

# De combinatie van heterogene verkeersdata: theorie en praktijk

Lukas Geluykens

Promotor **dr. Gilles Oorts**

Bedrijfsbegeleiders **Jeroen Van Houtte | Franziska Kupfer (Vervoerregio Antwerpen)**

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van

Master in de Handelsingénieur in de Beleidsinformatica

Faculteit Bedrijfswetenschappen en Economie | Antwerpen, academiejaar 2021 - 2022



**Universiteit  
Antwerpen**



# Voorwoord

Voor u ligt de masterthesis 'De combinatie van verschillende bronnen van verkeersdata: Literatuurstudie en praktische toepassing'. Dit tweedelige werk rondt mijn opleiding als Master Handelsingenieur in de Beleidsinformatica aan de Universiteit Antwerpen af. Zowel de Literatuurstudie al het praktisch deel werden uitgevoerd in opdracht van Vervoerregio Antwerpen tijdens het academiejaar 2020-2021.

Bij deze wil ik mijn promotor, Gilles Oorts, bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens dit traject. Daarnaast wil ik Jeroen Van Houtte en Franziska Kupfer, medewerkers van Vervoerregio Antwerpen, bedanken voor de aangename en vlotte samenwerking. Zij hebben regelmatig tijd gemaakt om mijn bevindingen te bespreken en te beoordelen. Bovendien voorzagen ze me te allen tijde van de nodige informatie en begeleiding. Daarnaast mogen ook de medewerkers van Geomobility en het Agentschap van Wegen en Verkeer niet vergeten worden, die eveneens hun kennis en informatie met mij gedeeld hebben.

Het was voor mij de eerste keer dat ik in contact kwam met de verkeerskunde. Het was zeer uitdagend om me in dit vakgebied te verdiepen. Het is een boeiende wereld waar de innovatiemolen op volle toeren draait, met als doel een mobielere, veiligere en gezondere toekomst te creëren voor ons allemaal.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Lukas Geluykens

Antwerpen, 28 mei 2021

# Abstract

In de verkeerskunde is de laatste decennia een nieuwe generatie databronnen in opmars. In tegenstelling tot de klassieke stationaire meettechnieken zijn ze het bijproduct van private toestellen als smartphones en navigatiesystemen. De meest actuele en veelbelovende variant hiervan is Floating Car Data of FCD. Deze gedistribueerde databron heeft enkele interessante eigenschappen als een groot bereik, aanzienlijke samplegroottes en een beperkte kost. Echter zijn er ook enkele tekortkomingen aan deze technologie. Ze is minder nauwkeurig en men is afhankelijk van derden bij het verzamelen van informatie.

Dit tweedelige werk zal onderzoeken op welke manier deze twee generaties van technologieën kunnen gecombineerd worden, om op die manier de sterkten van beide varianten te benutten en vervolgens nieuwe inzichten te verwerven in het verkeer.

Het eerste deel omvat een literatuurstudie waar dit vraagstuk benaderd zal worden aan de hand van studies, rapporten en projecten uit het vakgebied. Naast de bovenstaande technologieën zullen er ook enkele alternatieve databronnen aan bod komen. Er wordt tenslotte geconcludeerd dat elke besproken databron zijn sterkten heeft en dat de combinatie van deze heterogene gegevens in veel gevallen tot synergieën en nieuwe inzichten leidt.

Het tweede deel is een praktische toepassing waarbij een algemene methode wordt ontwikkeld in opdracht van Vervoerregio Antwerpen, met als doel de representativiteit van hun verkeerstellingen in te schatten en bijhorende trajectcapaciteit in kaart te brengen. Na de toepassing op een concrete verkeerssituatie in het centrum van Zwijndrecht werd geconcludeerd dat beide databronnen noodzakelijk waren om een correct beeld te krijgen van de situatie. De capaciteit van het traject werd geschat en er werd vastgesteld dat de bottleneck van het traject (een verkeerslicht), terecht het verkeer doseert. Er werd ten slotte geopteerd om een toeritdoseerinstallatie (TDI) te installeren om de inkomende verkeersstroom te beheren.

# Executive summary

Traffic monitoring is seen as one of the most important tools for traffic managers and traffic authorities. This requires recent and accurate data on current and historical traffic states. This data is usually collected with sensors, which can be divided into mobile and stationary variants. The stationary variants are called In-Situ Technologies and have been used intensively for the collection of traffic data for several decades. The data is called Stationary Detector Data or SDD and is characterized by its high accuracy, high cost, and low coverage area.

In recent decades, a new generation of data sources in traffic engineering has been on the rise. In contrast to the classic stationary measurement techniques, they are the side product of private devices. The variant that is most commonly used and researched today is called Floating Car Data or FCD. This data source is based on the gathering of user data through GPS positions gathered by smartphones and navigation systems. This distributed technology has some interesting features such as a large range, large sample sizes, and a limited cost. However, there are also some shortcomings of this technology. They are less accurate and rely on third parties to collect information.

This work is made in cooperation with Vervoerregio Antwerpen, a public organization that manages mobility in and around Antwerp. The aim is to investigate how these two generations of technologies can be combined, to exploit the strengths of both variants and gain new insights into the current and past traffic states. There are two parts with separate research questions.

The first part is a literature review in which this issue will be approached based on studies, reports, and projects from the field of traffic engineering. In addition to the already mentioned technologies, some alternative data sources and their applications will also be discussed. After evaluating the different data sources and their applications, the following conclusions can be made.

The stationary counts are accurate and detailed, although they are also expensive and have a limited range. This makes them less ideal for applications in urban areas. Floating Car Data has a large coverage area and is more cost-effective but lacks detail and accuracy in some applications. However, due to its distributed nature, the technology can enable the entire road network. Moreover, the processing often takes place in real-time, which makes it an interesting data source for mapping current travel times, congestions, etc.

These complementary characteristics result in the fact that the combination of these data sources can lead to more efficiency and new insights. There are specific situations in which one of the two data sources is sufficient to obtain the correct insights, although these are rather limited and there is often a need for large amounts of real-time data. As shown in Chapter 10, in literature there is a lot of attention for the combination of both technologies. These methods usually consist of fusion techniques and traffic models and are capable of processing large amounts of data.

In addition, there are alternative data sources like Bluetooth readers, surveys, drones, climatic data. Each technique has certain advantages and possible applications. However, these data sources often have a more complementary role. Finally, Cell Phone Tracking can be seen as an alternative to FCD, although this technology is generally outdated.

The second part is a practical application in which a general method is developed on behalf of Vervoerregio Antwerpen, intending to estimate the representativeness of the time span of their traffic counts and the mapping of the capacity of the routes in their operational area.

First, these problems were approached from a theoretical perspective, and it was found that road capacities in urban areas depend on a great number of factors which are difficult to estimate. However, there are several useful rules of thumb and formulas that can serve as benchmarks. They can also help with determining the bottleneck of a specific trajectory or road and can be used to suggest policy choices. However, usually there will be a need for data to confirm these theoretical hypotheses and to determine and evaluate specific policy measures. That's why a general method was created in Matlab, based on visual analysis techniques from the literature and theory. The output can be found in the Appendix and the code can be downloaded, using the QR code at the end of the conclusion of the practical section (chapter 6). The output should give Vervoerregio Antwerpen insights in:

- The representativity of the period of specific historical traffic counts based on the delay (FCD), precipitation amount during that period, and the percentages of freight traffic, also during the same period.
- The capacity of one of their predefined FCD trajectories. Here the speeds from the FCD and SDD are compared and the relation between flow (SDD) and speed (SDD & FCD) is examined. If the expected relationship is found where the flow drops after reaching the highest possible flow rate of that trajectory, the capacity of the trajectory is stated as the highest flow rate that was measured.

Secondly, when developing the method, it became clear that certain choices have to be made during the data fusion phase, which impacts the results of the analysis a lot. Multiple variations were tested and reviewed based on theoretical concepts. It also became clear that it is difficult to develop a thorough, generic method. Much depends on the location of the traffic counts and the local traffic situation. However, an attempt was made to draw up some general graphs that were always supported by theory and/or literature.

Finally, the method was applied to a real traffic situation in Zwijndrecht, Antwerp. It became clear that both data sources provided necessary insights when calculating the capacity of the FCD trajectory. The maximum intensities measured by the stationary counts provided insights into the flow rates of the trajectory. However, the FCD was needed to map the congestion that occurs later on the route. Being able to analyze these moments of delayed traffic is crucial for determining the capacity and for setting up any policy choices. In addition to insights into the capacity of the route, the FCD provided information about the representativeness of the SDD's measurement period, thanks to its continuity and insight into the delays on the route. In addition, it was checked whether there were no exceptional precipitation conditions during the measurement period. For this purpose, use was made of precipitation measurements from a nearby Dutch weather station (Hoogerheide), which can be used for any location within the operational area of Vervoerregio Antwerpen. Finally, the percentages of the freight traffic during the counting period were mapped based on the types of the SDD. No extreme results were found, indicating a representative research period.

# Inhoudstafel

I.	Probleemstelling	
II.	Literatuurstudie: waardecreatie uit heterogene verkeersdata	
<b>1.</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>ONDERZOEKSVRAAG</b>	<b>15</b>
<b>3.</b>	<b>IN-SITU TECHNOLOGIEËN: SDD</b>	<b>15</b>
3.1.	BESPREKING	16
3.2.	VOOR- EN NADELEN	18
3.3.	TOEPASSINGEN	19
3.3.1.	<i>Jaarlijks gemiddelde van de dagelijkse verkeersintensiteit (AADT)</i>	19
3.3.2.	<i>Schatting van de Verkeersintensiteit – Vehicle Kilometres Travelled (VKT)</i>	20
3.3.3.	<i>Herkomst-Bestemmingsmatrix (O-D Matrix)</i>	20
3.3.4.	<i>Voorspellen van de verkeersintensiteit</i>	21
<b>4.</b>	<b>FLOATING CAR DATA</b>	<b>22</b>
4.1.	BESPREKING	22
4.2.	VOOR- EN NADELEN	24
4.3.	TOEPASSINGEN	25
4.3.1.	<i>Detectie van verkeerspatronen</i>	26
4.3.2.	<i>Real-time reistijden: schattingen en voorspellingen</i>	26
4.3.3.	<i>Verkeersdichtheid van stedelijk wegennetwerk</i>	27
<b>5.</b>	<b>ADDITIONELE DATABRONNEN</b>	<b>28</b>
5.1.	CELL PHONE TRACKING	28
5.2.	BLUETOOTH VERKEERSDATA	29
5.3.	DRONE DATA	30
5.4.	ENQUÊTES	30
5.5.	WEER	30
<b>6.</b>	<b>PRIVATE AANBIEDERS VERKEERSDATA EN -DIENSTEN</b>	<b>32</b>
	<i>TomTom</i>	32
	<i>Google</i>	32
<b>7.</b>	<b>VALIDATIE EN EVALUATIE VERSCHILLENDE TECHNOLOGIEËN</b>	<b>34</b>
7.1.	CASE 1: VALIDATIE VAN REISTIJDEN GEBASEERD OP CELL PHONE TRACKING TECHNIEKEN	34
	<i>Validatie Methodologie</i>	34
	<i>Conclusie</i>	36
7.2.	CASE 2: VERGELIJKENDE EVALUATIE SNELHEDEN SDD EN FCD	36
	<i>Validatie Methodologie</i>	36
	<i>Conclusie</i>	40
<b>8.</b>	<b>DATABRONNEN COMBINEREN VOOR ANALYTISCHE DOELEINDEN</b>	<b>40</b>
8.1.	LITERATUUROVERZICHT: VERKEERSMODELLEN, RAAMWERKEN EN DATA FUSIE TECHNIEKEN	41
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>44</b>



III.	Praktisch Praktische toepassing: Stedelijke wegcapaciteit a.d.h.v. FCD en SDD	
<b>1.</b>	<b>INLEIDING.....</b>	<b>47</b>
<b>2.</b>	<b>ONDERZOEKSVRAGEN .....</b>	<b>48</b>
<b>3.</b>	<b>VERKEERSCAPACITEIT: THEORETISCHE ONDERBOUWING .....</b>	<b>48</b>
3.1.	THEORETISCHE WEGCAPACITEIT: OP BASIS VAN EEN KADER/RICHTLIJNEN .....	49
3.1.1.	<i>Capaciteit (voor)stedelijke wegen.....</i>	49
3.1.2.	<i>Capaciteit kruispunt met verkeerslicht.....</i>	49
3.1.3.	<i>Afwijkende omstandigheden .....</i>	52
3.2.	PRAKTISCHE MAX CAPACITEIT: OP BASIS VAN MEETGEGEVENS.....	53
<b>4.</b>	<b>METHODE.....</b>	<b>56</b>
4.1.	OPZET EN BUSINESS VALUE .....	56
4.2.	DATABESCHRIJVING.....	56
4.2.1.	<i>Verkeerstellingen .....</i>	56
4.2.2.	<i>Floating Car Data.....</i>	57
4.3.	SOFTWARE .....	59
4.4.	INPUT.....	59
4.5.	DATA FUSIE .....	61
4.6.	DATAVERWERKING.....	62
4.6.1.	<i>SDD-verwerking .....</i>	62
4.6.2.	<i>FCD-verwerking.....</i>	63
4.7.	VISUELE ANALYSE .....	63
4.7.1.	<i>Representativiteit meetperiode .....</i>	63
4.8.	PRESTATIEKENMERKEN VAN DE CODE .....	64
4.8.1.	<i>Performantie.....</i>	64
4.8.2.	<i>Juistheid .....</i>	65
<b>5.</b>	<b>CASE: BEVERSEBAAN ZWIJNDRECHT .....</b>	<b>65</b>
5.1.	ZOEKTOCHT LOCATIE .....	65
5.2.	PLAATSDESCRIJVING .....	67
5.3.	THEORETISCHE WEGCAPACITEIT .....	68
5.4.	DATABESCHRIJVING.....	71
5.4.1.	<i>SDD.....</i>	71
5.4.2.	<i>FCD.....</i>	71
5.5.	INPUT.....	72
5.6.	OUTPUT.....	72
5.6.1.	<i>Meetfouten .....</i>	72
5.6.2.	<i>Representativiteit meetperiode .....</i>	74
5.6.3.	<i>Capaciteit van het traject.....</i>	77
5.7.	CONCLUSIE EN AANBEVELING NA VISUELE ANALYSE.....	87
<b>6.</b>	<b>ALGEMENE CONCLUSIE EN VERDER ONDERZOEK .....</b>	<b>88</b>
IV.	Glossarium	
V.	Gebruikte afkortingen	
VI.	Bibliografie	
VII.	Bijlagen	

# Lijst met figuren

FIGUUR 1: EIGENSCHAPPEN DETECTOREN .....	17
FIGUUR 2 KOST VAN ENKELE DETECTOREN .....	19
FIGUUR 3: METHODOLOGIE ALTINTASI ET AL. (2008) .....	26
FIGUUR 4: ILLUSTRATIE CELL PHONE TRACKING .....	29
FIGUUR 5: EVOLUTIE GEMIDDELDE SNELHEID CFVD VS SLD.....	35
FIGUUR 6: SNELHEIDSPROFIEL DAVIS DRIVE .....	37
FIGUUR 7: VERGELIJKING SNELHEDEN .....	37
FIGUUR 8: SNELHEID/INTENSITEIT RELATIE (SPEED/FLOW) .....	38
FIGUUR 9: ANALYSE VAN SNELHEIDSVERSCHILLEN INRIX EN TRAFFIC.COM .....	39
FIGUUR 10: SCHEMATISCH VOORSTEL GEBRUIK VERKEERSDATA.....	40
FIGUUR 11: RAAMWERK DATAFUSIE-MODEL.....	41
FIGUUR 12: FLOW CHART VERKEERSMODEL VOGT ET AL. (2018).....	42
FIGUUR 13: RAAMWERK VERKEERSMODEL CATHY WU ET AL. (2015).....	42
FIGUUR 14: NODIGE GEGEVENS OM DE WEGCAPACITEIT THEORETISCH TE BEREKENEN .....	50
FIGUUR 15: REDUCTIEFACTOR TDI .....	52
FIGUUR 16: INVLOED NEERSLAG OP WEGCAPACITEIT.....	53
FIGUUR 17: INVLOED BELICHTING OP WEGCAPACITEIT.....	53
FIGUUR 18: INVLOED VRACHTVERKEER OP DE CAPACITEIT .....	53
FIGUUR 19: RELATIE INTENSITEIT / SNELHEID .....	55
FIGUUR 20: VOORBEELD RELATIE INTENSITEIT / SNELHEID .....	55
FIGUUR 21: LINE GRAPH PLATFORM ODIQ .....	58
FIGUUR 22: USER INTERFACES INPUT .....	60
FIGUUR 23: AGGREGATIEMETHODEN SDD .....	61
FIGUUR 24: FLAME GRAPH VISUELE ANALYSE .....	64
FIGUUR 25 CASE: CENTRUM ZWIJNDRECHT .....	67
FIGUUR 26: BRON SIGNCO .....	67
FIGUUR 27: SPECTOGRAM ZWIJNDRECHT 31/03/21 .....	70
FIGUUR 28: SPECTOGRAM ZWIJNDRECHT 06/05/21 .....	70
FIGUUR 29: RELATIE SNELHEID VOLUME MET ONREPRESENTATIEVE DATA.....	73
FIGUUR 30: AANTAL METINGEN BOVEN DE 75 KM/U EN DIENS GEMIDDELDE SNELHEID .....	73
FIGUUR 31: DAGELIJKE HOEVEELHEID NEERSLAG HOOGHEIDE .....	74
FIGUUR 32: PROCENTUELE VOERTUIGSAMENSTELLING.....	75
FIGUUR 33: DAGELIJKE SOM VERTRAGING.....	76
FIGUUR 34: VERTRAGING TIJDENS DE SPITSEN .....	76
FIGUUR 35: GEMIDDELDE VERTRAGINGEN .....	77
FIGUUR 36: SNELHEIDSPROFIEL CENTRUM ZWIJNDRECHT RICHTING OOST.....	77
FIGUUR 37: SNELHEIDSPROFIEL 15 OKT (<DAGELIJKE VERTR.) .....	79
FIGUUR 38: SNELHEIDPROFIEL 22 OKT (<INTENSITEITEN) .....	79
FIGUUR 39: RELATIE SNELHEID / INTENSITEIT .....	81
FIGUUR 40: GROOTSTE INTENSITEITEN.....	81
FIGUUR 41 : GEEN VERSCHUIVING VAN DE INTENSITEIT (15 OKTOBER 2019) .....	83
FIGUUR 42: VERSCHUIVING INTENSITEITEN KWARTIER EERDER (FLOW=INTENSITEIT) (15 OKTOBER 2019).....	83
FIGUUR 43: INTENSITEIT UIT HET VORIGE KWARTIER WORDT VERGELEKEN MET SNELHEDEN UIT HET HUIDIGE KWARTIER .....	84
FIGUUR 44: SCATTER INDIVIDUELE WAARNEMINGEN, INDIVIDUELE INTENSITEIT.....	85
FIGUUR 45: RELATIE INTENSITEIT / VERTRAGING .....	86

# Lijst met tabellen

TABEL 1: VOORNAAMSTE IN-SITU TECHNOLOGIEËN .....	17
TABEL 2 : VERSCHILLENDE PROBE DATA TECHNOLOGIEËN .....	24
TABEL 3: LITERATUUROVERZICHT .....	43
TABEL 7: VERZADIGINGSINTENSITEITEN .....	51
TABEL 8: VARIABELEN SDD .....	57
TABEL 9: VARIABELEN FCD .....	59
TABEL 10: INPUT VISUELE ANALYSE .....	60
TABEL 11: VEREISTEN LOCATIE CASE .....	66
TABEL 12: THEORETISCHE CAPACITEIT VERKEERSLICHTEN .....	69
TABEL 13: DATABESCHRIJVING SDD .....	71
TABEL 14: DATABESCHRIJVING FCD .....	71
TABEL 15: INPUT VISUELE ANALYSE ZWIJNDRECHT RICHTING OOST .....	72

# I. Probleemstelling

Al enkele decennia gebruikt men In-situ technologieën voor het verzamelen van verkeersgegevens. Dit is een groep van technologieën die verkeersdata verzamelen, aan de hand van statische detectoren langs de kant van de weg, ook wel stationaire technologieën genoemd. Ze zijn de dag van vandaag niet meer weg te denken uit het verkeer, omwille van hun betrouwbaarheid en correctheid. Daarnaast zijn er ook enkele nadelen en tekortkomingen verbonden aan deze technologieën. Zo zijn ze relatief duur, hebben ze een beperkt geografisch bereik, zijn ze weinig precies in stedelijke gebieden en zijn ze afhankelijk van de weerscondities (Leduc 2008). De technieken zijn niet in staat om de trajecten van individuele voertuigen over grotere geografische gebieden weer te geven, ondanks de prangende vraag naar dit soort informatie. Een voorbeeld hiervan is dat er behoefte is aan informatie omtrent de trajecten van voertuigen die gevaarlijke producten vervoeren (Holmgren et al., 2020). Of meer voor de hand liggend: het inschatten van de verwachte reistijd door een navigatiesysteem.

De laatste decennia hebben zich nieuwe datavormen gemanifesteerd, waaronder netwerkgebaseerde data als Floating Car Data (FCD). Deze datavorm wordt op grootschalige en gedistribueerde basis verzameld via locatiesignalen, afkomstig van mobiele telefoons en GPS-systemen. De techniek is zeer kostefficiënt en heeft een groot bereik in tijd en ruimte. Hiermee countert hij enkele significante tekortkomingen van de klassieke stationaire technieken (Leduc 2008).

Om verkeersinformatie van hoge kwaliteit te bekomen, is het van belang om beide types van technologieën in acht te nemen. Ze hebben namelijk complementaire karakteristieken en dienen bijgevolg best gecombineerd te worden (Holmgren et al. 2020). In dit werk zal worden getracht een beeld te schetsen van beide soorten databronnen en hoe ze kunnen ingezet worden in het huidige verkeer. Naast de klassieke technologieën en FCD, worden ook enkele alternatieve databronnen bekeken die als aanvulling of substituut kunnen gebruikt worden van deze twee databronnen.

# Literatuurstudie: waardecreatie uit heterogene verkeersdata

Lukas Geluykens

Promotor **dr. Gilles Oorts**  
Bedrijfsbegeleiders **Jeroen Van Houtte** | **Franziska Kupfer**

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van  
Master in de Handelsingenieur in de Beleidsinformatica  
Faculteit Bedrijfswetenschappen en Economie | Antwerpen, academiejaar 2021 - 2022



**Universiteit  
Antwerpen**



## 1. Inleiding

Verkeersmonitoring wordt gezien als een van de belangrijkste tools voor verkeersmanagers en verkeersautoriteiten. Hiervoor is er nood aan recente en accurate data over de verkeersstromen. Deze data worden doorgaans verzameld met sensoren, die op te delen zijn in mobiele- en stationaire varianten (Barmounakis, Nikolas, 2020) (Holmgren et al., 2020). De stationaire varianten worden In-Situ Technologieën genoemd en worden reeds enkele decennia intensief gebruikt voor het verzamelen van verkeersdata (Leduc 2008). In Hoofdstuk 3 zullen deze technieken en hun toepassingen in kaart worden gebracht. In Hoofdstuk 4 zal de meest gevestigde mobiele technologie en bijhorende data beschreven worden, genaamd Floating Car Data. In Hoofdstuk 5 worden enkele alternatieve databronnen bekeken die eveneens van waarde kunnen zijn in het verkeer. In Hoofdstuk 6 worden twee grote private aanbieders van verkeersdata besproken. Hoofdstuk 7 zal enkele experimenten en studies bespreken met betrekking tot de validatie en evaluatie van stationaire- en mobiele datavarianten. Tot slot zal er in Hoofdstuk 8 worden ingegaan op de combinatie van verschillende databronnen en hun mogelijke toepassingen. Er zullen een aantal datafusietechnieken en verkeersmodellen besproken worden waarmee waardevolle inzichten kunnen bekomen worden, zowel voor de publieke als de private sector. Aan het einde van het document staat een Glossarium met de voornaamste verkeerskundige definities die aan bod kwamen.

## 2. Onderzoeksvraag

Hoe kan waarde gecreëerd worden uit de combinatie van verschillende bronnen van verkeersdata?

## 3. In-Situ Technologieën: SDD

Al enkele decennia gebruikt men In-situ technologieën voor het verzamelen van verkeersgegevens. “In-situ technologieën verwijzen naar verschillende technologieën voor het verzamelen van verkeersdata aan de hand van statische detectoren langs de kant van de weg (Leduc 2008). De verzamelde dataset wordt *Stationary Detector Data (SDD)* genoemd en bestaat uit gegevens die vergaard worden op vaste punten in het weggennet. In principe kunnen deze verschillende punten gecombineerd worden en kan er een volledig beeld geschetst worden van de staat van het verkeer. Deze technieken kunnen zowel tijdelijk, zoals bij kortlopende verkeerstellingen, als permanent worden aangebracht in het weggennet (Houbraken, Scheerlinck, 2015).

### 3.1. Bespreking

In onderstaande tabel worden de voornaamste klassieke methoden voor het uitvoeren van verkeerstellingen beschreven. De tabel bevat één actieve techniek, namelijk *video image detection*. Een techniek wordt actief genoemd wanneer hij in staat is om een uniek kenmerk van een voertuig te herkennen en op te slaan (Holmgren et al., 2020).

<i>In-situ Technologie</i>	<i>Beschrijving</i>
<i>Inductieve lus</i>	Deze lussen worden in het wegdek verwerkt in een vierkantsformatie waardoor ze een magnetisch veld creëren. Dit is een populaire techniek omdat hij niet afhankelijk is van de weersomstandigheden en hij wordt de laatste decennia wereldwijd vaak geplaatst. Een nadeel is dat deze techniek duur is qua plaatsing en onderhoud (Leduc 2008).
<i>Infraroodsensor</i>	De sensor verzendt infrarood-energie en detecteert de golven die worden teruggekaatst. Sommige varianten zijn eveneens in staat de zonne-energie te detecteren (Federal Highway Administration, 2017).
<i>Manuele telling</i>	Het manueel registreren van verkeersdata door een observator. Voorbeeld hiervan is het jaarlijkse telmoment 'Straatvinken', georganiseerd door Ringland Academie, de Universiteit Antwerpen en HIVA – KU Leuven. De verkeersdata wordt manueel geregistreerd door vrijwilligers aan de hand van een telformulier (Straatvinken, z.d.).
<i>Microgolf radar</i>	Zendt microgolfenergie naar de rijbaan. De technologie kan enkel intensiteit en snelheid detecteren. Bovendien kan hij niet gebruikt worden in de buurt van bruggen met grote staalconstructies (Federal Highway Administration, 2017).
<i>Pneumatische lus</i>	Rubberen banden die over de weg worden gelegd en voertuigen detecteren aan de hand van drukveranderingen in de banden. De luchtverplaatsing wordt gedetecteerd en verwerkt. Een nadeel is dat deze nauwkeurigheid van de technologie afhankelijk is van de weerscondities en slechts twee rijstroken kan meten (Leduc, 2008).



## Video image detection

Deze technologie bestaat uit videocamera's die het verkeer detecteren. De beelden worden vervolgens gedigitaliseerd, verwerkt en omgezet in stationaire verkeersdata. Kan meerdere lusdetectoren vervangen en het verkeer meten binnen een klein segment, in plaats van op een specifiek punt zoals de meeste klassieke technologieën (Federal Highway Administration, 2017).

Tabel 1: Voornaamste in-situ technologieën

Figuur 1 geeft de karakteristieken van de technologieën weer. Het valt op dat de meeste detectoren dezelfde eigenschappen hebben. Verder zal besproken worden dat de kost sterk kan verschillen. Dit maakt dat elke technologie zijn eigen toepassingsgebieden heeft. Zo worden Pneumatische Lussen vaak gebruikt voor tijdelijke verkeerstellingen, terwijl Inductieve Lussen in het asfalt van snelwegen worden verwerkt om continue snelwegdata te verzamelen.

