procent. Ten tweede is voor het bepalen van de vertraging een minimaal aantal van 5 fietsers gesteld. De reden hiervoor is de aard van de berekening van de free-flow snelheid met het nemen van het gemiddelde van de hoogste 20 procent. Elk snelheidsgetal van de 5 fietsers vormt namelijk 20 procent van alle snelheidsgetallen op dat wegdeel of kruispunt. Ten derde is ervoor gekozen om alleen de 'gewone' fietser te analyseren, waarbij fietsers die harder gaan dan 30 km/u niet als 'gewone' fietser worden beschouwd.

4.2.2 *Bepalen van vertraging op wegdeel*

Het bepalen van de vertraging op een wegdeel gebeurt over een afstand waarbij de vertraging wordt gegeven in sec/km. Het idee van het weergegeven van vertraging op een wegdeel, is het bekijken van de invloeden van de stukken weg tussen de kruispunten. De indeling van het wegennetwerk met de links (wegdelen) en nodes (kruispunten) zorgt er alleen voor dat er op een wegdeel ook kruispunten bevinden, ook al is dat aan het begin of het eind van dat wegdeel. Dit zorgt er op zijn plaats weer voor dat de vertraging van de kruispunten een grote invloed heeft op de hoeveelheid vertraging op een wegdeel. Hierdoor is dus niet alleen invloed van de wegdelen tussen de kruispunten merkbaar op de vertraging van een wegdeel maar ook de invloed van de kruispunten zelf.

4.2.3 *Bepalen van vertraging op kruispunt*

De vertraging op een kruispunt wordt berekend door het bekijken van de snelheid op het stukje wegdeel één node voor en één node na de node van het kruispunt zelf. Doordat de indeling van het wegennetwerk geen vaste afstand tussen de nodes heeft, zal de afstand waarover de snelheidsberekening wordt uitgevoerd altijd verschillen tussen de kruispunten. Dit is ongewenst omdat de invloed van de vertraging van een kruispunt alleen merkbaar is op een korte afstand voor de kruising en een korte afstand erna, denk aan 20 tot 30 meter. Er is een poging gedaan om de snelheidsberekening op kruispunten over een vaste afstand te analyseren, alleen de resultaten waren niet verkrijgbaar door de grote omvang van de berekening.

Een tweede limitatie bij de vertraging op kruispunten zijn de resultaten op rotondes en grote kruispunten. De vertraging zal op deze kruispunten door meerdere vertragingpunten zijn aangeduid.

Wat bedacht moet worden bij het bekijken van deze vertragingresultaten is dat twee achtereenvolgende vertragingpunten beide worden beïnvloed door de vertraging op het stukje weg tussen de nodes. Dit fenomeen is ook beschreven in sectie 3.4.2.

4.3 Vertragingresultaten

Hieronder worden alle vertragingresultaten kritisch besproken. De vertragingresultaten zijn bepaald voor de wegdelen, kruispunten en tijden van de dag.

Bij het bekijken van de vertraging op wegdelen valt op dat er een hoge vertraging kan worden waargenomen op populaire bestemmingen voor fietsers (zoals het UMC, gelegen midden rechts in figuur 10). De mogelijkheid zal zich hier voor kunnen doen dat fietsers, aangekomen bij hun bestemming, niet direct de tracking van de Fiets Tel-app stoppen.

Bij de vertragingresultaten van de kruispunten zorgen de vertragingpunten die resulteren uit de kruispuntanalyse voor onduidelijkheid op rotondes of complexere kruispunten bij het weergeven van een brei aan vertragingpunten. Van deze brei aan vertragingpunten is moeilijk de absolute vertraging op het desbetreffende kruispunt af te leiden.

De vertragingresultaten van de tijden op de dag zijn over het algemeen opvallend. Bij de tijdsanalyse was de verwachting dat de spits een invloed zal hebben op de vertraging van fietsers, maar gezien de gelijkmatigheid van de gemiddelde vertraging per uur voor wegdelen in Nederland, blijkt dat een lagere invloed te hebben dan van tevoren was ingeschat. Daarentegen zijn de vertragingresultaten van de kruising van de Smakkelaarsveld met de Smakkelaarshoek meer naar verwachting ten aanzien van de spits door toename die wordt afgelezen tussen 7 en 9 uur 's ochtends en 2 en 6 uur 's middags/'s avonds.

4.4 Limitaties data

Naast de limitaties in de data beschreven in sectie 3.3.2, *opschonen en filteren van de data*, zijn er nog een aantal limitaties van de gebruikte dataset.

Allereerst speelt de gevoeligheid van de data een rol. Bij handmatige inspecties van de data is verschillende malen geconcludeerd dat enkele fietsers een grote impact kunnen hebben op de gemiddelde vertraging op een wegdeel, kruispunt of uur van de dag. In de data duidt het erop dat fietsers op vrijwillige basis, ten behoeve van het wachten op bijvoorbeeld medefietsers, lang verblijven op wegdelen of kruispunten.

Daarnaast is de lage dekking op wegdelen en kruispunten een belangrijke limitatie. Om hiermee om te gaan is de keuze gemaakt om wegdelen en kruispunten niet te analyseren bij een dekking van minder dan 5 fietsers. Vanwege de aard van de ontwikkelde methode in combinatie met de gevoeligheid van de data, is deze voorwaarde een te laag getal. Gewenst zal zijn een minimale dekking voor ieder wegdeel of kruispunt van meer dan 100 fietsers. Dit getal wordt met de huidige dataset eigenlijk alleen bereikt in de centra van grote steden.

Ook de opdeling van het netwerk vormt een limitatie. De aard van de indeling van het netwerk met zijn links en nodes zorgt ervoor dat bij het exact analyseren van een wegdeel of kruispunt in veel gevallen niet de juiste vertragingresultaten worden verkregen, omdat de links en nodes op vaste punten liggen en dus niet verplaatsbaar zijn. Het komt voor dat links onjuist aan elkaar zijn gekoppeld of dat een brei aan vertragingpunten de vertraging op een kruispunt onjuist of onduidelijk weergeeft.

Een laatste limitatie van de databron is dat de fietsers die meedoen aan de Fietstelweek, niet representatief zijn voor de 'normale' fietser in Nederland. Omdat de deelname op vrijwillige basis is, is het aannemelijk dat fietsers die mee doen, over het algemeen enthousiastere fietsers zijn dan de gemiddelde Nederlandse fietser.

5 Conclusie

Dit onderzoek ziet fietsvertraging als de extra reistijd die een fietser oploopt door invloeden van infrastructurele factoren en milieufactoren die zorgen voor een lagere gemiddelde snelheid op een stuk weg ten opzichte van de snelheid bij free-flow op hetzelfde stuk weg. In dit onderzoek is de menselijke perceptie is niet meegenomen in de bepaling van de vertraging.

Het onderzoek heeft gebruik gemaakt van de GPS-data afkomstig van de Fiets Tel-app. De GPS-data maakt het mogelijk om fietssnelheden te onderzoeken op nauwkeurig niveau. Daarnaast bracht de data van de Fietstelweek een dekking in heel Nederland.

De basis van de ontwikkelde methode om vertraging vast te stellen bestaat uit het onderling vergelijken van fietsers op een wegdeel of kruispunt. De methode stelt alleen een vertraging vast als het wordt veroorzaakt door een van de opgestelde vertragingfactoren. Daarnaast is de methode zo ontwikkeld dat bij het bepalen van de free-flow snelheid, rekening gehouden is met de geometrische invloed van de infrastructuur én de invloed van de persoonsgebonden kenmerken. Het assimileren van de individuele snelheden van fietsers naar de nationaal gemiddelde snelheid en de maatregel die opgesteld is waarbij het gedrag van een afrem- en acceleratiebeweging niet wordt aangepast, maken hier deel van uit.

Bij de resultaten van de vertraging is te zien dat op wegdelen in Nederland de vertraging naar de centra van steden toeneemt. Omdat bij de presentatie van de vertragingresultaten de exacte waarden niet op nationaal niveau voor elke stad in Nederland kan worden afgelezen, is er ingezoomd op de stad Utrecht. In Utrecht is te zien dat het grootste gedeelte van de bepaalde vertraging op wegdelen groter is 58 sec/km. De wegdelen van het centrum en het station hebben een nog grotere vertraging van 82 sec/km of hoger.

Ook de vertragingen op kruispunten zijn bepaald voor heel Nederland. Ook hier is, vanwege bovengenoemde redenen, ingezoomd op de stad Utrecht. Bij de vertraging op kruispunten in het centrum van Utrecht is te zien dat de vertragingpunten voor het grootste gedeelte 3,50 seconden of hoger zijn. Naarmate de kruispunten meer naar het station toe liggen loopt de vertraging op. De kruispunten dicht bij het station hebben vaak zelfs vertragingpunten van 10 seconden of hoger.