Table 5.2: Data Types of Detector Technologies

Detector Type		Volume/Count	Speed	Classification	Occupancy	Presence	
I	Inductive Loop	✓	✓ <sup>(1)</sup>	✓ <sup>(2)</sup>	✓	✓	
	Magnetic	✓	✓ <sup>(3)</sup>	✓ <sup>(3)</sup>	✓	✓	
	Pneumatic Road Tube	✓	✓	✓	×	×	
N	Active Infrared	✓	✓	✓	×	×	
	Passive Infrared	✓	✓ <sup>(4)</sup>	✓	✓	✓	
	Microwave Radar	Doppler	✓	✓	✓	✓	✓
		True Presence	✓	✓	✓	✓	✓
	Ultrasonic	✓	×	×	×	✓	
	Passive Acoustic	✓	✓	✓	✓	✓	
	Video Image Processing	✓	✓	✓	✓	✓	

Note: (1) Speed can be measured by dual-loops with a known distance apart, or by algorithms with a single-loop assuming the length of the detection zone and vehicle.

(2) Advanced detector cards can measure classification using "vehicle signature."

(3) Speed and classification measurement by magnetic detectors requires two units.

(4) Passive infrared detectors with multi-detection-zone capability can measure speed.

✓ - can provide the data type, × - cannot provide the data type

Figuur 1: Eigenschappen detectoren (Bron: Leduc, 2008)

### 3.2. Voor- en nadelen

Over het algemeen leiden deze klassieke dataverzameltechnieken tot kwalitatieve datasamples. Verkeerssensoren zijn gekend voor hun maturiteit en hoge datakwaliteit. Ze genereren accurate metingen van hoeveelheden en snelheden van voertuigen (Leduc 2008). Bovendien meten ze enkele variabelen die weinig andere databronnen rechtstreeks kunnen meten zoals verkeersintensiteiten<sup>1</sup>, verkeersdichtheden<sup>2</sup> en de lengte van voertuigen. (Chase et al., 2012) Echter zijn er ook een aantal tekortkomingen met betrekking tot in-situ technologieën. Zo zijn ze, vergeleken met andere databronnen, significant duurder op het vlak van plaatsing en onderhoud. Figuur 2 geeft de kost voor een bepaalde tijdspanne weer. Er dient opgemerkt te worden dat deze gegevens niet meer actueel zijn, al geven ze wel een goede indicatie weer. Vergeleken met andere databronnen, die verder besproken zullen worden, is hun kost aanzienlijk hoger. Ook is hun bereik zeer beperkt. Om de verkeerssituatie in een uitgestrekt gebied te meten, zijn relatief veel meetpunten nodig (Leduc 2008). Dit heeft bijvoorbeeld als rechtstreeks gevolg dat het niet mogelijk is om, op basis van deze technologie en met een redelijk gebruik van financiële middelen, de intensiteiten binnen een netwerk, nauwkeurig te schatten. Dit leidt meestal tot een niet-optimaal gebruik van het wegennet (Vogt et al., 2018). Daarbij komt dat vele meetpunten slechts tijdelijk worden opgesteld, wat maakt dat er vaak moet gewerkt worden met beperkte samples (Leduc 2008). Tenslotte kunnen weersomstandigheden de nauwkeurigheid van de metingen beïnvloeden en is het vaak lastig om reistijden te meten, vooral in stedelijke gebieden (Leduc 2008). Aangezien reistijden aan de basis liggen van toepassingen als routeplanners en navigatiesystemen is dit een belangrijke tekortkoming. Hiervoor is er nood aan andere en betere technologieën (Maerivoet, Logghe, 2007) die verder in dit werk besproken zullen worden.

---

<sup>1</sup> “Het aantal voertuigen (of voetgangers) dat op een bepaald moment een bepaalde lengte van een rijstrook of rijbaan bezet (National Research Council, 2000).”

<sup>2</sup> De verkeersintensiteit of het verkeersvolume is de daadwerkelijke prestatie. Het is het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert, meestal uitgedrukt in p.a.e./uur (National Research Council, 2000).

Unit Cost Element	Lifetime (years)	Capital Cost (\$1000)	Cost Date	O&M Cost (\$1000)	Cost Date
Inductive Loop Surveillance on Corridor	5	3-8	2001	0.4-0.6	2005
Inductive Loop Surveillance at Intersection	5	8.6-15.3	2005	0.9-1.4	2005
Machine Vision Sensor on Corridor	10	21.7-29	2003	0.2-0.4	2003
Machine Vision Sensor at Intersection	10	16-25.5	2005	0.2-1	2005
Passive Acoustic Sensor on Corridor		3.7-8	2002	0.2-0.4	1998
Passive Acoustic Sensor at Intersection		5-15	2001	0.2-0.4	2002
Remote Traffic Microwave Sensor on Corridor	10	9-13	2005	0.1-0.58	2005
Remote Traffic Microwave Sensor at Intersection	10	18	2001	0.1	2001
Infrared Sensor Active		6-7.5	2000		
Infrared Sensor Passive		0.7-12	2002		
CCTV Video Camera	10	9-19	2005	1-2.3	2004
CCTV Video Camera Tower	20	4-12	2005		

*Figuur 2 Kost van enkele detectoren (Bron: Leduc, 2008)*

Er zijn echter mogelijkheden om de kost van de dataverzameling te drukken. Zo is het mogelijk om reeds geïnstalleerde toestellen te gebruiken voor het verzamelen van stationaire data. Zo kunnen bijvoorbeeld snelheidscamera's, met behulp van een additionele software, worden ingezet om verkeersdata te verzamelen (Holmgren et al., 2020).

### 3.3. Toepassingen

Zoals reeds weergegeven in Figuur 1 kunnen stationaire sensors rechtstreeks parameters als intensiteit, snelheid, voertuigtype en bezettingsperiode<sup>3</sup> meten. Deze gegevens kunnen visueel voorgesteld worden en leiden tot inzichten in de verkeerssituatie. In hoofdstuk 7 zullen enkele visuele analysevormen besproken worden. Naast deze rechtstreekse metingen worden deze data gebruikt voor het berekenen van afgeleide parameters als de gemiddelde dagelijkse verkeersintensiteit en de afgelegde voertuigkilometers in een gebied. In dit onderdeel worden deze verder besproken. Er wordt afgesloten met een methode om de trajecten binnen een netwerk weer te geven, al moet worden benadrukt dat dergelijke methoden, die uitsluitend met SDD werken, eerder zeldzaam zijn binnen de recente literatuur.

#### 3.3.1. Jaarlijks gemiddelde van de dagelijkse verkeersintensiteit (AADT<sup>4</sup>)

De AADT is een cruciale parameter binnen de verkeerskunde. Het is het gemiddeld aantal wagens dat per dag op een specifiek punt passeert (Islam, 2016). De AADT wordt gebruikt als

<sup>3</sup> "De bezettingsperiode wordt gedefinieerd als het percentage van de tijd, waarin een detectiezone bezet is door een voertuig (Hall, z.d.)."

<sup>4</sup> Annual Average Daily Traffic

input voor verkeersmodellen en calibratieoefeningen. Enkele toepassingen zijn het plannen van wegenwerken, congestiebeheer<sup>5</sup>, het bepalen van de weggeometrie, etc. In de meeste EU-landen wordt de AADT van Europese wegen bepaald en gepubliceerd.

De AADT wordt meestal berekend aan de hand van een combinatie van permanente en kortstondige verkeerstellingen. Permanente verkeerstellingen zijn voornamelijk op snelwegen terug te vinden en zijn noodzakelijk om tot exacte AADT-waarden te komen. Kortstondige verkeerstellingen dekken ook minder drukke wegen, maar zijn zoals eerder vermeld beperkt in tijd. Dit leidt ertoe dat de AADT vaak enkel nauwkeurig kan bepaald worden voor hoofdwegen. Voor wegen met een gebrek aan data wordt vaak gekeken naar gelijkaardige wegen, wat de nauwkeurigheid van de schatting in het gedrang brengt. Technieken om de AADT te berekenen zijn de *factoring method*, neural networks, genetische algoritmen, etc (Leduc, 2008).

### 3.3.2. Schatting van de verkeersintensiteit – *Vehicle Kilometres Travelled* (VKT)

“Voertuigkilometers (VKT) verwijzen naar de afstand, afgelegd door voertuigen op autowegen. Deze maatstaf wordt vaak gedefinieerd als een indicator van de verkeersdruk en wordt in het algemeen gebruikt om mobiliteitspatronen en reistrends te bepalen. Hij speelt een sleutelrol in verschillende belangrijke besluitvormingstoepassingen zoals de waarborging van de luchtkwaliteit, risicobeheer van verkeersincidenten, et cetera. Vanwege de grote impact van de indicator op de beleidskeuzes is het noodzakelijk om over een accurate schatting van de VKT binnen een gebied te beschikken.” (Leduc, 2008)

### 3.3.3. Herkomst-Bestemmingsmatrix (O-D Matrix)

In Vogt et al. (2018) wordt beweerd dat het niet mogelijk is om de vraag naar verkeer, op uitsluitende basis van verkeerstellingen, voldoende nauwkeurig en op duurzame wijze te schatten. Men kaart het gebrek aan informatie over de structuur van de vraag naar verkeer aan en de hoge kost van de nodige grote aantallen aan stationaire meetpunten. Men lost dit probleem vervolgens op door de nodige informatie te extraheren uit Floating Car Data. Hier zal verder op ingegaan worden in Hoofdstuk 8.

In de literatuur is hier echter wel een voorbeeld van terug te vinden, al zijn er nog vraagtekens rond de generaliseerbaarheid van het raamwerk. In Cascetta et al. (2013) ontwikkelt men een raamwerk op basis van SDD en gedefinieerde parameters, die het aantal onbekenden voor het

---

<sup>5</sup> Congestie = file, vertraagd verkeer

schatten van herkomst-bestemming intensiteiten drastisch verminderen. Het zou op deze manier mogelijk moeten zijn om o-d matrices te schatten met een realistische hoeveelheid data. Men valideerde het raamwerk op de A4-A23 snelwegen in Noord-Italië. Ook wordt uitgegaan van de assumptie dat de o-d percentages gelijk blijven tijdens de vier 7-daagse proefperiodes, met telkens een interval van 3 maanden. Het netwerk bevat 17 tolstations, uitgerust met nummerplaat herkenningscamera's. Dit zijn de oorsprongen van de matrices. Op die manier verzamelt men dagelijks ongeveer 60 000 passerende wagens en de bijhorende tijdstippen. De resultaten waren robuust en de quasi-dynamische deden beter dan hun simultane varianten. Tenslotte wordt onderlijnd dat er nood is aan verdere validatie en optimalisatie van de parameters, vooral in stedelijke gebieden. Bovendien dient er steeds nagegaan te worden of de gemaakte assumptie realistisch is binnen het te onderzoeken gebied.

#### 3.3.4. Voorspellen van de verkeersintensiteit

In Yisheng et al. (2015) wordt een methode voorgesteld die verkeersintensiteiten kan voorspellen, aan de hand van een *deep neural network*. Aangezien er voor de creatie van dergelijke datamining-technieken enorme hoeveelheden data nodig zijn, kunnen deze modellen enkel ontwikkeld worden in omgevingen waar deze aanzienlijke datasets verzameld worden. De output van de methode zou bijdragen aan accurate en actuele informatie over verkeersintensiteiten en kan dienen als input voor *Intelligent Transportation Systems*<sup>6</sup> (ITS). Dergelijke systemen worden in de praktijk gebruikt door overheidsinstanties, bepaalde bedrijfssectoren en individuele reizigers. Het model werd getraind op basis van 15.000 detectoren, verspreid over de snelwegen in Californië. Er wordt benadrukt dat er op sommige plaatsen gegevens van detectoren van verschillende aard gebruikt worden, die vervolgens geaggregeerd worden tot 5-min intervallen. Het lijkt erop dat er bij dit experiment een externe dataset gebruikt wordt die voornamelijk gebaseerd is op statische detectoren, al vermelden de auteurs dat ook mobiele databronnen zoals gps-toestellen, interessant kunnen zijn. In hoofdstuk 8 zal een voorbeeld gegeven worden van een datafusietechniek die in staat is SDD te fuseren met Floating Car Data (FCD) (Cathy Wu et al. 2015). Deze datavorm zal uitvoerig besproken worden in volgend hoofdstuk.

---

<sup>6</sup>“Een transportsysteem (informatiesysteem) dat de veiligheid en efficiëntie van voertuigen en wegsystemen verhoogt (National Research Council, 2000).

## 4. Floating Car Data

Er is vraag naar relevante verkeersinformatie op maat van de weggebruiker. Vooral accurate reistijden zijn hierbij van groot belang, aangezien ze de basis vormen van routeplanners en navigatiesystemen (Maerivoet, Logghe, 2007). Floating Car Data is hiervoor ondertussen een gevalideerde datavorm (Leduc, 2008).

### 4.1. Bespreking

Floating Car Data is een vorm van *probe data*, afkomstig uit toestellen aan boord van bewegende voertuigen. Probe data worden gedefinieerd als “gegevens die worden gegenereerd door het bewaken van de positie van individuele voertuigen (i.e., *probes*) over ruimte en tijd in plaats van het meten van kenmerken van voertuigen of groepen voertuigen op een specifieke plaats en tijd. Hierin verschilt ze van klassieke methoden die eerder karakteristieken van voertuigen of groepen van voertuigen in kaart brengen op een specifiek punt in plaats en tijd. (Federal Highway Administration, 2017). Verschillende probe databronnen met betrekking tot de verkeerskunde worden weergegeven in Tabel 2. FCD berekent de posities van voertuigen aan de hand van mobiele apparaten (“*GPS Mobile Devices*” in Tabel 2) of GPS-systemen die zich in de voertuigen bevinden (“*AVL*” in Tabel 2). De verzamelde gegevens worden via stationaire antennes naar servers gestuurd. Deze servers verwerken de gegevens in grote aantallen, waarna ze gebruikt kunnen worden voor allerlei toepassingen. Zo kunnen gemiddelde reistijden, vertragingen, routewijzigingen, etc. berekend worden. Dit kan zowel in real-time als op basis van historische data. Hieruit volgen toepassingen als real-time verkeersmonitoring (Houbraken, Scheerlinck, 2015), waarover meer aan het einde van dit hoofdstuk.

In de literatuur is wordt de term FCD niet altijd eenduidig gebruikt. Wanneer in dit werk het concept Floating Car Data gebruikt wordt, wordt er bedoeld op gegevens afkomstig van *AVL* en *GPS Mobile Devices*, zoals beschreven in onderstaande tabel. De andere types van probe data-collectiesystemen zullen in volgende hoofdstukken besproken worden.

<i>Probe Data Collection System</i>	<i>Description</i>
<i>Probe Vehicle Runs</i>	This is the original form of probe data measurement in which a vehicle driven by researchers is driven along a route of interest and records the vehicle position and time at either selected positions or time intervals along the route. In terms of the above characteristics, the method (a) requires vehicular infrastructure (the probe vehicle), (b) produces detailed tracks of the vehicles movements along the route, and (c) does not provide data in real-time.
<i>Bluetooth Readers</i>	This form of probe data measurement involves placing roadside detectors that identify passing vehicle by a unique identifier broadcast by Bluetooth devices (e.g., cell phones) that are onboard the vehicle. Travel time measurements are obtained by comparing vehicle arrival times at different readers. The method (a) requires roadside infrastructure, (b) does not produce detailed tracks of vehicle movements, and (c) can provide data in near real-time if the Bluetooth readers are equipped with networking capabilities.
<i>Toll Tag Readers, License Plate Readers</i>	This form of probe data measurement is similar to the Bluetooth Reader system described above but identifies vehicles by detecting the unique IDs broadcast by toll tag transponders or using character recognition to determine license plate numbers. Toll tag readers that take advantage of readers at existing toll plazas, rather than additional readers placed specifically for travel time measurement, differ in that they do not require additional roadside infrastructure.
<i>Automatic Vehicle Location (AVL)</i>	This form of probe data measurement requires a GPS device in a vehicle that tracks the vehicle's position and periodically transmits information about recent vehicle movements or the vehicle's current location to a server for analysis. This technology is most commonly used for fleet management (e.g., buses, taxis, commercial vehicles). The method (a) does not require deploying infrastructure (assuming the AVL system is already in place), (b) can produce detailed tracks of vehicle movements (but may not, depending on the design of the AVL), and (c) can provide

<i>GPS Mobile Devices</i>	<p>data in near real-time. The GPS technology used also allows measuring the vehicle's speed and direction of travel, in addition to its position.</p> <p>This form of probe data measurement is similar to AVL, except occurs on vehicles equipped with GPS mobile devices that are not part of an AVL fleet management system. For example, smart phone applications have been developed that provide probe data from the smart phone. Some onboard navigation systems also include this capability.</p>
<i>Cell Phone Tracking</i>	<p>This form of probe data measurement involves tracking vehicle movements based on the radio signal transmitted by cell phones. Each cell phone periodically emits a signal that identifies the phone and associates the phone with a geographic "cell," giving a rough geographic location for the phone. The cell phone system can use data from the signal received at several cell towers to get a more accurate location for the phone. This position information can be retained to generate a track of the phone's (and, by inference, a vehicle's) movement. The method (a) does not require deploying new infrastructure, (b) can produce detailed tracks of vehicle movements, and (c) can provide data in near real-time.</p>

*Tabel 2 : Verschillende probe data technologieën (Bron: U.S. Department of Transportation: Federal Highway Administration, 2017).*

#### 4.2. Voor- en nadelen

Dankzij de mobiele aard van de databronnen heeft FCD een zeer groot geografisch bereik, vergeleken met SDD (Homgren et al., 2020). Bovendien is het met de achterliggende technologie mogelijk, om private toestellen te gebruiken bij de dataverzameling. Op die manier worden grote hoeveelheden data verzameld over het gehele wegennet en dit op een zeer kostefficiënte wijze. Dit maakt wel dat men met deze databron vaak afhankelijk is van de persoonlijke drijfveer van de eigenaars van deze private toestellen, om hun gegevens te delen. Een voorbeeld van een mogelijke drijfveer is dat het delen van deze data bijdraagt tot het analyseren van het verkeer en op langere termijn tot de ontwikkeling van het wegennet. Verder is deze databron ongevoelig voor weerscondities en halen ze de beste resultaten in stedelijke gebieden. (Leduc, 2008) Hierdoor kunnen ze een interessante aanvulling vormen op in-situ technologieën, die wel onderhevig zijn aan weerscondities en dichtbevolkte gebieden.



(Maerivoet, 2007). Tenslotte onderscheidt FCD zich, zoals reeds aangehaald, van klassieke databronnen met zijn superieure real-time verwerkingsmogelijkheden (Leduc, 2008).

Nadelen van de FCD-technologie houden onder meer in dat de datavorm sterk beïnvloed wordt door de privacywetgeving. Daarenboven zijn er verschillende partijen betrokken bij de dataverzameling en verwerking, wat maakt dat er nood is aan intensieve overeenkomsten tussen de betrokken partijen. Verder zijn er gesofisticeerde verwerkingstechnieken nodig en zijn de kosten om de verworven inzichten te communiceren relatief hoog. Doordat de verworven data slechts gebaseerd zijn op een sample van de populatie in de gemeten gebieden, is men niet in staat om maatstaven als verkeersdichtheid, -intensiteit en voertuiglengte rechtstreeks te meten. Hierdoor moet er eerder vaker gewerkt worden met schattingen (Chase et al., 2012). Tenslotte is de technologie sterker onderhevig aan meetfouten als de *in-situ technologieën* (Leduc, 2008).

De beperkingen van het FCD-netwerk kunnen gecompenseerd worden door de combinatie met andere databronnen als stationaire technologieën. Zo worden de voordelen van de heterogene databronnen gebundeld en wordt getracht hun tekortkomingen weg te werken (Leduc, 2008). In de literatuur zijn vele raamwerken, modellen en technieken terug te vinden, waarbij zowel stationaire als mobiele datasets worden gebruikt. Hier wordt verder op ingegaan in Hoofdstuk 8.

### 4.3. Toepassingen

In dit deel zullen de meest voor de hand liggende toepassingen van FCD besproken worden. Er zullen enkel studies aan bod komen waarbij uitsluitend FCD gebruikt wordt. De eerste twee cases zullen de waarde van FCD aantonen bij het schatten en voorspellen van reistijden en herkennen van verkeerpatronen. Dergelijke modellen en technieken worden vandaag de dag massaal ingezet bij verkeersmonitoring en -management, routeplanning, luchtvervuilingsstudies, etc. (Altintasi et al., 2008). De derde case is een meer experimenteel project waarbij de verkeersdichtheden in een verkeersnetwerk worden geschat.

Opmerkelijk is dat de drie bekeken studies zich afspelen in stedelijke gebieden, in tegenstelling tot de toepassingen van de SDD die voornamelijk op snelwegen lagen. Daarnaast wordt er sterk gefocust op de real-time verwerking van de bestudeerde data. Deze vaststellingen stroken met de vermelde eigenschappen van de technologie in paragraaf 4.1.

#### 4.3.1. Detectie van verkeerspatronen

In Altintasi et al. (2016) wordt de effectiviteit van FCD als databron gemeten bij het detecteren van verkeerspatronen op basis van real-time FCD in geaggregeerde intervallen van 1 min. De methode die gehanteerd wordt, begint met het vertalen van FCD-snelheden naar Level of Service of (LOS) intervallen. LOS is een kwalitatieve maatstaf die wordt gebruikt om de kwaliteit van de staat van het verkeer weer te geven. Concreet worden er 6 intervallen opgesteld op basis van de FCD-snelheid (e.g. 90-77 km/u = LOS A = 'Free flow'). Dit is de enige parameter die gebruikt zal worden. Vervolgens worden deze categorische data gebruikt als input voor een algoritme dat hier verkeerspatronen probeert uit te halen. De output van dit algoritme kan dan verder gebruikt worden door andere verkeersmodellen en systemen, waarvan een voorbeeld zal gezien worden in volgende paragraaf.

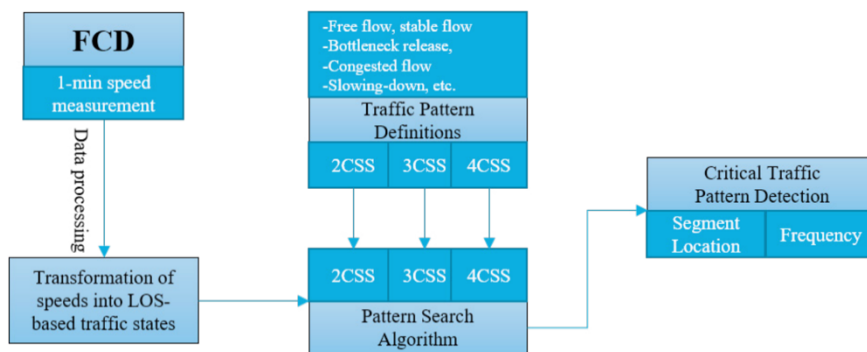


Fig.1. Framework of the proposed methodology

Figuur 3: Methodologie Altintasi et al. (2008)

De methode werd getest op een stedelijke hoofdweg met 4 rijvakken en een snelheidslimiet van 90 km/u in Ankara, Turkije. Op het bestudeerde traject bevinden zich 134 wegsegmenten<sup>7</sup> en 3 knooppunten voor met andere hoofdwegen, wat zeer typerend is voor een stedelijk wegnetwerk. Uit de resultaten bleek dat FCD in staat is om wederkerende congestie, de lengte van de file en bijhorende bottlenecks in kaart te brengen in een dergelijk stedelijk gebied op basis van real-time snelheidsdata. Er werden geen concrete maatstaven gegeven omtrent de prestaties van de methodologie (Altintasi et al, 2016).

#### 4.3.2. Real-time reistijden: schattingen en voorspellingen

FCD kan gezien worden als een betrouwbare en kost efficiënte manier om accurate reistijden (en snelheden) te schatten en om korte termijn voorspellingen van deze snelheden uit te voeren.

<sup>7</sup> Stuk weg met homogene verkeerseigenschappen (Casters, 2020).

In Fabritiis et al. (2008) worden er concreet actuele segmentsnelheden geschat op basis het Italian FCD System in handen van het technologische bedrijf: OctoTelematics. De gegevens worden verzameld via apparaten, die reeds aanwezig zijn in private wagens doorheen heel Italië. De apparaten werden oorspronkelijk geplaatst voor enkele verzekeringsapplicaties. Op deze manier werd, op het moment van de studie, een penetratiegraad van 1,7% bereikt en er werd verwacht deze te kunnen verhogen tot 3% tegen 2009. Dergelijke penetratiegraad werd als voldoende geacht voor schattingen van de huidige segmentsnelheden. Dit wordt bevestigd bij een testcase in Rome waarbij de huidige snelheden geschat werden met een nauwkeurigheid van 90%. Vandaag de dag halen bedrijven als Google en TomTom aanzienlijk hogere penetratiegraden, waarover meer in Hoofdstuk 6.

Op basis van de schatting van de huidige snelheden, werden de korte termijn segmentsnelheden voorspeld aan de hand van twee modellen. Het eerste model zoekt patronen in vereenvoudigde categorische informatie, waarvan een voorbeeld gezien werd bij Altintasi et al. (2016). Het tweede model is gebaseerd op een neural network en kan grote hoeveelheden real-time FCD verwerken. Beide modellen kennen hun eigen toepassingsgebieden en presenteerden relatief goed. Het categorische model heeft een classificatiefout van 18,7%. Het Neural Network bereikte een RMSE<sup>8</sup> tussen de 2 km/u en 7 km/u bij het voorspellen van snelheden per 15 minuten. De output van het model werd gebruikt in een real-time Intelligent Transportation System (ITS) en werd waardevol bevonden (Fabritiis et al. 2008).

#### 4.3.3. Verkeersdichtheid van stedelijk wegennetwerk

Li et al. (2011) is een eerder experimenteel project waarbij FCD wordt gebruikt voor het in kaart brengen van verkeersdichtheden in een stedelijk netwerk op basis van *accessibility mapping*. Dit is een visuele tool die gebruikt wordt voor het ondersteunen van *smart growth planning*. Smart growth is erop gericht om bereikbaarheid na te streven, eerder dan de klassieke focus die meer op mobiliteit ligt. Concreet wordt de bereikbaarheid van enkele Point of Interests (POIs) gemeten in het stedelijk wegennet van Wuhan, China. De FCD wordt verzameld op basis van GPS-toestellen van ongeveer 11 000 aangesloten taxi-voertuigen.

De methodologie is zeer complex en zal niet verder besproken worden. Wel dient er opgemerkt te worden dat er geen stationaire data gebruikt worden, wat eerder ongebruikelijk is voor het

---

<sup>8</sup> Root-mean-square error: maatstaf prestatie datamodel

meten van verkeersdichtheden. Het netwerkaspect van de studie is dan weer wel typisch voor de FCD-technologie Naast de FCD is er nood aan gegevens over het wegennet en de POIs.

Figuur 4 en 5 geven de resultaten van de methode weer. Deze outputs brengen de moeilijk bereikbare plaatsen in de stad in kaart en kunnen gebruikt worden bij het bepalen van beleidskeuzes. Hierbij is het de bedoeling om het totale aantal afgelegde kilometers in een netwerk te verminderen en zo eventuele congestieproblemen aan te pakken. De resultaten waren over het algemeen positief. Echter waren er nog enkele performantieproblemen en onnauwkeurigheden omtrent het bepalen van de FCD-snelheden. Verder onderzoek zal deze moeten aanpakken (Li et al. 2011).

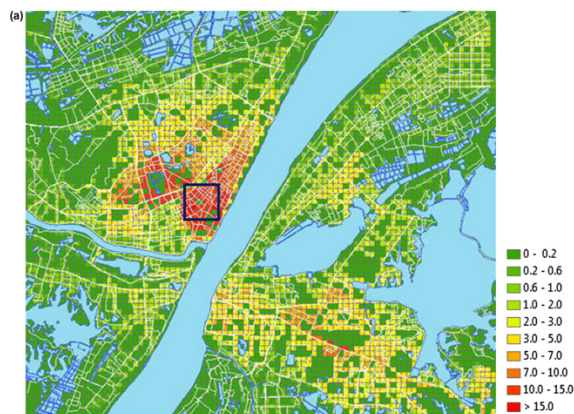
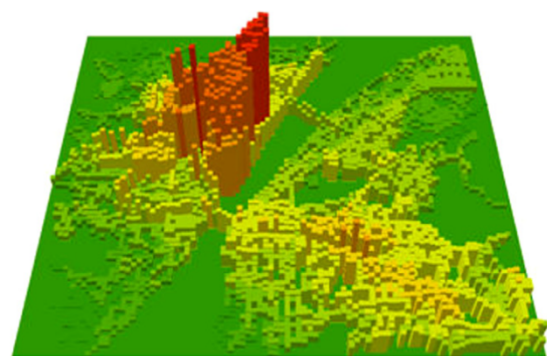


Fig. 7. The effects of time bandwidth (natural breaks) (a) search time bandwidth of 5 min, (b) search time bandwidth of 10 min and (c) search time bandwidth of 15 min.

Figuur 4: Output 1 Li et al. (2011)



(a) Weekday off peak hours

Figuur 5: Output 2 Li et al. (2011)

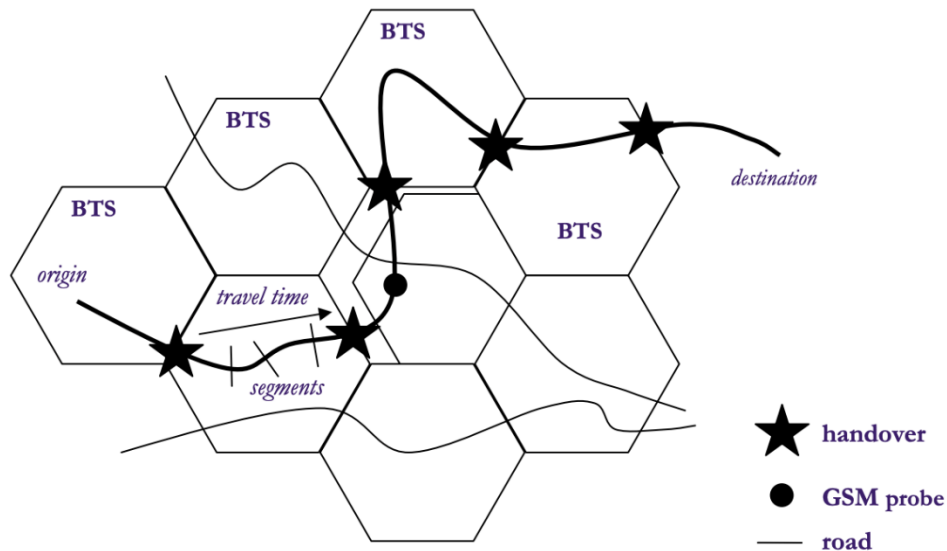
## 5. Additionele Databronnen

### 5.1. Cell Phone Tracking

Cell Phone Tracking Data is een vorm van probe data waarbij Mobiele GSM toestellen gebruikt worden om verkeersstromen in kaart te brengen (zie Tabel 2). Deze toestellen wisselen op frequente basisinformatie uit over hun positie met *Base Transceiver Stations* (BTS). Deze BTS zijn hexagonale cellen met als middelpunt een antennepaal en vormen samen een raster. Telkens wanneer een mobiel telefoontoestel een BTS verlaat, wordt zijn locatie bepaald. Deze gebeurtenis wordt een *handover event* (HO) genoemd. Op basis van deze informatie kan de reistijd binnen elke hexagonale cel berekend worden (Maerivoet, Logghe, 2007). Naast deze handovers verzamelen telefonie-operators locatie updates (LU) en call detail records (CDR)<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Gestructureerde en gestandaardiseerde informatie omtrent telefoongesprekken

(Cathy Wu et al., 2015). Een voorbeeld van Cell Phone Tracking is de Cellular Floating Vehicle Data (CFVD), Technologie van ITIS Holdings. In 2004 werd deze techniek reeds getest in Antwerpen door ze te vergelijken met verkeersslussen en GPS-probe data (Maerivoet, Logghe, 2007). In Hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 4: Illustratie Cell Phone Tracking (Bron: Cathy Wu et al., 2015)

## 5.2. Bluetooth verkeersdata

*Bluetooth* (BT) technologie is een stationaire technologie die op een kostefficiënte wijze wordt ingezet voor verkeersmonitoring in real-time. De technologie slaagt erin hoge sample rates aan te houden, maakt het mogelijk om de ruimtelijke dekking van klassieke meetmethoden te verbreden en wordt voornamelijk toegepast op snelwegen om reistijden te berekenen tussen specifieke locaties. De bluetoothsensors worden aangebracht op vaste locaties en leveren bijgevolg stationaire data op, net als bij de besproken In-Situ technologieën uit hoofdstuk 3. Een nadeel is dat er een zeer hoge performantie nodig is om deze data in real-time te verwerken en te gebruiken voor voorspellingen (Caresse et al., 2020). Dit resulteert in een hoge installatiekosten. Bovendien komen meetfouten en defecten frequent voor. *Drone Data* zouden hierop een antwoord kunnen bieden, al blijven toepassingen voorlopig eerder kleinschalig (Barmponakis, Geroliminis, 2020).

### 5.3. Drone data

Er groeit een steeds groter wordende verwachting om de mobiliteitsstromen te voorspellen en te controleren. Dit is vandaag de dag nog niet altijd mogelijk met de eerder besproken data-collectie technieken zoals gps-toestellen en stationaire sensors. Op vele locaties is de penetratiegraad te laag of is het bereik van de technologieën te beperkt. Ook significante meetfouten kunnen een probleem vormen om tot accurate voorspellingen te komen. Dit fenomeen doet zich voornamelijk voor in stedelijke gebieden waar veel congestie optreedt. In (Barmounakis et al., 2020) wordt onderzocht of *Unmanned Aerial Systems* (UAS) of drones hier een oplossing kunnen bieden. De technologie heeft enkele interessante karakteristieken, zoals de mogelijkheid tot real-time verwerking/communicatie. Bovendien bezit ze sterke capaciteiten voor het verzamelen van data en is er geen nood aan kostelijke satellieten. Anderzijds zijn er nog een reeks van obstakels die toepassingen op grote schaal voorlopig tegenhouden. De voornaamste zijn: privacy, veiligheid, verkeerswetgeving, batterijduur en ongunstige weerscondities (Barmounakis, Geroliminis, 2020).

### 5.4. Enquêtes

Bij het in kaart brengen van OD-matrices, wordt vaak gewerkt met enquêtes omtrent de mobiliteit van mensen in een bepaald gebied. Echter is gebleken dat op uitsluitende basis van deze enquêtes, het niet mogelijk is om accurate OD-matrices te bekomen aan de hand van realistische samplegroottes (Cools et al., 2010). Bovendien is het uitvoeren van dergelijke enquêtes zeer arbeidsintensief. Er is nood aan andere databronnen. Uit hoofdstuk 3 is reeds gebleken dat SDD hier een meerwaarde kan bieden.

In Pineda et al. (2015) gebruikt men gps-probe data afkomstig van de Metro in Santiago, Chili. Concreet worden er locatiegegevens geregistreerd wanneer passagiers zich in- en uitchecken. Op basis van deze gegevens werden OD-matrices geschat die vergeleken werden met OD-matrices op basis van enquêtes bij diezelfde passagiers. De resultaten tonen dat beide technieken sterk gelijkende resultaten genereren, al is het gebruik van de probe data, veel kostefficiënter. Anderzijds genereren enquêtes uitgebreidere informatie omtrent het doelpubliek. Er dienen bijgevolg steeds afwegingen gemaakt te worden.

## 5.5. Klimatologische data

De weerscondities oefenen invloed uit op het verkeer. Zo beïnvloeden ze onder andere de maximale capaciteit van wegen, de kans op verkeersincidenten en de ernst van verkeersincidenten etc. In het praktisch deel zal verder ingegaan worden op de impact op de wegcapaciteit (Henkens, Tamminga, 2015). Het inschatten van de kans op ongevallen is van groot belang voor het verhogen van de veiligheid in het verkeer. De invloed die het weer hierop heeft is reeds uitvoerig bestudeerd in de literatuur. Er zijn verschillende methodes ontwikkeld die de oorzaken van accidenten trachten te bepalen en deze te gebruiken voor het inschatten van de kans op nieuwe incidenten. Deze methodes maken gebruik van real-time klimatologische gegevens, real-time SDD en historische gegevens rond verkeersincidenten. Aangezien dergelijke studies en gegevens zeer context gebonden zijn, is er geen consensus terug te vinden omtrent dit onderwerp in de literatuur (Theofilatos, 2016).

In Theofilatos (2016) ontwikkelt men een methode die de kans op accidenten inschat op basis van klimatologische gegevens in combinatie met stationaire data. De methode werd getest in Athene, Griekenland in een stedelijke context en behaalde een teleurstellende AUC<sup>10</sup> van 0,56. Het model heeft een sterke correlatie tussen de variaties in de intensiteit, de kans op incidenten en de ernst van het incident weten bloot te leggen. De invloed van de klimatologische gegevens was eerder beperkt tot bijna onbestaande. Er wordt gespeculeerd dat bestuurders hun gedrag aanpassen bij slechte weerscondities. Echter moet gesteld worden dat Griekenland een zeer kenmerkend klimaat heeft en dat dergelijke conclusies niet geëxtrapoleerd kunnen worden naar andere contexten.

---

<sup>10</sup> Area Under Roc Curve: maatstaf prestatie datamodel

## 6. Private aanbieders verkeersdata en -diensten

In volgend hoofdstuk zullen twee grote verzamelaars en beheerders van verkeersdata besproken worden, TomTom en Google. Wat opvalt is de veelzijdigheid aan databronnen. Beide aanbieders verzamelen zelf FCD op basis van o.a. *crowdsourcing*<sup>11</sup> binnen hun zelfgecreëerde netwerken en ze gebruiken deze data vervolgens voor het aanbieden van verscheidene diensten. Daarnaast verzamelen ze extern ook SDD en additionele data zoals informatie over verkeersincidenten om tot een gevarieerde dataset te komen, die gebruikt wordt voor verscheidene diensten.

### TomTom

TomTom is één van de pioniers op het vlak van Floating Car Data. Het bedrijf heeft een marktaandeel van 80% van de real-time navigatie-dienstenmarkt in Europa en is in totaal in 81 landen actief. TomTom biedt meerdere diensten aan met betrekking tot verkeersinformatie, gebaseerd op een gevarieerde dataset (Cohn, 2020). Zo worden data verzameld van testvoertuige, gps-locaties van gepuikers, inputs van gebruikers, overheidsbronnen en SDD en dit zowel historisch als in real-time. Hun wereldwijde community bestaat uit meer dan 600 miljoen geconnecteerde toestellen, die dagelijks goed zijn voor 61 miljard gps-datapunten (Marchant, 2019). Op basis van de verzamelde data biedt het bedrijf volgende diensten aan: Historische verkeersstatistieken, *Origin Destination Analysis*<sup>12</sup>, real-time routeplanning en -monitoring en overzichten van verkeersincidenten (Cohn, 2020).

### Google

Google heeft een zeer uitgebreid netwerk aan databronnen. Zo koopt het bedrijf bijvoorbeeld geografische data op van derden via de tool Geo Data Upload, op voorwaarde dat ze door het verificatieproces geraken (About the Geo Data Upload, z.d.). Ook met overheden worden data uitgewisseld. Rio de Janeiro voorziet Waze bijvoorbeeld van real-time SDD, afkomstig van permanente sensors en camera's (Olson, 2014). Daarnaast is het één van de grootste dataverzamelaars ter wereld. Naar schatting zouden er in 2019 4 miljard gebruikers, wereldwijd gebruik hebben gemaakt van Google's diensten en toestellen (Georgiev, 2021). Van deze gebruikers worden, op verscheidene manieren, gegevens verzameld, waaronder

---

<sup>11</sup> Het halen van kennis of informatie bij grote groepen mensen (Cohn, 2020)..

<sup>12</sup> Komt overeen met de toepassingen uit paragrafen 5.4. en 3.3.3.



locatiegegevens. Er worden gegevens verzameld in de vorm van gps-signalen, de locaties van telefoonmasten en de locaties van wifi-toegangspunten (Google, 2010). Dergelijke gegevens worden verzameld en gebruikt door applicaties als Google Maps en Waze. Google Maps verzamelt bijvoorbeeld data over congesties en reistijden via crowdsourcing (Google 2009). Waze gaat hier nog een stuk verder in en verzamelt bovendien gebruikersdata over incidenten, interactie met advertenties, sociale data et cetera (Waze, 2020). Beide applicaties delen deze data ook (deels) met derden via verschillende interfaces als The Distance Matrix API (Google, z.d.) en Waze Transport SDK (Waze, z.d.).

Er kan worden samengevat dat Google FCD verzamelt van gebruikers van hun diensten via crowdsourcing, Stationaire data aankoopt van derden, waaronder overheden, en verder allerhande verkeersdata opkoopt van door hen geverifieerde aanbieders. Ze delen deze informatie vervolgens met derden via allerhande applicaties en interfaces.

## 7. Validatie en evaluatie verschillende technologieën

In voorgaande hoofdstukken werden verschillende technologieën, datatypes en hun eigenschappen besproken. Het is cruciaal om elke databron te valideren aan de hand van benchmarks of andere databronnen. Na deze evaluatie kunnen er, indien mogelijk, datafusietechnieken worden toegepast met het oog op concrete toepassingen die verder zullen besproken worden in Hoofdstuk 8. In dit hoofdstuk zullen twee cases besproken worden van projecten, die de eigenschappen van mobiele databronnen zullen trachten te evalueren en te valideren aan de hand van stationaire data. Tenzij anders vermeld is alle informatie gebaseerd op de werken die bij de cases horen.

### 7.1. Case 1: Validatie van reistijden gebaseerd op Cell Phone Tracking Technieken

In Maeirivoet, Logghe (2007) wordt getracht de *Cellular Floating Vehicle Data* (CFVD) technologie van ITIS Holdings te valideren voor de schatting van reistijden en verkeerscondities. Hiervoor gebruikte men data die verzameld werden via het eerder vermelde *Cell Phone Tracking*. Via deze techniek werden er, via gsm-toestellen, reistijden verzameld in het weggennet rond Antwerpen. De data werden voorzien door Proximus. De resultaten van de studie duiden aan dat de CFVD-technologie een goede performantie heeft op snelwegen. Bovendien is ze in staat om grote variaties in reistijden te meten op wegen met kruispunten. De technologie zou beter presteren dan klassieke, stationaire detectoren en ze is erin geslaagd om zowel snelwegen als grote regionale en stedelijke wegen in kaart te brengen.

#### Validatie Methodologie

Om de kwaliteit van het CFVD-systeem te bepalen werd de vergelijking gemaakt met onafhankelijke verkeersbronnen als GPS probe voertuigen en metingen afkomstig van inductieve lussen, die fungeerden als *ground truth*<sup>13</sup>. Volgende methoden werden gebruikt om gemiddelde reistijden te berekenen in intervallen van 5 minuten:

1. GPS-probe testritten: Voertuigen uitgerust met een GPS-systeem legden op geplande momenten het traject af en gaven daarbij elke seconde hun positie door, waaruit de

---

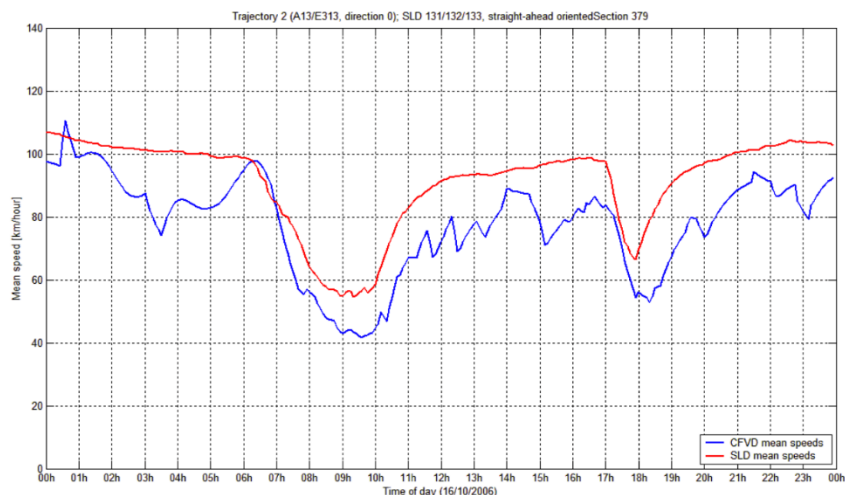
<sup>13</sup> Waarheid, werkelijke gegevens die overeenstemmen met de realiteit

reistijden afgeleid werden. Deze techniek wordt in Tabel 2 weergegeven als “Probe Vehicle Runs”.

2. Segmentsnelheden: Een schatting van de reistijd op basis van de snelheden, gemeten aan twee verkeerslussen. De reistijd wordt berekend als de inverse van de gemiddelde snelheid.
3. CFVD: De technologie berekent de reistijden op basis van Cell Phone Tracking.

De reistijden van de 3 meetmethoden worden vergeleken over verschillende trajecten. Er wordt nagegaan of er vanuit de grafieken aanwijzingen zijn van verschillen tussen de technologieën. De reistijden, afkomstig van de CFVD-technologie, komen over het algemeen zeer sterk overeen met die van de gps-probes. De reistijden van de verkeerslussen zijn ook gelijkaardig maar wijken duidelijk iets harder af.

Vervolgens worden de gemiddelde snelheden van de inductieve lussen vergeleken met de CFVD-snelheden (zie Figuur 5).



Figuur 5: Evolutie gemiddelde snelheid CFVD vs SLD (Bron: Maerivoet, Logghe, 2007)

Naast het feit dat de 2 databronnen sterk correleren, volgen hieruit twee observaties:

1. De inductieve lussen overschatten over het algemeen de gemiddelde snelheden, vermoedelijk doordat ze slechts op 2 punten meten. De CFVD geeft correctere gemiddelde snelheid per interval.
2. De CFVD geeft hogere fluctuaties. De meest waarschijnlijke oorzaak is dat de CFVD zijn berekeningen baseert op een sample van de populatie terwijl de verkeerslussen alle voertuigen meten.

## Conclusie

In het algemeen geven CFVD-metingen betrouwbare schattingen van gemiddelde snelheid. Anderzijds geven ze relatief grote fluctuaties op korte termijn, waardoor de mogelijkheden met ruwe data beperkt zijn. Tenslotte wordt aangeraden om bij real-time toepassingen, de CFVD-data te combineren met additionele databronnen, omwille van hun mogelijke ruis (Maerivoet, Logghe, 2007).

## 7.2. Case 2: Vergelijkende evaluatie snelheden SDD en FCD

In (Chase et al., 2012) worden puntsnelheden, gemeten met statische sensoren, vergeleken met segmentsnelheden, gebaseerd op FCD-technologie. Concreet werden data van Inrix vergeleken met die van concurrent Traffic.com. Inrix verzamelt data via 2 bronnen op basis van gps-probes afkomstig van 2 afzonderlijke bronnen, die het vervolgens zelf fuseert tot geaggregeerde snelheden per 5 minuten. Traffic.com baseert zijn data op een mix van microgolfradar-technologie en akoestische sensoren en aggregeert deze eveneens per 5 minuten. Het experiment speelt zich af op 5 locaties in de Triangle Region in de Amerikaanse staat North-Carolina. Beide databronnen werden vergeleken en dit gedurende 20 wekdagen. In dit onderdeel zal de gebruikte methodologie, de resultaten voor één specifieke locatie en een algemene conclusie besproken worden.

## Validatie Methodologie

### *Visuele Analyse*

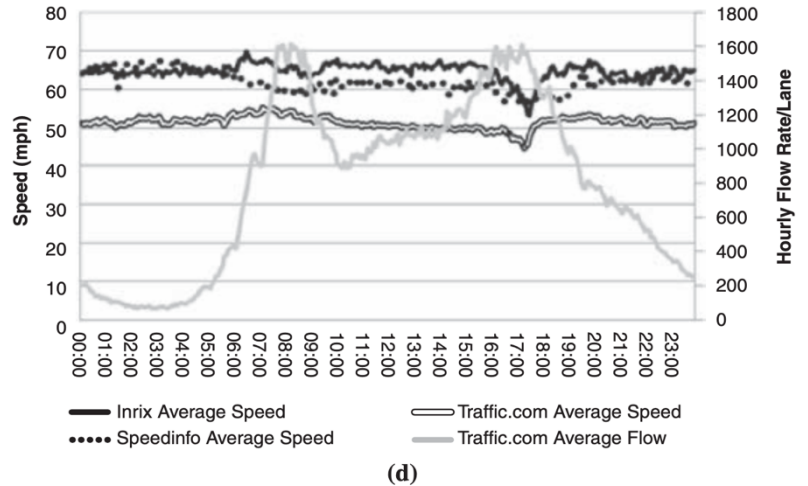
Er wordt eerst een visuele analyse uitgevoerd waarbij men volgende methodes gebruikt:

1. Snelheidsprofielen: Hierbij worden gemiddelde intensiteiten en snelheden uitgezet t.o.v. de tijd.
2. Gps-probe testritten (zie validatie methodologie)
3. Snelheid-Intensiteit Diagram: Geeft de relatie tussen de verkeerssnelheid en de verkeersintensiteit weer. Van hieruit kan de maximale capaciteit van een weg worden bepaald.

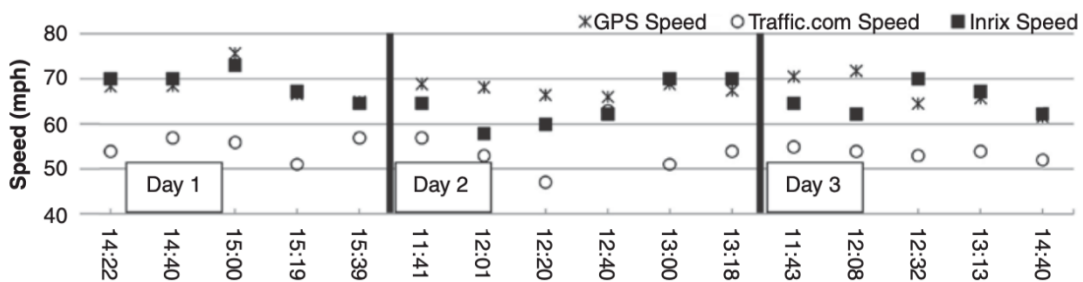
In Chase et al worden de resultaten van deze analyse voor elke locatie gevisualiseerd en besproken. In dit werk zal een dergelijke analyse samengevat worden, en dit voor één van de locaties. De locatie die zal bekeken worden is de westelijke richting van de Capital Boulevard. Het is een snelweg met 4 rijbanen met een snelheidslimiet van 65 mijl per uur. De lengte van

het Inrix segment is 0,42 mijl en de afstand van het begin van het traject tot aan de Traffic.com microgolf radar sensor bedraagt 0,15 mijl. Er zijn 5247 observaties voor deze locatie.

Figuur 6 toont het snelheidsprofiel van de Davis Drive in oostelijke richting. De grafiek geeft de gemiddelde snelheid weer over de 20 gemeten weekdagen in functie van de tijd. Er wordt een indicatie van systematische snelheidsverschillen opgemerkt: de gemiddelde snelheid van Inrix ligt namelijk beduidend lager dan die van Traffic.com. Voor deze locatie is ook nog een derde aanbieder weergegeven, genaamd Speedinfo. Aangezien deze deelneemt aan het experiment zal hierop verder niet worden ingegaan.



(d) *Figuur 6: Snelheidsprofiel Davis Drive (Bron: Chase et al., 2012)*

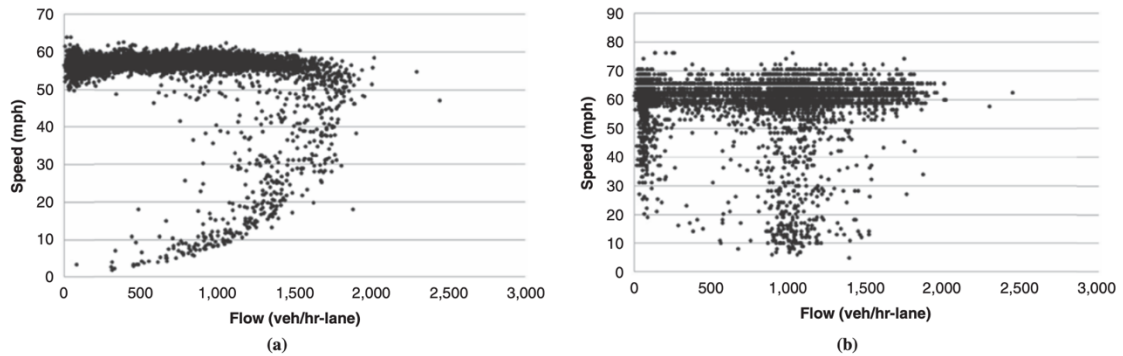


*Figuur 7: Vergelijking snelheden (Bron Chase et al., 2012)*

In Figuur 7 worden de gemiddelden van Inrix en Traffic.com vergeleken met de GPS-probe testritten die moeten dienen als *ground truth*. Er valt op te merken dat de Inrix snelheden zeer gelijkaardig zijn, terwijl de Traffic.com snelheden een pak lager liggen.

Figuur 8 geeft twee verschillende Snelheid-Intensiteit Diagrammen weer voor locatie Lake Boone Trail in westelijke richting. Deze locatie wordt specifiek aangeduid om een mogelijke fout in de Inrix snelheden weer te geven. Figuur 8a geeft de intensiteiten en snelheden van de observaties van Traffic.com weer, die de verwachte neusvorm vertoont (National Research Council, 2000). Figuur 8b toont de Traffic.com intensiteiten ten opzichte van de Inrix snelheden. De grafiek toont een cluster lage snelheden bij lage intensiteiten, wat ongebruikelijk is. Men

maakt hier de assumptie dat er grondige meetfouten opgetreden zijn bij Inrix. Bij de locatie Davis Drive manifesteren zich analoge resultaten, al zijn de snelheden daar systematisch lager. De reden voor deze inconsistentie zal duidelijk worden bij de analyse van de niet systematische verschillen.



Figuur 8: Snelheid/Intensiteit relatie (Speed/Flow) (Bron: Chase et al., 2012)

#### Analyse van systematische verschillen

Vervolgens wordt een analyse van systematische verschillen uitgevoerd, waarbij volgende maatstaven berekend worden:

1. De gemiddelde snelheidsverschillen
2. De standaardafwijking van de snelheidsverschillen
3. De absolute snelheidsverschillen

Uit de resultaten blijkt dat er in het algemeen geen duidelijke systematische verschillen worden gevonden tussen de 2 technologieën. De snelheidsverschillen zijn het grootst bij de Davis Drive in beide richtingen, weergegeven in Figuur 9, wat reeds bleek uit de visuele analyse. Er wordt gesuggereerd dat de populatie van probe-voertuigen hier aan de basis kan liggen. Op sommige locaties kan het voorkomen dat de sample niet representatief is voor het gehele verkeer. Zeven van de acht andere locaties hadden een gemiddeld snelheidsverschil onder de 5 mijl/uur.

Location	Mean Difference (mph)	Difference Standard Deviation (mph)	Mean Absolute Difference (mph)	Absolute Difference Standard Deviation (mph)	Number of Positive Deviations	Number of Negative Deviations	Number of Deviations +30 min in Duration	Duration of Longest Deviation (min)
Davis Drive EB	13.31	6.85	13.51	6.92	215	126	2	30
Davis Drive WB	11.51	4.24	11.61	3.95	200	196	2	40
Capital Boulevard EB	-3.13	4.54	4.06	3.72	154	341	2	35
Capital Boulevard WB	-8.84	5.18	8.95	4.99	109	275	2	35
Hammond Road EB	2.27	5.05	4.07	3.75	171	234	6	55
Hammond Road WB	-3.99	4.49	4.95	3.39	227	203	1	50
Harrison Avenue EB	0.72	6.61	4.30	5.07	91	275	9	60
Harrison Avenue WB	1.95	3.74	3.21	2.74	175	225	5	40
Lake Boone Trail EB	-0.69	5.54	3.95	3.95	170	270	6	90
Lake Boone Trail WB	4.53	6.03	6.06	4.49	98	280	4	40
Total	na	na	na	na	1,610	2,425	39	90

NOTE: na = not applicable.