Bij de resultaten van de tijden van de dag is te zien dat de gemiddelde vertraging op de wegdelen in heel Nederland over de dag nagenoeg gelijk blijft behalve tussen 4 en 7 uur, waar het even afzwakt. Bij een ingezoomde tijdsanalyse op het wegdeel Smakkelaarsveld wordt de gelijkmatigheid van de vertraging over de dag nogmaals bevestigd, alhoewel een klein toename tussen 8 en 10 uur 's ochtends en 2 en 5 uur 's middags kan worden afgelezen. Bij de ingezoomde resultaten op het kruispunt Smakkelaarsveld met de Smakkelaarshoek kan een kleine toename tussen 7 en 9 uur 's ochtends worden waargenomen en een flinke toename tussen 2 en 6 uur 's middags/'s avonds.

5.1 Suggesties voor vervolgonderzoek

Vanwege de keuzes die gemaakt zijn en de limitaties van dit onderzoek zijn er een aantal suggesties voor vervolgonderzoek opgesteld. Allereerst kan er een vervolgonderzoek worden uitgevoerd waarbij er met een dataset wordt gewerkt dat een significant betere dekking in het wegennetwerk van Nederland heeft, zodat de hoeveelheden vertragingen op alle wegdelen en kruispunten kunnen worden vastgesteld. Daarnaast is er de mogelijkheid om een onderzoek uit te voeren dat gebruikt maakt van een andere manier van het bepalen van de free-flow snelheid. In het onderzoek zijn er vele keuzes gemaakt met betrekking tot bepalen van de free-flow snelheid. Hiermee kan worden

geëxperimenteerd. Een gevoeligheidsanalyse voor alle variabele bij het berekenen van de free-flow snelheid zou hier op de plaats kunnen zijn. Er kan op éénzelfde wijze geëxperimenteerd worden met de manier waarop het gedrag van een fietstrip is aangepast bij een afrem- en acceleratiebeweging. Ten slotte kan een vervolgonderzoek uitgevoerd worden naar oorzaken van de vastgestelde vertraging. Hierbij kunnen de invloeden van de opgestelde infrastructurele- en milieufactoren geanalyseerd worden. Daarnaast is een analyse mogelijk naar de afslagbewegingen van fietsers, waarbij per afslagbeweging vertraging wordt opgelopen door (een combinatie van) de opgestelde vertragingfactoren.

6 Bibliografie

- Ashford. (2014). *Cyclist delay at traffic signals*. Canterbury.
- Asokan, N. (2015). *4G mobile communications system is vulnerable to location tracking*. Aalto University.
- Bergström, A., & Magnusson, R. (2003). *Potential of transferring car trips to bicycle during winter*.
- Bijl, B. v., Vreeswijk, J., Bie, J., & Berkum, E. v. (2011). *Car Drivers' Perception and Acceptance of Waiting Time at Signalized Intersections*. Washington, DC, USA: 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems.
- Broach, D. G. (2012). *Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data*. Portland.
- Dill, G. (2008). *Understanding and Measuring Bicycling Behavior: a Focus on Travel Time and Route Choice*. Portland State University.
- Ehrgott, W. R. (2012). *A bi-objective cyclist route*.
- EIB. (2016). *Investeren in de infrastructuur*. Amsterdam.
- Goldsmith, S. A. (1992). *Reasons*. U.S. Department of Transportation.
- Gordon, M. (2013). *Bad GPS Data: What/Why/How*. Strava.
- Heinen, B., van Wee, B., & Maat, K. (2010). *Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature*.
- Heinen, E., Maat, K., & Wee, B. V. (2011). *Day-to- Day Choice to Commute or Not by Bicycle*. Transportation Research Record.
- Lay, M. G. (1992). *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles that Used Them*. Rutgers University Press.
- Purdy, K. W., & Foster, C. G. (2018). *History of the automobile*. britannica.
- Rietveld, D. (2004). *Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?* Amsterdam.
- Scheper, W., & Siemerink, E. (2017). *De fietser beter in beeld*. Verkeerskunde.
- Strauss, J., & Miranda-Moreno, L. F. (2017). *Speed travel time and delay for intersections and road segments in the Montreal network using cyclist Smartphone GPS data*. Montreal.
- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Washington, DC.
- Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L. F., & Saunier, N. (2015). *Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application*. Montréal: Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University.