Figuur 9: Analyse van snelheidsverschillen Inrix en Traffic.com (Bron: Chase et al, 2012)

### Analyse van niet systematische verschillen

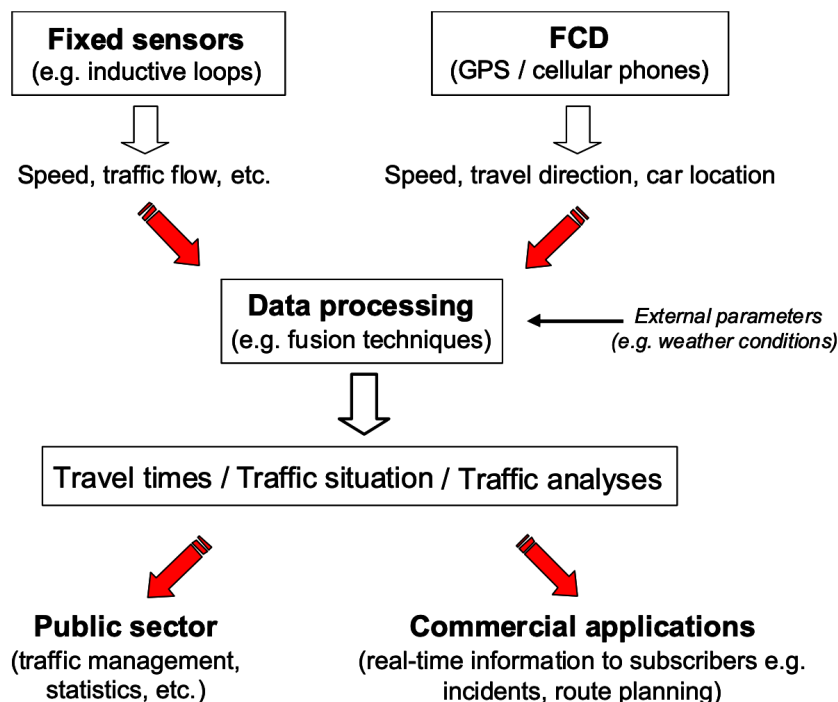
Tenslotte worden de niet systematische verschillen geanalyseerd, waarbij onderzocht wordt of er significante, continue afwijkingen vast te stellen zijn tussen de twee databronnen. Deze analysevorm is nodig om te bepalen of de databronnen al dan niet gecombineerd kunnen worden. Men doet dit door de verschillen te nemen van de snelheden, gemeten door de 2 verschillende technologieën. Verschillen die meer dan 1,5 standaardafwijkingen van het gemiddelde afwijken, worden onderzocht. Deze gevallen kunnen wijzen op meetfouten van bij Inrix, Traffic.com of beiden. Vervolgens gaat men kijken naar de verdeling van deze 'extreme' verschillen en dit voor alle locaties. Uit de resultaten blijkt dat het gros van de afwijkingen negatief was en dat er geen positieve afwijkingen waren boven de 5 minuten, terwijl er wel grote negatieve afwijkingen waar te nemen zijn (Figuur 9). Een negatieve afwijking betekent dat Inrix, dat werkt met FCD, een lagere snelheid aangaf dan Traffic.com. Wanneer er geen systematische verschillen zouden zijn, zouden de verschillen willekeurig verdeeld zijn. De p-waarde voor deze nulhypothese is miniem, wat wijst op de aanwezigheid van niet systematische verschillen. Deze verschillen worden verder onderzocht en men concludeert dat er aanwijzingen zijn dat er fouten zitten in de aggregatie van 1-min snelheden naar 5-min snelheden bij één van de twee databronnen van Inrix. Deze aggregatie gebeurt om de fusie te kunnen maken met Inrix' andere databron, waarvan enkel 5-min snelheden beschikbaar zijn.

## Conclusie

Bij het vergelijken van de statische Traffic.com snelheden, gebaseerd op In-Situ technologieën, met de probe-gebaseerde FCD van Inrix.com werden geen systematische verschillen gevonden. Na de Visuele analyse groeide het vermoeden van niet systematische verschillen, wat vervolgens bevestigd werd. Er wordt geconcludeerd dat data fusie af te raden is, vanwege deze niet-systematische verschillen tussen de twee databronnen. Er dient verder onderzocht te worden of de snelheden met niet systematische fouten geïdentificeerd, gefilterd of aangepast kunnen worden (Chase et al., 2012).

## 8. Databronnen combineren voor analytische doeleinden

Zoals reeds besproken is zowel SDD als FCD in staat om een volledig beeld van het verkeer te schetsen. Echter hebben beide datavormen en bijhorende technologieën hun voor- en nadelen en is het interessanter om ze te combineren. Op deze manier kan een meer gedetailleerde en accuratere schatting van de staat van het verkeer worden gemaakt en dit zowel op basis van historische data als in real-time. (Houbraken, Scheerlinck, 2015). Het vinden van een goed evenwicht is dus cruciaal (Chase et al., 2012). In dit hoofdstuk worden enkele concrete toepassingen besproken, waarbij FCD, SSD en mogelijke additionele databronnen worden gecombineerd.



Figuur 10: Schematisch voorstel gebruik verkeersdata (Bron: Leduc, 2008)

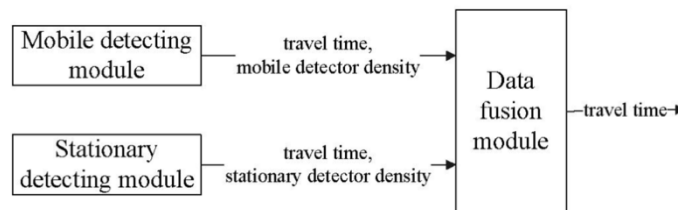


## 8.1. Literatuuroverzicht: Verkeersmodellen, Raamwerken en Data fusie technieken

### 8.1.1. Schatting reistijden

In de literatuur zijn tal van verkeersmodellen terug te vinden die aparte databronnen van verschillende aard combineren om bepaalde inzichten te verwerven. Vaak gaat het om een combinatie tussen data, afkomstig van één of meerdere types van stationaire sensors en een mobiele variant.

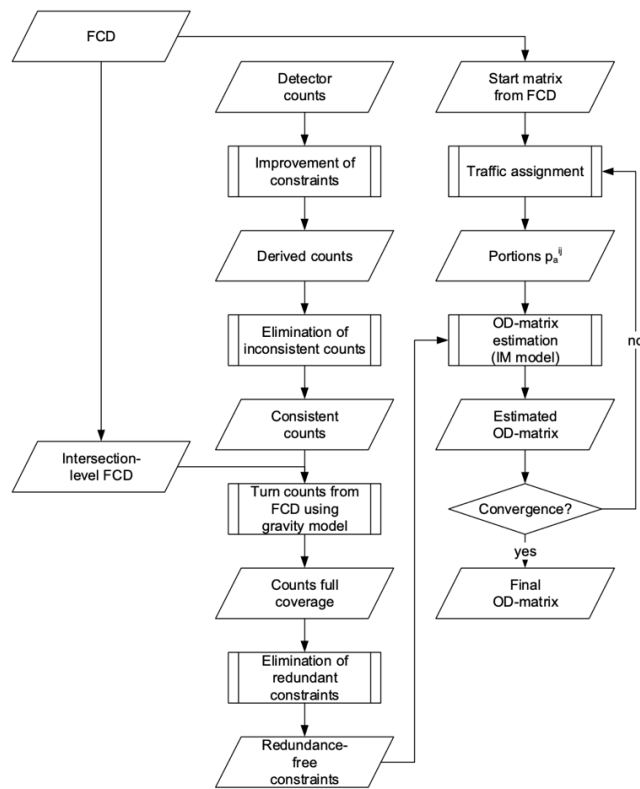
(Liang et al. 2006) beschrijft de ontwikkeling van een verkeersmodel dat FCD, afkomstig van ingebouwde GPS-systemen van taxi's, combineert met ingebouwde stationaire detectoren uit het wegennet (Figuur 11). De datafusie gebeurt aan de hand van een *BP neural network*, en zou erin slagen om de nauwkeurigheid van de geschatte reistijd te verhogen. Hiervoor gebruikt het de gemeten verkeersdichtheden en reistijden van beide databronnen. Het model werd gevalideerd op basis van een grote hoeveelheid data, gemeten in Guangzhou, China. Uit de resultaten bleek dat er een RMSE van 1,23 seconden behaald werd. Wat volgens de onderzoekers zeer nauwkeurig is.



Figuur 11: Raamwerk datafusie-model (Bron: Liang et al., 2006)

### 8.1.2. O-D matrices

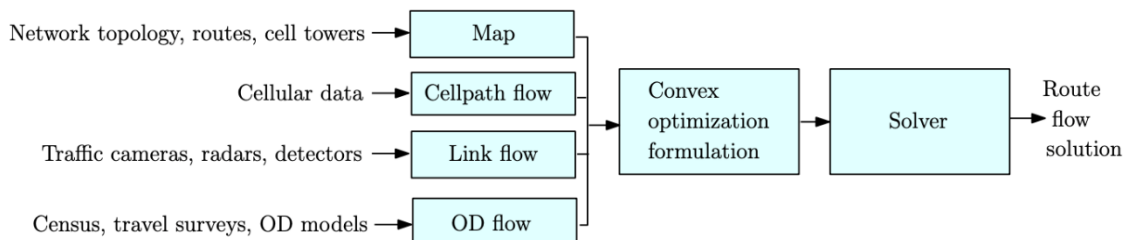
In (Vogt et al. 2018) schat men OD-matrices op basis van zowel SSD als FCD. Zoals reeds aangehaald, biedt men op deze manier een antwoord op het gebrek aan informatie over de structuur van de vraag naar vervoer bij modellen die zonder FCD werken, zoals bij (Cascetta et al., 2013) in Hoofdstuk 3. Men ontwikkelt een model, waarvan de structuur wordt weergegeven in Figuur 12. Het model behaalde een Pearson-Correlatie van 96% met de gesimuleerde ground truth matrix, bij een FCD-penetratiegraad van 5%. En dit terwijl deze zonder FCD slechts 67% bedraagt (Vogt et al. 2018). Bovendien bleek uit hoofdstuk 6, dat de huidige FCD-penetratiegraad van FCD-aanbieders in de meeste gebieden hoger is.



Figuur 12: Flow Chart Verkeersmodel Vogt et al. (2018)

### 8.1.3. Voorspellen intensiteiten

(Cathy Wu et al., 2015) beschrijft een convex optimalisatieraamwerk, gebaseerd op data van stationaire meetpunten, geografische data, data van het mobiele telefoonnetwerk, enquêtes, en resultaten van andere verkeersmodellen. Het raamwerk schat vervolgens de intensiteiten van geselecteerde routes. Men valideert het raamwerk met data van 1033 verkeessensors en 1000 zendmasten, die een groot netwerk met meer dan 20000 links dekken in de buurt van Los Angeles. Er werd een nauwkeurigheid van 90% behaald op de geschatte intensiteiten.



Figuur 13: Raamwerk verkeersmodel Cathy Wu et al. (2015)

#### 8.1.4. Real-time verkeerstoestand

In (Houbraken, Scheerlinck 2015) beschrijft men een datafusie-algorithme dat SDD en FCD combineert voor het real-time monitoren van het verkeer. Deze informatie is bedoeld als input voor Intelligent Transportation Systems (ITS). Uit de resultaten blijkt dat het algorithme erin slaagt om de tekortkomingen van elke databron te verminderen en bovendien de bias van beide bronnen te verwijderen. Met werkte met FCD van BeMobile<sup>14</sup> met een geschatte penetratiegraad van 3%.

<i>Werk</i>	<i>Datacategorieën</i> <i>Input</i>	<i>Output</i>	<i>Evaluatie</i>
<i>Liang et al. 2006</i>	2	Reistijd	RMSE = 1,23 seconden
<i>Vogt et al., 2018</i>	2	OD-Matrix	$r_{xy} = 90-96\%$ <sup>15</sup>
<i>Cathy Wu et al., 2015</i>	4	Intensiteit van een route	Nauwkeurigheid = 90%
<i>Houbraken, Scheerlinck, 2015</i>	2	Real-time verkeerstoestand	Schatting verkeerstoestand ↑

Tabel 3: Overzicht literatuur

<sup>14</sup> Belgische verkeersdatabedrijf

<sup>15</sup> Person-Correlatie met ground truth bij FCD-penetratiegraad van 2% tot 7%.

## 9. Conclusie

Er is een hele reeks aan databronnen en typen aan bod gekomen, met elk hun eigen voor en nadelen. De stationaire tellingen zijn accuraat en gedetailleerd, al zijn ze eveneens duur en hebben ze een beperkt bereik. Dit maakt dat ze niet ideaal zijn voor het in kaart brengen van stedelijke gebieden. Floating Car Data heeft op zijn beurt een groot bereik en is kostefficiënter, maar mist details en nauwkeurigheid bij enkele toepassingen. Door zijn gedistribueerde aard is de techniek in staat om op kostefficiënte wijze het hele wegennet in staat te brengen. Bovendien gebeurt de verwerking vaak in real time wat het een interessante databron maakt voor het in kaart brengen actuele reistijden, congesties, etc.

Deze complementaire eigenschappen maken dat de combinatie van deze databronnen kan leiden tot meer efficiëntie en nieuwe inzichten. Er zijn specifieke situaties waarin één van beide databronnen volstaat om tot de juiste inzichten te komen, al zijn deze eerder beperkt en is er vaak nood aan grote hoeveelheden realtime data. Zoals werd aangetoond in Hoofdstuk 10 is er binnen de literatuur veel aandacht voor de combinatie tussen beide technologieën. Deze methodes bestaan meestal uit fusietechnieken en verkeersmodellen en zijn in staat grote hoeveelheden data te verwerken.

Daarnaast zijn er nog alternatieve datavormen afkomstig van bluetooth readers, enquêtes, drones en klimatologische gegevens. Echter hebben deze databronnen vaak slechts aanvullende toepassingen. Tenslotte kan Cell Phone Tracking gezien worden als een alternatief voor FCD al is deze technologie over het algemeen eerder voorbijgestreefd.

# Praktische toepassing: Stedelijke wegcapaciteit a.d.h.v. FCD en SDD

Lukas Geluykens

Promotor **dr. Gilles Oorts**

Bedrijfsbegeleider **Jeroen Van Houtte** | **Franziska Kupfer**

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van  
Master in de Handelsingenieur in de Beleidsinformatica

Faculteit Bedrijfswetenschappen en Economie | Antwerpen, academiejaar 2021 - 2022



**Universiteit  
Antwerpen**



## 1. Inleiding

Dit praktisch deel verloopt in nauwe samenwerking met de Vervoerregio en vertrekt eveneens vanuit de algemene probleemstelling van dit werk. Samengevat zal er getracht worden een antwoord te bieden op de tekortkomingen en beperkingen van kortlopende verkeerstellingen. Concreet wordt het de bedoeling om een methode te ontwikkelen om deze tellingen te evalueren en te combineren met de beschikbare Floating Car Data (FCD) en eventuele klimatologische gegevens.

Deze methode zal ontwikkeld worden in Matlab, een technische softwareomgeving, uitgegeven door The Mathworks. Tijdens het proces werd er regelmatig overlegd met twee werknemers van Vervoerregio Antwerpen, namelijk Jeroen Van Houtte en Franziska Kupfer. Daarnaast hebben er gesprekken plaatsgevonden met een werknemer van Localyse en was er communicatie met een werknemer van het Vlaams Agentschap van Wegen en Verkeer<sup>16</sup>. Na de beschikbare data een eerste keer te hebben doorgenomen en enkele afstemmende gesprekken te hebben gehouden werd er geopteerd een methode te ontwikkelen, die enerzijds de wegcapaciteit en anderzijds de representativiteit van de meetperiode in kaart brengt.

Om de theorie rond deze capaciteit beter te begrijpen, zal eerst de theorie en literatuur omtrent dit begrip in kaart worden gebracht. Deze theoretische onderbouwing berust voornamelijk op de concepten en definities van volgende drie toonaangevende werken: Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (Heikoop, 2015), The Highway Capacity Manual (National Research Council, 2000) en Handboek Ontwerp Verkeerslichten (Casters, 2020). Vervolgens wordt de methode beschreven en gelinkt aan de theorie, om deze toe te passen op een reële case in het Centrum van Zwijndrecht. Vanuit de output van deze methode zal er getracht worden een concreet antwoord te bieden op de twee opgestelde onderzoeksvragen, waarover meer in onderstaande paragraaf. De Matlab code is beschikbaar in verschillende vormen en kan verkregen worden via de QR-code aan het einde van dit werk.

---

<sup>16</sup> Beheerder van autosnelwegen en gewestwegen in Vlaanderen ([www.wegenenverkeer.be](http://www.wegenenverkeer.be))

## 2. Onderzoeksvragen

Het doel van dit praktisch deel is tweezijdig. Enerzijds is het voor de Vervoerregio interessant om de representativiteit van de kortlopende verkeerstellingen te kunnen inschatten. Anderzijds is het de bedoeling om te komen tot concrete nieuwe conclusies en inzichten, die niet uitsluitend op basis van de verkeerstellingen konden getrokken worden. Concreet zal getracht worden om de maximale capaciteit van een traject in kaart te brengen op basis van de beschikbare data van de Vervoerregio.

- Kan de representativiteit van de tijdelijke verkeerstellingen ingeschat worden met behulp van FCD en/of eventuele externe data?
- Kan er een methode worden ontwikkeld die de capaciteit van het traject berekent op basis van tijdelijke verkeerstellingen en Floating Car Data?

## 3. Verkeerscapaciteit: Theoretische onderbouwing

De (vrije) wegcapaciteit wordt in de *Highway Capacity Manual* (2000) beschreven als: “De maximale duurzame intensiteit waarmee redelijkerwijs kan worden verwacht dat voertuigen of personen een punt of uniform segment van een rijstrook of rijbaan doorkruisen gedurende een bepaalde tijdsperiode, onder bepaalde rijweg-, geometrische, verkeers-, omgevings- en controlecondities; meestal uitgedrukt als voertuigen per uur, personenauto's per uur of personen per uur (National Research Council, 2000)”.

Uit de definitie blijkt dat de capaciteit afhankelijk is van verschillende factoren. Voorbeelden zijn het type weg, wegkenmerken (eg. Rijstrookbreedte, bochtigheid), voertuigsamenstellingen, het soort verkeer, lichtcondities en weerscondities. Hieruit blijkt dat er nood is aan het inschatten van deze condities om de representativiteit van de meetperiode in te schatten, wat ons meteen brengt bij de eerste onderzoeksvraag en het bijhorende deel van de visuele analyse.

Wanneer de capaciteit overschreden wordt, ontstaat er congestie totdat de verkeersintensiteiten onder een bepaalde drempelwaarde zakken en er opnieuw vlot verkeer ontstaat. Deze drempelwaarde wordt de afrijcapaciteit genoemd en ligt gemiddeld 10-15% lager dan de vrije capaciteit (Henkens, Tamminga, 2015).

Volgens Henkens, Tamminga (2015) zijn er 3 methoden om de capaciteitswaarden te bepalen: Op basis van een kader (theoretische capaciteit), op basis van simulaties van een verkeersmodel en op basis van meetgegevens. In dit werk zullen de eerste twee aan bod komen. Er werd geen geschikt verkeersmodel gevonden.



### 3.1. Theoretische wegcapaciteit: Op basis van een kader/richtlijnen

Er zijn verschillende referentiewerken waar men schattingen en richtlijnen van de wegcapaciteit bespreekt voor verschillende situaties. Zo zijn er de reeds besproken *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen* door de Rijkswaterstaat in Nederland en de *Highway Capacity Manual* van de National Academies of Science uit de Verenigde Staten. Uit beide werken zullen enkele richtlijnen en methoden gehanteerd worden die verband houden met dit werk. Er dient opgemerkt te worden dat beide werken in een andere context zijn opgesteld dan het onderzoeksgebied van dit werk. Dit maakt dat de richtlijnen steeds kritisch bekeken, en in context geplaatst dienen te worden. Ten derde, wordt er gebruikgemaakt *Handboek Ontwerp verkeerslichten* (2020) van het Belgische Agentschap van Wegen en Verkeer. Dit handboek is rechtstreeks betrokken in het onderzoeksgebied van dit werk.

#### 3.1.1. Capaciteit (voor)stedelijke wegen

De scope van deze thesis behelst vooral voorstedelijke gebieden en enkele landelijke en industriële wegen. De omstandigheden op dergelijke wegen kunnen sterk variëren, en factoren als stoepranden, bushaltes, rijstrookbreedtes, kruispunten en andere factoren kunnen de waargenomen volumes aanzienlijk beïnvloeden. Hierdoor is de *Highway Capacity Manual* (2000) voorzichtig met het creëren van richtlijnen en methodes voor dergelijke gebieden. De capaciteit van deze wegen wordt meestal bepaald door onderbrekingen zoals kruispunten en verkeerslichten. Capaciteitsberekeningen op deze wegen zullen sterk afhankelijk zijn van de timing van verkeerslichten. We zullen in dit werk daarom inzoomen op de capaciteit van dergelijke verkeerssituaties, aangezien ze op vele stedelijke trajecten de bottlenecks uitmaken. Verder in het werk worden enkele maximale capaciteiten weergegeven voor enkele specifieke, stedelijke en voorstedelijke wegen. Aangezien deze wegen sterk verschillen van het toepassingsgebied van dit werk zullen deze verder niet gebruikt worden (National Research Council, 2000).

#### 3.1.2. Capaciteit kruispunt met verkeerslicht

In de *Highway Capacity Manual* (2000) wordt een methodologie uitgewerkt om de capaciteit te berekenen van een kruispunt met verkeerslichten. Op basis van de gegevens uit onderstaande figuur is de methodologie in staat om de capaciteit van elke rijstrook van een kruispunt in te schatten. Zoals opgemerkt kan worden, is de lijst aan inputparameters zeer uitgebreid en bovendien zijn deze gegevens zeker niet steeds voorhanden. Deze methode is dus niet

uitsluitend theoretisch te noemen. Het zal in dit werk dus niet nodig zijn om deze methode toe te passen, al geven de inputparameters wel een goede indicatie van de complexiteit van het probleem weer.

EXHIBIT 16-3. INPUT DATA NEEDS FOR EACH ANALYSIS LANE GROUP

Type of Condition	Parameter
Geometric conditions	Area type Number of lanes, N Average lane width, W (m) Grade, G (%) Existence of exclusive LT or RT lanes Length of storage bay, LT or RT lane, $L_s$ (m) Parking
Traffic conditions	Demand volume by movement, V (veh/h) Base saturation flow rate, $s_0$ (pc/h/ln) Peak-hour factor, PHF Percent heavy vehicles, HV (%) Approach pedestrian flow rate, $v_{ped}$ (p/h) Local buses stopping at intersection, $N_B$ (buses/h) Parking activity, $N_m$ (maneuvers/h) Arrival type, AT Proportion of vehicles arriving on green, P Approach speed, $S_A$ (km/h)
Signalization conditions	Cycle length, C (s) Green time, G (s) Yellow-plus-all-red change-and-clearance interval (intergreen), Y (s) Actuated or pretimed operation Pedestrian push-button Minimum pedestrian green, $G_p$ (s) Phase plan Analysis period, T (h)

Figuur 14: Nodige gegevens om de wegcapaciteit theoretisch te berekenen

Het Agentschap van Wegen en Verkeer, dat verantwoordelijk is voor de verkeerslichtenregelingen in het onderzoeksgebied van dit werk, gebruikt zelf een eenvoudigere methode om de capaciteit van een kruispunt met verkeerslichten te meten. Verkeerslichtenregelingen zijn vandaag de dag vaak fluctuerend op basis van de verkeerssituatie, waardoor de wegcapaciteit zich niet laat schatten in één concreet getal. Bijgevolg schat men een minimum en een maximumwaarde van de capaciteit van een specifieke rijstrook aan een kruispunt met verkeerslicht.

Men gebruikt hiervoor onderstaande formules:

$$\min(\text{Capaciteit}) = \text{Verzadigingsintensiteit} \left( \frac{\text{pae}}{u} \right) * \frac{\text{Groentijd (s)}}{\text{Maximale cyclustijd (s)}}$$

$$\max(\text{Capaciteit}) = \text{Verzadigingsintensiteit} \left( \frac{\text{pae}}{u} \right) * \frac{\text{Groentijd (s)}}{\text{Minimale cyclustijd (s)}}$$

De Verzadigingsintensiteit wordt gedefinieerd als “de maximale verkeersintensiteit die een bepaalde rijstrook kan verwerken, wanneer de weggebruikers op continue wijze zouden aankomen én als de duur van het groen licht één uur is” (Casters, 2020). Voor de verzadigingsintensiteit gebruikt men enkele standaardwaarden, afkomstig van een proefproject van het Britse *Transport and Road Research Laboratory* (T.R.R.L.). Onderstaande tabel geeft deze weer. Alle waarden worden uitgedrukt in (pae/u).

<i>Verkeerssituatie</i>	<i>Pae/uur</i>
<i>Rijstrook rechtdoor</i>	<b>1800</b>
<i>Helling of groot aandeel zwaar vervoer</i>	1750
<i>Dubbele rijstrook rechtdoor</i>	<b>3500 - 3600</b>
<i>Exclusieve rechtsafstrook of linksafstrook</i>	<b>1650</b>
<i>Kleine bocht</i>	1550 - 1600
<i>Ruime bocht</i>	1700 - 1750
<i>Gedeeld rechtdoor en rechtsaf</i>	<b>1800</b>
<i>Groot aandeel verkeer (30-50%) dat afslaat</i>	1650
<i>Dubbele links- of rechtsafstroken</i>	<b>2800 - 3000</b>

Tabel 4: Verzadigingsintensiteiten (Bron: Agentschap van Wegen en Verkeer)

Er dient opgemerkt te worden dat dit een sterk vereenvoudigde formule is. Er staan in het werk nog enkele richtlijnen omtrent de invloed van factoren zoals de verkeerssamenstelling, het langspoor<sup>17</sup>, links- en rechts afslaande voertuigen, de zichtbaarheid en de overzichtelijkheid van het kruispunt. Bij gebrek aan deze informatie zal er in dit werk gebruikt gemaakt worden van de vereenvoudigde formule. Al wordt er wel rekening gehouden met de samenstelling van het verkeer (zie paragraaf 5.6.2.2.). Deze methode zal in hoofdstuk 5.3. gebruikt worden voor het schatten van de theoretische capaciteit van specifieke verkeerslichten in de case studie van dit werk.

Tot slot dient het effect van een *Toeritdoseerinstallatie* of TDI worden vermeld. Een TDI is een verkeerslicht dat de verkeersstroom beperkt voor een specifieke weg in lijn met diens capaciteit. Op deze manier kan de capaciteit van de weg in kwestie tot 5% verhoogd worden (Henkens, Tamminga, 2015).

<b>situatie</b>	<b>reductiefactor</b>	<b>opmerkingen</b>
toerit zonder toeritdoseerinstallatie	1,00	
toerit met toeritdoseerinstallatie	1,00 - 1,05	toename capaciteit

*Figuur 15: Reductiefactor TDI (Bron: Henkens, Tamminga, 2015)*

### 3.1.3. Afwijkende omstandigheden

In (Henkens, Tamminga, 2015) worden afwijkende omstandigheden gedefinieerd en er wordt beschreven welke invloed ze hebben op de capaciteit. Deze factoren worden opgedeeld in volgende categorieën: infrastructurele factoren, omgevingsfactoren, verkeersfactoren, verkeersmanagement factoren, ontwikkelingen in-car systemen en IT, en tot slot incidentele factoren. Figuur 16 en Figuur 17 geven de reductiefactoren voor regen en voor de lichtcondities (omgevingsfactoren). Figuur 18 geeft de reductiefactoren voor een verandering in het percentage vrachtverkeer (verkeersfactor) bij een pae factor van 2,0.

---

<sup>17</sup> Verticale doorsnede van de weg

situatie	reductiefactor
daglicht	1,00
wegverlichting	0,97
duisternis	0,95

Figuur 16: Invloed belichting op wegcapaciteit (Bron Henkens, Tamminga, 2015)

situatie	reductiefactor
droog	1,00
lichte tot matige regen	0,95
zware regen	0,90

Figuur 17: Invloed neerslag op wegcapaciteit (Bron Henkens, Tamminga, 2015)

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 2,0)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77
5 %	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81
10 %	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85
15 %	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88
20 %	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92
25 %	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96
30 %	1,30	1,24	1,18	1,13	1,08	1,04	1,00

Figuur 16: Invloed vrachtverkeer op de capaciteit (Bron Henkens, Tamminga, 2015)

Bij de praktische methode zal getracht worden een inschatting te maken van de regenval en het percentage vrachtverkeer tijdens de onderzoeksperiode.

### 3.2. Praktische max capaciteit: Op basis van meetgegevens

Volgens Henkens, Tamminga (2015) dienen enkel capaciteitsmetingen uitgevoerd te worden indien de omstandigheden sterk afwijken ten opzichte van het kader dat ze schetsen in het handboek en er geen simulaties mogelijk zijn. Aangezien de verkeerstellingen en FCD reeds aanwezig zijn, houdt het zeker steek deze te gebruiken. Echter, het zal op vele locaties economisch niet interessant genoeg zijn, om deze tellingen specifiek uit te voeren voor het berekenen van de maximumcapaciteit. In dit onderdeel zal een methode aangereikt worden die de maximumcapaciteit berekent, uitgaande van de beschikbare historische data bij de Vervoerregio. Er dient bijgevolg rekening gehouden te worden met de bestaande meetlocaties en periodes.

Algemeen wordt het 'voortbewegen van motorvoertuigen in een verkeersruimte' ondergebracht onder de term verkeersafwikkeling. Deze verkeersafwikkeling kan worden beschreven aan de hand van 3 variabelen.

Tenzij anders vermeld, zijn de definities afkomstig uit (Henkens, Tamminga, 2015):

- De verkeersintensiteit of het verkeersvolume is de daadwerkelijke prestatie (National Research Council, 2000). Het is het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert.
- Snelheid: De gemiddelde snelheid van alle motorvoertuigen op een stuk weg, weergegeven in kilometer per uur.
- Dichtheid: Het aantal motorvoertuigen dat zich per eenheid van lengte op een stuk weg bevindt.

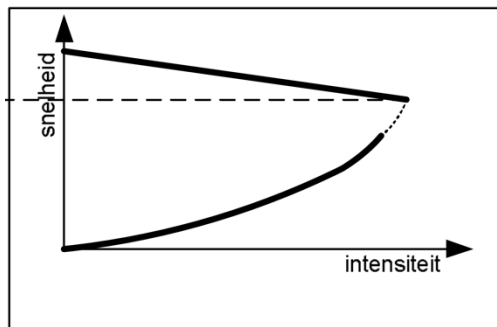
Dergelijke 3 variabelen zijn interessant voor het bepalen van de Maximumcapaciteit. Echter is het niet steeds noodzakelijk alle drie variabelen te kennen. Zo zijn de verkeersdichtheden vaak moeilijk te bepalen op basis van de beschikbare data van de Vervoerregio. Dergelijke dichtheden kunnen meestal slechts over een kort wegsegment worden bepaald bij gebrek aan meetpunten. Er wordt bijgevolg de keuze gemaakt om deze wegcapaciteit te berekenen aan de hand van de intensiteiten en snelheden.

De verkeersintensiteiten kunnen bepaald worden aan de hand van stationaire tellingen of verkeersmodellen (Henkens, Tamminga, 2015). Bij gebrek aan verkeersdata, afkomstig van verkeersmodellen in het Waasland en aangezien de Vervoerregio zelf Stationaire Data ter beschikking heeft, was het een logische keuze om deze laatste te benutten. Bovendien zijn, zoals reeds bleek uit bijhorende literatuurstudie, de traditionele in-situ technieken geschikt en zeer accuraat bij het meten van aantallen.

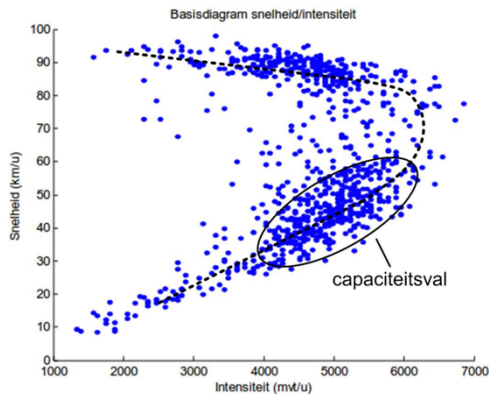
Echter voor de snelheid is er nood aan gemiddelde snelheden over een stuk weg, ook wel segmentsnelheden genoemd. Deze zijn minder relevant om te meten met stationaire tellingen en dit werd tot op heden ook nog niet gedaan door de Vervoerregio. Voor het berekenen van dergelijke snelheden zal er bijgevolg FCD gebruikt worden. Zoals ook bleek uit de literatuurstudie, is FCD een zeer geschikte databron voor het berekenen van reistijden en snelheden binnen een bepaald traject. Het zal de opgave zijn om beide databronnen op de juiste manier met elkaar te fuseren.

### 3.2.1.1. Snelheid-Intensiteitsverhouding

Theoretisch kan dergelijke verhouding worden voorgesteld als in Figuur 19. De grafiek kan worden opgedeeld in 2 delen: De vrije doorstroom en congestie (of file). De scheiding tussen deze twee delen is weergegeven door de stippellijn en wordt bepaald door de wegcapaciteit. Dit laat zich meten als de maximale intensiteit. In de praktijk wordt, zoals wordt weergegeven door Figuur 20 en reeds werd gezien bij hoofdstuk 7 in het literair deel van dit werk.



Figuur 18: Relatie intensiteit / snelheid (Bron: Henkens, Tamminga, 2015)



Figuur 18: Voorbeeld relatie Intensiteit / Snelheid (Bron: Henkens, Tamminga, 2015)

Op beide figuren is te zien dat, wanneer de maximale capaciteit overschreden wordt, de intensiteit weer afneemt en de snelheid daalt. Dit fenomeen wordt ook wel de capaciteitsval genoemd en geeft congestie weer. De puntenwolk wordt bekomen door de individuele snelheden uit te zetten ten opzichte van de intensiteiten per uur.

Belangrijk is om op te merken dat, wanneer men aggregereert over kortere perioden zoals bijvoorbeeld (1 min) dat de capaciteit hoger zal liggen dan wanneer men meet over langere perioden (15 min). In Capaciteitswaarden Infrastructuur Autowegen (2015) gebruikt men meestal een aggregatieperiode van 5 min. In dit werk zal er voornamelijk gewerkt worden met aggregatieperioden van 15 minuten, aangezien de Vervoerregio doorgaans FCD ophaalt in kwartierwaarden. Het zou in principe ook mogelijk zijn om kortere periodes op te halen, hoewel dat de aankoopkost van de data aanzienlijk zou verhogen.

## 4. Methode

### 4.1. Opzet en Business Value

Het opzet van deze methode zal zijn om de maximumcapaciteit van een weg te berekenen en de representativiteit van de meetperiode van de tellingen in te schatten.

Het kennen van de maximumcapaciteit kan belangrijk zijn om te beslissen over eventuele beleidskeuzes. Wanneer de capaciteit van een weg vaak overschreden wordt, kan het nodig zijn om de verkeersstroom te beperken door bijvoorbeeld een (extra) verkeerslicht te plaatsen. Er wordt wel benadrukt dat de berekende capaciteit steeds in de context geplaatst dient te worden. Zoals reeds aangehaald is de capaciteit afhankelijk van veel factoren die op elke locatie anders zijn.

De representativiteit van de meetperiode van de stationaire tellingen is eveneens van belang. De gemeten aantallen kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om het aantal parkeerplaatsen te bepalen van een nabijgelegen parking of om de relevantie in te schatten voor het al dan niet vestigen van een tankstation. Hiervoor is het belangrijk te weten of de verkeersdrukte representatief was in de gemeten periode.

### 4.2. Databeschrijving

In dit stuk zullen de twee vermelde databronnen besproken worden. De Vervoerregio bevestigde dat de vorm van beide databronnen stabiel is. Concreet betekent dit dat elke datatabel dezelfde variabelen bevat. Bij de stationaire tellingen zijn echter niet steeds alle variabelen uit de tabel gekend. Er zal in deze methode enkel gewerkt worden met variabelen die gemeten worden door elke stationaire technologie. Dit impliceert dat de methode in staat moet zijn om alle data uit de beschreven omgeving, die tot op heden beschikbaar zijn, te analyseren. Zolang de vorm niet wijzigt, zal dit ook het geval zijn voor toekomstige metingen.

#### 4.2.1. Verkeerstellingen

De stationaire data die gebruikt worden binnen dit werk zijn afkomstig van kortlopende verkeerstellingen. Dergelijke tellingen gebeuren meestal jaarlijks op enkele plaatsen in het secundaire wegennet<sup>18</sup> met pneumatische lussen. Dergelijke data zijn binnen de Vervoerregio beschikbaar in de vorm van individuele metingen per voertuig of geaggregeerde kwartierwaarden. Voor deze methode zal er gewerkt worden met individuele metingen. De

---

<sup>18</sup> Alle wegen behalve de snelwegen



vorm van deze data is volgens de Vervoerregio stabiel en bestaat uit een tabel met volgende variabelen.

<i>Variabelen</i>	<i>Beschrijving</i>
<i>Nr</i>	Identificer van de individuele waarneming. Vertrekt bij elke meting vanaf 1.
<i>Datum</i>	dd/mm/yyyy
<i>Tijdstip</i>	hh/mm/ss,sss
<i>Hoofdtype</i>	Zwaar (vrachtverkeer) , Medium (vrachtverkeer), Licht (personenauto's en motoren)
<i>Subtype</i>	Verschillende types op basis van de afstand tussen de assen.
<i>Snelheid_km_h_</i>	Nauwkeurig tot op 0,1 km/u.
<i>Lente_m_</i>	Leeg
<i>Richting</i>	Hoofdrichting of niet
<i>TijdsduurOpSensor_s_</i>	Nauwkeurig tot op 0,001 seconde.
<i>Volgtijd_s_</i>	Nauwkeurig tot op 0,001 seconde.
<i>Volgafstand_m_</i>	Nauwkeurig tot op 0,1 meter.
<i>TijdTovLaatsteTegenligger</i>	Leeg
<i>AfstandTovLaatsteTegenligger</i>	Leeg

Tabel 5: Variabelen SDD

Binnen deze methode zal er gewerkt worden met volgende variabelen: *Nr*, *Datum*, *Tijdstip*, *Hoofdtype* en *Snelheid\_km\_h\_*. Alle data die gebruikt werden, waren steeds gemeten in de hoofdrichting.

#### 4.2.2. Floating Car Data

De Floating Car Data worden verkregen via de tool ODIQ van Localyse, een dataverwerkingsbedrijf met vestigingen in België, Nederland en Zwitserland. De FCD zelf zijn afkomstig van Google Maps. Via de tool is het zowel mogelijk om historische data als real-time data op te vragen in de vorm van bepaalde grafieken of CSV-bestanden. Voor deze methode zullen er *Line Graphs* worden opgevraagd. Deze grafieken zetten de reistijd van een bepaald traject uit ten opzichte van de tijd. De Vervoerregio haalt dergelijke data meestal op in

kwartierwaarden en dit voornamelijk tijdens de ochtend- en avondspits. Men gebruikt voorlopig enkel historische data.



Figuur 19: Line Graph platform ODIQ (Bron: [www.smartcitywallonia.be](http://www.smartcitywallonia.be))

Uit gesprekken met een werknemer van het bedrijf bleek dat kwartiermaanden gezien moeten worden als momentopnamen. De reistijden geven een indicatie van de verwachte reistijd voor wagens die op dat moment aan het traject begonnen. Er dient echter opgemerkt te worden dat het verwerkingsproces van deze data black box blijft. Het gaat hier over reeds verwerkte data en het is niet mogelijk om exact te achterhalen hoe Google aan deze data komt. Zoals zal blijken uit de dataverwerking roept dit enkele vragen op. Een mogelijke oplossing is het gebruik van kortere intervallen van 1 of 5 min, al verhoogt dit de kost van de data, evenredig met het aantal rijen.

Bij dergelijke Line Graph hoort een CSV-bestand dat een tabel met onderstaande variabelen bevat (Tabel 9). Voor deze analyse zal gebruikt gemaakt worden van de variabelen: *Date*, *Time*, *RealTravelSpeed* en *Delay*.

Variabelen	Beschrijving
<i>Date</i>	yyyy/mm/dd
<i>Time</i>	hh:mm:ss
<i>Day</i>	Weekdag (e.g. 'Thursday')
<i>FreeTravelTime</i>	Reistijd zonder vertraging. Nauwkeurig tot op 1 seconde.
<i>RealTravelTime</i>	Werkelijke reistijd. Nauwkeurig tot op 1 seconde.
<i>FreeTravelSpeed</i>	Snelheid zonder vertraging. Nauwkeurig tot op 0,01 km/u.

<i>RealTravelSpeed</i>	Werkelijke snelheid. Nauwkeurig tot op 0,01 km/u.
<i>EffectiveTravelSpeed</i>	Snelheid in vogelperspectief in km/u, op basis van de gemeten gegevens (P. Maere, persoonlijke communicatie, 3 mei 2021). Nauwkeurig tot op 0,01 km/u.
<i>Delay</i>	Vertraging. Nauwkeurig tot op 0,01 seconde.

Tabel 6: Variabelen FCD

#### 4.3. Software

De verwerking en analyse van de data zal volledig in Matlab gebeuren. Deze software werd voorgesteld door de Vervoerregio en werd reeds ter beschikking gesteld door de Universiteit Antwerpen. Matlab biedt eveneens de mogelijkheid om de code te compileren zodat het ook door gebruikers zonder licentie kan gebruikt worden. Men dient wel over Matlab Runtime te beschikken maar deze kan worden geïnstalleerd vanuit de installer van de gecompileerde code.

#### 4.4. Input

De gebruiker van de methode zal eerst gevraagd worden een aantal gegevens door te geven door middel van enkele eenvoudige interfaces. De gegevens in onderstaande tabel dienen doorgegeven te worden. Er zal steeds een duiding bij staan, zodanig dat de gebruiker op de hoogte is van de vereiste vorm van zijn input.

<i>Input</i>	<i>Beschrijving</i>
<i>Bestand tellingen</i>	CSV-bestand dat data van de stationaire tellingen bevat in een tabel met bijhorende headers en dit in de vastgelegde vorm beschreven bij de databeschrijving.
<i>Bestand(en) FCD</i>	Een of meerdere CSV-bestanden met FCD. Er wordt hier de mogelijkheid gegeven om meerdere bestanden te selecteren, aangezien de FCD in de praktijk soms is opgesplitst in één bestand voor OSP en één voor ASP. Ook zou het mogelijk zijn dat de meetperiode van de tellingen binnen 2 FCD perioden valt. Ook dan is het interessant om deze beiden te kunnen uploaden.
<i>Locatienummer telpunt</i>	Elk telpunt van de Vervoerregio heeft een locatienummer bestaande uit een cijfer en één of twee letters. De gebruiker dient deze door te geven, waarna dit nummer vervolgens

Positionering telpunt

zal worden gebruikt in titels en bestandsnamen, gecreëerd door de *Matlab* code.

Er zal gevraagd worden om een schatting te maken van de positie van het telpunt ten opzichte van de FCD-route door middel van het percentage van de route dat reeds afgelegd is, wanneer het telpunt bereikt wordt. Deze schatting kan bijvoorbeeld bekomen worden door de reistijden van het begin tot aan het telpunt en van het telpunt tot het einde van het traject te vergelijken in Google Maps. Het belang hiervan zal verder worden geaduid.

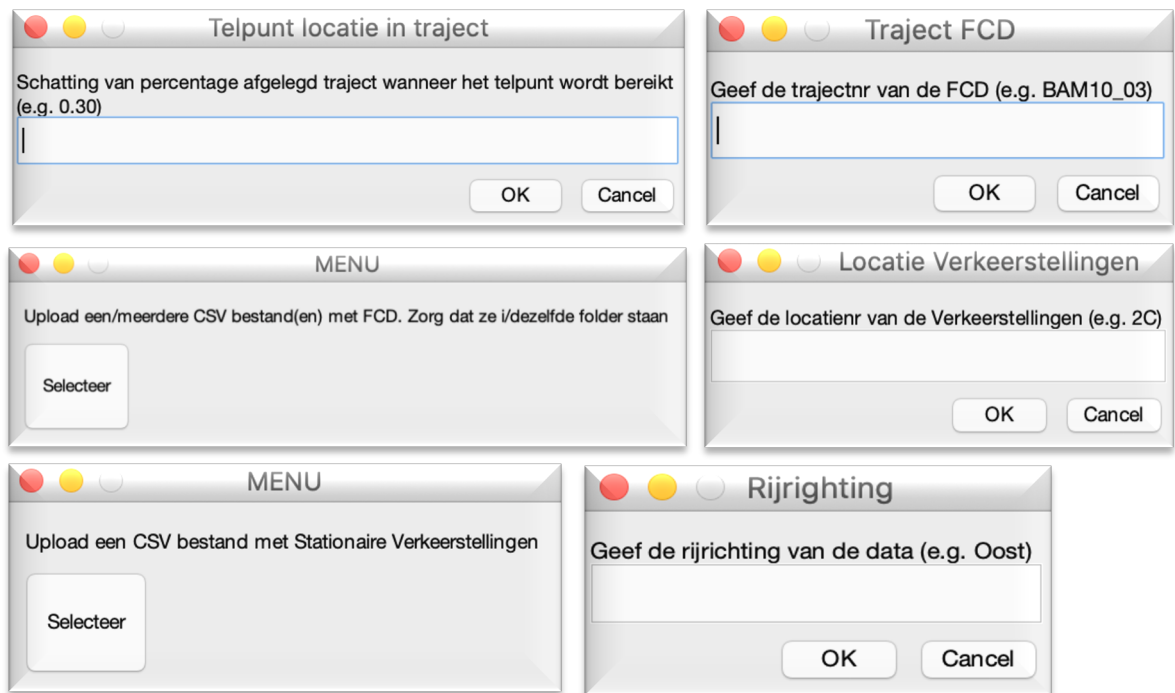
Rijrichting

De rijrichting van de geüploade data.

Routennummer FCD

Ook de FCD-routes zijn genummerd. Ook deze dient doorgegeven te worden zodat deze gebruikt kan worden in titels en bestandsnamen.

Tabel 7: Input Visuele Analyse



Figuur 20: User Interfaces Input

#### 4.5. Data Fusie

Bij de visuele analyses zullen beide databronnen vergeleken en gecombineerd worden. Bij deze vergelijking is het zeer belangrijk om de juiste gegevens met elkaar te gaan combineren. Er wordt steeds vertrokken van het principe waarbij de snelheden, gemeten door beide databronnen, betrekking hebben op dezelfde wagens.

Vanuit dit standpunt werd een methode ontwikkeld die de tijd van de individuele tellingen verschuift op basis van de locatie van het telpunt en de reistijd van het begin van het traject tot aan deze locatie. Dit zal besproken worden bij de dataverwerking.

Daarnaast dienden de individuele tellingen voor bepaalde grafieken geaggregeerd te worden naar kwartier- of uurwaarden om de vergelijking met de FCD mogelijk te maken. Aangezien de FCD zeer black box is en er niet kan achterhaald worden op welke manier er exact tot deze kwartierwaarden gekomen is, was het niet mogelijk om hier op basis van de theorie een keuze in te maken. Concreet werden enkele opties getest en werden bijhorende grafieken geëvalueerd op basis van theoretische concepten en vergelijkingen met gelijkaardige grafieken uit de literatuur. Volgende drie methoden (Figuur 23) werden met elkaar vergeleken:

Waarnemingen	Aggregatiemeth1	Kwartierwaarde 1a	Kwartierwaarde 1b	Aggregatiemeth 2	Kwartierwaarde 2
00:00:00	■	00:00:00	00:15:00	□	...
...					00:07:30
00:15:00	□	00:15:00	00:30:00	■	00:15:00
...					00:22:30
00:30:00	■	00:30:00	00:45:00	□	00:30:00
...					00:37:30
00:45:00	□	00:45:00	00:01:00	■	00:45:00
...					00:52:30
01:00:00	■	...	...	□	00:01:00
...					...

Figuur 21: Aggregatiemethoden SDD

Uitgaande van het feit dat de FCD-waarden momentopnamen zijn, zou er verwacht worden dat kwartierwaarde 2 ideaal zou zijn ter vergelijking. Op die manier worden de stationaire data geaggregeerd rond de kwartierwaarden van de FCD. Verder in dit hoofdstuk bij de Snelheidsprofielen, zal deze redenering op de proef worden gesteld.

#### 4.6. Dataverwerking

In deze fase zullen beide datavormen omgezet worden in een vorm die geschikt is voor verdere analyse. De variabelen worden omgezet naar het juiste type, onnodige variabelen worden verwijderd. Tenslotte wordt de SDD getransformeerd zodanig dat ze gefuseerd kan worden met de FCD.

##### 4.6.1. SDD-verwerking

Dit is een functie die als input de ruwe ingelezen CSV-bestanden van de tellingen én de FCD aankrijgt in de vorm van een tabel. Als output wordt een *timetable*<sup>19</sup> afgeleverd met de noodzakelijke variabelen voor de rest van de analyse. Concreet worden enkele datatypen gewijzigd, de data en tijdstippen worden samengevoegd en er wordt een verschuiving correctie uitgevoerd op deze tijdstippen.

Opnieuw wordt hier vertrokken van het principe dat dezelfde wagens moeten vergeleken worden in de SDD en de FCD. De tijdstippen van de FCD hebben betrekking op wagens die op dat moment aan het traject starten. De tijdstippen van de SDD daarentegen worden geregistreerd wanneer de wagens reeds een stuk van het traject hebben afgelegd. Om beide databronnen met elkaar te kunnen fuseren is er nood aan een correctie van de tijd. Aangezien er enkel individuele waarnemingen van de SDD beschikbaar zijn, zullen deze gecorrigeerd worden. Hierbij wordt volgende formule toegepast:

$$Tijdstip_{SDD}^{New} = Tijdstip_{SDD} - Reistijd_{FCD} * Telpuntlocatie$$

Met:

$Reistijd_{FCD} = \text{dichtsbijliggende Realtraveltime}$

$Telpuntlocatie = \text{procent van het traject dat tussen het startpunt en het telpunt ligt}$   
(zie Input)

---

<sup>19</sup> Tabel die een tijd linkt aan elke rij

#### 4.6.2. FCD-verwerking

Ook dit is een aparte functie die als input de ruwe ingelezen CSV-bestanden van de FCD aankrijgt (in de vorm van een tabel) en als output een timetabel aflevert met de nodige variabelen, in de juiste vorm. Op de correctie na verloopt alles analoog met de SDD-verwerking

### 4.7. Visuele Analyse

#### 4.7.1. Representativiteit meetperiode

Om de representativiteit van de meetperiode van de stationaire tellingen te kennen, worden er enkele factoren, die de capaciteit beïnvloeden, vergeleken met de rest van het jaar. Concreet zijn er grafieken die de neerslag en de voertuigsamenstelling weergeven. Ook de vertraging wordt weergegeven, omdat abnormale waarden bij deze parameter kunnen wijzen bij ongewone verkeerssituaties.

##### 4.7.1.1. Neerslagcondities

Zoals reeds werd aangehaald heeft de neerslag een rechtstreekse invloed op de wegcapaciteit. Stel dat de onderzoeksperiode van de stationaire tellingen in een uitzonderlijk natte periode valt, kan de capaciteit uitzonderlijk lage waarden geven. Om de representativiteit van de neerslagcondities in de onderzoeksperiode in te schatten zullen de dagelijkse neerslaghoeveelheden uit deze periode worden vergeleken met de neerslaghoeveelheden van de rest van het jaar en met de gemiddelde neerslaghoeveelheid voor diezelfde periode van het jaar 2000 tot het jaar van de onderzoeksperiode. De gegevens zijn verkregen via [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl). De neerslag wordt uitgedrukt in  $\text{mm}^{20}$  en is gemeten in Hoogerheide, dat in vogelvlucht op ongeveer 20-25 km van het onderzoeksgebied van dit werk. Hoogerheide is hiermee het dichtstbijzijnde Nederlandse weerstation. Het Nederlandse KMI stelt dergelijke gegevens publiek beschikbaar, in tegenstelling tot België. Er zijn enkele onafhankelijke dataverzamelaars gevonden. Echter was de oorsprong, kwaliteit en definitie van de data meestal niet gekend, waardoor de voorkeur naar de Hoogerheidse data ging. Bovendien is dit weerstation dichter dan het Belgische Ukkel, vanwaar de meeste neerslaggegevens uit België afkomstig zijn. Er dient dus opgemerkt te worden dat plaatselijke neerslag kan verschillen ten opzichte van het klimaat in Antwerpen en het Waasland, en deze data dienen bijgevolg uitsluitend ter indicatie. Er zijn data beschikbaar van Jan 2000 tot Feb 2021.

---

<sup>20</sup> 1 mm neerslag komt overeen met 1 liter water per  $m^2$





grafieken nemen relatief weinig tijd in beslag. Een minuut om dergelijke analyse uit te voeren is meer dan relevant, gezien de inzichten die uit de output kunnen worden verworven.

#### 4.8.2. Juistheid

De berekende intensiteiten en geaggregeerde snelheden werden steeds gevalideerd aan de hand van enkele willekeurige manuele steekproeven. Bovendien werd er steeds interne informatie weergegeven over de werking van de functie, ter indicatie en controle. Daarnaast werd er steeds getracht de verkregen figuren theoretisch te onderbouwen of te ontcrachten. Tenslotte werden de grafieken elke 14 dagen geëvalueerd door Jeroen Van Houtte van de Vervoerregio.

## 5. Case: Beversebaan Zwijndrecht

### 5.1. Zoektocht Locatie

De historische FCD en SDD waar de Vervoersregio reeds over beschikt, bevindt zich voornamelijk in het Antwerpse Waasland. Er werd bijgevolg dan ook in deze regio naar een geschikte locatie gezocht. De organisatie beschikt over een kaart die de verschillende trajecten weergeeft die werden opgesteld en waarvoor reeds FCD werd opgehaald via de ODIQ-tool. Deze kaart is geklasseerd en kon hier niet getoond worden. Van zo goed als elke route is ook een (verkleinde) afdruk van histogram<sup>21</sup> en spectrogram<sup>22</sup> weergegeven.

Er werden een aantal vereisten opgesteld voor de locatie. In onderstaande kader zullen deze besproken worden. Volgens Henkens, Tamminga (2015) kan op locaties waar voldoende congestie is en waar de meetperiode voldoende lang is, de capaciteit met een relatief kleine spreiding bepaald worden. Er zouden ook methodes zijn om de capaciteit te berekenen zonder de gekozen parameters maar deze zouden een grotere spreiding kennen.

---

<sup>21</sup> Reistijd vs tijd

<sup>22</sup> Reistijd vs tijd vs afstand

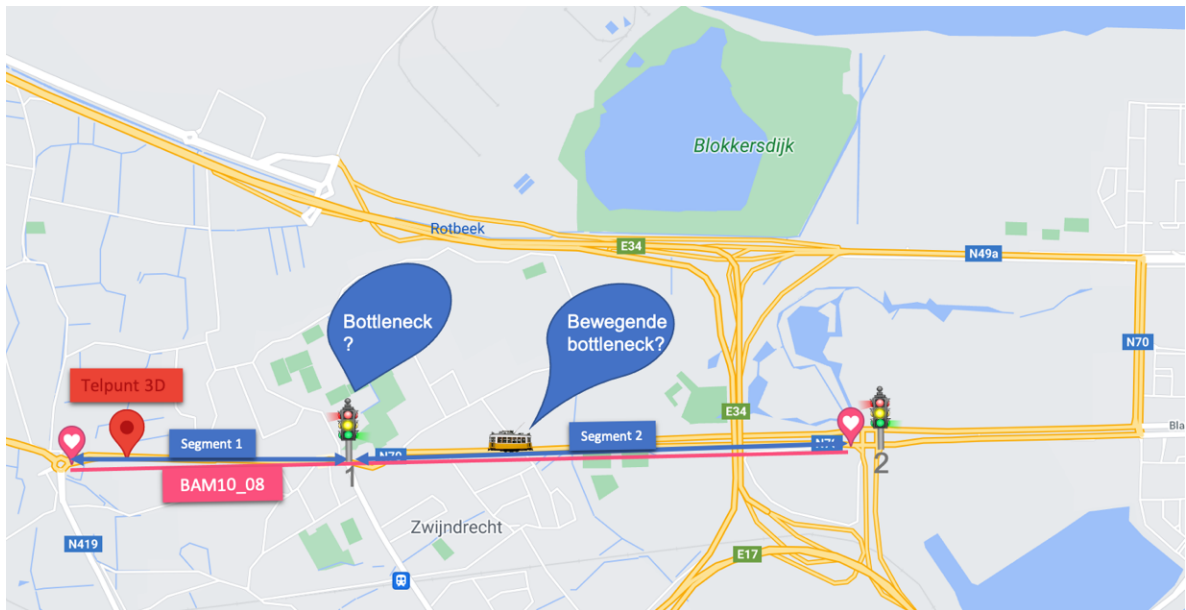
## Locatie

<i>Overlap FCD en SDD</i>	De locatie van het statisch meetpunt moet binnen een bestaand FCD-traject liggen. De Vervoerregio is eraan gewend met deze trajecten te werken en heeft hier reeds data voor opgehaald. Bovendien moet de meetperiode van de tellingen binnen de meetperiode van het FCD-traject liggen.
<i>Congestie binnen het FCD-traject</i>	Het beoordelen of er congestie optreedt op een bepaald traject, gebeurde eerst visueel aan de hand van de afdrucken van de spectro- en histogrammen. Verdere analyse moet dan uitwijzen of deze beoordeling voldoende is.
<i>Lengte meetperiode SDD</i>	De telperiodes zijn vaak vrij kort. Het is ideaal als hier toch ongeveer data van een volledige week beschikbaar zijn.
<i>Data uit 2019 beschikbaar</i>	Er werd geopteerd om data uit 2019 te gebruiken i.v.m. de representativiteit. Het jaar 2020 is geen representatief jaar omwille van de Covid19-crisis. Uitsluitend deze data bestuderen zou een vertekend beeld geven.
<i>Trajectlengte FCD</i>	Bij voorkeur een van de kortere beschikbare trajecten met zo weinig mogelijk zijwegen.
<i>Onderzoeksvraag met Business Value</i>	De locatie moet een onderzoeksvraag oproepen, waarvan het antwoord economische waarde bevat voor de Vervoerregio. Deze waarde werd in onderling overleg vastgelegd.
<i>Locatie Telpunt</i>	Bij voorkeur is het stationair telpunt gelegen op hetzelfde wegsegment als de bottleneck van het traject.

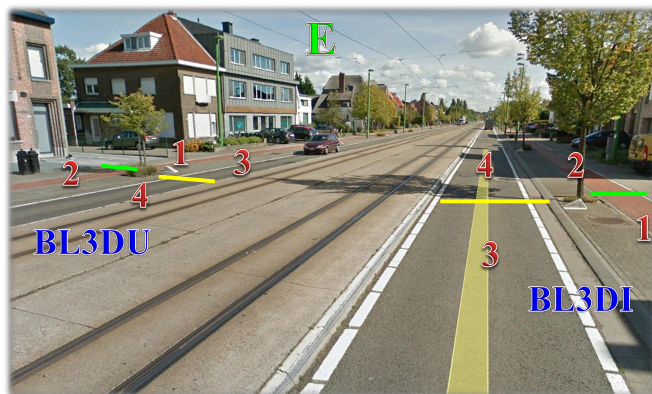
Tabel 8: Vereisten locatie case

Na de beschikbare data onderzocht te hebben en enkele vergaderingen te hebben afgerond met de Vervoerregio en Localyse, bleek dat de Blancefloerlaan in het centrum van Zwijndrecht in aanmerking kwam. Het bijhorende traject BAM10\_08 is relatief kort en uit het spectrogram bleek dat er, vooral in Oostelijke richting, geregeld congestie is. Het bleek voor de vervoerregio interessant om van deze weg de maximumcapaciteit te kennen, wat mogelijk geacht werd op basis van de data. “Een gedegen kennis van de capaciteitswaarden is belangrijk voor het uitvoeren van de opgedragen taken, zoals aanleg van nieuwe infrastructuur en netwerk- en verkeersmanagement (Henkens, Tamminga, 2015).”

## 5.2. Plaatsbeschrijving



Figuur 23 Case: Centrum Zwijndrecht



Figuur 24: Draaiboek Telslangmetingen Bron: SignCo, 2020)

Figuur 25 geeft de ligging van het FCD-Traject (BAM10\_08) en het Telpunt (3D) (Figuur 26) weer. Zoals reeds besproken bestuderen we de Oostelijke richting. Het traject bevindt zich op de N70, die dwars door het centrum van Zwijndrecht loopt. De weg heeft enkele kleinere zijbanen en daarnaast twee kruispunten met telkens een verkeerslicht. Aangezien het traject op een voorrangsweg ligt en er enkele weefvakken aanwezig zijn, wordt er van de zijwegen niet te veel hinder verwacht.

Het verkeerslicht op het kruispunt met de Statiestraat in het centrum zou de kleinste capaciteit hebben en het werd door de Vervoerregio aangegeven als mogelijke bottleneck. Het traject werd opgedeeld in 2 segmenten die telkens eindigen bij een verkeerslicht. Het verkeerslicht aan

het einde van het traject beschikt over een dubbele rijstrook rechtdoor, waardoor de capaciteit vermoedelijk een stuk hoger zal liggen. Er zal aan deze verkeerslichten gerefereerd worden als 'verkeerlicht 1' & '-2', zoals aangeduid op Figuur 25.

Verder ligt er eveneens een tramlijn op de N70, die van net na het telpunt tot aan het einde van het traject op de rijstrook van de wagens komt. Het gebied na Verkeerslicht 1 zou ook een probleem kunnen vormen. De tram rijdt er op de baan, het is er smal en er zijn enkele zijwegen in beide richtingen. De tram zou dus een bewegende bottleneck kunnen zijn waarbij het de zone net na Verkeerslicht 1 het meest fragiel is.

Op Figuur 25 is de locatie van het Telpunt weergegeven. Er is op dit punt 1 rijvak in Oostelijke richting en de tram rijdt er niet op de weg. Er werd geschat dat het telpunt bij vlot verkeer op 6% van de totale reistijd van het traject ligt. Deze schatting werd bekomen door de reistijden in te geven in de webversie van Google Maps.

### 5.3. Theoretische Wegcapaciteit

Uit hoofdstuk 4 bleek dat de maximale capaciteit op stedelijke wegen vaak bepaald wordt door verkeerslichten. Aangezien er 2 verkeerslichten aanwezig zijn op de te onderzoeken route wordt er vermoed dat één van beiden de bottleneck van het traject zou kunnen zijn. Dit vermoeden werd eveneens bevestigd door de Vervoerregio. Nu bleek dat de regeling van deze lichten recent gewijzigd werd. Het Agentschap Wegen en Verkeer beheert deze lichten en stelde informatie omtrent de huidige en vorige regeling ter beschikking, deze laatste was van kracht tijdens de onderzoeksperiode (2019).

Het Agentschap schat de capaciteit van deze lichten op basis van de eerder geziene formule, afkomstig uit het *Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen* (2020). Er wordt nogmaals beklemtoond dat dit een sterk vereenvoudigde voorstelling is van het werkelijke probleem, al lijkt het gegeven interval wel betrouwbaar te zijn.

De maximale capaciteit van beide verkeerslichten zal geschat worden, zowel voor de situatie tijdens de onderzoeksperiode (2019), als voor de huidige situatie en dit voor de rechtdoorstroken in Oostelijke richting. De berekeningen zijn gebaseerd op cijfers, afkomstig uit het *Handboek Ontwerp Verkeerslichtenregelingen* (2020) en uit de *V-plannen*<sup>23</sup> van het Agentschap Wegen en Verkeer (Agentschap Wegen en Verkeer, 2019–2021).

---

<sup>23</sup> Plan dat de regeling van een (of meerdere gekoppelde) verkeerslichten visueel voorstelt.

Verkeerslicht	2019	Heden
Licht 1	$\min(C) = 1800 * \frac{21}{105} = 360 \text{ pae/u}$	$\min(C) = 1800 * \frac{21}{105}$ $= 360 \text{ pae/u}$
	$\max(C) = 1800 * \frac{21}{40} = 945 \text{ pae/u}$	$\max(C) = 1800 * \frac{21}{40} = 945 \text{ pae/u}$
Licht 2	$\min(C) = 3500 * \frac{45}{120}$ $\cong 1313 \text{ pae/u}$	$\min(C) = 3500 * \frac{45}{120}$ $\cong 1313 \text{ pae/u}$
	$\max(C) = 3500 * \frac{45}{55} \cong 2864 \text{ pae/u}$	$\max(C) = 3500 * \frac{45}{50}$ $= 3150 \text{ pae/u}$

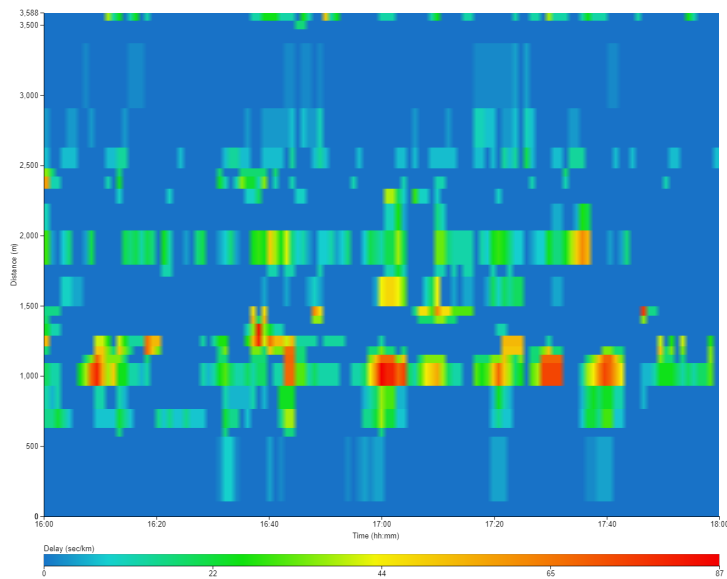
Tabel 9: Theoretische capaciteit verkeerslichten

Er valt op te merken dat de minimale en maximale capaciteiten allen gelijk zijn gebleven, op de maximale capaciteit van Verkeerslicht 2 na. Dit wil echter niet zeggen dat er niets veranderd is aan de regeling. De capaciteit ligt in een breed interval, waartussen de gemiddelde capaciteit kan verschuiven bij aanpassing van de regeling. De berekende capaciteiten bevestigen het vermoeden dat Verkeerslicht 1 de bottleneck van het traject uitmaakt. De capaciteit van dit verkeerslicht kan dalen tot 360 pae/u. Uit de resultaten van de Visuele analyse zal blijken dat dergelijke capaciteit frequent overschreden zal worden.

Het kruispunt met de tram als bottleneck valt moeilijker theoretisch te benaderen. Wel beschikt Vervoerregio Antwerpen over spectogrammen van dit traject in 2021, weergegeven door Figuren 27 en 28. Hierop is te zien dat er vertragingen ontstaan op 1,1 km van het traject. Dit komt neer de zone net na Verkeerslicht 1. De vertragingen (rood) zijn periodiek en zouden kunnen wijzen op de aanwezigheid van de tram. Echter zijn dit slechts twee momentopnamen op dagen waarbij thuiswerken verplicht was omwille van de Coronacrisis. Het is niet mogelijk om hier verdere conclusies uit te trekken.

BAM10\_08-N70\_tss\_N419\_LO-RiO\_2021\_spectrogram Wednesday 31/03/2021

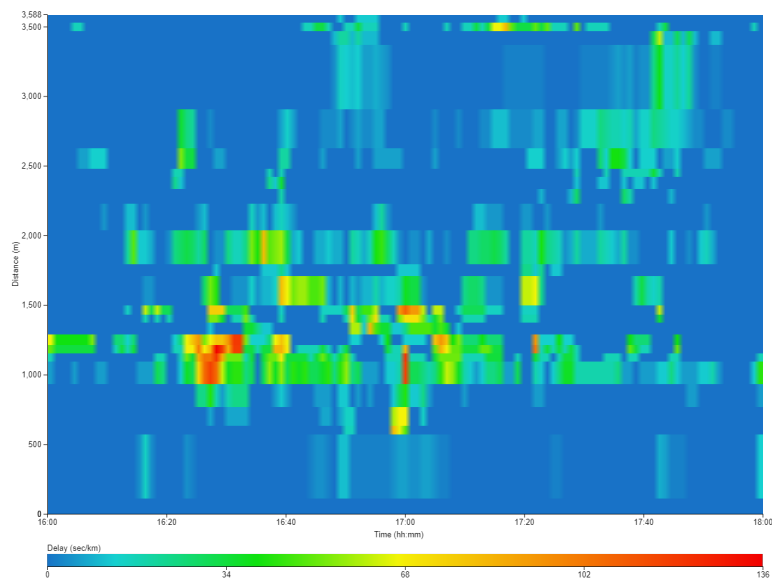
Beversebaan 81, 2070 Zwijndrecht, Belgium - Katwilgweg 2, 2050 Antwerpen, Belgium



Figuur 25: Spectrogram Zwijndrecht 31/03/21 (Bron: Vervoerregio Antwerpen)

BAM10\_08-N70\_tss\_N419\_LO-RiO\_2021\_spectrogram Thursday 06/05/2021

Beversebaan 81, 2070 Zwijndrecht, Belgium - Katwilgweg 2, 2050 Antwerpen, Belgium



Figuur 26: Spectrogram Zwijndrecht 06/05/21 (Bron: Vervoerregio Antwerpen)

## 5.4. Databeschrijving

### 5.4.1. SDD

Bij de analyse werd duidelijk dat vanaf 24 oktober zeer vreemde waarden werden waargenomen, waarover later meer. Deze dagen zijn bijgevolg verwijderd.

*Loc 3D*

<i>Locatie</i>	51.219283, 4.312058 (Zwijndrecht)
<i>Meetperiode</i>	12 okt – 28 okt: 12 dagen (5 ongeldige dagen)
<i>Uren per dag</i>	24u/24u
<i>Rijrichting(en)</i>	Oost en West
<i>Waarnemingen</i>	Oost: 81 645 <sup>24</sup>
<i>Frequentie</i>	Per Passant

Tabel 10: Databeschrijving SDD

### 5.4.2. FCD

Zoals reeds aangehaald worden enkel de ochtendspits (OSP) en de avondspits (ASP) opgehaald. Binnen het Waasland werkt men steeds met de brede spits omwille van de haven. Onderstaande tabellen geeft de belangrijkste info van tabellen weer.

*BAM10\_08*

<i>Locatie</i>	51.2190097, 4.3084472 → 51.2197519, 4.3593157
<i>Meetperiode</i>	Okt '18 – Nov'19
<i>Uren per dag</i>	(OSP) (ASP)
<i>Rijrichting(en)</i>	Oost en West
<i>Aantal kwartierwaarden</i>	12 410
<i>Frequentie</i>	Kwartierwaarden (momentopnamen)

Tabel 11: Databeschrijving FCD

---

<sup>24</sup> Waarvan 19 582 ongeldig

## 5.5. Input

### *Input Visuele Analyse*

<i>Bestand tellingen</i>	Excel omgezet naar CSV-file met headers. Afbeeldingen en extra info werden verwijderd.	<i>Positionering</i> <i>telpunt</i>	Op 6% van het traject. (Schatting op basis van Google Maps)
<i>Bestand(en) FCD</i>	CSV-file van een Linegraph, verkregen via de ODIQ-API.	<i>Routennummer</i> <i>FCD</i>	BAM10_08
<i>Locatienummer</i> <i>telpunt</i>	3D	<i>Rijrichting</i>	Oost

Tabel 12: *Input Visuele Analyse Zwijndrecht richting Oost*

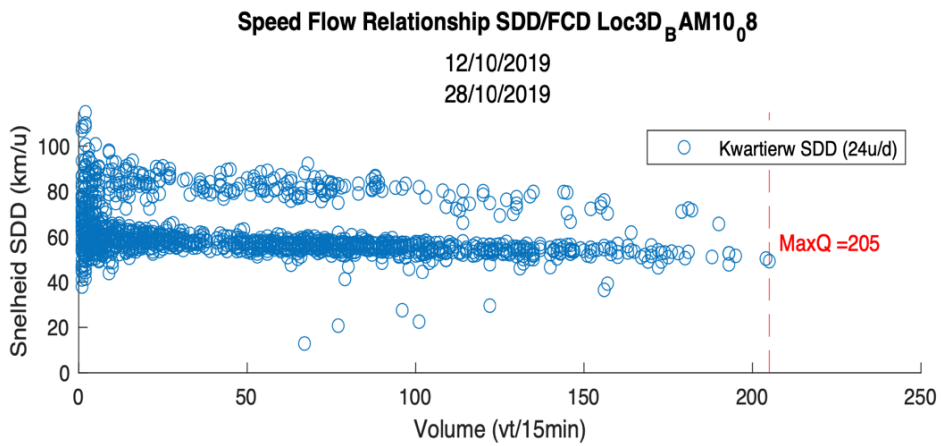
## 5.6. Output

In dit deel zal de output van de visuele analyse besproken en geanalyseerd worden. De output is steeds afkomstig uit de algemene methode, tenzij anders vermeld. Soms was er nood aan een specifieke analyse op basis van de specifieke situatie van de case. Bijlage 1 geeft het voorblad van de output pdf weer. Het volledige document kan worden opgehaald met de QR-code aan het einde van dit werk.

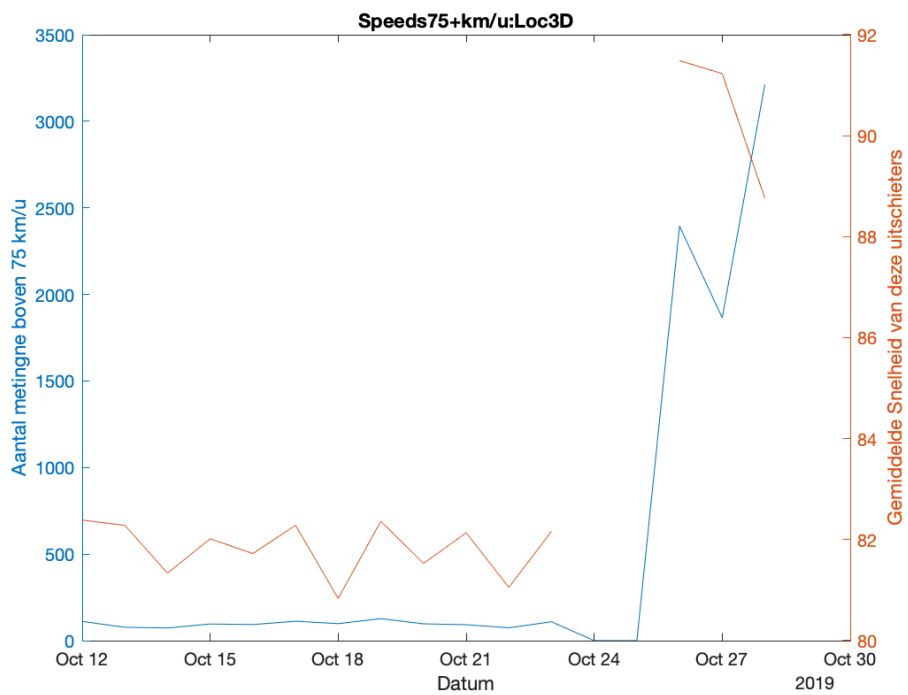
### 5.6.1. Meetfouten

Tijdens de analyse werd opgemerkt dat er een tweede modus was te vinden in de data. Na verder onderzoek bleek dat het aantal metingen van snelheden boven de 75km onrealistisch hoog was van 26 tot 28 oktober, wat lijkt te wijzen op meetfouten. Bijgevolg werden deze data verwijderd uit de dataset. Op 24 en 25 oktober werd er niet gemeten waardoor de onderzoeksperiode van de SDD werd verkort tot en met 23 oktober.





*Figuur 27: Relatie snelheid volume met onrepresentatieve data*

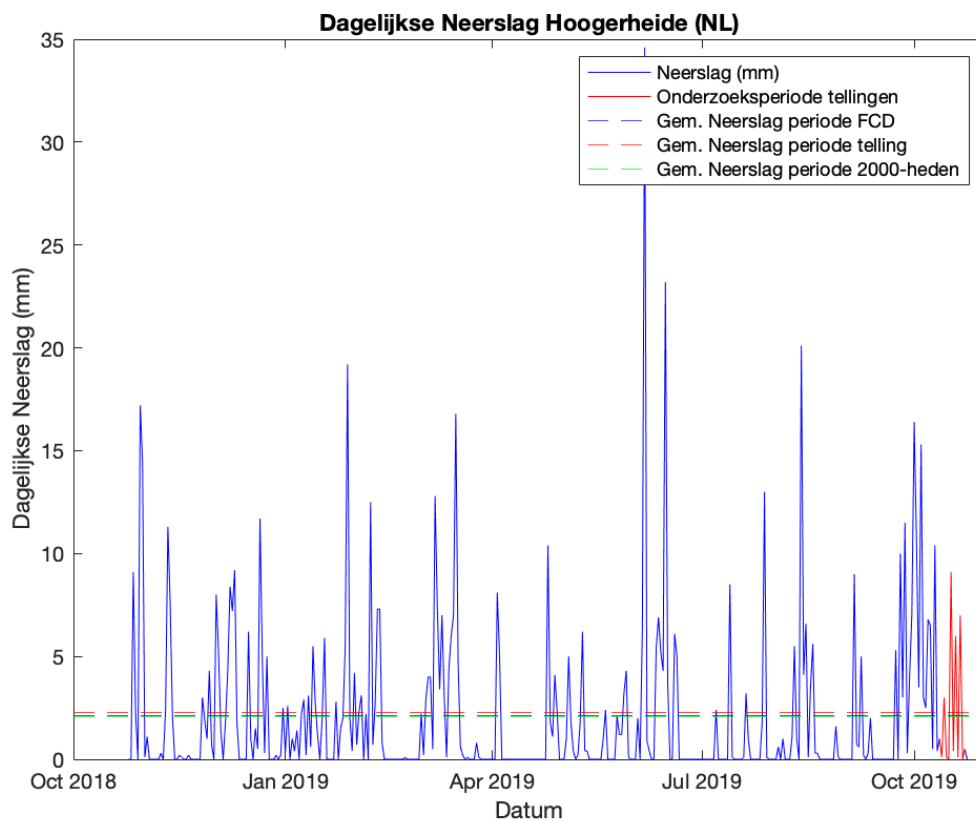


*Figuur 28: Aantal metingen boven de 75 km/u en diens gemiddelde snelheid*

## 5.6.2. Representativiteit meetperiode

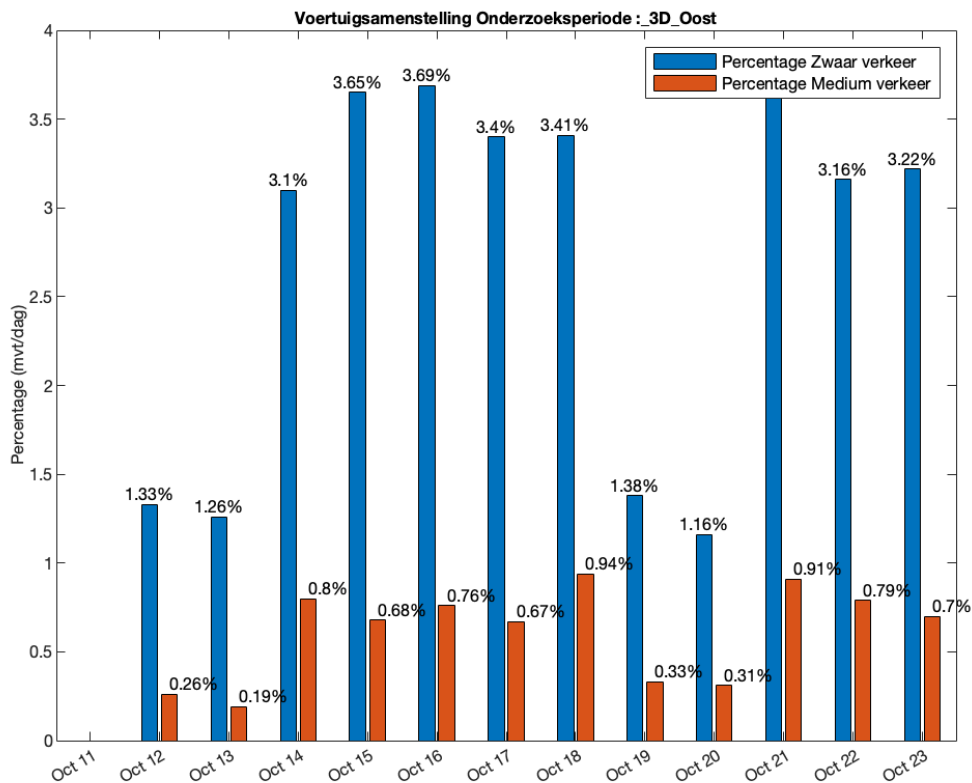
### 5.6.2.1. *Neerslagcondities: Hoogerheide*

Onderstaande grafiek geeft de neerslaghoeveelheid in mm weer voor de onderzoeksperiode van de FCD, waarbij de onderzoeksperiode van de tellingen in het rood is aangeduid. Zoals valt op te merken komen er tijdens deze periode geen extreme waarden voor. Het gemiddelde van deze periode (rode stippellijn), ligt zeer dicht bij het jaargemiddelde (blauwe stippellijn) en het gemiddelde van 2000 tot het einde van de onderzoeksperiode van de FCD (groene stippellijn). Er kan geconcludeerd worden dat de meetperiode representatief is op basis van de hoeveelheid neerslag en dat deze factor geen ongewone invloed zal uitoefenen op de gemeten intensiteiten.



Figuur 29: *Dagelijkse hoeveelheid neerslag Hoogerheide*

### 5.6.2.2. Voertuigsamenstelling

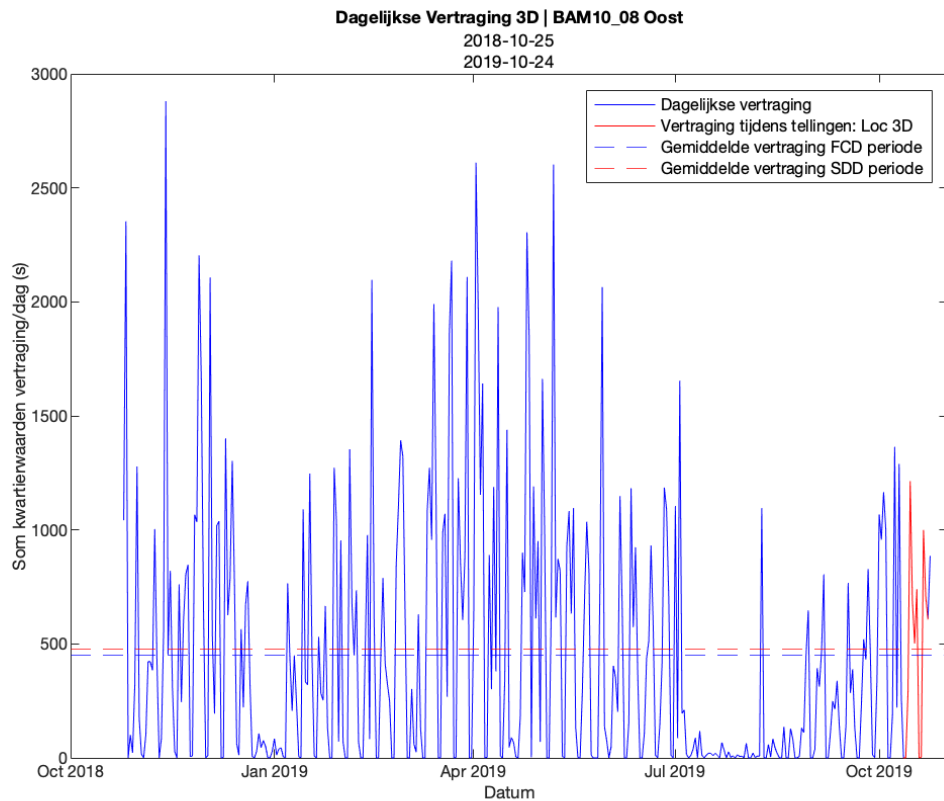


Figuur 30: Procentuele Voertuigsamenstelling

De percentages zwaar verkeer zijn redelijk beperkt. Zeker in vergelijking met de 20% die door *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autowegen* (2015) als standaard werd gebruikt. Er kan opgemerkt worden dat deze tijdens de werkweek hoger liggen, wat kan verklaard worden aan de hand van de nabijheid van de haven en andere industrie. Onder het zwaar vrachtverkeer vallen eveneens de bussen die passeren ter hoogte van het telpunt. De maximale capaciteit van de weg zal dus licht verschillen in het weekend ten opzichte van tijdens de werkweek. Echter zijn de intensiteiten een stuk lager in het weekend, waardoor de capaciteit hier waarschijnlijk nooit overschreden zal worden.

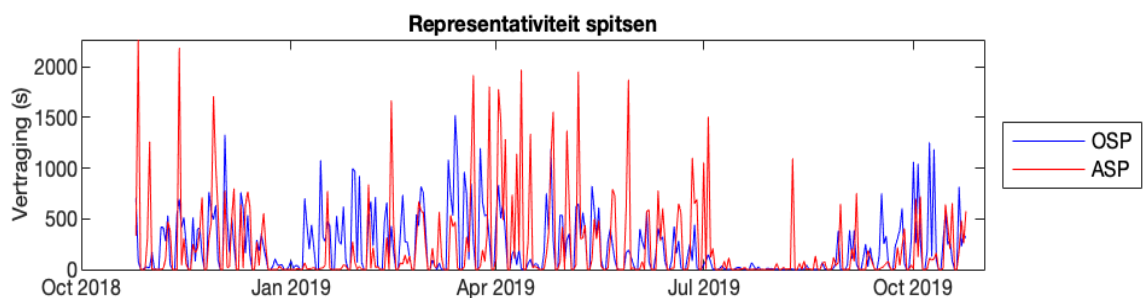
Wel dient de invloed van dergelijk vrachtverkeer niet onderschat te worden. De weg is op enkele plaatsen zeer smal en doorkruist een dorpskern. Dergelijk zwaar vervoer kan op bepaalde momenten de puntsnelheden en trajectsnelheden zeker beïnvloeden. We spreken dan van bewegende bottlenecks (Fadhloun et al., 2016).

### 5.6.2.3. Vertraging



Figuur 31: Dagelijkse som vertraging

De conclusie van de evaluatie van de dagelijkse gesommeerde vertraging is gelijkaardig aan die van de neerslag. De gemiddelden liggen dicht bij elkaar en er zijn geen extreme waarden gemeten. Dit geeft een algemene indicatie van de representativiteit van de meetperiode. De verkeerssituatie lijkt normaal te zijn tijdens deze periode. Onderstaande 2 figuren bevestigen deze conclusie, al valt op te merken dat de vertraging tijdens avondspits frequent extreme waarden kent in 2019, wat niet het geval is tijdens de onderzoeksperiode. Het zal bijgevolg niet mogelijk zijn om dit fenomeen in kaart te brengen aan de hand van stationaire data.



Figuur 32: Vertraging tijdens de spitsen

Gemiddelde dagelijkse vertr FCD-periode OSP:  
218.6094

Gemiddelde dagelijkse vertr FCD-periode ASP:  
225.4322

Gemiddelde dagelijkse vertr SDD-periode OSP:  
228.9100

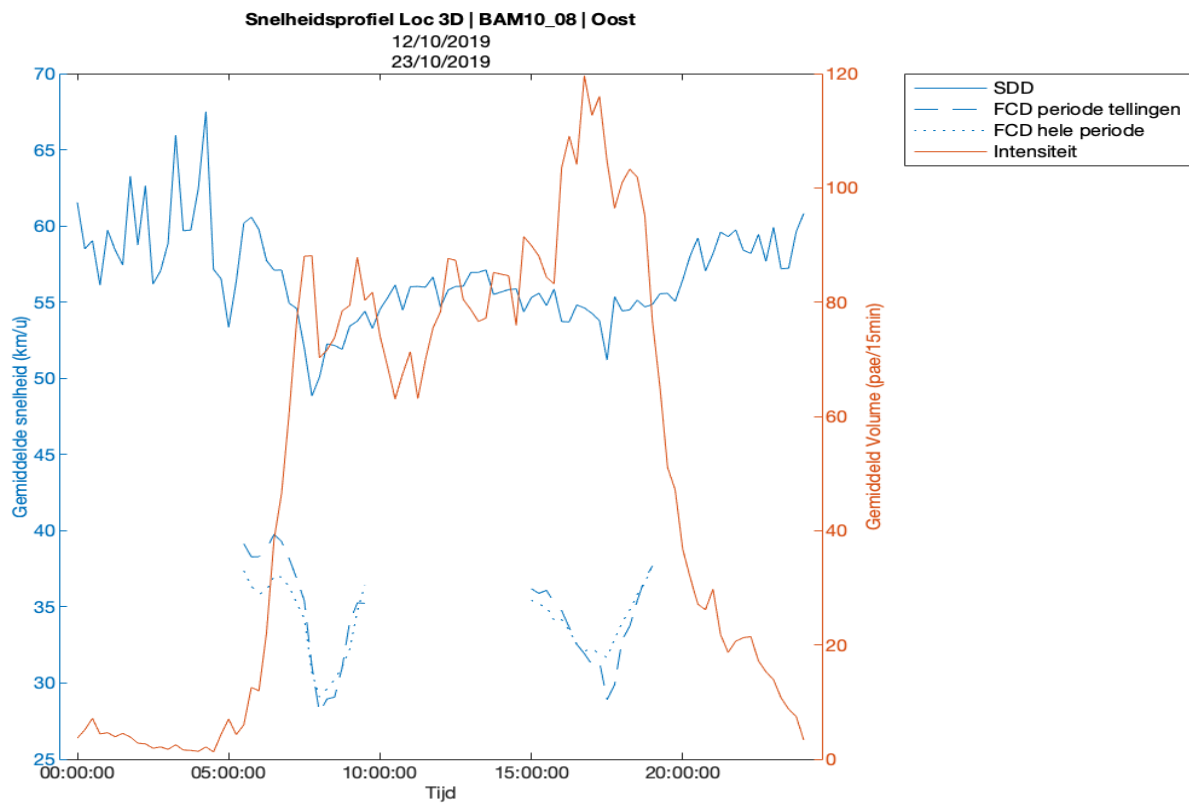
Gemiddelde dagelijkse vertr SDD-periode ASP:  
238.0400

Figuur 33: Gemiddelde vertragingen

### 5.6.3. Capaciteit van het traject

#### 5.6.3.1. Snelheidsprofiel

##### Analyse



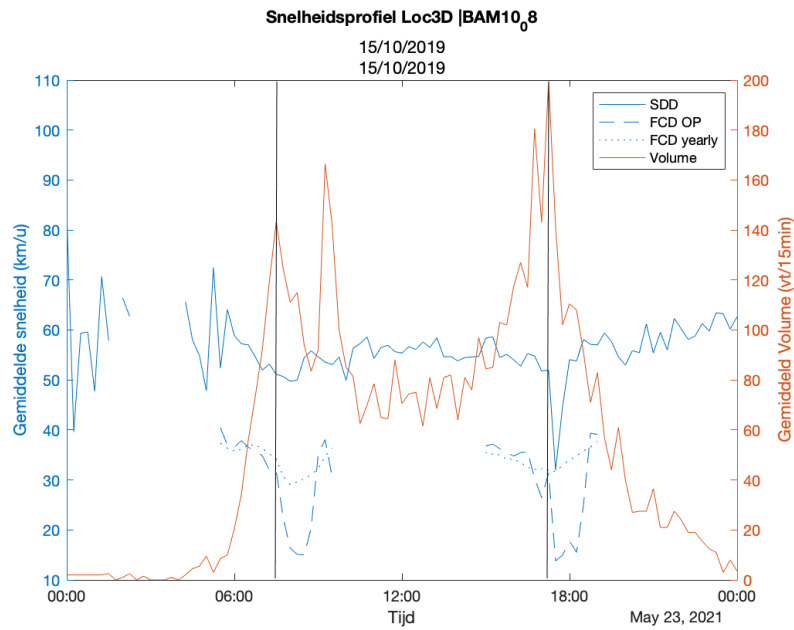
Figuur 34: Snelheidsprofiel Centrum Zwijndrecht Richting Oost

Bovenstaande figuur geeft de relatie weer tussen de intensiteit (SDD), de trajectnelheden (FCD) en de puntsnelheden (SDD). Het valt op dat de trajectnelheid lager ligt dan de gemeten puntsnelheden. Dit is voornamelijk te verklaren aan de hand van het eerste verkeerslicht en enkele zijwegen. De trajectnelheid duikt gemiddeld niet onder de 30 km/u tijdens beide spitsen en dit zowel tijdens de meetperiode van de tellingen (dikke stippenlijn) als tijdens de

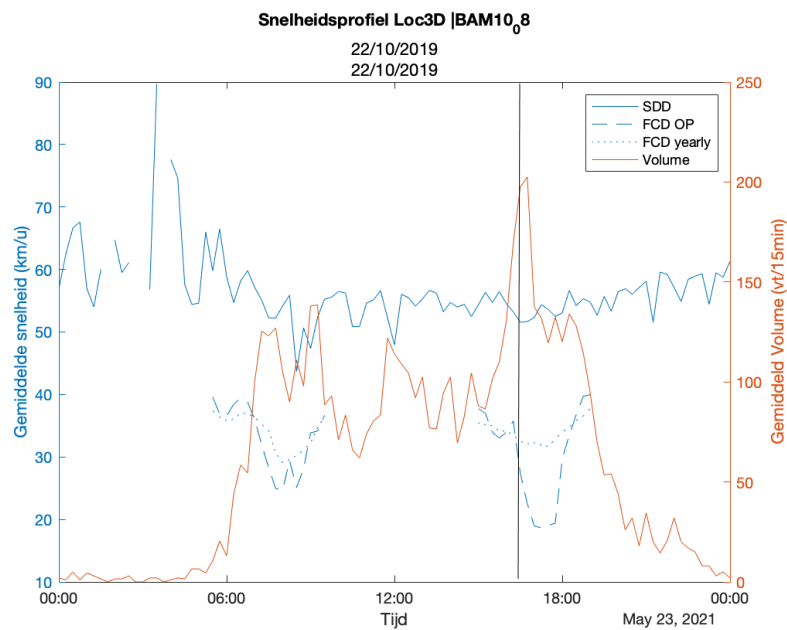
meetperiode van de FCD (stippenlijn). De meetperiode lijkt niet sterk af te wijken van de jaarlijkse gemiddelden. Er kan worden opgemerkt dat er op een gemiddelde meetdag geen zware congestie wordt vastgesteld. Ook kan worden vastgesteld dat de SDD-snelheid (blauwe volle lijn), geen duidelijke invloed ervaart van de gemeten volumes. Dit wijst erop dat de wegcapaciteit ter hoogte van het telpunt niet of zelden overschreden wordt, wat overeenkomt met de verwachte capaciteiten vanuit de theorie.

#### Data Fusie: FCD-snelheid en SDD Volume

Echter zijn er wel een paar momenten waarop de trajectcapaciteit overschreden wordt en de vertraging oploopt. De dag met de meeste vertraging is Dinsdag 15 oktober (Figuur 37), zie grafiek Vertraging. Onderstaande figuur geeft het snelheidsprofiel van deze dag weer. Deze grafiek is interessant omdat ze een rechtstreeks verband toont tussen de trajectnelheid van de FCD en de verkeersintensiteit tijdens de avondspits. Dit wijst op het overschrijden van de maximale capaciteit van het traject. Echter dient er steeds voorzichtig omgegaan te worden met dergelijke dagoverzichten. De indruk zou kunnen gewekt worden dat de capaciteit van de weg ter hoogte van het telpunt eveneens overschreden is tijdens de avondspits, omwille van de dalende SDD-snelheid (volle blauwe lijn). Echter valt op dat op 22 oktober, de dag met de hoogste kwartierwaarden en uurwaarden voor de intensiteit, de snelheid niet daalt (Figuur 38). De capaciteit van dat stuk weg is dus nog niet getest, wat overeenkomt met de geschatte waarden eerder in dit werk, op basis van de theorie. Wel kan er eveneens een direct verband worden gelegd tussen de trajectnelheid en de verkeersintensiteit.



*Figuur 35: Snelheidsprofiel 15 okt (<dagelijkse vertr.)*



*Figuur 36: Snelheidsprofiel 22 okt (<Intensiteiten)*

Bovendien kan deze grafiek gebruikt worden om de aggregatiemethoden van de SDD te beoordelen. Zoals reeds beschreven wordt er getracht dezelfde wagens met elkaar te vergelijken bij beide databronnen. Dit impliceert dat het overschrijden van de maximale capaciteit op een bepaald uur, een gelijktijdig effect dient te hebben op de reistijd van het FCD-traject (dikke stippellijn). Bij het gebruik van aggregatiemethode twee en kwartierwaarden 2a is dit het geval.

### 5.6.3.2. *Snelheid/Intensiteit Relatie*

#### Analyse

Onderstaande figuren geven de relatie weer tussen de snelheden en de intensiteiten. Wanneer deze bestaat wil dat zeggen dat de maximale capaciteit bij momenten overschreden wordt en er congestie ontstaat. De maximale capaciteit komt dan overeen met de maximale gemeten intensiteit. Vanaf het moment dat die intensiteitswaarde bereikt wordt, ontstaat er congestie en daalt de intensiteit.

Op de figuur linksboven wordt de relatie tussen de SDD-snelheden en Intensiteiten weergegeven. Uit de puntenwolk is geen verband af te leiden, wat aangeeft dat de capaciteit van de weg ter hoogte van het telpunt zelden of nooit overschreden wordt. Het maximale aantal wagens dat binnen intervallen van 15 minuten gepasseerd is, komt overeen met 202,5 pae.

Rechtsboven wordt diezelfde relatie weergegeven, uitsluitend voor de spitsen. Hier zien we een lichte dalende trend, maar opnieuw te weinig om een verband tussen de twee variabelen af te leiden.

Echter valt op dat wanneer de trajectsnelheden van de FCD worden gebruikt, er wel een zichtbaar verband is. De curve komt overeen met de verwachte neuscurve, die werd besproken in hoofdstuk 3. Het lijkt er dus op dat de maximale capaciteit van het traject rond de 205 pae/15 min ligt. Dit komt overeen met 820 pae/uur, wat een stuk hoger ligt dan de theoretische minimumcapaciteit van verkeerslicht 1. Deze inzichten bevestigen het vermoeden dat deze bottleneck van het traject uitmaakt.

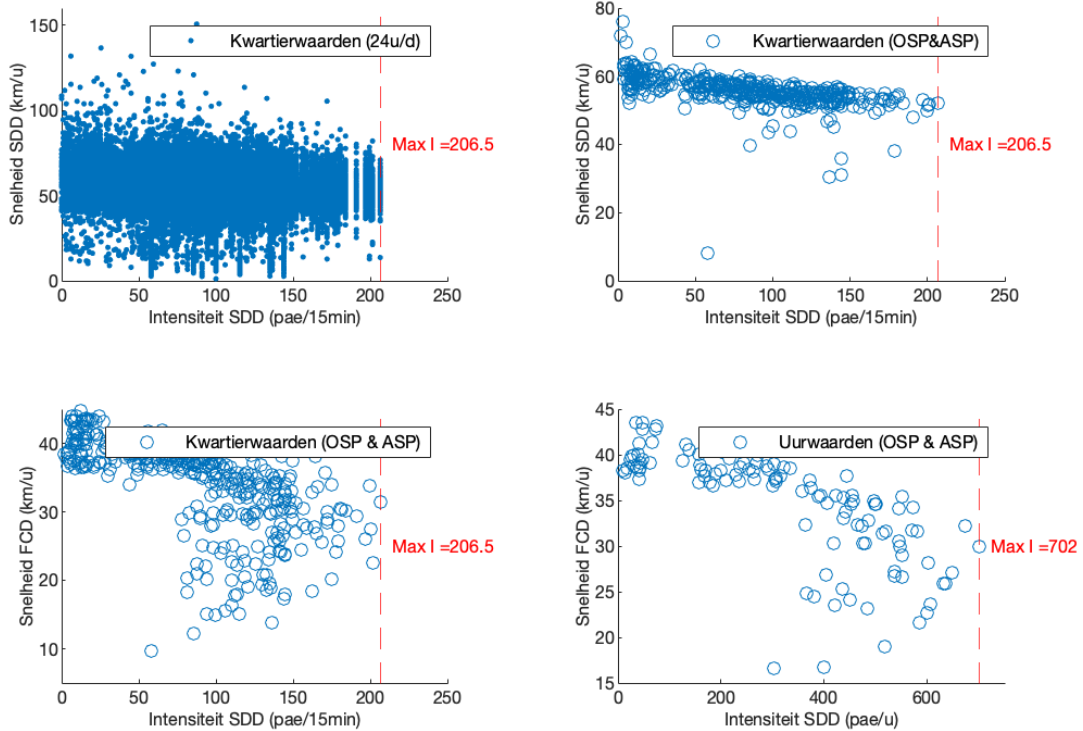
De laatste grafiek geeft eveneens de FCD-snelheden weer, maar deze keer geaggregeerd per uur. Hier is een maximale intensiteit van 702 pae/uur op te merken. Als we de vergelijking maken met de theoretische capaciteit dan zou ook deze waarde de capaciteit zeker kunnen overstijgen.



Snelheid/Intensiteit Relatie: Loc 3D | BAM10\_08 | Oost

12/10/2019

23/10/2019



Figuur 37: Relatie Snelheid / Intensiteit

Top 5 Intensiteit/15min:

Time	Flow
10/15/2019 17:15:00	206.5
10/22/2019 16:45:00	201.5
10/22/2019 16:30:00	200.5
10/16/2019 16:00:00	199.5
10/18/2019 16:45:00	197

Top 5 Intesiteit/u:

Time	Flow
10/22/2019 16:00:00	702
10/23/2019 16:00:00	675.5
10/18/2019 18:00:00	649
10/18/2019 12:00:00	644.5
10/18/2019 16:00:00	636.5

Figuur 38: Grootste intensiteiten en hun timing

Figuur 40 geeft de momenten weer waarop de grootste intensiteiten gemeten worden. Er valt op te merken dat deze gemeten zijn op verschillende dagen en momenten. Dit bevestigt het vermoeden dat het geen uitzonderlijke waarden zijn, afkomstig van een onrepresentatief moment. Deze hoge intensiteiten komen voornamelijk voor tijdens de vroege spits 16-17u. Aangezien we hier de vrije capaciteit meten, zoals gedefinieerd in (Casters, 2020), zou deze

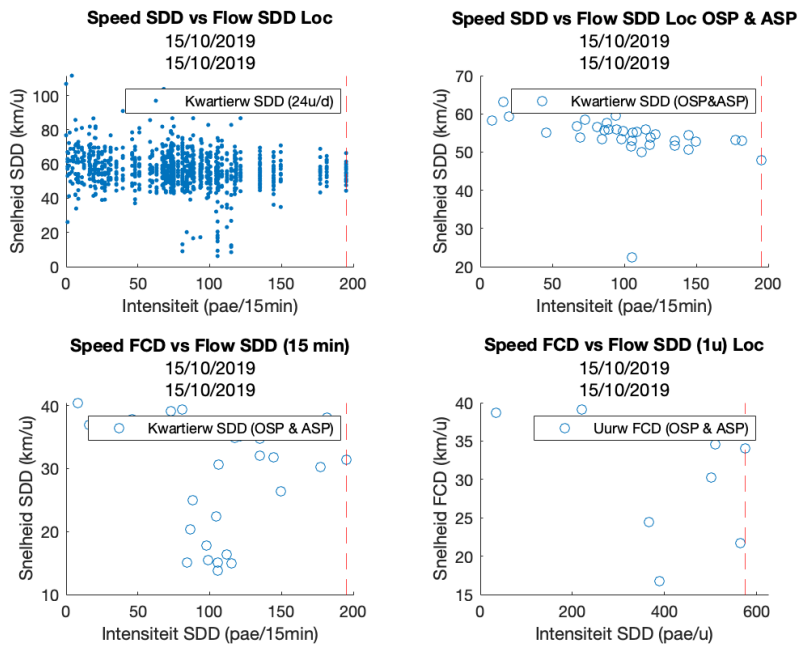
voorkomen kort voordat er congestie ontstaat. De vroege spits is bijgevolg een voor de hand liggend moment.

#### Datafusie: Intensiteitsberekening (SDD)

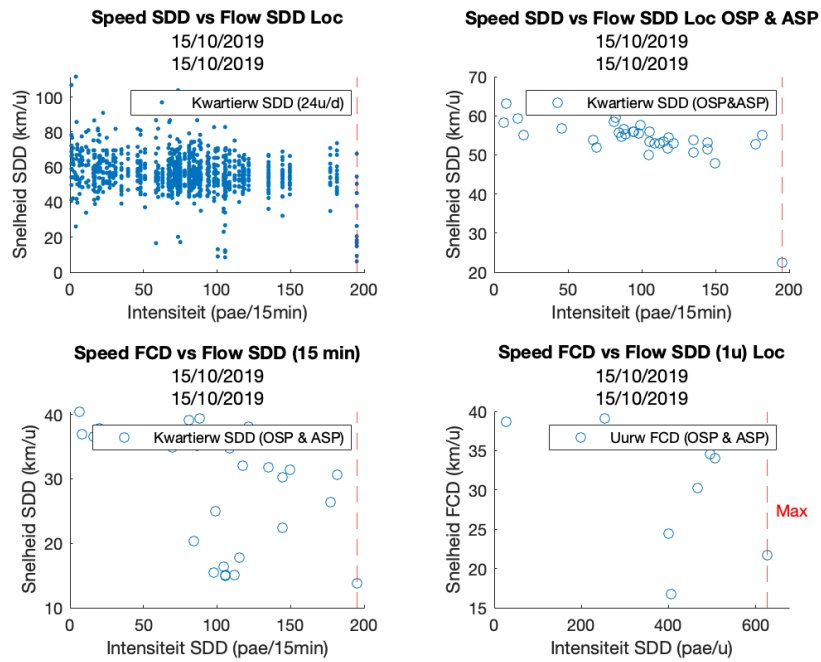
Op basis van deze relatie zal de keuze van de intensiteitsberekening beoordeeld worden. Hiervoor worden bovenstaande output vergeleken voor de intensiteiten op basis van 'het vorige (verschuiving) en het huidige kwartier (geen verschuiving)', en dit zowel voor de hele onderzoeksperiode als voor 15 oktober, de dag met de meeste vertraging. Deze dag werd gekozen omdat hier de afwenteling van vlot verkeer naar congestie duidelijk zichtbaar zou moeten zijn.

De verschuiving werd bedacht in samenspraak met de Vervoerregio, vanuit de idee dat de snelheid beïnvloed wordt door de intensiteit uit het verleden. Echter werd dit gebruik niet teruggevonden in de literatuur.

Figuur 41 (zonder verschuiving) toont relaties die verwacht kunnen worden vanuit de theorie. De maximale capaciteit wordt bereikt vlak voor de vertraging/congestie. De figuren met vertraging resulteren in een maximale capaciteit bij sterk vertraagd verkeer. Dit strookt niet met de bestudeerde definitie en figuren rond de Snelheid-/Intensiteitsrelatie. Er wordt bijgevolg in dit werk steeds gewerkt met een niet-verschoven intensiteit. De vergelijking werd eveneens gemaakt voor de volledige meetperiode en gaf een gelijkaardig resultaat. Figuur 43 geeft de verschuiving weer voor de gehele meetperiode en kan vergeleken worden met Figuur 39 (zonder verschuiving).

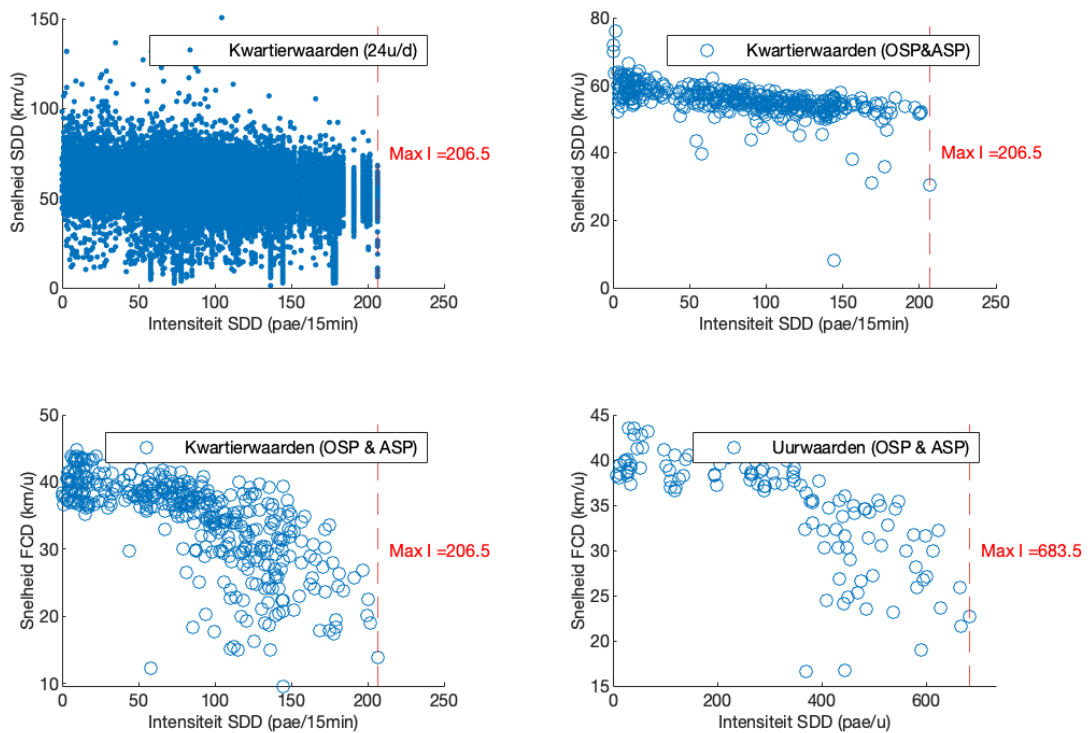


Figuur 39 : Geen verschuiving van de Intensiteit (15 oktober 2019)



Figuur 40: Verschuiving Intensiteiten kwartier eerder (Flow=Intensiteit) (15 oktober 2019)

Snelheid/Intensiteit Relatie: Loc 3D | BAM10\_08 | Oost  
 12/10/2019  
 23/10/2019



Figuur 41: Intensiteit uit het vorige kwartier wordt vergeleken met snelheden uit het huidige kwartier (onderzoekperiode)

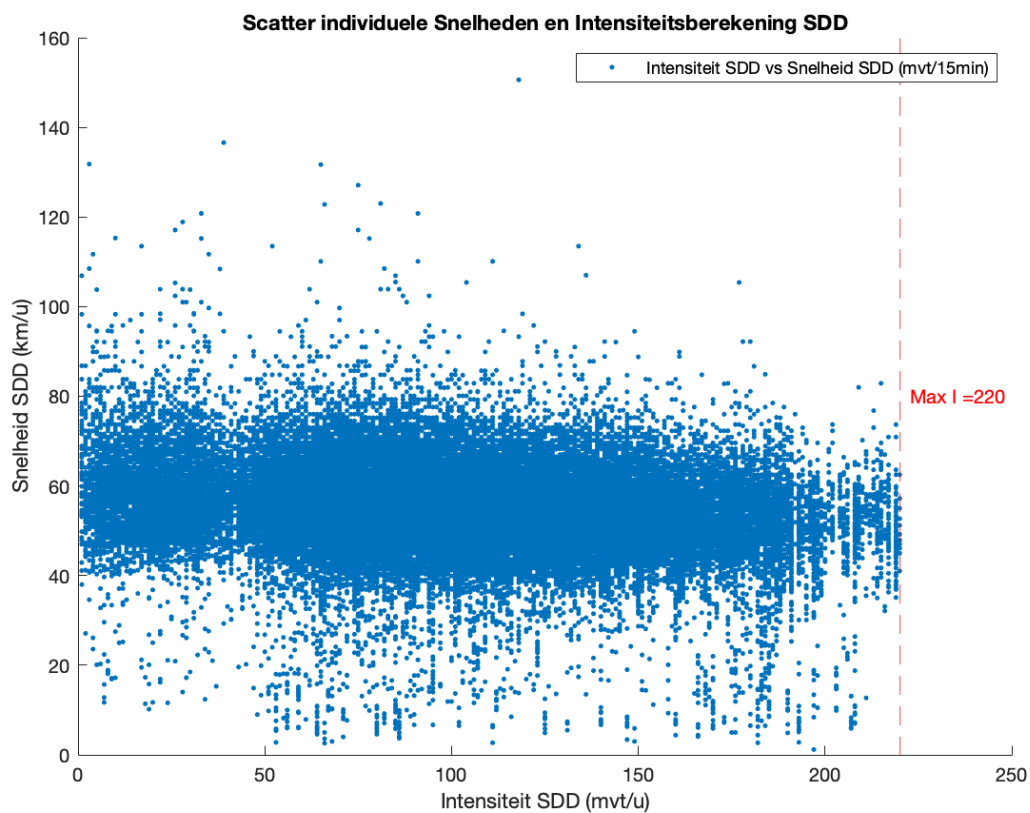
Tenslotte valt op te merken dat de maximale intensiteit lager lag op 15 oktober dan bleek uit de grafiek van de hele periode. Dit kan verklaard worden vanuit het feit dat er gewerkt wordt met geaggregeerde kwartierwaarden. Voor een meetperiode van 1 dag kan dit een groot effect hebben op de gemeten capaciteit. Bovendien kan deze eveneens beïnvloed worden door de wisselende regeling van verkeerslicht 1 en omgevingsfactoren als neerslag- en lichtcondities. In volgende paragraaf zal dit effect worden geïllustreerd.

#### Effect (aggregatie)methode: Maximale Intensiteit (SDD)

Om het effect van de aggregatiemethode te elimineren is er eenmalig een grafiek gecreëerd die volumes toewijst aan individuele waarnemingen, op basis van het aantal pae dat een kwartier voor diens aankomst aan het telpunt gepasseerd zijn. Nu er gewerkt wordt met individuele metingen houdt het wel steek om naar de intensiteiten van het voorgaande kwartier te kijken, omdat de berekening nu steeds gelijk blijft voor elke meting. De creatie van dergelijke grafiek is

echter iets geavanceerder, gaat zeer langzaam en de toegevoegde waarde is beperkt. Bovendien is er nood aan aggregatie om de vergelijking met de kwartierwaarden van de FCD te kunnen maken. Vandaar is deze grafiek niet betrokken in de algemene methode, al illustreert hij wel goed het effect van de aggregatie.

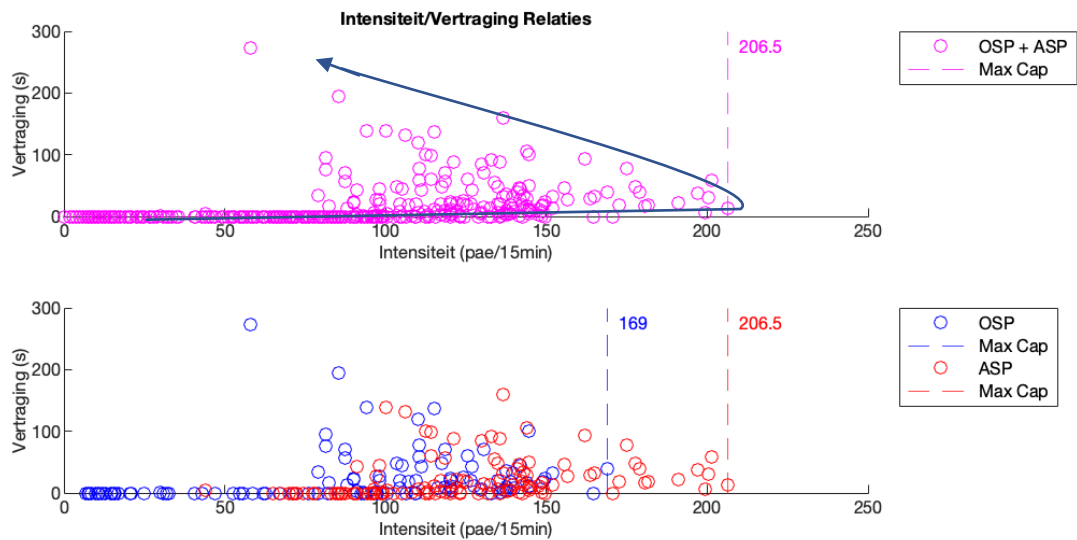
Er dient opgemerkt te worden dat de meettijden afgerond werden per minuut. Er is dus nog steeds een vorm van aggregatie aan te pas gekomen, maar met een verwaarloosbaar effect. De intensiteit is hier nog uitgedrukt in mvt/u in plaats van pae/u. Echter is het percentage vrachtverkeer doorgaans laag (zie grafiek vertraging) waardoor ook dit effect redelijk beperkt zal zijn.



*Figuur 42: Scatter individuele waarnemingen, individuele Intensiteit*

Er kan vastgesteld worden dat de maximale intensiteiten op deze manier iets hoger liggen. Het is dus belangrijk om met betrekking tot beleidskeuzes steeds dezelfde aggregatie- of calculatiemethode te gebruiken, zodanig dat de juiste conclusies getrokken kunnen worden en vergelijking mogelijk is.

### 5.6.3.3. Vertraging/Intensiteit relatie



Figuur 43: Relatie Intensiteit / Vertraging

Ook hier is het verwachte fenomeen te zien waarbij de afwikkeling van het verkeer zichtbaar wordt. De vertraging blijft rond de nul seconden tot de maximale capaciteit van het traject wordt bereikt en er ontstaat congestie. Deze beweging wordt aangeduid door de (manueel getrokken blauwe) pijl op de middelste grafiek. De maximale intensiteit die hier uitkomt is dezelfde als bij de Snelheid/Intensiteit relatie, wat logisch is want dezelfde intensiteiten werden gebruikt. Daarnaast is vertraging een afgeleide van reistijd wat op zijn beurt het omgekeerde van de snelheid is. Echter worden voor deze relatie enkel waarnemingen tijdens de spitsen in de werkweek gebruikt. Weekendwaarden zijn minder interessant omwille van de lagere intensiteiten en niet-representatieve percentages vrachtverkeer. Daarnaast is de vertraging afkomstig van de FCD, waarvan enkel de spitsen opgehaald zijn.

De opsplitsing van de data in ochtend- en avondspits is hier echter zeer interessant. Het lijkt erop dat er een significant verschil is tussen de capaciteit van het traject tijdens de ochtend- en avondspits. Dit kan te wijten zijn aan de wisselende capaciteit van verkeerslicht 1, die op haar beurt veroorzaakt wordt door wisselende intensiteiten op de zijwegen. Ook een verschil in het aantal trams en bussen kan hier een oorzaak zijn.

## 5.7. Conclusie en Aanbeveling na Visuele Analyse

Er kan worden geconcludeerd dat er in algemene situaties geen grote problemen ontstaan. Het lijkt erop dat de capaciteit van verkeerslicht enkel in extreme situaties overschreden wordt. Echter lijken er wel tijdelijke in de zone na het verkeerslicht, waar de confrontatie ontstaat tussen de tram en personenwagens. Het lijkt er dus op dat het verkeerslicht terecht de bottleneck van het traject is en dat diens capaciteit op sommige momenten zou verlaagd moeten worden om problemen met de tram te vermijden.

Uit gesprekken met Vervoerregio Antwerpen bleek dat men overwoog om nog een onbesproken verkeerslicht aan het begin van een traject om te bouwen tot een Toeritdoseringsinstallatie (TDI). Concreet is dit een verkeerslicht dat de verkeersstroom beperkt tot onder een bepaald niveau. Zoals reeds aangehaald in Hoofdstuk 2 kan een toeritdoseerinstallatie of TDI de capaciteit van een weg verhogen tot 5% (Henkens, Tamminga, 2015). Echter zou het effect op deze locatie groter kunnen zijn. Op deze manier zouden enerzijds confrontaties tussen wagens en de tram, die op een deel van het traject over dezelfde rijstrook moeten, vermeden kunnen worden. Deze kunnen bewegende bottlenecks vormen op het traject en tijdelijk de capaciteit bepalen. Zoals reeds bleek uit de visuele analyse treedt er in gemiddelde verkeersomstandigheden geen congestie op en dient de situatie enkel bij extremere intensiteiten bijgestuurd te worden. Hier kan een TDI dus zeker baten.

Het vermijden van congestie is zeer interessant, aangezien de verkeersstroom een stuk onder de gebruikelijke capaciteit (10-15%) moet zakken alvorens er opnieuw een vlot verkeer ontstaat (Henkens, Tamminga, 2015). Hierdoor kan de congestie lang aanhouden na een kortstondig overschrijden van de capaciteit. Het regelen van de instroom zal dus de capaciteit vermoedelijk maar enkele procenten kunnen verhogen. Maar dit kan al een zeer relevant effect hebben op het aantal momenten waarop de maximale capaciteit overschreden wordt en op die manier zeer veel vertraging vermijden.

Vanuit de Vertraging/Volume relatie, kunnen mogelijke doseringen van 150 pae/kwartier (ochtendspits) en 182 pae/kwartier (avondspits) worden voorgesteld. Dit zijn de verkregen maximumcapaciteiten, verlaagd met 10%. Op deze manier wordt er een veiligheidsbuffer ingebouwd, die werd aangeraden door Vervoerregio Antwerpen. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of dit geschikte waarden zijn.

Deze TDI zal de capaciteit van het eerste stuk van het traject op sommige momenten verlagen, al wordt er een positief effect op de algemene trajectnelheid en het aantal vertragingen verwacht. Het is beter dat er lichte congestievorming aan de TDI ontstaat, dan dat het verkeer vastloopt in het midden van het centrum.

## 6. Algemene conclusie en verder onderzoek

Vanuit de theorie werd ondervonden dat de wegcapaciteiten in stedelijke gebieden afhankelijk zijn van zeer veel factoren en dat ze moeilijk nauwkeurig kunnen benaderd worden. Echter zijn er wel een aantal handige benchmarks, met name standaardwaarden zoals de 1800 pae/u voor een gemiddelde weg of ook de formules voor het berekenen van de minimale en maximale capaciteit van een verkeerslicht, al gaf deze laatste zeer brede intervallen. Dergelijke theoretische benadering is zeer handig geweest voor het bepalen van de bottleneck en ze kan leiden tot een voorstel omtrent de beleidskeuze zoals de TDI. Echter zal er meestal nood zijn aan data om de uitvoering van deze maatregelen te bepalen en op te volgen.

Na de datafusie was het mogelijk om een rechtstreeks verband aan te tonen tussen de intensiteiten en segmentsnelheden/reistijden/tragingen. Vanuit deze verbanden kon de praktische wegcapaciteit berekend worden. Echter is gebleken dat dergelijke fusie niet altijd evident is en tegelijkertijd zeer cruciaal is voor het trekken van de juiste conclusies.

Bij het ontwikkelen van de methode werd al snel duidelijk dat het moeilijk is om een grondige, generaliseerbare methode te ontwikkelen. Er hangt veel af van de locatie van het telpunt en de algemene lokale verkeerssituatie. Echter is er toch getracht enkele algemene grafieken op te stellen die steeds onderbouwd werden vanuit de theorie en/of literatuur.

De case wees uit dat beide databronnen noodzakelijke inzichten gaven bij het berekenen van de capaciteit van de hoofdweg in het centrum van Zwijndrecht. De maximale intensiteiten die gemeten werden door de stationaire tellingen gaven inzichten in de instroom van het traject. Echter gaven deze metingen weinig vertraging weer wat erop wees dat maximale capaciteit op de locatie van het meetpunt nog niet bereikt was. Op basis van deze gegevens was het niet mogelijk om inzichten te krijgen in de capaciteit van het complete traject. De SDD is namelijk niet in staat om de congestie die later op het traject tot stand komt, in kaart te brengen. Het kunnen analyseren van deze filemomenten is cruciaal voor het bepalen van de oorzaak (bottleneck), van de capaciteit en bij het opzetten van eventuele beleidskeuzes.



Naast de inzichten omtrent de capaciteit van het traject, gaf de FCD-inzichten in de representativiteit van de meetperiode van de SDD, dankzij zijn continuïteit en inzicht in de vertragingen op het traject. De vertraging gedurende deze periode moest dienen als algemene parameter van de verkeerssituatie tijdens en buiten de telperiode. Daarnaast werd er nagegaan of er zich geen uitzonderlijke neerslagcondities voordeden tijdens de meetperiode. Hiervoor werd gebruik gemaakt van neerslagmetingen, afkomstig van een nabijgelegen weerstation in het Nederlandse Hoogerheide, dat kan dienen voor elke locatie binnen het operationele gebied van de Vervoerregio. Tenslotte werd de samenstelling van het verkeer tijdens de telperiode in kaart gebracht op basis van de types van de SDD.

De spectrogrammen van 2 dagen in 2021 lijken erop te wijzen dat er congestie ontstaat wanneer de tram over de hoofdbaan rijdt, in de zone achter Verkeerslicht 1. Verder onderzoek zou de capaciteit van het verkeerslicht gedurende de dag in kaart kunnen brengen en op basis daarvan de werking van de TDI kunnen bepalen. Op die manier kan de verkeersstroom beperkt worden ten opzichte van de huidige capaciteit van het traject en kan deze verhoogd worden tot 5%, wat een relatief groot effect zou kunnen hebben op het aantal vertragingen binnen het traject. Echter is de beschikbare informatie omtrent deze problematiek te beperkt en dient dit verder onderzocht te worden aan de hand van spectrogrammen over bredere en representatievere periodes.

De output van de case, de Matlab-code en de gecompileerde versies kunnen gedownload worden via volgende QR-code:



## IV. Glossarium: verkeerskundige begrippen

<i>Begrip</i>	<i>Verklaring</i>
<i>(Vrije) capaciteit</i>	“Het maximale, duurzame volume waarmee redelijkerwijs kan worden verwacht dat voertuigen of personen een punt of uniform segment van een rijstrook of rijbaan doorkruisen gedurende een bepaalde tijdsperiode, onder bepaalde rijweg-, geometrische, verkeers-, omgevings- en controlecondities; meestal uitgedrukt als voertuigen per uur, personenauto's per uur of personen per uur” (National Research Council, 2000).
<i>Accessibility mapping</i>	Dit is een visuele tool die gebruikt wordt voor het ondersteunen van smart growth planning (zie definitie) (Li et al. 2011).
<i>Afrijcapaciteit</i>	De afrijcapaciteit is de capaciteit die stroomafwaarts van een file wordt gemeten en is gemiddeld 10-15% lager dan de vrije capaciteit (Henkens, Tamminga, 2015).
<i>Congestie</i>	“Rij van langzaam rijdende en/of stilstaande voertuigen waarvoor de vrije doorgang door de omstandigheden op de weg wordt belemmerd” (Wegenwiki, 2021). (= Vertraagd verkeer / file)
<i>In-situ technologieën</i>	“In-situ technologieën verwijzen naar verschillende technologieën voor het verzamelen van verkeersdata aan de hand van statische detectoren langs de kant van de weg (Leduc 2008).”
<i>Intelligent Transportation System (ITS)</i>	“Een transportsysteem (informatiesysteem) dat de veiligheid en efficiëntie van voertuigen en wegsystemen verhoogt (National Research Council, 2000).
<i>Puntsnelheid</i>	De snelheid op een specifiek punt in de tijd (= Momentopname).
<i>Segmentsnelheid</i>	“Hiermee wordt de gemiddelde snelheid van alle motorvoertuigen over een stuk weg bedoeld, weergegeven in kilometer per uur (Henkens, Tamminga, 2015).”
<i>Smarth growth planning</i>	Smarth growth is een algemene term voor beleid dat de bereikbaarheid van POIs en de efficiëntie van het verkeer in een bepaald gebied probeert te verhogen (Li et al. 2011).

<i>Toeritdoseerinstallatie (TDI)</i>	“Een toeritdoseerinstallatie (Henkens, Tamminga, 2015) is een soort verkeersregelininstallatie die de instroom naar een hoofdweg beperkt en het verkeersaanbod op een homogene wijze in de tijd aanbiedt waardoor schokgolven en turbulentie wordt voorkomen en de doorstroming op de hoofdweg iets verhoogt (Wegenwiki, 2021).”
<i>Verkeersdichtheid</i>	“Het aantal voertuigen (of voetgangers) dat op een bepaald moment een bepaalde lengte van een rijstrook of rijbaan bezet (National Research Council, 2000).”
<i>Verzadigingsintensiteit</i>	“De maximale verkeersintensiteit die een bepaalde rijstrook aan een verkeerslicht kan verwerken, wanneer de weggebruikers op continue wijze zouden aankomen én als de duur van het groen licht één uur is (Casters, 2020).”
<i>Volume, Intensiteit</i>	De verkeersintensiteit of het verkeersvolume is de daadwerkelijke prestatie. Het is het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert, meestal uitgedrukt in p.a.e./uur (National Research Council, 2000).
<i>Wegsegment</i>	Stuk weg met homogene verkeerseigenschappen (Casters, 2020).

## V. Gebruikte afkortingen

<b>Afkorting</b>	<b>Verklaring</b>
<i>p.a.e. of pae</i>	Personen-auto-equivalent: Een maatstaf dat een gemiddelde personenwagen als eenheid neemt.
<i>m.v.t. of mvt</i>	Motorvoertuigen
<i>OD-matrices</i>	Origin Destination of oorsprong-bestemming matrices
<i>FCD</i>	Floating Car Data
<i>SDD</i>	Stationary Detector Data
<i>TDI</i>	Toeritdoseerinstallatie
<i>ITS</i>	Intelligent Transportation System

## VI. Bibliografie

Agentschap Wegen en Verkeer. (2019–2021). *V-plannen Zwijndrecht*.

Altintasi, O., Tuydes-Yaman, H., & Tuncay, K. (2017). Detection of urban traffic patterns from Floating Car Data (FCD). *Transportation Research Procedia*, 22, 382–391. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.057>

Barmounakis, E., & Geroliminis, N. (2020). On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 50–71. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.11.023>

Carrese, S., Cipriani, E., Crisalli, U., Gemma, A., & Mannini, L. (2021). Bluetooth Traffic Data for Urban Travel Time Forecast. *Transportation Research Procedia*, 52, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.027>

Cascetta, E., Papola, A., Marzano, V., Simonelli, F., & Vitiello, I. (2013). Quasi-dynamic estimation of o–d flows from traffic counts: Formulation, statistical validation and performance analysis on real data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 55, 171–187. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.06.007>

Casters (Afdeling Verkeer, Wegsystemen en Telematica, AWV), W. (2020). *Handboek Ontwerp verkeerslichtenregelingen 2020* (2020ste-1 ed. ed.). Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/Handboek%20ontwerp%20verkeerslichtenregelingen%202020.pdf>

Chase, R. T., Williams, B. M., Roupail, N. M., & Kim, S. K. (2012). Comparative Evaluation of Reported Speeds from Corresponding Fixed-Point and Probe-Based Detection Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2308(1), 110–119. <https://doi.org/10.3141/2308-12>

Cohn, N. (2020, 21 januari). *Traffic Data: The Key to Effective Road Traffic Management* / *TomTom Blog*. TomTom. <https://www.tomtom.com/blog/traffic-and-travel->

information/road-traffic-management/#:%7E:text=The%20floating%20car%20traffic%20data,do%20an%20analysis%20wherever%20needed.

Cools, M., Moons, E., & Wets, G. (2010). Assessing the Quality of Origin–Destination Matrices Derived from Activity Travel Surveys: Results from a Monte Carlo Experiment. *Transportation Research Record*, 2183(1), 49–59. <https://doi.org/10.3141/2183-06>

Fabritiis et al., C. (2008). Traffic Estimation And Prediction Based On Real Time Floating Car Data. *Proceedings of the 11th International IEEE*, 197–203.

Fadhloun, K., Rakha, H., & Loulizi, A. (2016). Analysis of moving bottlenecks considering a triangular fundamental diagram. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 186–199. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.01.003>

Federal Highway Administration. (2017, 1 februari). *Traffic Control Systems Handbook: Chapter 6 Detectors - FHWA Office of Operations*. Office of Operations. [https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop06006/chapter\\_6.htm#:~:text=Microwave%20Radar%3A%20Transmits%20microwave%20energy,also%20act%20as%20presence%20detector.](https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop06006/chapter_6.htm#:~:text=Microwave%20Radar%3A%20Transmits%20microwave%20energy,also%20act%20as%20presence%20detector.)

Georgiev, D. (2021, 19 februari). *111+ Revealing Google Statistics and Facts to Know in 2020*. Review42. <https://review42.com/resources/google-statistics-and-facts/>

Google. (z.d.-a). *About the Geo Data Upload - Map Content Partners Help*. [https://support.google.com/mapcontentpartners/answer/9359673?hl=en&ref\\_topic=21600](https://support.google.com/mapcontentpartners/answer/9359673?hl=en&ref_topic=21600)

Google. (z.d.). *Overview | Distance Matrix API |*. Google Developers. <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/overview#RequestParameters>

Google. (2009, 25 augustus). *The bright side of sitting in traffic: Crowdsourcing road congestion data*. Official Google Blog. <https://googleblog.blogspot.com/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>

- Google. (2010, 27 april). *Google submission dpas wifi collection*. Google User Content. [https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/en//googleblogs/pdfs/google\\_submission\\_dpas\\_wifi\\_collection.pdf](https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/en//googleblogs/pdfs/google_submission_dpas_wifi_collection.pdf)
- Henkens, Tamminga, N. C. G. W. (2015, juli). *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autowegen* (versie 4, kadernr. 944). Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving & Grontmij. [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_148021\\_31/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_148021_31/)
- Holmgren, J., Fredriksson, H., & Dahl, M. (2020). Traffic data collection using active mobile and stationary devices. *Procedia Computer Science*, 177, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.010>
- Houbraken, Audenaert, Colle, Pickavet. (2015). Real-time traffic monitoring by fusing Floating Car Data with Stationary Data. *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*, 127–131. <https://biblio.ugent.be/publication/8114205/file/8114213>
- Leduc, G. (2008). *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications* (JRC 47967). European Commission, Institute For Prospective Technological Studies. <https://www.researchgate.net/publication/254424803>
- Li, Q., Zhang, T., Wang, H., & Zeng, Z. (2011). Dynamic accessibility mapping using floating car data: a network-constrained density estimation approach. *Journal of Transport Geography*, 19(3), 379–393. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.07.003>
- Maerivoet, S., & Logghe, S. (2007). Validation of travel times based on cellular floating vehicle data. *6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*. Published.
- Marchant, A. (2019, 22 oktober). *Behind the map: how we keep our maps up to date | TomTom Blog*. TomTom. <https://www.tomtom.com/blog/maps/continuous-map-processing/>
- National Research Council (U.S.). (2000). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council.

Olson, P. (2014, 13 juli). *Why Google's Waze Is Trading User Data With Local Governments*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2014/07/07/why-google-waze-helps-local-governments-track-its-users/?sh=3f80e93539ba>

Pineda, C., Schwarz, D., & Godoy, E. (2016). Comparison of passengers' behavior and aggregate demand levels on a subway system using origin-destination surveys and smartcard data. *Research in Transportation Economics*, 59, 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.07.026>

Signco Verkeerstechiek. (2020). *Draaiboek Linkeroever Telslangmetingen*.

Straatvinken. (z.d.). *Over Straatvinken*. <https://straatvinken.be/over-straatvinken/>

Theofilatos, A. (2017). Incorporating real-time traffic and weather data to explore road accident likelihood and severity in urban arterials. *Journal of Safety Research*, 61, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.003>

Vogt, S., Fourati, W., Schendzielorz, T., & Friedrich, B. (2019). Estimation of origin-destination matrices by fusing detector data and Floating Car Data. *Transportation Research Procedia*, 37, 473–480. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.216>

Waze. (z.d.). *Waze SDK for Developers: Use Live Maps and GPS Data*. <https://www.waze.com/sdk>

Waze. (2020, 9 september). *WAZE - PRIVACY POLICY*. <https://www.waze.com/nl/legal/privacy#information-that-is-being-collected>

*Work Zone Performance Measurement Using Probe Data: Guidance for Using Probe Data for Work Zone Mobility Performance Measures - FHWA Work Zone*. (2013, september). <https://Highways.Dot.Gov/>. <https://ops.fhwa.dot.gov/wz/resources/publications/fhwahop13043/ch2.htm#:~:text=Probe>

Wegenwiki. (2021, 27 februari). *Toeritdoseerinstallatie - Wegenwiki*. [https://www.wegenwiki.nl/Toeritdoseerinstallatie#:~:text=Een%20toeritdoseerinstallatie%20\(TDI\)%20is%20een,op%20de%20hoofdweg%20iets%20verhoogt.](https://www.wegenwiki.nl/Toeritdoseerinstallatie#:~:text=Een%20toeritdoseerinstallatie%20(TDI)%20is%20een,op%20de%20hoofdweg%20iets%20verhoogt.)

Wu, C., Thai, J., Yadlowsky, S., Pozdnoukhov, A., & Bayen, A. (2015). Cellpath: Fusion of Cellular and Traffic Sensor Data for Route Flow Estimation via Convex Optimization. *Transportation Research Procedia*, 7, 212–232. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.012>

Yisheng, Duan, Y., Kang, W., Li, Z., & Wang, F. Y. (2014). Traffic Flow Prediction With Big Data: A Deep Learning Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/tits.2014.2345663>

Z. Liang and Z. Ling-xiang, "Link Travel Time Estimation Model Fusing Data from Mobile and Stationary Detector Based on BP Neural Network," 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems, 2006, pp. 2146-2149, doi: 10.1109/ICCCAS.2006.284923.



# VII. Bijlage (1)

## VISUELE ANALYSE: FCD VS SDD

Vervoerregio Antwerpen | Universiteit Antwerpen |  
Masterthesis: Lukas Geluykens

### DOEL

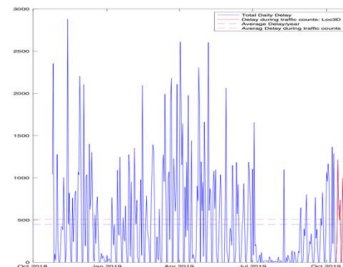
**Doel Analyse:** Eerste zicht krijgen op de data. Representativiteit periode, meetfouten, samenhang, relevantie. Deze pdf wordt opgeslagen in de applicatiefolder van Matlab, maar bij elke analyse overschreden. Sla een kopie op indien je het bestand nog wenst te gebruiken.

### Voorbeelden:

### VERTRAGING VS TIJD

#### Vertraging (s) vs Datum

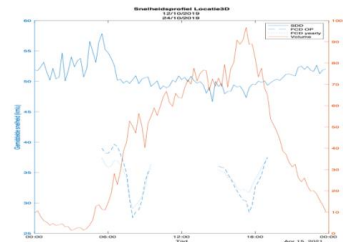
- Dagelijkse som van de kwartierwaarden van de vertraging in seconden op basis van FCD.
- **Blauw:** Periode waarvan FCD is | **Rood:** Overlap tussen SDD en FCD
- **Doel:** Representativiteit van meetperiode tellingen inschatten



### SNELHEIDSPROFIEL

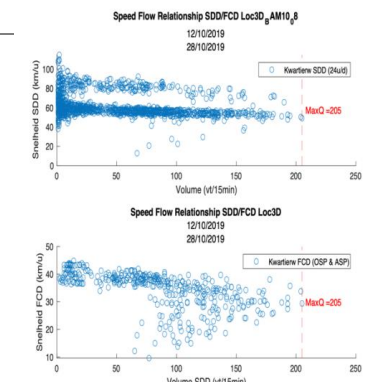
#### Vertraging (s) vs Datum

- Dagelijkse som van de kwartierwaarden van de vertraging in seconden op basis van FCD.
- **Blauw vol:** Snelheden SDD (15min) | **Blauw stippen:** Snelheden FCD (15min) | **Rood:** Volumes SDD
- **Doel:** Vergelijken Snelheden FCD en SDD, verband tussen snelheid en Volume



### SNELHEID VS INTENSITEIT

- **Doel:** Vergelijken Snelheden FCD en SDD met Intensiteit SDD
- Beide figuren zouden een neusvorm of een rechte moeten vertonen:  
**Rechte:** geen congestie | **Neus:** Congestie vanaf punt met maximale intensiteit (= Maximum Capaciteit van de weg)





**Universiteit  
Antwerpen**

### **Verklaring op woord van eer**

Ik verklaar dat ik deze aan de Faculteit BE ingediende masterproef zelfstandig en zonder hulp van andere dan de vermelde bronnen heb gemaakt.

Ik bevestig dat de direct en indirect overgenomen informatie, stellingen en figuren uit andere bronnen als zodanig aangegeven zijn in overeenstemming met de richtlijnen over plagiaat in de masterproefbrochure.

Ik bevestig dat dit werk origineel is, aan geen andere onderwijsinstelling werd aangeboden en nog niet werd gepubliceerd.

Ik ben mij bewust van de implicaties van fraude zoals beschreven in artikel 15 van het onderwijs- en examenreglement van de Universiteit Antwerpen. ([ww.uantwerpen.be/oer](http://ww.uantwerpen.be/oer))

Datum            28 mei 2021

Naam            Lukas Geluykens (20153293)

Handtekening